Dynamiques des paysages de la vallée du Yamé depuis 4000 ans. Contribution à la compréhension d'un géosystème soudano-sahélien. (Ounjougou, Pays dogon, Mali).

Yann Le Drezen

▶ **To cite this version:**

Yann Le Drezen. Dynamiques des paysages de la vallée du Yamé depuis 4000 ans. Contribution à la compréhension d'un géosystème soudano-sahélien. (Ounjougou, Pays dogon, Mali).. Géographie. Université de Caen, 2008. Français. NNT : . tel-00348161

HAL Id: tel-00348161

https://theses.hal.science/tel-00348161

Submitted on 18 Dec 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

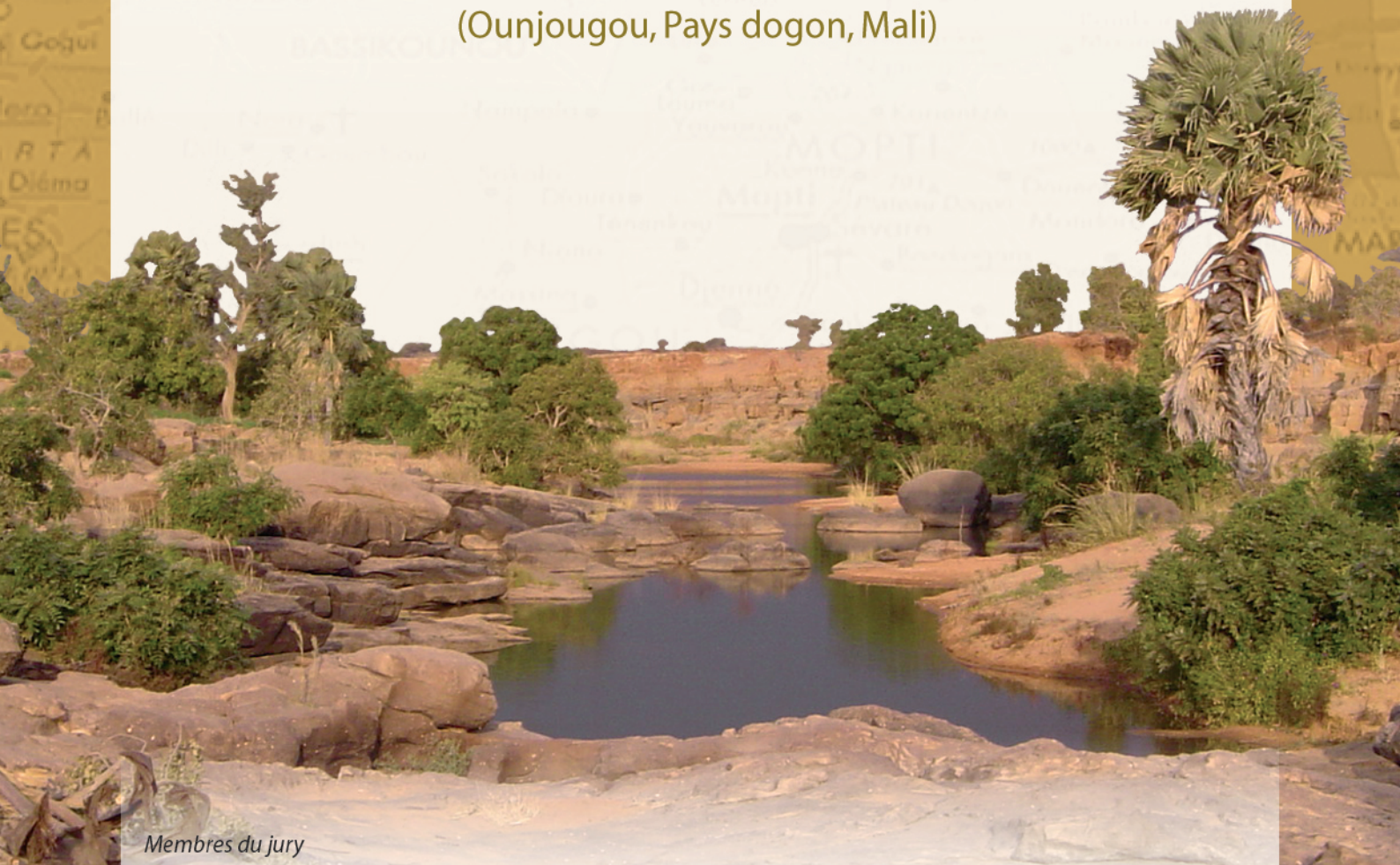
UNIVERSITÉ DE CAEN/BASSE-NORMANDIE
U.F.R. de Géographie
École doctorale "Littérature, Cultures et Sciences Sociales"

THÈSE, présentée par **Yann LE DRÉZEN**
soutenue **le 4 juin 2008**
en vue de l'obtention du **DOCTORAT de l'UNIVERSITÉ de CAEN**
Spécialité : Géographie physique, humaine, économique et régionale
(Arrêté du 7 août 2006)

DYNAMIQUES DES PAYSAGES DE LA VALLÉE DU YAMÉ DEPUIS 4 000 ANS

Contribution à la compréhension d'un géosystème soudano-sahélien

(Ounjougou, Pays dogon, Mali)



Membres du jury

Mr A. BALLOUCHE	*Professeur à l'Université d'Angers,* Directeur de Thèse
Mr E. FOUACHE	*Professeur à l'Université de Paris 12,* Rapporteur
Mr E. HUYSECOM	*Professeur d'Archéologie Africaine, Université de Genève, Suisse,* Rapporteur
Mr J.-F. BERGER	*Chargé de Recherches C.N.R.S., C.E.P.A.M.,* Examinateur
Mr D. DELAHAYE	*Professeur à l'Université de Caen Basse-Normandie,* Examinateur
Mr J. MALEY	*Directeur de Recherches Honoraire I.R.D., Montpellier,* Examinateur

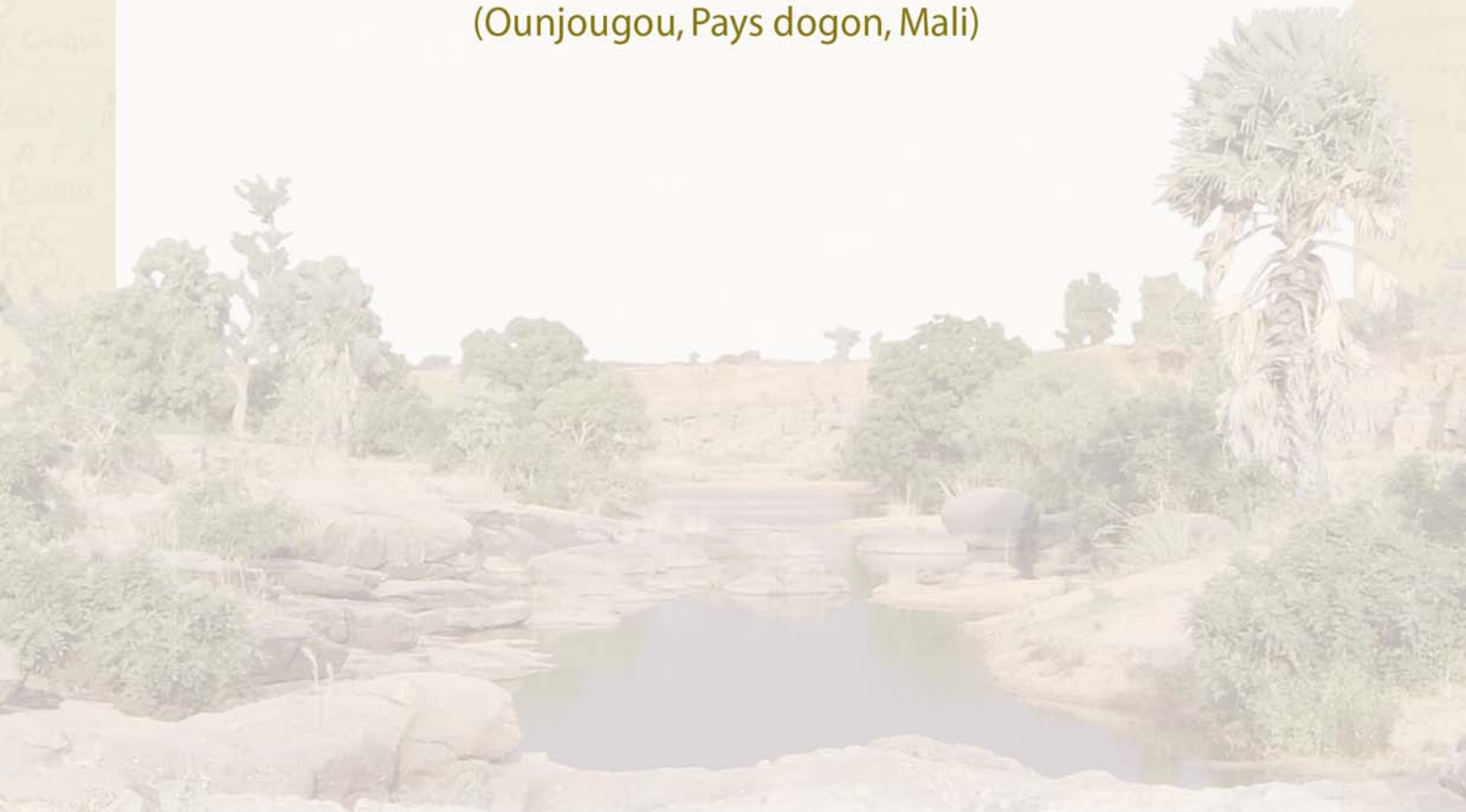
UNIVERSITÉ DE CAEN/BASSE-NORMANDIE
U.F.R. de Géographie
École doctorale "Littérature, Cultures et Sciences Sociales"

THÈSE, présentée par **Yann LE DRÉZEN**
soutenue **le 4 juin 2008**
en vue de l'obtention du **DOCTORAT de l'UNIVERSITÉ de CAEN**
Spécialité : Géographie physique, humaine, économique et régionale
(Arrêté du 7 août 2006)

DYNAMIQUES DES PAYSAGES DE LA VALLÉE DU YAMÉ DEPUIS 4 000 ANS

Contribution à la compréhension d'un géosystème soudano-sahélien

(Ounjougou, Pays dogon, Mali)



Membres du jury

Mr A. BALLOUCHE	*Professeur à l'Université d'Angers,* Directeur de Thèse
Mr E. FOUACHE	*Professeur à l'Université de Paris 12,* Rapporteur
Mr E. HUYSECOM	*Professeur d'Archéologie Africaine, Université de Genève, Suisse,* Rapporteur
Mr J.-F. BERGER	*Chargé de Recherches C.N.R.S., C.EP.A.M.,* Examinateur
Mr D. DELAHAYE	*Professeur à l'Université de Caen Basse-Normandie,* Examinateur
Mr J. MALEY	*Directeur de Recherches Honoraire I.R.D., Montpellier,* Examinateur

Photographie : Y.L.D., 2005
"L'amont du Yamé, Ounjougou"
Réal. : N. Le Drézen (2008)

Remerciements

Ces quatre années de recherches en thèse ont été possibles grâce au soutien et à la collaboration de mon Directeur de Thèse, Monsieur Aziz Ballouche. Je tiens tout particulièrement à le remercier tant par son encadrement, que par sa disponibilité. Un grand merci pour ses conseils, son intérêt pour mes recherches, pour sa confiance et pour m'avoir permis de découvrir de nouveaux horizons (Mauritanie, Mali, Afrique du Sud, Italie, Suisse et la Basse-Normandie !).

Je tiens à remercier Messieurs Eric Fouache (rapporteur), Eric Huysecom (Rapporteur), Jean-François Berger, Daniel Delahaye et Jean Maley pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'être membres de mon jury de thèse et pour l'intérêt porté à ce travail.

Tous mes remerciements vont également à chaque membre du programme international de recherche "Peuplement et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest", pour leur collaboration. Merci à tous, pour leur amitié, leurs discussions et les nombreuses soirées sur le terrain. Je tiens tout particulièrement à remercier Eric Huysecom, pour son accueil au sein de l'équipe du programme, son hospitalité à Dimbal, pour son soutien et pour la transmission de sa passion pour cette région et ses habitants. Merci à Sylvain Ozainne (pour ta collaboration), à Caroline Robion-Brunner (félicitations pour ta fin de thèse !!), Barbara Eichhorn (merci pour les corrections, les discussions, et … les barres sucrées allemandes !!!), Michel Rasse (merci pour nos discussions), Katharina Neumann, Daouda Keita (en souvenirs de nos soirées cartes à Kokolo et Gologou !!), Néma Guindo, Anne Mayor, Sebastien Perret, Kléna Sanogo, Lassana Cissé, Sylvain Soriano, Chantal Tribolo, Hugues Doutrelepont.

Je tiens tout particulièrement à remercier Laurent Lespez (Maître de Conférence au laboratoire Géophen, à Caen), pour ses conseils, sa collaboration sur le terrain et au laboratoire, pour les longs moments de réflexion sur cette fameuse chronostratigraphie de la vallée du Yamé!! Merci sincèrement pour ton amitié et pour ces derniers mois de thèse où tu as été d'une grande disponibilité.

Ma gratitude concerne également Boris Vannière pour sa disponibilité et son accueil à Besançon au laboratoire Chrono-Environnement, pour son aide, ses discussions et Martine Clet, pour son accueil et sa formation pour l'approche palynologique, au laboratoire M.2.C., à Caen.

Mes pensées vont également vers mes amis et collègues dogon, pour leurs aides, leurs discussions, leur amitié, leur accueil et pour tous les moments vécus en leur compagnie. Merci aux villageois de Gologou Da, Gologou Djoï, Dimbal et des autres villes et villages du Mali et du Burkina (Bandiagara, Mopti, Bamako, Ouaga, Tiréli …) où j'ai pu être accueilli, en souvenir de ces inoubliables et interminables "*Ya' po ! po ! Diano ? Guimélé ! Toroté ! ...*" Je tiens à remercier sincèrement et spécialement Ankoundia Tessougué, Djibril Tessougué, Boukari Tessougué, Ancé Tessougué, Sékou Tessougué, Elin Tessougué, Hiara Tessougué, Ali Tessougué, puis Fatouma, Dumou, du village de Dimmbal et tout particulièrement Modou Tessougui, pour ses discussions, traductions, son aide, son amitié et par le partage de ses traditions et centres d'intérêts (jardin, théâtre, musique, …). Puis, Sori Diguiba & Salif Duiguiba (pour leur joie de vivre !!), Allaye, Adama, Bassembé, Amanan, Goumi et tout les autres (…) des deux villages de Gologou et en particulier à Amadi Kélépili (de la part de "Zane Kélépili"), pour ses quelques secrets partagés sur les plantes, ses remèdes en médecine traditionnelle, ses secrets des plantes, pour ses moments tous les deux à marcher pendant des heures à folle allure, sous un soleil de plomb, en observant des feuilles, fleurs, écorces, bois, racines et pour toutes les rencontres qu'il m'a amené à faire !!

Je remercie chaleureusement chaque membre du laboratoire Géophen et tout particulièrement Jean-Michel Cador (Directeur du laboratoire jusqu'en 2004), Daniel Delahaye (directeur du laboratoire depuis 2004), Stéphane Costa (Directeur d'U.F.R. de Géographie, à l'Université de Caen Basse-Nomandie), Robert Davidson et Blandine Parey.

Merci aux collègues de l'Université et de l'UFR de Géographie, qui m'ont aidé et soutenu, ils se reconnaîtront.

Un grand merci pour mes collègues et amis doctorants du laboratoire, pour leur soutien, les soirées, les pauses bien méritées, les moments de détentes : Johnny (merci pour ces souvenirs en Afrique !! pour ton soutien, à mon tour d'être à la hauteur pour ta fin de thèse !!), Marie-Anne (merci pour ton soutien), Philippe (merci !! vraiment, pour ton accueil le soir pour une pause thé avec Betty !!!), Sébastien, Vincent, Candide, Maxime, Françoise, Elise, Aurélie, Cécile, Hélène, …

Je remercie sincèrement et chaleureusement chacun de mes amis bas-normands rencontrés depuis ces cinq années au fur et à mesure des circonstances (soirées, manifestations, concerts, mouvements, travail, …) et particulièrement à mes deux "farafis" (Lulu & Ben', bon courage pour la suite, j'irais vous voir au Ghana et au Burkina maintenant !!!), Mat', Vaness', Camille, Louise, Aline (bon courage pour la suite et félicitations pour ce chemin parcouru en cinq ans … depuis la Go171 !), "S.A.M. !!" (ils se reconnaîtront !!), François, Betty, Titi, … puis également mes amis de régions voisines ou plus lointaines, que ces années de thèse ne m'ont pas permis de voir autant que je l'aurais souhaité: d'Angers, de Paris et d'ailleurs (Cayenne, Bamako, Nouakchott et Bucarest !!).

Un grand merci bien sûr à toute ma famille, pour leur soutien, leurs aides, leur compréhension pour mes visites de plus en plus espacées en fin de thèse : Nico (merci pour ma couverture de thèse et ton "*design graphic*" !!), mes parents et grands-parents.

Sommaire

Remerciements 3

Sommaire 5

Introduction générale 7

1 *Cadre géographique et contextes d'études* 18

1. ***Cadre et contexte d'étude : le Plateau dogon*** ***4***
   - *1.1. Cadre géologique et géomorphologique du plateau* *3*
   - *1.2. Les conditions hydroclimatiques du Plateau dogon* 23
   - *1.3. Les paysages du Pays dogon*

35

2. ***Le site d'étude d'Ounjougou*** *35*
   - *2.1. Présentation du site* *36*
   - *2.2. Un espace mobile*

3. ***Le programe de recherches "Peuplement humain et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest"*** ***4***
   - *3.1. Présentation du programme* *41*
   - *3.2. Présentation des données archéologiques* 45

4. ***Une démarche géographique et géoarchéologique*** ***57***
   - *4.1. Le "Paysage" des géographes* *57*
   - *4.2. L'approche géoarchéologique* *64*
   - *4.3. Les emboîtements d'échelles spatio-temporelles* 66
   - *4.4. Les approches méthodologiques* 70

2 *Vers une chronostratigraphie à haute résolution* ***93***

1. **La méthodologie** **96**
   - *1.1. Un étude spatio-temporelle des dépôts sédimentaires : la stratigraphie* *96*
   - *1.2. Terminologie des formations stratigraphiques* *96*
   - *1.3. Chronologie & méthodes de datation* *97*
   - *1.4. Vers une chronostratigraphie globale de la vallée du Yamé à l'Holocène* *101*

2. **La chronostratigraphie des 2 derniers millénaires avant notre ère** **104**
   - *2.1. Chronostratigraphie de la Rive Droite du Yamé* *104*
   - *2.2. Chronostratigraphie de la Rive Gauche du Yamé* *118*

3 **Chronostratigraphie des deux derniers millénaires** **134**
   - *3.1. Chronostratigraphie du Chenal du Detarium* *134*
   - *3.2. Chronostratigraphie du Ravin Sud et du site des Unio* *136*

4. **Originalité des quatre derniers millénaires dans la chronostratigraphie globale de l'Holocène** **149**

3 *Analyses des formations fluvio-palustres et des fonctionnements hydro-sédimentaires* **153**

1. Des analyses granulométriques **156**
1.1. La méthodologie *156*
1.2. De l'échantillonnage aux analyses granulométriques *157*
1.3. Caractérisation granulométrique des dépôts laminés *157*
1.4. Caractérisation des fonctionnements et des milieux hydrosédimentaires *162*

2. Des analyses micromorphologiques **165**
2.1. Méthodologies *165*
2.2. Caractérisation micromorphologique des dépôts laminés *173*

3. Vers l'établissement d'un modèle fluvio-palustre saisonnier **177**
3.1. Des enregistrements saisonniers ? *177*
3.2. Des dépôts rythmés, saisonniers et … varvés ? *181*

4. Différents enregistrements saisonniers depuis les quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé **183**
4.1. Quels sont les enregistrements avant le quatrième millénaire avant notre ère ? *183*
4.2. Quels sont les enregistrements saisonniers durant les deux millénaires avant notre ère ? *183*
4.3. Quels sont les enregistrements saisonniers ces deux derniers millénaires ? *206*

4 *Analyses des paysages végétaux et de leurs évolutions* **217**

1. L'émergence récente des paysages végétaux de la vallée du Yamé **220**
1.1. Une approche quantitative de la dynamique des paysages végétaux *220*
1.2. Une approche qualitative de la dynamique des paysages végétaux *224*
1.3. Les facteurs explicatifs *225*

2. Les analyses paléobotaniques de la vallée du Yamé **232**
2.1. Les analyses palynologiques *233*
2.2. Les analyses paléo-anthracologiques et carpologiques (résultats des analyses par B. Eichhorn & K. Neumann) 252

3. Les études du signal incendie **260**
3.1. Les intérêts du signal incendie *260*
3.2. Une approche multi-méthodologique *261*
3.3. Vers l'établissement d'un modèle saisonnier des feux ? *268*
3.4. Quels sont les enregistrements saisonniers des feux depuis 4 000 ans ? 278
3.5. Interprétations du signal incendie dans la vallée du Yamé *284*

4. Construction d'une histoire des paysages végétaux de la vallée du Yamé **287**

5 *Synthèses spatio-temporelles des dynamiques paysagères* **297**

1. Du local au global : La vallée du Yamé, un site de référence en Afrique de l'Ouest **300**
1.1. Apports de nos analyses à la connaissance des dynamiques et forçages hydro-climatiques *300*
1.2. Apports de nos analyses à la connaissance des dynamiques et forçages anthropiques 314

2. Quatre mille ans de trajectoire des paysages de la vallée du Yamé **325**
2.1. Vers une vallée du Yamé anthropisée … *326*
2.2. Une vallée du Yamé fortement humanisée et fragilisée *334*

Conclusion générale **343**

Bibliographie 351

Annexes 385
(Carte A3 : sites de la vallée du Yamé et cadre chrnonostratigraphique depuis 4000 ans) 409

Tables des figures 411

Table des planches photographiques 413

Table des matières 414

Introduction Générale

Photographie : E. Martinez, 2004
Les membres du Programme de recherche
"Paléoenvironnement et Peuplement en Afrique de l'Ouest", sur le site d'Ounjougou

"Dès le Néolithique, la fabrication du paysage par l'homme est telle que le statut du site étudié, sa fonction dans un système économique, doivent largement expliquer les transformations ambiantes de l'environnement. Il y a donc une relation permanente à approfondir entre activités humaines et évolution du milieu qui conditionne toute la compréhension de la recherche"

J. Guilaine, 1993

Une approche personnelle :

Étudier les paysages et leurs dynamiques en Afrique de l'Ouest s'inscrit dans la continuité de recherches menées préalablement au doctorat. D'abord séduit par l'attrait de ces paysages et par les liens tissés avec les différentes sociétés africaines, je suis aujourd'hui, intellectuellement et humainement profondément attaché à ces populations et ces milieux. Mes premières études sur des paysages ouest africains ont été effectuées, il y a plus de sept ans, lors d'un diagnostic des dynamiques environnementales au cours du vingtième siècle dans une région sahélienne de la Mauritanie (lac de Mâl dans le Brakna), dans le cadre d'une recherche de maîtrise, dirigée par Aziz Ballouche (Le Drézen, 2001). Dès les premiers contacts avec cet environnement et lors des différents entretiens que j'ai menés, les paysages de l'Afrique de l'Ouest me sont apparus comme étroitement liés aux sociétés et à leurs évolutions et très éloignés des discours médiatiques pour grand public. Les paysages africains sont encore souvent abordés soit sous un angle naïf de l'harmonie des hommes et de leur environnement, soit par le biais d'un certain catastrophisme réducteur : dégradations du milieu, grandes sécheresses, "avancée inexorable du désert" (…). D'autres images sont souvent véhiculées par les médias audiovisuels sous forme de représentations, comme celles du documentaire animalier avec ses visions de la "nature sauvage" dans des savanes complètement désertées de leurs populations. S'interroger sur les paysages en Afrique équivaut donc à comprendre et étudier ces milieux en tenant compte de leur évolution et du lien étroit existant entre l'histoire des hommes et celle des différents éléments de la nature, afin de dépasser ces images stéréotypées et ces clichés.

Des recherches doctorales en géographie dans le Pays dogon, au Mali, sont l'occasion d'adopter une approche approfondie de ces paysages, appuyée d'abord sur de nombreuses missions permettant de s'imprégner du terrain et de lier des contacts précieux avec les villageois dogon. Le site archéologique d'Ounjougou dans la vallée du Yamé et les villages environnants (Gologou Da, Gologou Djoï, Kokolo…) ont été le terrain de cette expérience. Des liens humains et amicaux ont permis de réaliser de nombreuses enquêtes, qui au premier abord, paraissaient compliquées. Le fait de discuter avec les maîtres des terres, les chefs de villages et des nombreuses personnes âgées est très formateur, enrichissant et précieux pour développer ses propres idées de recherches sur les paysages, comme le déclarait Amadou Hampaté Ba à l'U.N.E.S.C.O. en 1960 "*en Afrique, quand un vieillard meurt, c'est une bibliothèque qui brûle*". Etudier les paysages africains s'est avant tout, pour nous, nous

intéresser aux hommes, à leur vie, à leur territoire et à leur histoire. D'ailleurs, G. & C. Bertrand, en 1991, écrivaient "*la nature en géographie, c'est d'abord de l'espace, un espace de moins en moins naturel et de plus en plus anthropisé*". Cette recherche se place ainsi dans la perspective des différentes questions qui restent en suspens, sur la part des facteurs naturels et anthropiques dans les dynamiques paysagères. Comment ont réagi et évolué les paysages végétaux parallèlement au développement des différentes civilisations qui ont occupé ces régions au cours des millénaires ? Depuis quand et sous quelle forme le rôle des sociétés est-il un facteur de dynamique des paysages ? Quels en sont les outils ou les leviers ? Comment les évolutions climatiques ont-elles pu interagir avec les sociétés africaines dans ces différents processus ? Quelles ont été leurs différentes modalités, en particulier depuis les débuts de l'agriculture en Afrique de l'Ouest ? Comment évoluent encore les paysages actuels de la vallée du Yamé ? Quelle part d'héritage du passé peut-on encore y lire ? Que peut être la place de ces paysages dans les préoccupations patrimoniales actuelles ?

Les objectifs de la recherche :

La recherche présentée dans cette thèse a pour **objectif général** de comprendre la genèse des paysages et les changements qu'ils connaissent, à un moment de leur histoire où les sociétés commencent à intervenir de façon intensive sur le milieu. Cette étude souhaite contribuer à la connaissance des paysages africains en tant qu'entité duelle, naturelle et culturelle, soumise à la fois à l'action des sociétés et aux dynamiques bioclimatiques. A partir d'un exemple en domaine soudano-sahélien, au Mali, elle souhaite initier une comparaison avec des échelles variées, allant de celle du Pays dogon à celle de l'Afrique de l'Ouest. Cette approche des dynamiques paysagères depuis quatre milles ans s'appuie par ailleurs sur une étude des paysages actuels afin de comprendre au mieux la part des héritages. Le va-et-vient permanent entre passé et actuel est indispensable pour saisir à la fois l'enracinement des paysages culturels dans l'histoire et comprendre les logiques anciennes de leur fonctionnement des paysages, fortement conditionnées par les tentatives de maîtrise de différents éléments de la nature par les hommes.

Cet objectif général, auquel nous répondrons à la fin de cet ouvrage dans une cinquième partie, se décline ensuite en plusieurs **objectifs spécifiques**, qui correspondent aux différentes parties analytiques dans la recherche. Ainsi trois approches sont nécessaires dans ce travail, connaître la chronostratigraphie du milieu (Partie 2), décrypter les environnements

sédimentaires pour comprendre les fonctionnements hydro-sédimentaires de la vallée (Partie 3) et connaître les évolutions et les dynamiques des paysages végétaux (Partie 4). En croisant *in fine* les différentes données acquises, nous pourrons ainsi répondre à notre objectif principal.

Il nous a fallu ainsi faire émerger une problématique propre et bien ciblée, dont nous partageons de nombreux questionnements en tant que géographe avec les archéologues, les anthropologues, les naturalistes ou les gestionnaires du patrimoine. Même si les recherches géographiques sur l'histoire des paysages en Afrique de l'Ouest demeurent encore assez rares. Les études sont plus nombreuses sur l'écologie des milieux de savanes (Aubréville, 1949 ; Riou, 1990 ; Adjanohoun, 1985, 1987 ; Fournier & Floret, 2001 ; etc.) et sur leur histoire (Maley, 1977, 1989, 1996, 2003 ; Schultz, 1991 ; Schultz & Pomel, 1992 ; Lézine, 1987, 1989 ; Ballouche, 1998, 2001, 2002 ; Neumann, 1989, 2002, 2003 ; Salzmann, 1999, 2000 ; etc.), complétées par les grandes monographies géomorphologiques régionales (Tricart, 1965 ; Daveau, 1959 ; etc.) et les grandes reconstitutions paléoclimatiques, des enregistrements lacustres et marins (Servant, 1983 ; Gasse, 2000, 2005 ; Dupont & al., 1989, 2000 ; deMenocal & al., 2000 ; Maley, 1977, 1981, 2004 ; etc.) ou des carottages marins (Dupont & al., 1989, 2000 ; Hooghmiestra & al., 2006 ; etc.).

Ces recherches ont contribué à mieux connaître les changements climatiques et les paléoenvironnements continentaux au cours de l'Holocène et de reconstruire des paysages végétaux. Parallèlement, les recherches archéologiques, entre autres celles localisées au Mali au Pays dogon (avec l'équipe d'E. Huysecom, 1996, 2007, Huysecom & al., 2002, 2004, 2006, 2007) dans le Delta du Niger (McIntosh, 1995, 2000, 2006), dans le Gourma (McDonald, 1996, 1997), ou au Burkina Faso (Kietega, 1993 ; Wotzka, 1991 ; Magnavita, 2003 ; etc..), au Nigeria (Breunig, 2007, Breunig & al., 1996) ou au Niger et en Mauritanie (Vernet, 1995) ont également permis de comprendre l'ancienneté du peuplement holocène en Afrique de l'Ouest et ses caractéristiques culturelles et économiques au cours des derniers millénaires. C'est dans cet espace qu'est apparue la plus ancienne céramique d'Afrique de l'Ouest (au 10-9ème millénaire avant notre ère, dans la vallée du Yamé, à Ounjougou) bien que la domestication des céréales semble y être intervenue plus tard (2ème millénaire avant notre ère).

Dans le cadre des travaux antérieurs et des nombreuses recherches doctorales soutenues en France et ailleurs, des **méthodes analytiques spécifiques,** complétant la géologie, la géomorphologie ou l'archéologie, ont souvent été développées : sédimentologie, géochimie, paléolimnologie, micropaléontologie, palynologie, etc… Mais rares sont les approches systémiques, surtout dans la deuxième moitié de l'Holocène, intégrant la part de complexité

qui sous-tend le fonctionnement des hydrosystèmes et les dynamiques de paysages végétaux, croisant le rôle des facteurs climatiques et anthropiques. La difficulté de prendre en charge scientifiquement cette complexité des processus, aboutit souvent au constat qu'il devient impossible sur les derniers millénaires de décrypter ce qui est déterminé par le climat, de ce qui relève du rôle des hommes.

Pour contourner cette difficulté dans le cadre de notre démarche géographique, les paysages sont conçus dans **la logique des théories géosystémiques**. Elles postulent que "les éléments abiotiques, biotiques et anthropiques sont en combinaison territoriale et interagissent entre eux, mais le rôle des sociétés humaines y est considéré à *priori* comme faisant entièrement partie du système et non comme un élément extérieur et perturbateur, introduit à *posteriori"* (Bertrand & Bertrand, 2002). L'intérêt de cette approche est la prise en compte du rôle des sociétés, comme un facteur dominant de la production des paysages et non uniquement comme un facteur de dégradation de l'environnement, comme le notent Burel & Baudry (1999). A la suite de Georges et Claude Bertrand (2002), on peut donc dire que les paysages sont le résultat d'un "*système d'évolution anthropique (qui) déménage, aménage et ménage les systèmes bio-physiques. La différenciation entre les systèmes résulte des différentes combinaisons diachroniques et synchroniques entre les éléments écologiques puis les éléments sociaux*". Cela justifie l'intitulé de la thèse : "Dynamiques des paysages de la vallée du Yamé depuis quatre mille ans. Contribution à la compréhension d'un géosystème soudano-sahélien" ; le géosystème exprimant l'espace-temps de l'environnement anthropisé.

Une approche géographique et géoarchéologique :

Pour autant, l'approche systémique globale est appuyée par une connaissance des paysages actuels et de leur fonctionnement et par des études géoarchéologiques. Cette **démarche géoarchéologique** qui se situe à la croisée des recherches géographiques, paléoenvironnementale et archéologique est loin d'être encore couramment pratiquée en Afrique de l'Ouest, en milieu de savane soudano-sahélienne, bien que son intérêt et ses apports soient largement reconnus en milieu tempéré et méditerranéen (Jorda, 1993 ; Minzoni-Deroche & Sanlaville, 1988 ; Provansal & al., 1994 ; Berger, 1995, 1997 ; Leveau & al., 1997; Fouache, 2007 ; Allée & Lespez, 2007 ; Rasse, 2007 ; Lespez, 2007). Il n'est donc pas aisé de chercher des comparaisons avec d'autres données ouest-africaines, mais nous pouvons développer une réflexion commune originale sur les rapports entre les sociétés et

leur environnement. Les récentes recherches qui se préoccupent d'écologie ou d'archéologie des paysages sont cependant en émergence dans la région (Hahn-Hadjali & Schmid, 1999 ; Garine & al., 2003 ; Neumann *& al*., 2004 ; Ballouche & al., 2005 ; Eichhorn & Neumann, sous presse). Ces différentes tentatives font largement appel à la **transdisciplinarité**. Elles démontrent l'intérêt d'une telle démarche pour aborder les modifications des milieux au cours des quatre derniers millénaires, sous l'effet des forçages climatiques globaux (Gasse, 2000) et d'une emprise grandissante des sociétés qui ont progressivement maîtrisé la nature (Huysecom, 2007 ; Ballouche, 2002), en posant au centre la question de l'histoire des paysages d'Afrique de l'Ouest. Ainsi, nous souhaitons par cette recherche doctorale analyser à haute résolution les enregistrements hydro-sédimentaires et paléobiologiques, afin de déterminer par interprétations la part des sociétés et des climats dans les dynamiques des paysages dans la vallée du Yamé. Nos résultats ont ensuite été confrontés avec ceux des collègues du programme international "Peuplement humain et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest" coordonné par E. Huysecom, qu'ils soient botanistes, archéobotanistes, archéologues ou ethnologues, pour construire de réelles esquisses paysagères et des scénarii de leur évolution.

Afrique et Néolithique :

Pourquoi étudier les paysages depuis quatre mille ans ?

Les savanes ouest-africaines ont été occupées, exploitées depuis des milliers d'années par différents types de sociétés : des chasseurs-cueilleurs, des cultivateurs et/ou des pasteurs. La notion de **"Néolithique africain"** a longtemps fait débat parmi les archéologues. Pour simplifier, nous pouvons dire que deux visions se distinguent ou s'opposent. Pour la première, assez bien représentée par les écoles anglo-saxones (MacDonald & Allsworth-Jones, 1994 ; MacDonald, 1997 ; Breunig, 2007), le Néolithique correspond à la transition vers une économie de production, pratiquant une agriculture sédentaire qui se serait produite en Afrique de l'Ouest vers 2 000 avant notre ère. En revanche, selon E. Huysecom (2007), le Néolithique africain commence plus de 7 000 ans plus tôt, dès la production de la céramique, car les processus de "domestication" par les sociétés africaines débutent par une phase de spécialisation de cueillettes sélectives. Ce dernier stade, atteint par les chasseurs cueilleurs à partir du neuvième millénaire dans la vallée du Yamé (bien avant la sédentarisation et le passage à l'agriculture), pourrait donc correspondre aux prémices de la Néolithisation. Il inaugure aussi des rapports nouveaux des hommes à leur environnement, où la maîtrise du

milieu passe de plus en plus par l'utilisation d'outils puissants, comme le feu dont le rôle écologique et paysager est majeur (Dolidon & Le Drézen, 2005). Néanmoins, pour ce qui nous intéresse, les chercheurs sont d'accord sur le fait que le rôle déterminant des pratiques agraires en Afrique de l'Ouest commence vers 4000-3500 B.P., soit au cours de la première moitié du 2ème millénaire avant notre ère (Ballouche, 2002 ; Neumann, 2005). En même temps, de plus en plus de données paléoenvironnementales témoignent de changements climatiques marqués pour cette période dont les conséquences sont souvent considérées comme importantes (Maley, 1993, 2003 ; Gasse, 2005 ; Mayor & al., 2005). La recherche a donc également pour objectifs de comprendre les liens entre ces forçages climatiques et les sociétés, leurs impacts possibles sur les activités humaines, puis leurs conséquences sur les paysages. Ainsi, nous souhaitons à travers l'étude des paysages depuis 4 000 ans dans la vallée du Yamé montrer le rôle déterminant des sociétés dans les savanes, leurs différents impacts à partir des débuts de l'agriculture, jusqu'à son intensification contemporaine.

Pourquoi étudier la vallée du Yamé ?

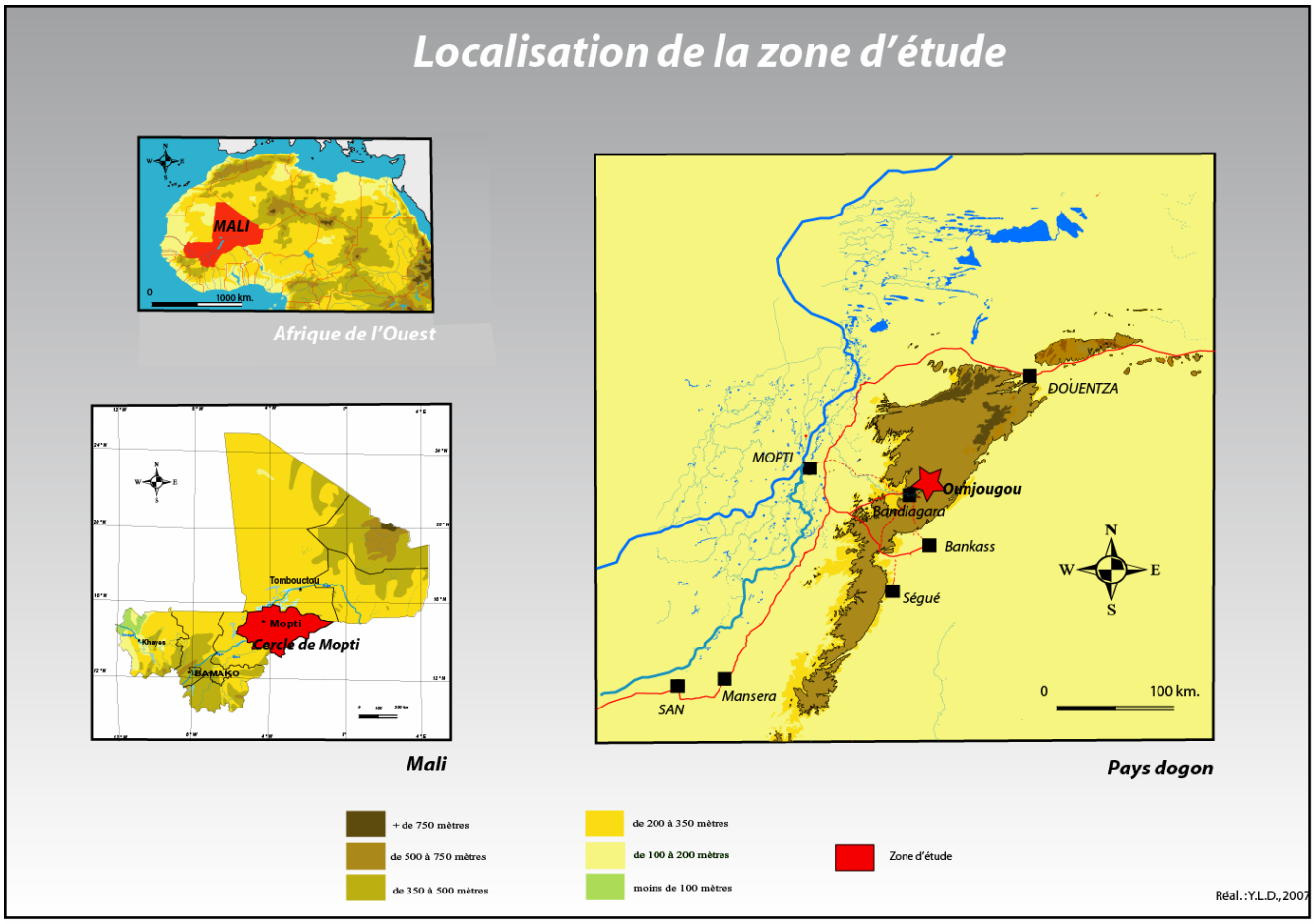


Figure n° 1 : Localisation de la zone d'étude

Le Yamé est le **principal cours d'eau du Pays dogon** (cf. partie 1). Il est localisé en domaine sahélo-soudanien, donc à la transition de deux domaines éco-climatiques, au Nord le domaine sahélien à longue saison sèche et au Sud le domaine soudanien, mieux doté en précipitations. Cette situation de zone charnière offre l'opportunité d'étudier l'impact de la mobilité de la mousson sur les sociétés et leurs agrosystèmes, où les oscillations de la Z.I.T.C. (Zone Intertropicale de Convergence) au cours de l'Holocène peuvent manifester des changements environnementaux discernables. En soi, la vallée elle-même correspond à un **objet géographique** majeur qui favorise l'enregistrement du fonctionnement du système fluvial et au-delà de l'ensemble du bassin versant depuis les milieux et des paysages du talweg (caractérisés par des écoulements permanents ou des formations palustres) jusqu'à ceux des plateaux gréseux dominant le Yamé. Or de fait, il n'existe à ce jour que peu de renseignements sur la réponse des systèmes fluviaux à l'évolution des paléoclimats. La zone d'étude correspond à la confluence de quatre rivières, appelé Ounjougou, qui a manifestement attiré et fixé les populations depuis des millénaires. La vallée du Yamé offre ainsi des conditions uniques pour l'étude des dynamiques d'un géosystème soudano-sahélien en Afrique de l'Ouest. En effet, il existe une multitude de sites archéologiques répartie le long du Yamé et de ses affluents, qui témoignent de l'occupation humaine très ancienne.

Les fouilles archéologiques ont permis d'identifier des indices des grands événements et des étapes de l'évolution des cultures préhistoriques et historiques : cinq phases d'occupation néolithique identifiées (Huysecom & al., 2004) ; une céramique qui apparaît dès le 10ème millénaire avant notre ère (entre 10500 et 9500 B.C., une des plus anciennes du monde ; Huysecom, 2007) ; une domestication des céréales avérée au 2ème millénaire avant notre ère et des civilisations protohistoriques et historiques ayant laissé des traces de leurs occupations (Mayor & al., 2005).

De plus, de nombreuses coupes naturelles sur les rives du Yamé se sont avérées d'une grande richesse en raison de leur contenu sédimentologique et paléobotanique ; la conservation de la matière organique y est exceptionnellement bonne. Par ailleurs, l'intérêt patrimonial des paysages de cet espace a depuis longtemps été souligné et valorisé depuis 1988 par l'U.N.E.S.C.O., avec un classement de la "Falaise de Bandiagara" sur la liste du patrimoine mondial, au double titre de ses biens culturels (Critère Vi) et de ses biens naturels (critère IIIi). Etudier les paysages du Pays dogon c'est aussi s'intéresser à l'un des paysages les plus célèbres d'Afrique.

Afin de répondre aux différentes questions et de respecter la démarche choisie, nous avons opté pour un plan thématique. La **première partie** a pour but de présenter le cadre et les contextes d'études, avec une présentation du site d'étude et des démarches scientifiques mises en œuvre dans la thèse et au sein du programme de recherche. Dans la **deuxième partie**, nous nous appuierons sur les observations stratigraphiques effectuées sur le site d'Ounjougou, afin d'établir un cadre chronostratigraphique à haute résolution de ces quatre derniers millénaires. La **troisième partie** est consacrée à l'analyse des formations fluvio-palustres et des fonctionnements hydro-sédimentaires à partir d'analyses granulométriques et micromorphologiques. La **quatrième partie** est une présentation des paysages végétaux et de leur évolution, à partir des méthodes palynologiques, anthracologiques, carpologiques et de l'analyse du signal incendie. La cinquième et **dernière partie** repose sur une synthèse des résultats avec une interprétation spatio-temporelle des paysages de la vallée du Yamé depuis quatre mille ans.

L'ensemble des recherches menées dans ce doctorat au Pays dogon s'est inscrit dans le cadre du programme international "Peuplement humain et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest" (Directeur : E. Huysecom) et du projet CAPHASS (responsable : A. Ballouche) du programme ECLIPSE-II ("Environnement et climat du passé : histoire et évolution", du C.N.R.S.). Ce travail s'inscrit également dans les thématiques générales de l'U.M.R. 6554 du C.N.R.S. (L.E.T.G., directeur : M. Robin).

Partie 1

Cadre géographique et contextes d'études

"La découverte du gisement d'Ounjougou
sur le plateau Dogon bouleverse toutes nos connaissances
sur le peuplement de l'Afrique de l'Ouest"

(Huysecom, 2002)

Une étude de la dynamique des paysages de la vallée du Yamé au cours des quatre derniers millénaires nécessite de fixer le contexte de travail et une présentation du cadre d'étude, par une présentation géologique, géomorphologique et hydroclimatique.

Une description des paysages actuels et de la société dogon permet également une meilleure approche du milieu environnemental, nous présenterons ici la zone d'étude, le site d'Ounjougou, principal lieu de fouilles du programme international "Peuplement et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest".

Enfin, notre démarche scientifique dans cette recherche doctorale nécessite de préciser notre positionnement conceptuel dans les disciplines géographiques, géoarchéologiques et de cadrer nos choix méthodologiques sur le terrain et en laboratoire.

1

1. Cadre et contexte d'étude : le Plateau dogon

Le Plateau dogon (appelé aussi Plateau de Bandiagara) est localisé dans le centre du Mali, dans la région de Mopti, au cœur du Pays dogon (figure n° 2). Il se démarque des autres ensembles géographiques de la région par sa position topographique et ses altitudes. Les altitudes du plateau varient entre 400 et 700 mètres et sont supérieures à 700 mètres dans sa partie Nord-Est (1 080 mètres, vers Dyoundé). Autour du plateau, les altitudes sont inférieures ou proches de 300 mètres, comme dans le Delta Intérieur du Niger (240 mètres) à l'Ouest et au Nord, l'erg de Niafounké (300 mètres) au Nord, la plaine du Séno (280-300 mètres) à l'Est et au Sud. Seuls les monts Hombori au Nord-Est sont plus élevés avec 1 155 mètres d'altitude.

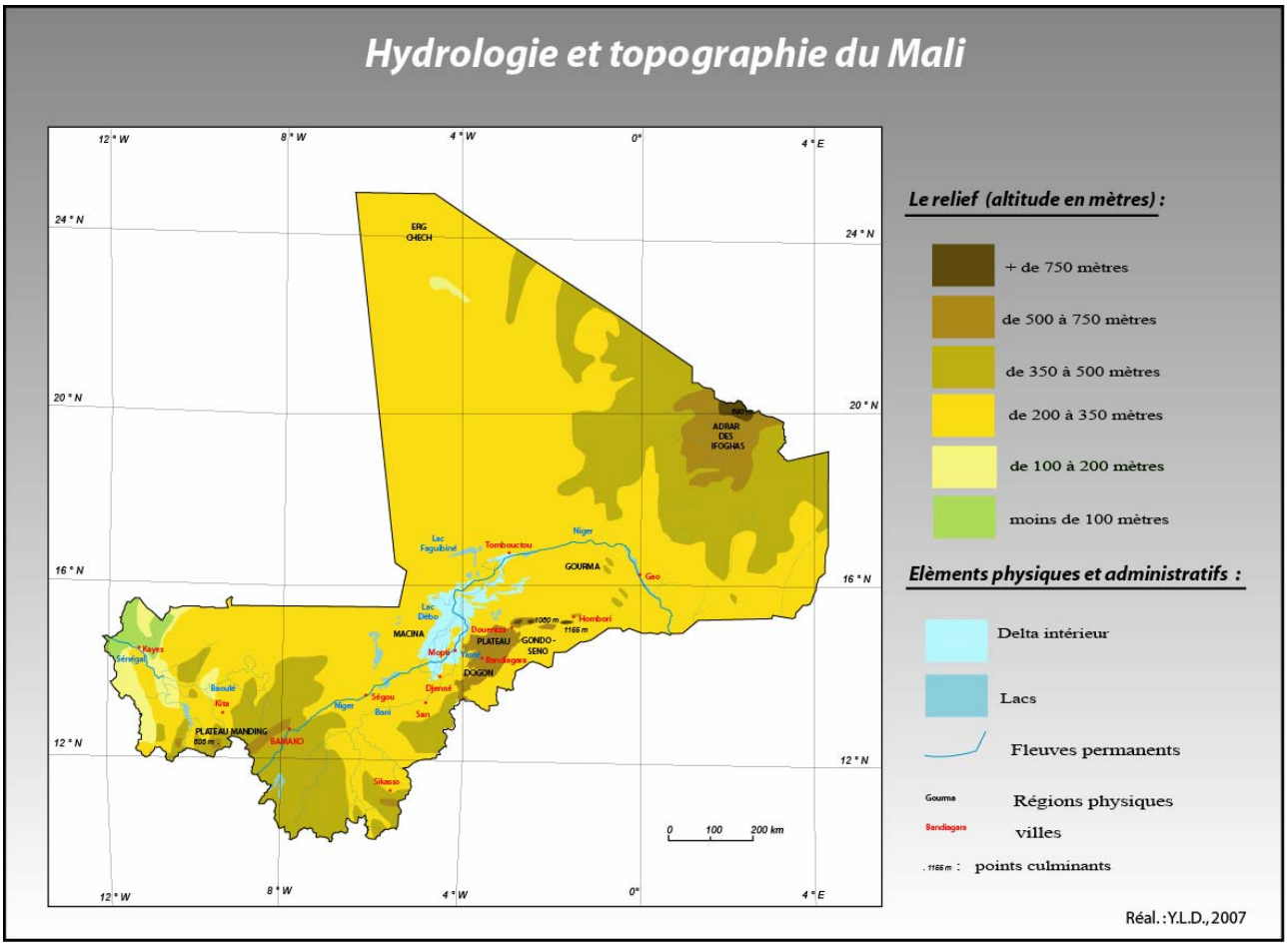


Figure n° 2 : Hydrologie et topographie du Mali

Le plateau s'étend le long d'un axe Nord-Est / Sud-Ouest (cf. figures 1 & 3) et sa largeur varie de 80 kilomètres dans la partie Nord à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest de Bankass. Cet ensemble topographique correspond un vaste ensemble de grès durs, incliné vers l'Ouest et limité à l'Est par la "Falaise de Bandiagara". Cet escarpement rocheux, bien rectiligne (corniche abrupte surplombant une pente de 40° jonchée de blocs éboulés), offre une dénivelée comprise entre 150 et 200 mètres (cf. figure n° 3). L'abrupt vertical domine un talus d'éboulis et la plaine du Séno. Localement le pied de la falaise est occupé par des vallées qui s'y écoulent parallèlement, ainsi que par des dunes qui recouvrent une grande partie de l'abrupt. A l'Ouest, le plateau est recouvert progressivement par les alluvions du Delta Intérieur du Bani-Niger ; au Nord-Est, il se morcelle en buttes isolées qui s'alignent selon une direction W.S.W./E.N.E.

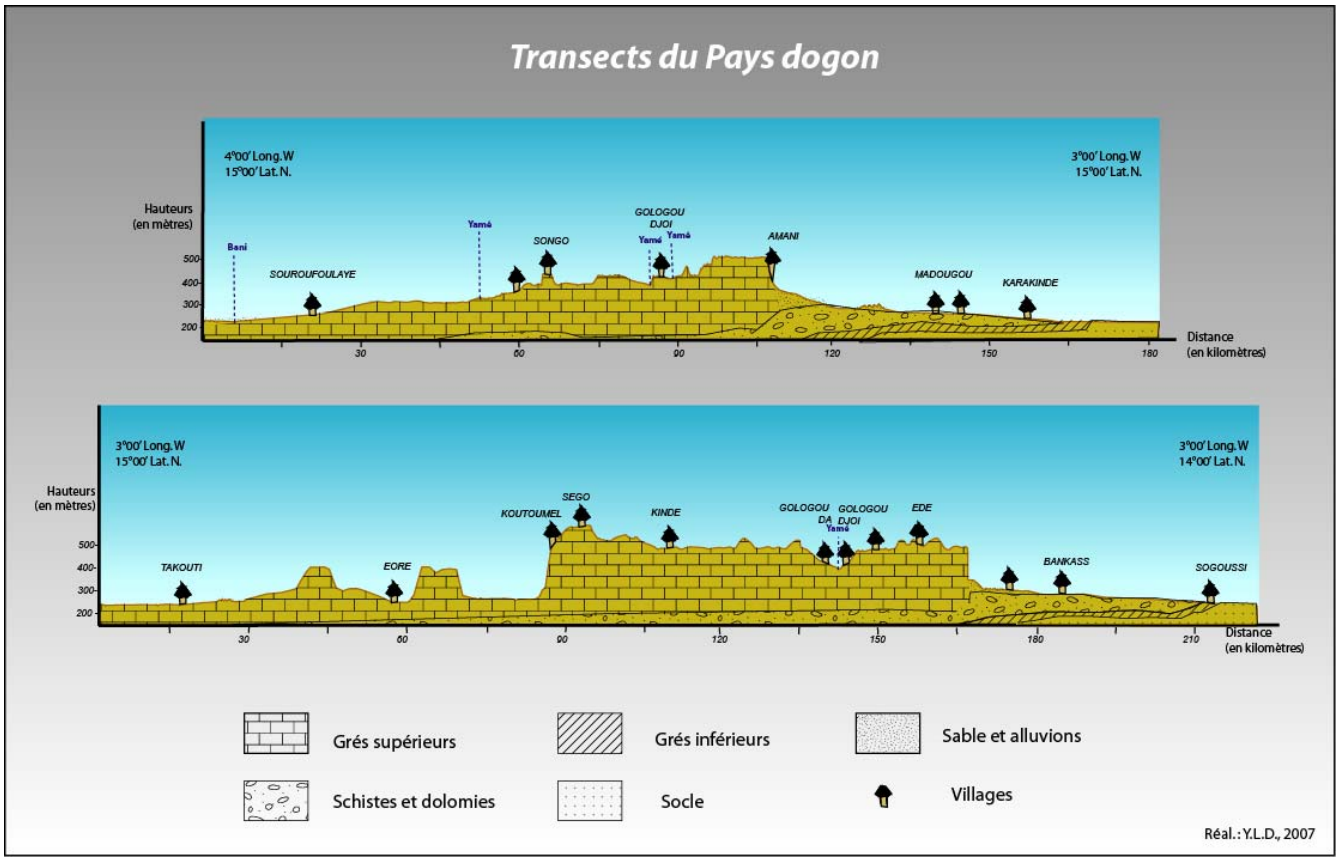


Figure n° 3 : transects du Pays dogon

La topographie du plateau de grès correspond à de vastes surfaces horizontales ou subhorizontales (cf. figure n° 3) qui engendrent une relative monotonie des paysages. Les surfaces sont en général étagées avec des reliefs résiduels parfois plus élevés. Des barres gréseuses et des corniches peuvent dominer le plateau de plusieurs dizaines de mètres. Des

formations superficielles en particulier du Quaternaire forment des glacis, dans lesquels des vallées entaillent profondément les grès.

1.1. Cadre géologique et géomorphologique du plateau

Le Plateau dogon a fait l'objet de recherches géomorphologiques, par S. Daveau (1959) et G. Beaudet & al. (1981) et plus récemment par les travaux de M. Rasse (Rasse & al., 2004, 2005, 2006).

1.1.1. Présentation d'ensemble

Le Plateau dogon est un massif dont l'origine morphostructurale est très ancienne. Il appartient aux plateaux gréseux qui forment l'ossature principale du Mali avec les Monts Mandingue et dont la formation des grès remonte au Précambrien Supérieur et au Paléozoïque. Son étendue géologique est plus vaste car cette formation gréseuse correspond à l'extrémité septentrionale des reliefs tabulaires de Sikasso, au Sud du Mali et de Banfora, au Burkina-Faso (cf. figure n° 2). Le plateau présente une nature lithologique caractéristique car il est composé de grès conglomératiques très durs (cf. figures n° 2 & 3). D'après Keita (1987), trois faciès de grès peuvent être distingués.

La formation la plus ancienne est nommée "formation de Bandiagara". Elle est composée de grès-quartzites, hétéro-granulaires moyens à grossiers. Des stratifications obliques sont présentes. L'épaisseur de cette formation est de 500 mètres au maximum (cf. figure n° 3). La formation de "Sossari" débute sur celle de Bandiagara par un membre argileux d'une dizaine de mètres environ, micacé, avec des intercalations de grès fins en plaquettes. Ce membre est surmonté par 45 à 100 mètres de grès-quartzites hétéro-granulaires très fins ou moyens. La dernière formation, celle de "Songo", comprend également dans sa partie inférieure une couche argileuse, d'épaisseur variant entre 17 et 25 mètres, pour l'essentiel composée de grès-quartzites hétéro-granulaires. Elle constitue le terme le plus élevé de la série stratigraphique sur le plateau. Son épaisseur maximale observée atteint

environ 120 mètres à Baboye. Les grès sont des roches peu plastiques, ils enregistrent des déformations tectoniques en se fissurant.

Les fissures forment des faisceaux de diaclases monodirectionnelles. L'ensemble du Plateau dogon a été déformé sous l'effet de poussées tectoniques latérales en un synclinal très plat d'orientation Nord-Est (Keita, 1987). Ces mouvements post-ordoviciens ont provoqué simultanément de profondes fractures orientées Est/Nord-Est qui expliquent les profondes entailles du relief. Ces lignes de fractures sont généralement limitées aux bordures du plateau ; l'ensemble du plateau est caractérisé par un réseau très serré de diaclases orientées Nord-Est déterminant le réseau hydrographique. Les failles et fissures forment un modelé quadrillé et losangique caractéristique nommé "*Checkerboard topography*" (Mainguet, 1972). Le plateau de grès a un pendage monoclinal infime, son escarpement correspond à un glint (Peulvast & Vanney, 2002). Avec le climat actuel, le grès soumis à l'attaque météorique se désagrège en sable (Daveau, 1959). L'altération des grès est visible sous forme de produits de la désagrégation granulaire (les sables) ou sous forme de fragments anguleux.

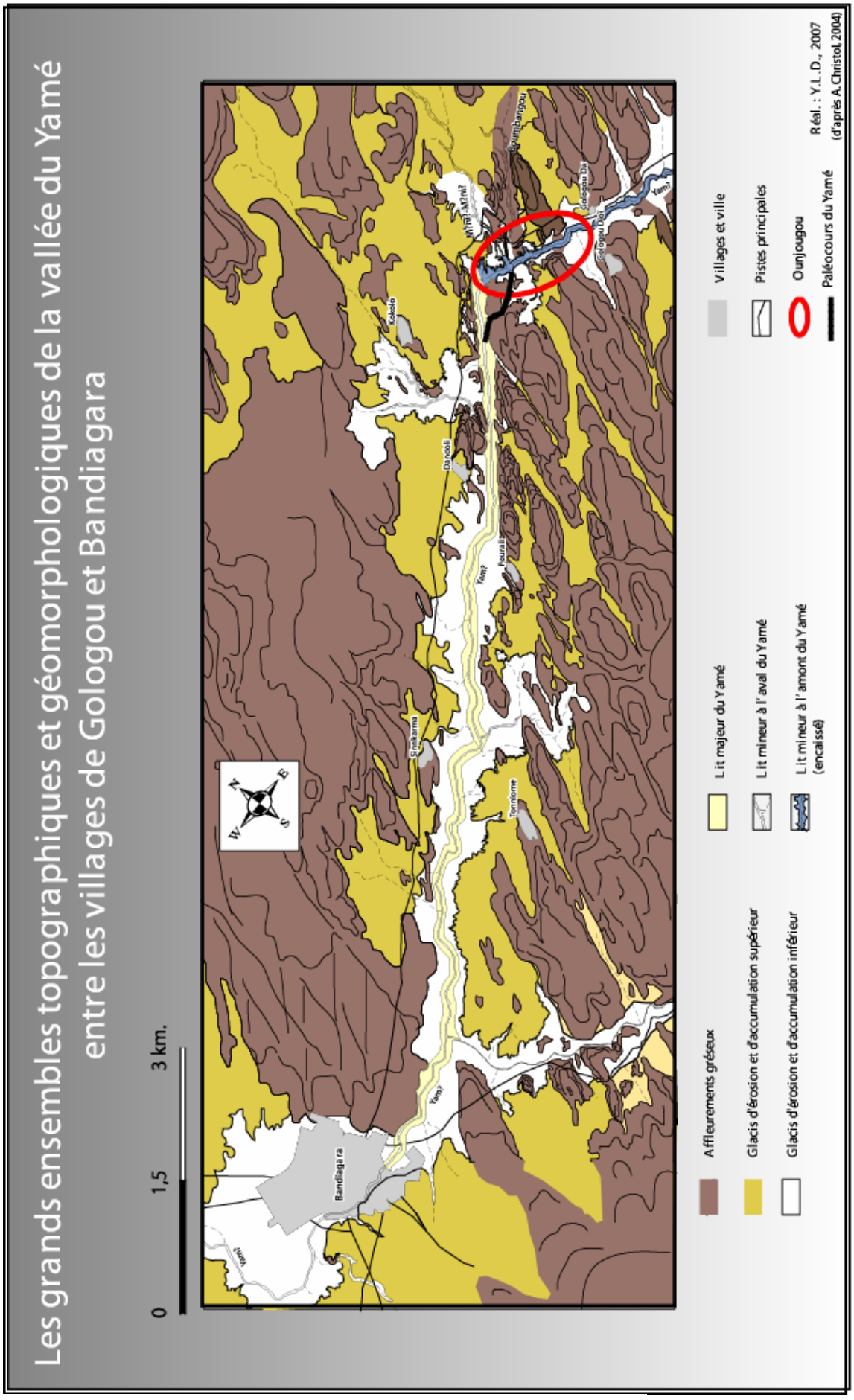


Figure n° 4 : Les grands ensembles topographiques et géomorphologiques de la vallée du Yamé

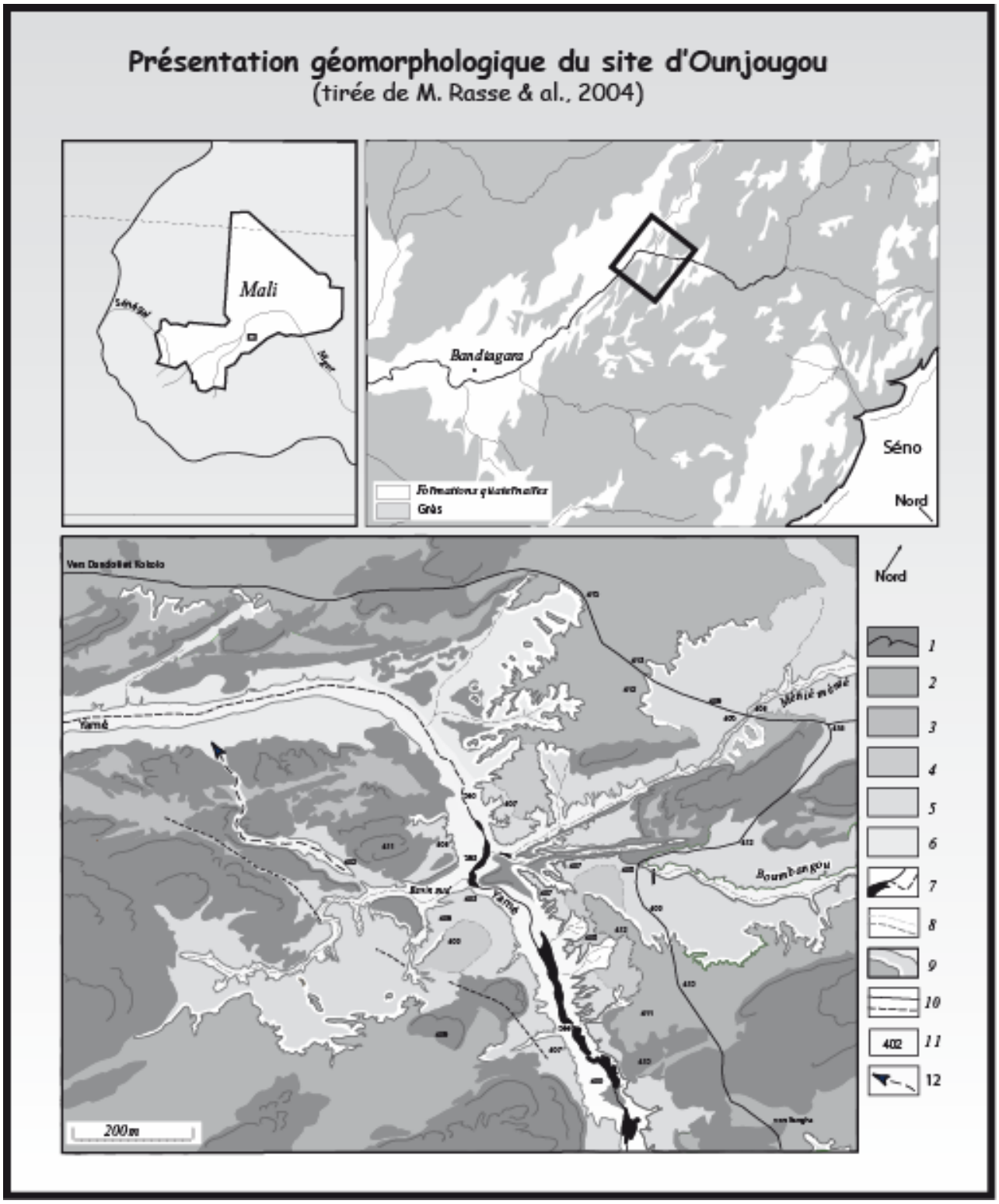


Figure n° 5 :présentation géomorphologique du site d'Ounjougou

Légende : 1. : Grès et corniches gréseuses ; 2. : Glacis d'érosion/d'accumulation supérieur ; 3. : Secteurs érodés sans distinction chronologique possible ; 4. : Terrasse holocène ; 5. : Glacis d'érosion/d'accumulation inférieur ; 6. : Matériel sableux ou limoneux des fonds de vallées ; 7. : Ecoulements pérennes/temporaires et mares permanentes ; 8. : Probables contacts stratigraphiques à rebord topographique plus ou moins estompé ; 9. : Rebords de terrasses ou de glacis de moins de 2m./de plus de 2m. ; 10. : Pistes actuelles et vestige de la piste coloniale ; 11. : Altitudes en mètres ; 12. : Paléocours du Yamé

1.1.2. Les formations superficielles du Plateau dogon : l'exemple d'Ounjougou

Différentes formations superficielles se sont déposées sur le substratum gréseux (Figures n° 4 & 5), dont la disposition et l'épaisseur varient en fonction de la fracturation des grès. Il est possible de rencontrer des cuirasses latéritiques dont la morphogenèse est ancienne, datant du Tertiaire pour les plus anciennes comme la cuirasse principale, notamment au Nord du Pays dogon (Beaudet & al., 1981) ou au Sud de Bandiagara (Huysecom & al., 2004). Il s'agit de formations assez rouges et indurées. La présence de ces formations latéritiques indique des paléoclimats, sans doute tertiaires, plus propices à leur élaboration. Ce type de modelé est aujourd'hui reconnaissable sur le plateau par des buttes tabulaires résiduelles de 10 à 20 mètres d'épaisseur.

Les formations superficielles (cf. figures n° 5 & 6) forment les glacis supérieur et inférieur correspondant à des dépôts sédimentaires du Quaternaire. La mise en place du glacis supérieur coïncide avec des dépôts pléistocènes, dont la chronostratigraphie a été décrite par Michel Rasse (Rasse & al., 2004 ; Lespez & al., accepté). Les plus anciennes formations remontent à plus de 60 000 ans et ne se trouvent que localement (à l'extrême amont des ravins actuels) (Rasse & al., 2004). Les grès ont été décapés des formations antérieures au stade isotpique 5. Seules quelques formations alluviales grossières et cuirassées ont été préservées (l'unité U1 ; Figure n° 6). La fin du Pléistocène supérieur (entre 55 et 30 000 ans) se traduit par un comblement progressif de la vallée, il s'agit de formations fines (silts) de couleurs ocre jaune avec quelques unités plus grossières. Ces formations correspondent à un comblement de la vallée formant une vaste plaine d'inondation, régulièrement parcourue par des écoulements très turbides. Le Pléistocène supérieur (entre 30 et 20 000 ans) correspond à une phase finale de remplissage, qui fut probablement caractérisée par un colmatage éolien même s'il existe peu d'informations sur cette période. Les dépôts témoignent d'un épisode humide entre 30 et 22 ka, précédant les dépôts éoliens de l'unité U7 (Figure n° 6), attribuable au dernier maximum aride (entre 22 et 17 ka).

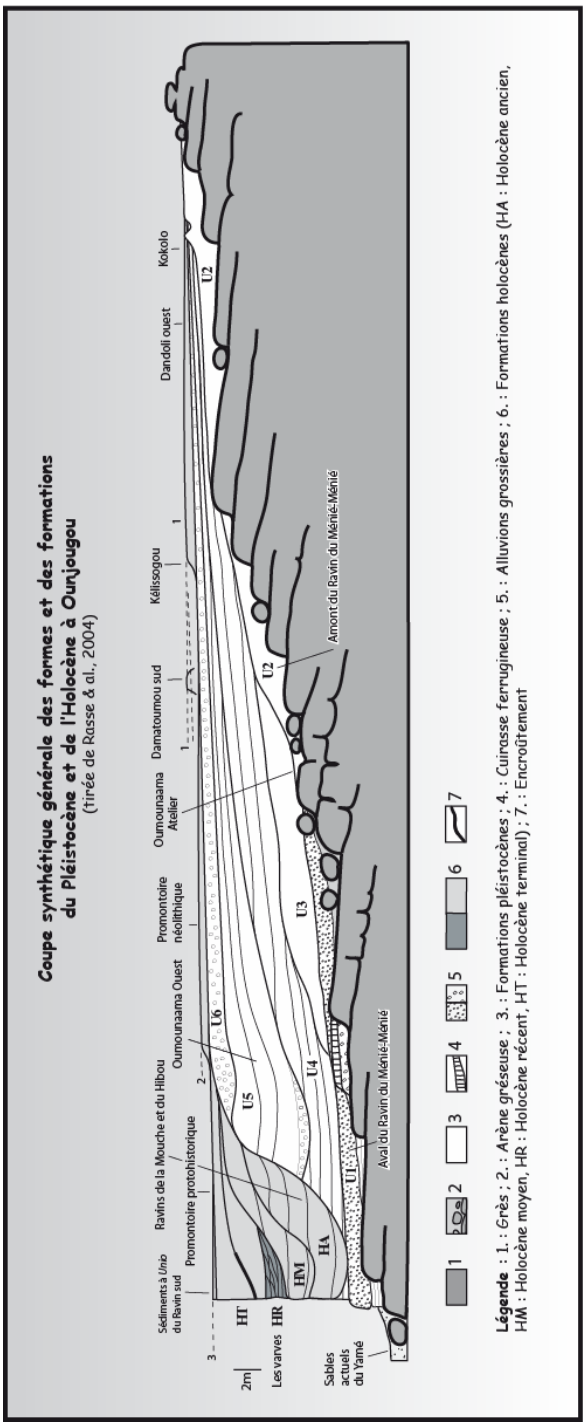


Figure n° 6 : Coupe synthétique générale des formes et des formations du Pléistocène et de l'Holocène à Ounjougou

Une incision verticale du glacis supérieur, dans les formations pléistocènes (Figure n° 6) s'est produite au début de l'Holocène ancien vers 11 500 avant notre ère à Ounjougou (Rasse & al., 2006 ; Lespez & al., accepté). Ensuite, l'essentiel de l'Holocène est caractérisé par un remblaiement de la vallée du Yamé dont les faciès changent nettement (Rasse & al., 2006 ; Le Drézen & al., soumis ; cf. figure n° 5). L'Holocène ancien (11 500 - 8 500 avant notre ère) est dominé par des formations alluviales litées et détritiques, ocre-rouge ou grises, avec des

interruptions de sédimentation plus fines. Les formations détritiques grossières et leur dispositif indiquent un lit du Yamé possédant une large bande active à banc sablo-graveleux, avec des formations localement de mares temporaires dans une plaine d'inondation. L'Holocène moyen et le début de l'Holocène récent (8 500 - 4 000 avant notre ère) correspondent à des dépôts de formations alluviales litées et détritiques (Figure n° 6), interrompues par des formations plus complexes de couleur grise à noire à forte teneur en matière organique carbonisée ou non (Lespez & al., accepté). Les dépôts de la fin de l'Holocène récent et de l'Holocène terminal font l'objet de ce travail de recherche, présentés dans les parties suivantes.

La stratigraphie étudiée, située à une quinzaine de kilomètres à l'amont de Bandiagara doit son accessibilité actuelle à une défluviation du Yamé par autocapture, survenue en 1936 (Rasse *& al.,* 2004, 2006 ; cf. figures n° 4 & 5). La modification hydrographique récente a permis au Yamé de retrouver son cours du début de l'Holocène en délaissant les corniches gréseuses qui limitaient son encaissement et d'inciser brutalement les formations antérieures (cf. partie 5). L'érosion régressive actuelle est très rapide provoquant des surfaces ravinées de type "*bad land*s" avec le recul perceptible lors de chaque saison des pluies des têtes de vallon. Le ravinement interne rend urgent l'étude du fonctionnement de l'Holocène récent et terminal, qui a d'ailleurs été en grande partie évacué lors des crues de l'hivernage 1936 et lors de la dernière saison des pluies entre juin et septembre 2007.

1.2. Les conditions hydroclimatiques du Plateau dogon

1.2.1. Le cadre climatique :

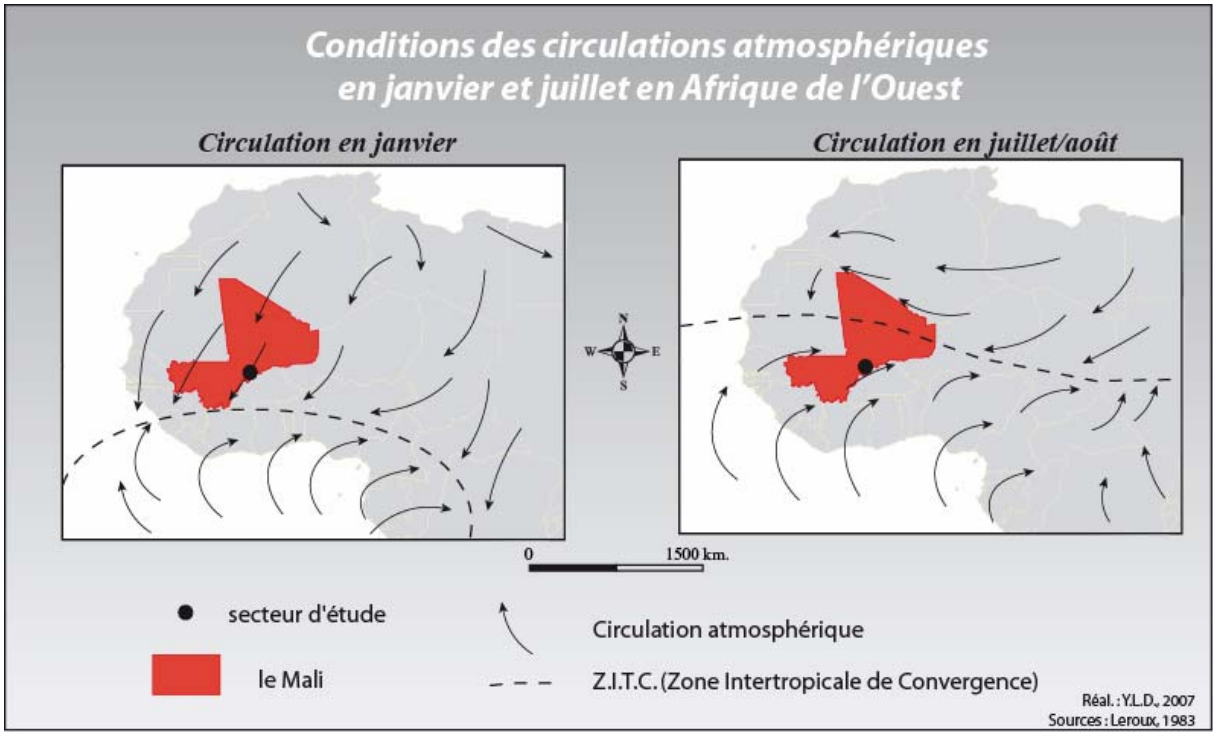


Figure n° 7 : Conditions des circulations atmosphériques en janvier et juillet en Afrique de l'Ouest

La région d'étude est soumise à un climat tropical à saisons alternées qui dépend des relations entre les deux grands anticyclones subtropicaux plus ou moins permanents dans chacun des hémisphères nord et sud, l'anticyclone du Sahara (provoquant l'Harmattan) et l'anticyclone de Sainte-Hélène responsable de la mousson (correspondant à un vent tiède et très humide de direction sud-ouest). La circulation tropicale (cf. figure n° 7) est déterminée par les Hautes Pressions Tropicales et par l'Equateur Météorologique (Leroux, 1983, 2004). Les flux de l'Afrique tropicale sont caractéristiques de la zone intertropicale avec ceux de alizés et de la mousson. L'alizé est un flux demeurant dans son hémisphère géographique d'origine, il est issu des Hautes Pressions Tropicales et se dirige en direction de l'Equateur Météorologique. Vent du nord-est, chaud et sec, l'Harmattan souffle de janvier à février. Il repousse vers le sud l'E.M.I. (Equateur Météorologique Incliné ou F.I.T. : le Front InterTropical), correspondant à la limite Nord de la Z.I.T.C. (la Zone InterTropicale de Convergence ou E.M.V., Equateur Météorologique Vertical). L'E.M.I. correspond aux pluies de types lignes de grains et se déplace sur une amplitude moyenne de 30°/20° Nord (juillet-

août) à 10° Sud (janvier-février). Durant les mois de juillet et août, l'E.M.I. se situe au nord du Mali. Ce mouvement engendre le flux de mousson qui franchit l'Equateur géographique en prenant une composante ouest/sud-ouest. Le flux d'origine maritime (atlantique) se continentalise progressivement et apporte de nombreuses précipitations sur le pays.

La ligne de front correspond au "couple" des deux masses d'air et forment la Z.I.T.C. (cf. figure n° 7). L'hivernage, saison des pluies, commence quand les masses d'air humides associées à la mousson Atlantique arrivent sur le pays. La durée de la saison des pluies est plus longue dans le Sud du Mali. La Z.I.T.C. est localisée de mai à août vers le Tropique du Cancer et en janvier, au nord du Golfe de Guinée. Entre novembre et février, les masses d'air froid arctique repoussent vers le sud les masses d'air tropical (anticyclones des Açores et saharien). La saison sèche commence en général en novembre et se termine en mars. Elle est caractérisée par la permanence de l'alizé continental (l'harmattan), entraînant des grandes masses d'air sèches sur le pays (Arnaud, 1980, 2001 ; Leroux, 1983, 2004 ; Riser, 1999).

Pour ce qui concerne les températures, dans notre région, la moyenne thermique annuelle est de 28,2°C (cf. figure n° 8). Les mois les plus chauds sont avril, mai et juin (moyenne de 33-35°C) et les plus frais sont décembre et janvier (moyenne de 23-25°C à Mopti). L'amplitude journalière, plus forte en saison sèche qu'en saison des pluies, peut atteindre 20 à 25°C. Les températures assez élevées d'octobre et de novembre sont de nature à accélérer le tarissement des cours d'eau.

La saison sèche dure neuf mois : d'octobre à juin. Août est le mois le plus pluvieux avec en moyenne 180 millimètres de précipitations (avec deux records en 1936, avec 398 millimètres et en 1965, avec 457 millimètres à Bandiagara). Le record pluviométrique depuis les cent dernières années a dépassé les 1 000 millimètres (1965 : 1 008 millimètres). L'essentiel des pluies en zone soudano-sahélienne résulte des lignes de grains ; les caractéristiques de ces vastes systèmes convectifs entraînent des variations spatiales importantes de la pluviométrie. L'évapotranspiration (l'E.T.P.) est très élevée dans la région, 2 290 millimètres en moyenne à Mopti (à une cinquantaine de kilomètres à l'Ouest de Bandiagara ; cf. figure n°8). Les valeurs de l'E.T.P. sont généralement fortes de mars à mai en raison de l'effet conjugué des fortes températures, de l'humidité atmosphérique plus faible et de l'effet de l'Harmattan. Ce phénomène important dans le bilan hydrique provoque un large déficit hydrique.

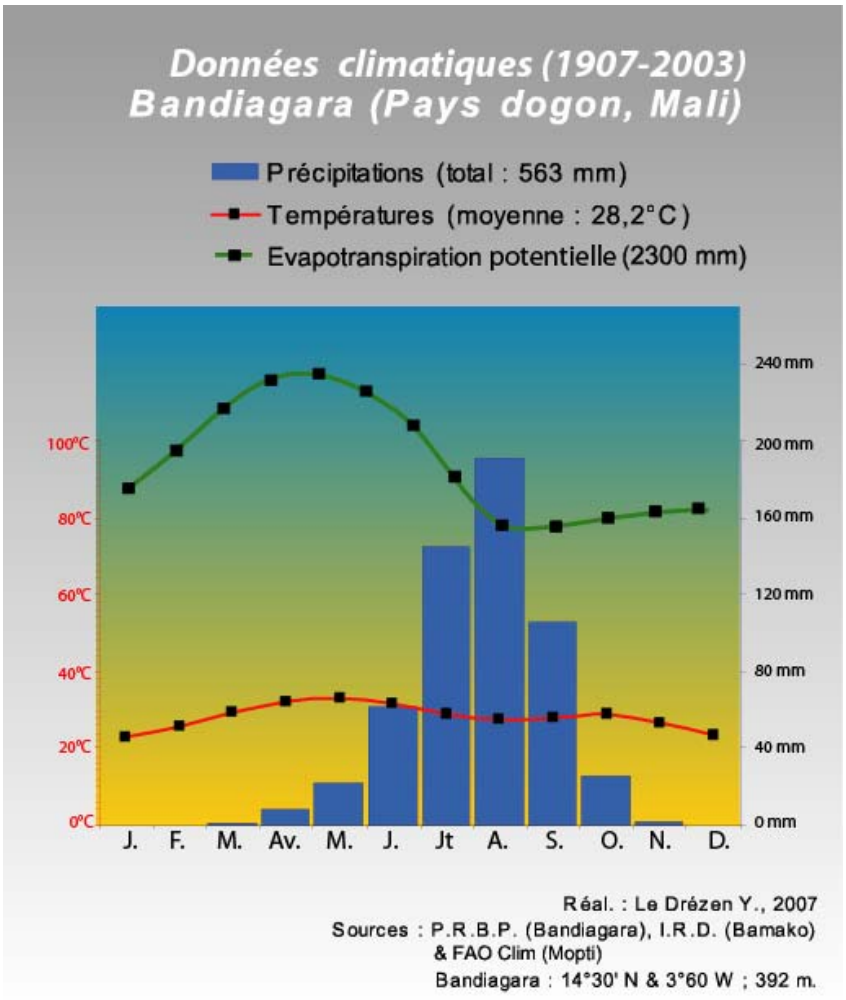


Figure n° 8 : Données climatiques de Bandiagara

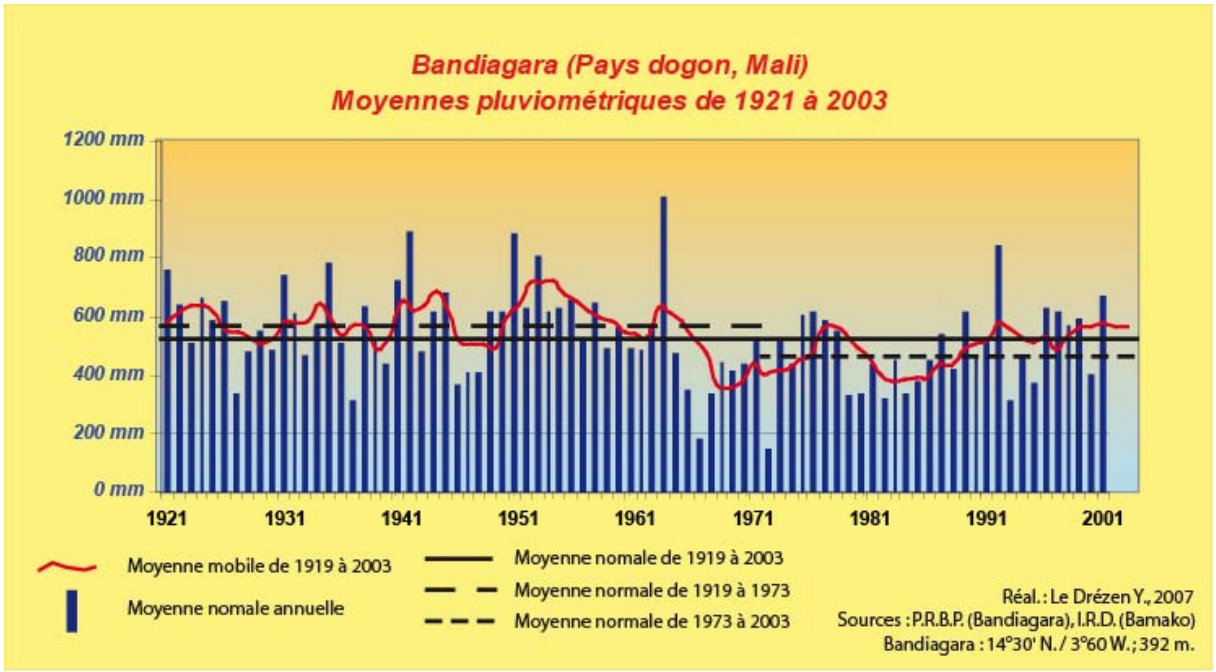


Figure n° 9 : Moyennes pluviométriques de Bandiagara, de 1921 à 2003

Les données climatiques pour le vingtième siècle sont nombreuses avec les différents rapports annuels du Cercle de Bandiagara et avec les différents écrits, lettres, photographies ou témoignages consultables au centre des Archives coloniales à Bamako (Koulouba). Les données pluviométriques (cf. figure n° 9) entre 1900 et 1919 ne sont pas continues, empêchant une analyse détaillée du début du siècle (les données entre 2003 et 2007 n'ont pu être obtenues lors des dernières missions de terrain). Les premières années entre 1905 à 1909 étaient très humides, avec des moyennes entre 645 et 701 millimètres. Les conditions se sont détériorées avec une très grande sécheresse dans les années 1910, où les données pluviométriques manquent, mais les récits sont nombreux. En 1911-1912, les nomades fuient vers le Sud du Mali et les écrits de J. Villeneuve (Rapport annuel 1911-1912, aux archives coloniales de Bamako) indiquent près de 250 à 300 000 morts dans le pays. En 1913-1914, la sécheresse empêche toute récolte de mil, sorgho, d'oignons ou de tabac obligeant les familles à s'éloigner des villages et à se nourrir de feuilles d'arbres. La sécheresse est appelée par les Peuls de la région (à Mopti) "*Kit'aa'Gaal*'" (la très longue année).

Les années vingt (cf. figure n° 9) sont nettement plus humides, avec des moyennes de 549 à 749 millimètres par an. Le début des années 30 est de nouveau sec avec moins de 400 millimètres de pluie, suivi d'une période très humide dont 1936 avec 785 millimètres. C'est au cours de cette année 1936 que le Yamé va connaître une défluviation par autocapture et reprendre le lit actuel qu'il avait abandonné au cours des derniers siècles (Mayor & al., 2005 ; Rasse & al., 2006). Cette "*Catastrophe*" a considérablement bouleversé les paysages de la vallée amont du Yamé. Des sécheresses plus courtes sont décrites pour les années suivantes, comme en 1938, avec 314 millimètres.

Il est intéressant de remarquer qu'il existe régulièrement des cycles climatiques humides et secs, entre les années vingt et soixante, d'environ cinq à sept ans. Cette tendance peut être toujours constatée ces dernières années. En effet au milieu des années 1920, 30, 40, 50, 60, 70 les précipitations sont importantes et dépassent régulièrement les 500-600 millimètres, voire les 800 comme en 1954, 1965 (avec 1 008 millimètres, record enregistré). Les phases sèches sont ainsi régulières à la fin des années 1920, 1940 et 1960 et sont très sévères dans les années 1910, 1930 et 1970-80.

Cette dernière grande sécheresse ayant affecté toute la région sahélienne a été fortement ressentie par la population et a eu de nombreux effets les systèmes de production comme sur les paysages. Ces grandes sécheresses des années 1970-1980 sont nommées dans la région "*Amadialamé*" (failli mourir).

La moyenne pluviométrique annuelle entre 1907 et 2003 est de 530 millimètres (cf. figure n° 9). Il existe de grandes fluctuations pluviométriques dans cette région soudano-sahélienne. La moyenne pluviométrique était au début du vingtième siècle supérieure à 550 millimètres. Au cours de la grande sécheresse des années 70-80, la moyenne était de 440 millimètres. La moyenne des précipitations entre 1989 et 2005 est de 501 millimètres. Depuis 1991, la pluviométrie s'est rapprochée de la moyenne du début du vingtième siècle avec près de 540 millimètres. Les années 2005 et 2006 ont même été parmi les plus humides depuis les soixante dernières années, avec des moyennes qui dépasseraient les 700 millimètres. Toutefois, les pluies sont très mal réparties avec de très grandes inégalités spatiales à grande échelle. Ainsi au Pays dogon, en 2006, il a été enregistré 302 millimètres sur la commune de Kani Gogouna (à proximité de la falaise, à 15 kilomètres au Sud-Est d'Ounjougou) et 693 millimètres à Ouo (à 20 kilomètres au Nord d'Ounjougou ; communications orales par Lassana Cissé).

1.2.2. Le réseau hydrographique :

Le régime hydrologique du Yamé est typiquement tropical, avec une période d'étiage en fin de saison sèche à l'amont (dès janvier à l'aval) et une période d'écoulements actifs d'août à octobre. Il n'existe pas de bilan hydrologique et de mesure des débits pour les cours d'eau de la région (le Bani ou le Yamé), une caractérisation sommaire est proposée à partir des observations de terrain.

La quasi-totalité du drainage superficiel (cf. figure n° 10) du territoire malien est assurée par les bassins du Haut-Sénégal et du Niger moyen. Long de 4 200 kilomètres (dont 1 700 au Mali), le fleuve Niger est l'un des plus grands fleuves d'Afrique. Il prend sa source dans la dorsale guinéenne d'où il tire l'essentiel de son débit, car à l'exception du Bani et du Yamé, il ne reçoit plus aucun affluent jusqu'à Niamey. En aval de Ségou, le fleuve entre dans le Delta Intérieur, qui correspond à une très vaste plaine d'épandage à très faible pente où l'inondation peut s'étaler. La zone humide atteint près de 20 000 km² durant les années de précipitations moyennes.

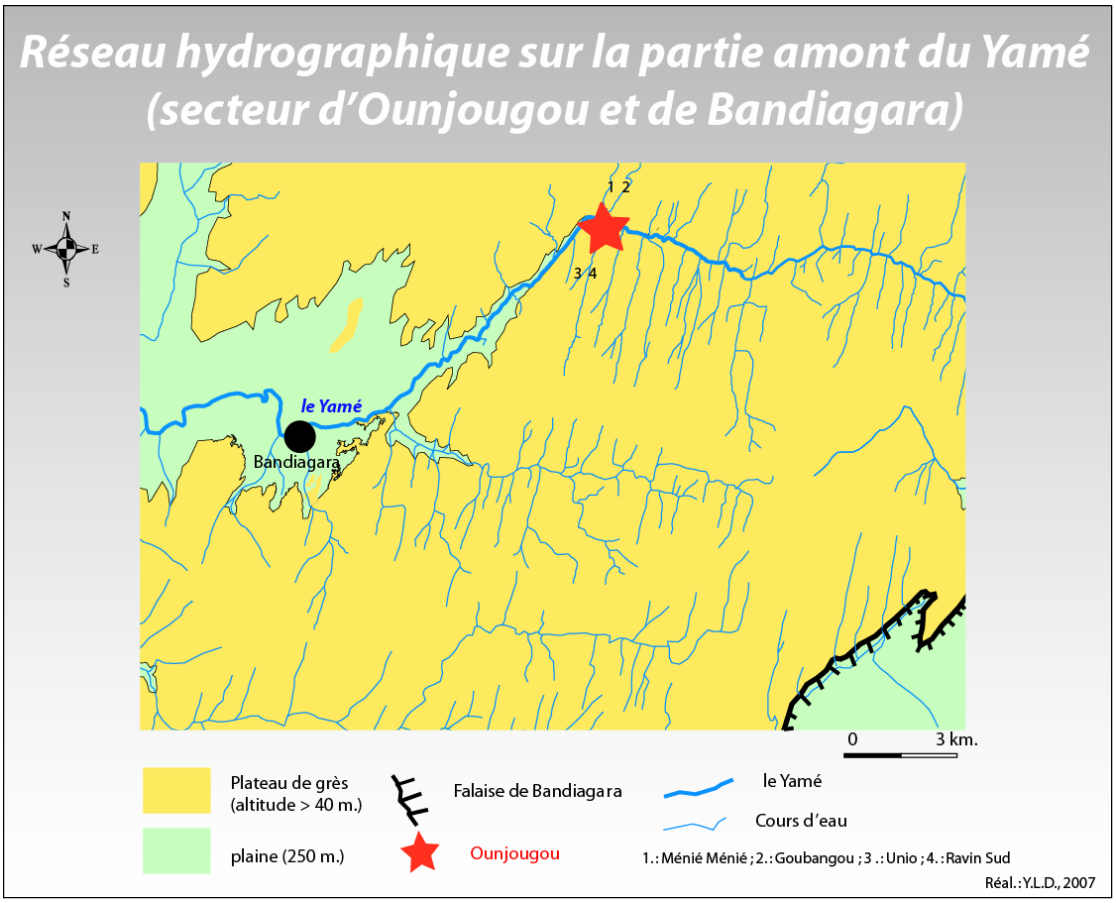


Figure n° 10 : Réseau hydrographique sur la partie amont du Yamé

La partie orientale du Plateau dogon, constituée de ce que nous appelons la "falaise", est drainée sur une faible frange, entre 1 à 10 kilomètres, hors du bassin versant du Yamé. Lors de l'hivernage, les cours d'eau en bordure de falaise forment des cascades le long de l'abrupt formant des mares temporaires en contrebas dans la plaine du Séno (comme la mare de Telli, où des prélèvements de pluies polliniques actuelles ont été réalisés, cf. partie 4).

La partie occidentale du plateau a une pente plus douce et est drainée principalement par le Yamé en direction du Bani-Niger. Actuellement, les écoulements superficiels sur le plateau de Bandiagara sont pour la majorité des cours d'eau sporadiques et saisonniers. Ils se regroupent en systèmes dont les branches maîtresses sont établies par rapport à la pente générale du plateau (Est-Ouest), dans une direction perpendiculaire à la falaise et au Bani-Niger. Les branches secondaires du réseau hydrographique sont nettement influencées par la fracturation des grès (cf. figure n° 10).

1.2.3. Le régime hydrologique du Yamé :

Le Yamé connaît deux types d'écoulement : permanent de sa source (localisée à Kambary, à une vingtaine de kilomètres à l'amont d'Ounjougou) à la confluence d'Ounjougou, puis sporadique entre le site d'Ounjougou et la confluence avec le Bani-Niger. Le lit mineur incise les formations superficielles du remblaiement holocène et du glacis supérieur (Mainguet, 1972 ; Rasse & al., 2006).

Le fonctionnement des débits du Yamé durant les mois de février à mai est quasiment inexistant à l'amont comme à l'aval, en raison d'une période d'étiage (cf. planche photographique n° 1). Les débits durant l'hivernage de juin-juillet à septembre sont très compétents (cf. planche photographique n° 1), avec des crues régulièrement enregistrées dans la vallée. Les crues du Yamé en amont (entre la source et le site d'Ounjougou) considérées comme de grande puissance, sont assimilées par Jean Gallais (1965) à des effets "chasse d'eau", charriant sur le fond du lit des sables grossiers. Les eaux très chargées peuvent progresser à plus d'un mètre par seconde.

D'après les mesures effectuées par L. Lespez et M. Rasse en septembre 2007, le débit instantané du Yamé lors d'écoulements importants (après huit jours de précipitations) est estimé à 35 m^3/s et dans la nuit du 7 juillet 2007, un débit de 400 m^3/s a été évalué par ces mêmes chercheurs. Entre octobre et janvier, les débits deviennent progressivement plus faibles, voire inexistants dans la partie avale, tandis qu'à l'amont, le Yamé devient de moins en moins compétent avec la formation de mares permanentes ou temporaires.

Les Paysages en saison sèche et en saison des pluies à Ounjougou

L'amont du Yamé en septembre 2007
(Photographie : M. Rasse)

L'amont du Yamé en février 2006
(Photographie : Y.L.D.)

L'amont de la Confluence en septembre 2007
(Photographie : L. Lespez)

L'amont de la Confluence en février 2006
(Photographie : Y.L.D.)

Culture du mil à l'amont du Yamé en octobre 2005
(Photographie : Y.L.D.)

Culture de l'oignon à l'amont du Yamé en janvier 2004
(Photographie : Y.L.D.)

Réal. : Y.L.D., 2007

Planche photographique n° 1: Les paysages en saison sèche et saison des pluies à Ounjougou

1.2.4.La contribution de pseudo-karst du grès aux écoulements sur le Plateau dogon

Les écoulements souterrains sur le Plateau dogon sont de différents types (cf. figure n° 11). Ils se développent dans les failles, fissures et diaclases du grès (Daveau, 1959) et le long des joints de stratification. Ces différents écoulements expliquent les nombreux marigots, les sources, les mares ou les cascades visibles et surtout le maintien des écoulements du Yamé de la fin de la saison des pluies jusqu'au cœur de la saison sèche. En effet même en fin de saison sèche, les eaux du Yamé circulent en inféroflux sous les alluvions et sont exploitées par de nombreux puisards creusés par les cultivateurs dogon.

Les grès sont considérés comme des roches cohérentes souvent poreuses (Schoeller, 1941). La porosité moyenne est de 10 à 30 % pour les grès. Les seules études réalisées sur les caractéristiques physiques et chimiques des grès au Mali, ont été effectuées à Kita (à l'Ouest du Mali), en 1952 par Joeger et Jorovoy et montrent une porosité comprise entre 8 et 15 % avec un taux d'imbibition entre 4 et 7 %. Il existerait selon Gallais (1965) et Daveau (1959) d'importantes réserves d'eau dans le plateau dont la majeure partie s'écoule vers les nappes du Niger et du Séno, sans écoulement de surface. Il est possible d'évaluer une réserve en eau dans le grès sur le bassin amont du Yamé proche de 100 km^3 d'eau, en tenant compte d'une surface du bassin amont du Yamé avoisinant les 500 km^2 (bassin versant à l'amont du site de la Confluence d'Ounjougou) et estimant une épaisseur des grès d'environ 200 mètres (Daveau, 1959) avec une porosité du grès de Bandiagara correspondant à celle du grès de Kita. Ces eaux souterraines expliquent les suintements externes et les sources. Certaines d'entre elles sont visibles toute l'année sur le terrain avec des débits conséquents (comme au Ravin Sud).

Le Plateau dogon a un réseau souterrain de type pseudo-karstique (Daveau, 1959) qui s'explique par la porosité des grès et leurs discontinuités sédimentaires ou par la fracturation. Les cours d'eau captés par les fissures et les failles du grès ont creusé des gorges profondes sur le plateau. Des sources ou des résurgences d'eau (cf. figure n° 11) visibles sur le terrain apportent de nombreux phénomènes de minages du grès qui restent fonctionnels (Daveau, 1959 ; Mainguet, 1972) et de nombreuses preuves de crypto-écoulement (Mainguet, 1972 ; Gillet, 1958).

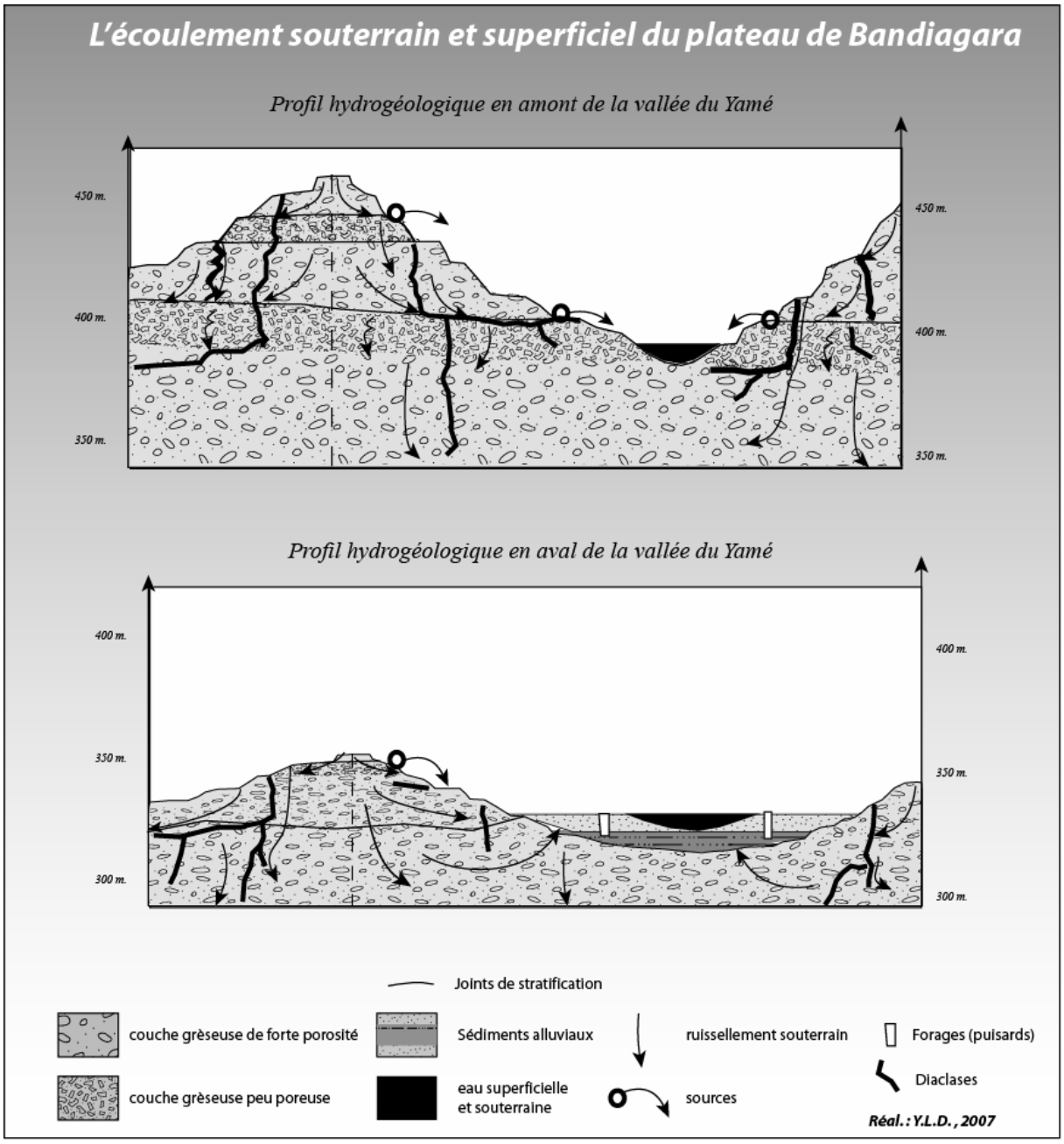


Figure n° 11 : L'écoulement superficiel et souterrain du Plateau dogon

Lors de la saison des pluies, l'eau circule sur les interfluves gréseux en direction des vallées (vers le Yamé) ou directement dans les diaclases des corniches gréseuses. L'eau dans ces fissures s'infiltre et peut circuler ensuite sur les joints de stratification, correspondant à des couches de grès plus compactes et moins poreuses. L'eau peut ressurgir sous forme de source sur les barres de grès ou circuler jusqu'à une dépression (cf. figure n° 11).

L'eau qui circule dans les grès est tiède et chargée d'acides variés, qui mobilisent le fer du ciment du grès. Les eaux courantes dissocient et évacuent les grains de quartz et engendrent la désagrégation mécanique. Cette érosion favorise l'incision des axes principaux du réseau hydrographique et l'alimentation en matériel détritique des cours d'eau et du fond de vallée.

1.2.5. Le régime hydro-sédimentaire de la vallée du Yamé :

La pente longitudinale du Yamé assez faible (1 à 5 %) favorise l'accumulation de sédiments. A l'amont, le tracé du Yamé orienté Est-Ouest (cf. figures n° 4, 5, 9 & 11) coule dans une vallée étroite entre les interfluves gréseux. A l'aval du site de la Confluence à Ounjougou, le tracé est orienté Nord-Est / Sud-Ouest et le cours forme une vallée plus large et régulière. Le style fluvial apparaît différent entre l'amont et l'aval (cf. figures n° 5, 9 & 12 et planche photographique n° 1). Le *chenal* correspond au lit "ordinaire" du Yamé en eau à l'amont. Le fond du chenal est constitué de sédiments sableux, formant la charge de fond. La mobilité de cette charge est très rapide lors des crues mais sa mise en place accompagne souvent la diminution de la compétence du cours d'eau lors de la décrue. A l'amont, la rivière possède un chenal unique et assez profond, alors que vers l'aval le cours d'eau devient divaguant dans un fond de vallée sableux de moins en moins encaissé et de plus en plus large d'une trentaine à une centaine de mètres à la sortie du plateau. L'amont est caractérisé par un écoulement permanent, avec la présence de mares dans les grès, alors qu'à l'aval l'écoulement se tarit progressivement au cours de la saison sèche.

Dans le détail de nombreuses unités géomorphologiques peuvent être distinguées selon leurs caractéristiques de sédimentation (cf. figure n° 12). Le fond de vallée est caractérisé par de nombreux bancs qui correspondent à des accumulations de sables ou de graviers formant la bande active du cours d'eau. L'accumulation se forme en période de crue et les bancs émergent lors de la période d'étiage. Les bancs (cf. figure n° 12) se distinguent selon leur mobilité (stables, car fixés par la végétation ou mobiles lors de crue) et leur position (les bancs latéraux à proximité des berges ou les bancs médians isolés au milieu de la bande active du Yamé). Les *bancs médians* constitués d'alluvions, mises en place par des dynamiques soutenues (cf. figure n° 12) se situent dans le lit ordinaire. En saison sèche, ils représentent des accumulations sédimentaires isolées soit par des chenaux du Yamé, soit par les mares. Les sédiments mis en place lors de la décrue du Yamé sur les bords du lit moyen constituent les *bancs latéraux* (cf. figure n° 12).

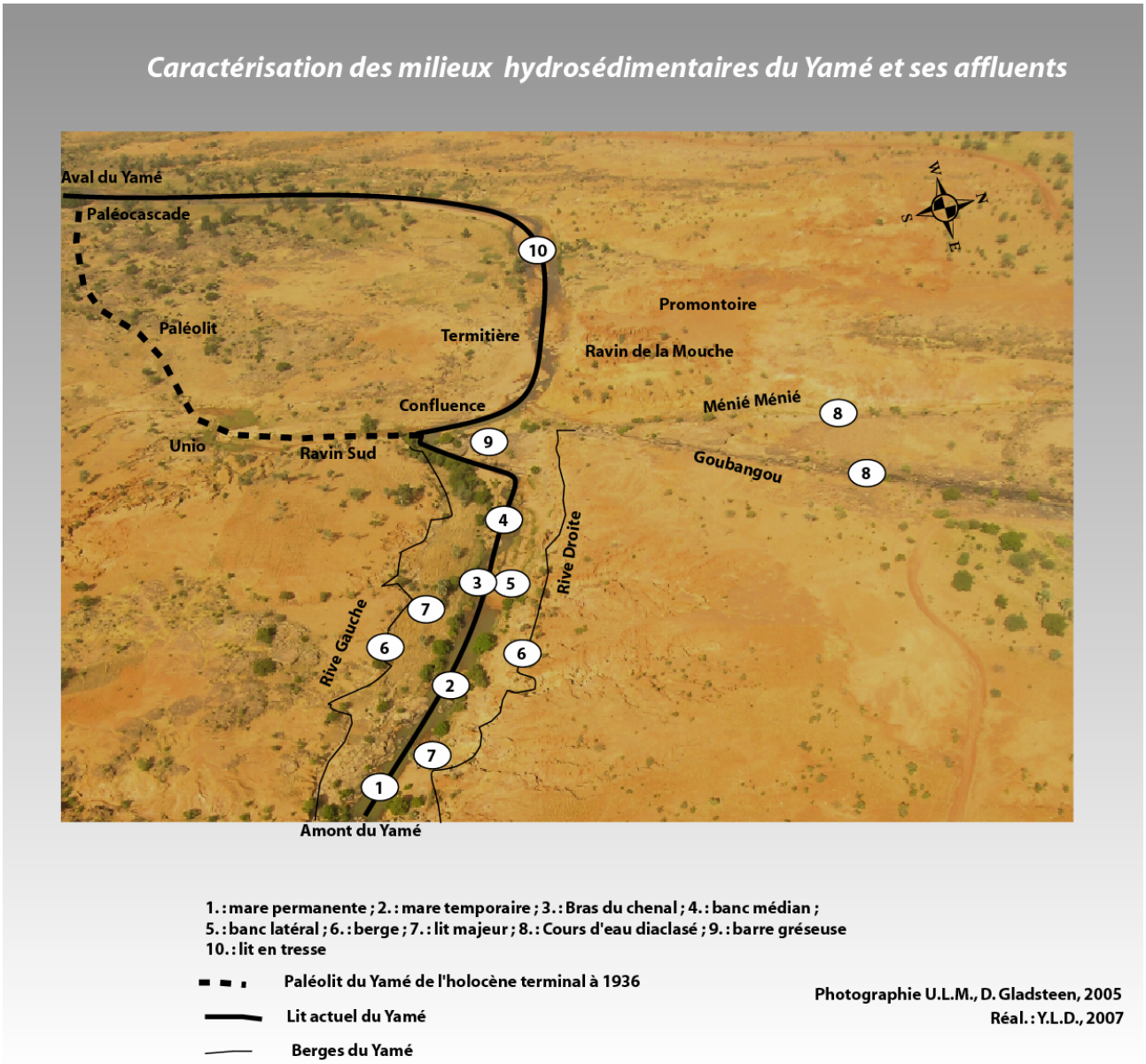


Figure n° 12 : Caractérisation des milieux hydrosédimentaires du Yamé et de ses affluents

Au sein du lit moyen (ou bande active) il existe également de nombreuses *mares temporaires ou permanentes* (cf. figure n° 12). Elles occupent des dépressions topographiques. Elles se comblent progressivement de sédiments. Les phénomènes de crue et de décrue jouent un rôle important dans la formation des dépôts de mares. Il est observé en général des dépôts sableux et grossiers en saison des pluies, quand les écoulements sont compétents et des dépôts plus fins en saison sèche. Le lit moyen est limité par des *berges,* il s'agit de bourrelets naturels de quelques décimètres (cf. figure n° 12). Les sédiments des berges se déposent lors de fortes crues. Les berges délimitent aujourd'hui une basse terrasse

cultivée par des petits jardins (culture d'oignons) qui forme la plaine d'inondation lors des crues en saison des pluies.

Une dynamique saisonnière caractérise les écoulements, comme les transferts sédimentaires. De plus les répercussions hydrosédimentaires et géomorphologiques d'événements de période de retour séculaire ou demi-séculaire jouent un rôle important dans le fonctionnement du système fluvial, comme le montrent les événements catastrophiques survenus lors des hivernages de 1936 et de 2007.

1.3. Les paysages du Pays dogon

1.3.1. Les paysages végétaux :

Les paysages végétaux du Plateau dogon sont localisés à la limite du domaine sahélien et soudanien (cf. figure n° 13).

La zone Nord du plateau, au niveau des buttes d'Hombori et de la mare de Gossi, présente une végétation de type sahélienne. Les formations végétales sont discontinues. La végétation est ouverte et clairsemée. Les espèces végétales arborées caractéristiques sont *Faidherbia albida, Balanites aegyptiaca, Commiphora africana, Capparis decidua*, *Boscia senegalensis* et *Guiera senegalensis,* et localement *Ziziphus mauritiana* et *Anogeissus leiocarpus*.

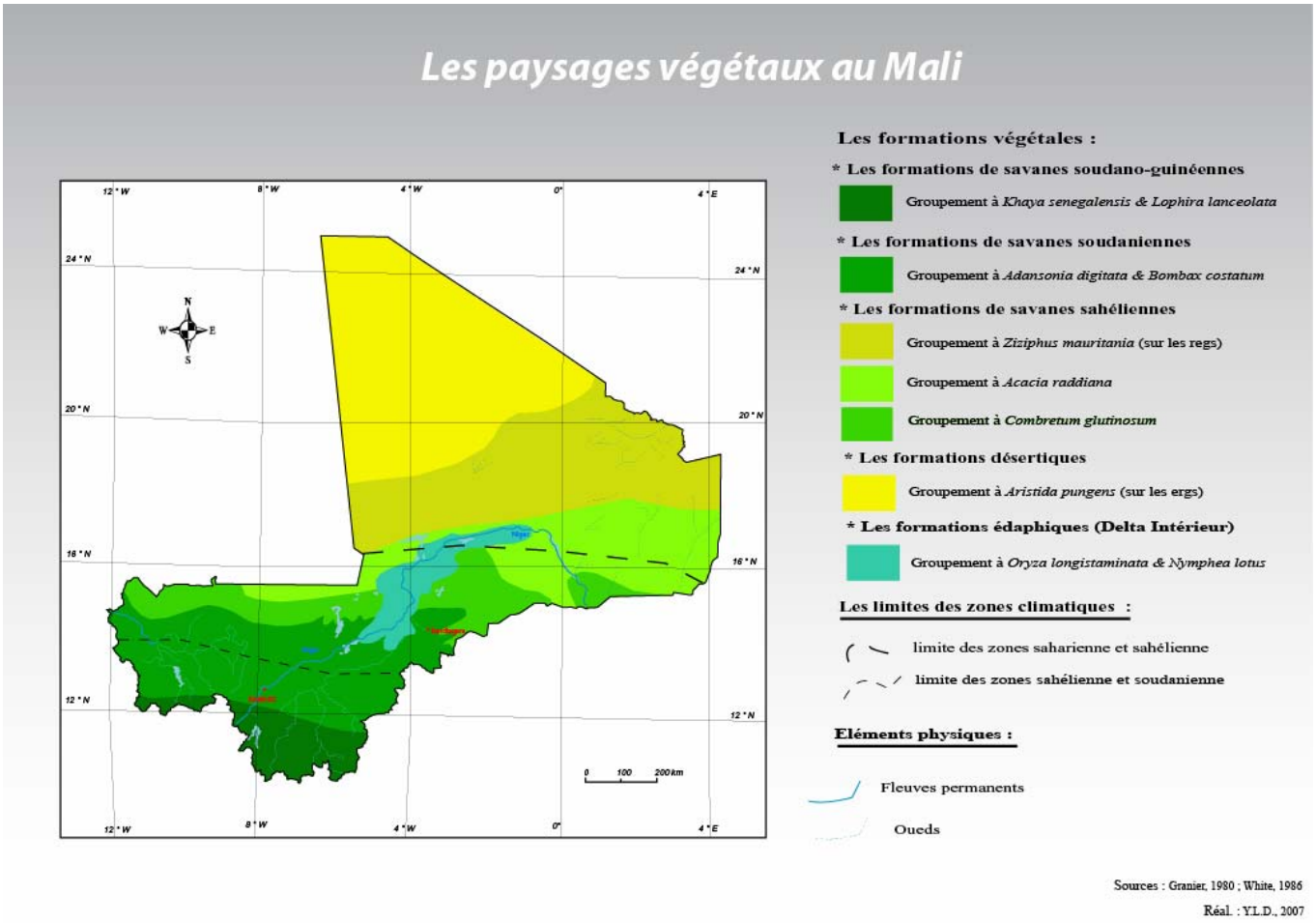


Figure n° 13 : Les paysages végétaux du Mali

A l'Ouest du plateau (cf. figures n° 13 & 14), le Delta Intérieur du Niger révèle différentes formations végétales dans ces plaines submergées une majeure partie de l'année. Les principales espèces sont des graminées vivaces *Andropogon gayanus, Echinochloa stagnina* et *Oryza longistaminata* (le riz sauvage) et certains hydrophytes *Nymphea maculata, Pistia stratiotes*. Cette zone humide supporte de fortes charges de pâturage en saison sèche.

Au Sud du Pays dogon (cf. figures n° 13 & 14), les paysages végétaux sont caractéristiques du domaine biogéographique soudanien. Savane arborée et forêt claire constituent les paysages végétaux dominants. La strate arborée a généralement des ligneux ne dépassant pas vingt mètres de hauteur (les *Combretaceae* ; *Vitellaria paradoxa* ou *Butyrospermum parkii* ou karité ; le *Parkia biglobosa* ou néré ; *Faidherbia albida* ; *Borassus aethiopum* ; *Tamarindus indica* ou tamarinier ; l'*Andansionia digitata* ou baobab et le *Bombax costatum* ou kakopier). Le tapis herbacé est principalement formé de graminées (*Andropogon gayanus, Cympogon gayanus, Loutedia simplex, Andropogon pseudapricus, Pennisetum pedicellatum, Eragrostis tremula*).

Enfin, le Plateau dogon lui-même (cf. figures n° 13 & 14) est localisé en situation intermédiaire, c'est à dire en domaine soudano-sahélien. La végétation du plateau est une savane sahélo-soudanienne typique, incluant des groupement très divers à base d'espèces savanicoles soudaniennes telles *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Daniellia oliverii, Detarium macrocarpum, Terminalia macroptera*, *Khaya senegalensis*, *Vitex sp.*, *Prosopis africana* et des espèces de brousse telles *Combretum micranthum*, *Acacia sp.* et *Guiera senegalensis*. Dans le détail, les paysages du plateau correspondent à de véritables mosaïques végétales, d'autant que l'anthropisation ancienne a profondément imprimé sa marque dans les paysages végétaux.

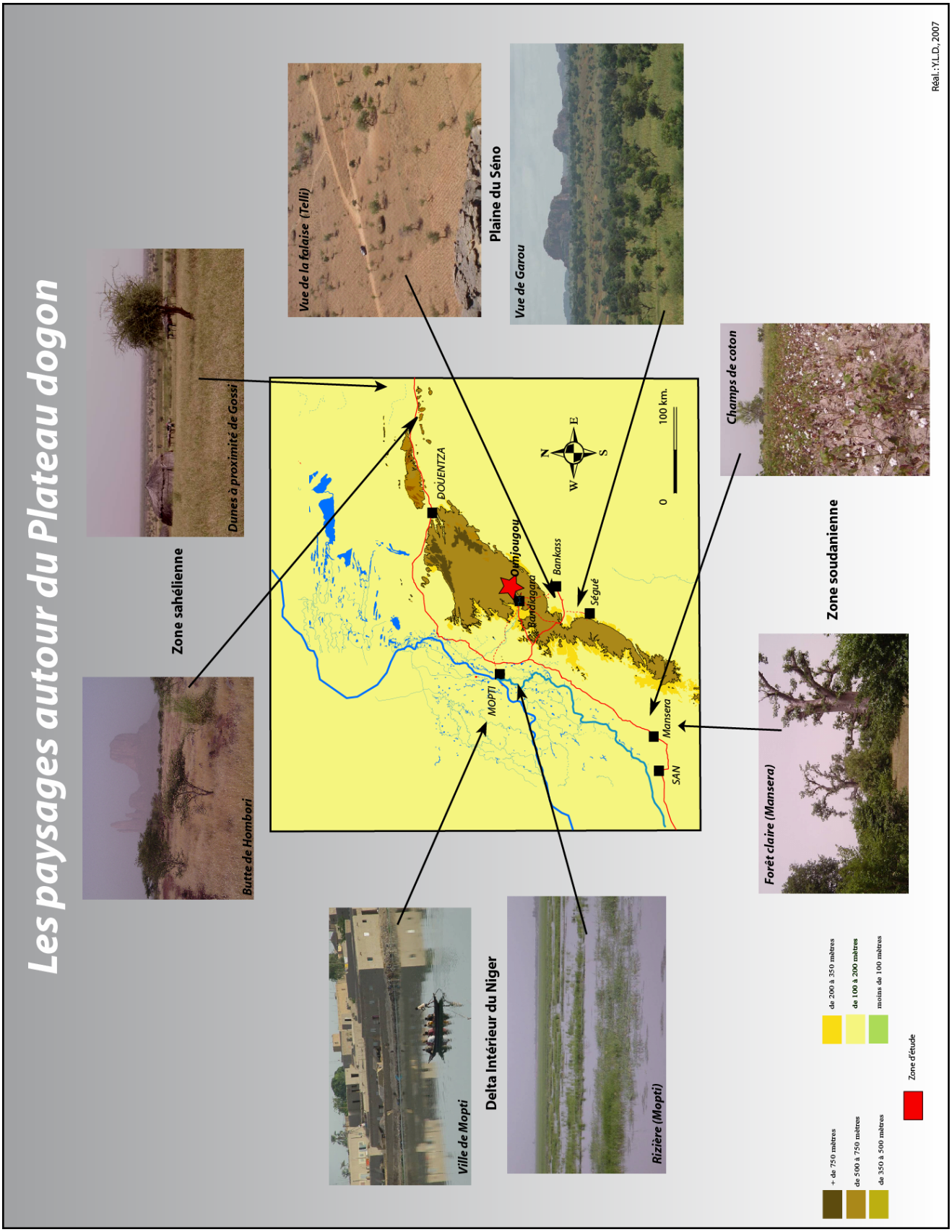


Figure n° 14 : Les paysages autour du Plateau dogon

1.3.2. Les Dogon et leur paysage

La population malienne reste à dominante rurale avec près de 68 % de la population totale, malgré des disparités régionales et une urbanisation croissante depuis les années 60. Les Dogon sont estimés à environ 300 000 personnes. Ils occupent la région du Plateau dogon et la plaine du Séno.

Le Pays dogon possède de fortes densités de population par rapport au reste du territoire. Il fait partie des trois grandes régions du Mali où les densités dépassent régulièrement les 50 habitants par km² (Arnaud, 2004). Les densités de population sédentaire sont très fortes et supérieures à 40 habitants par km² au Pays dogon, taux similaire à celui des zones urbaines et leur périphérie immédiate ou des rives du Niger au Mali. En 1998, les densités équivalent à 54 habitants par km² sur le plateau (d'après la D.N.C.T., la Direction Nationale des Collectivités Territoriales, sur la Zone U.N.E.S.C.O.) et 153 habitants par km², en bordure de falaise. Ces fortes densités résultent de la juxtaposition des nombreux petits villages dogon (de 200 à 400 habitants). En outre, la croissance démographique est importante dans la région. Sur le plateau, la population a fortement augmenté entre 1976 et 1998 : de 49 %, dont 20 % sur la falaise et plus de 70 % dans la plaine du Séno. Certains arrondissements du Pays dogon, à proximité de la falaise et plus récemment au Sud-Est, dans la plaine du Séno-Gondo, connaissent ainsi de très fortes augmentations de leur densité. Entre 1976 et 1998, les taux d'accroissement des villages sont très forts, surtout dans la partie Nord, sur le Plateau et la plaine du Séno (Arnaud, 2004).

A cette latitude sahélienne, dans des espaces considérés comme "secs" et peu favorables, le Pays dogon fait office d'exception au Mali, en concentrant de fortes densités et nous constatons une accentuation du poids démographique ces dernières années. Les très fortes densités rurales du Pays dogon sont souvent considérées comme à la limite de la surcharge, continuant de fait à s'accroître (Arnaud, 2004).

La société dogon est restée longtemps mal connue des Européens, ses coutumes étant décrite pour la première fois en 1907 par Louis Desplagnes. C'est véritablement la mission de Dakar-Djibouti de 1931 à 1933, conduite par Marcel Griaule avec la participation de Michel Leiris, qui va en permettre une description en détail. Dans les années 1940, Marcel Griaule consacrera de nombreuses années de recherches dans le village de Sangha, sur les bords de la falaise. D'après les traditions orales, les Dogon seraient originaires du Pays Mandé (au Sud de

Bamako). Leur arrivée progressive aurait eu comme conséquence la disparition ou le reflux des populations autochtones, les Tellem (ou pré-dogon) mais la dynamique de peuplement du Pays dogon est elle-même fortement déterminée par les rapports conflictuels avec leurs voisins. Cette société a effectivement connu de nombreux conflits historiques : avec les Mossi au XV^{ème} siècle, les Songhaïs, les Marocains au XVI^{ème} siècle, les Bambaras de Ségou et les Touaregs au XVIII^{ème} siècle, les Peuls du Macina de 1818 à 1864, avec leur capitale Hamdallaye, qui convertissent ou réduisent en esclavage de nombreux Dogon. Enfin, la prise de Bandiagara par les français en 1893 et la "pacification" qui s'ensuit provoquera un abandon des villages de la falaise vers la plaine ou des villes moyennes comme Bandiagara, Bankass, … Les Dogon étaient encore récemment renommés par leur pratiques animistes dans de nombreux villages de la plaine et du plateau. Aujourd'hui, la société dogon connaît une islamisation, et secondairement christianisation, progressive et récente. Toutefois, elle reste encore profondément marquée par sa tradition ancestrale dynamique (Diawara, 1997).

Les densités importantes sur le plateau de Bandiagara et dans la plaine du Séno ont contraint les Dogon à une organisation de l'espace et une mise en valeur des milieux originaux. Les terres agricoles de bonnes qualité peu nombreuses sur le plateau de grès ou dans la plaine nécessitent l'utilisation au mieux des sols disponibles, la création de nouveaux espaces agricoles et la lutte contre une érosion intense.

Les villages dogon occupent traditionnellement les reliefs gréseux (cf. figure n° 15). Ces espaces correspondent à des surfaces, où la végétation est assez pauvre. Les travaux agricoles pratiqués sont les séchages et les battages. Le pastoralisme est la principale activité développée, correspondant à du petit élevage sédentaire, dont le fumier est ensuite utilisé pour la fumure des champs et des jardins (Paulme, 1939 ; Dieterlen, 1941, 1956 ; Gallais, 1994 ; Bouju, 1995, 1999, 2005 ; Diawara, 1997). Ces plateaux gréseux ont des sols squelettiques, recouverts le long des failles ou des escarpements de savanes arbustives à base de *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Balanites aegyptiaca*, *Hexalobus monopetalus*, etc. Des traces d'anciens champs et d'anciens villages sont encore visibles avec des empierrements (Le Drézen, 2003 ; Le Drézen & Ballouche, soumis).

Les espaces boisés sont aujourd'hui peu présents sur le plateau. Ces formations forestières restent visibles sous formes de reliques dans des sites protégés comme les ravins (cf. figure n° 15) ou de quelques bois sacrés à proximité de villages (Le Drézen, 2003 ; Le

Drézen & Ballouche, soumis). Ces zones appartiennent au groupement des forêts sèches soudaniennes. Les espèces les plus remarquables sont *Cola cordifolia, Khaya senegalensis, Saba senegalensis, Ceiba petandra, Diospyros mespiliormis* ou *Syzygium guineense, Vitex sp., Detarium sp., Ficus sp., Piliostigma sp., Sygyzium sp., Cassia sp., A. acanthacia, Zizyphus sp., Tamarindus sp., Anogeissus sp., Combretum paniculatum.* L'existence de telles espèces s'explique par l'accès difficile à ces ravins et par leurs surfaces réduites empêchant une agriculture intensive. Dans de nombreux ravins du plateau, nous observons certaines espèces endémiques comme l'*Acridocarpus monodii (Malphighiaceae).*

Les espaces cultivés dominent sur les plateaux et les glacis, les cultures apparaissent sur les formations accumulées au Quaternaire, sur les glacis et les terrasses. L'agriculture du plateau est définit par Steiner comme : "*millet-based cropping system"* (Steiner, 1984). Les terres arables sont rares sur le plateau, elles ne constituent que 22 % de la superficie totale de la circonscription administrative (soit 180 000 ha) (Keïta, 1991). L'exiguïté des terres n'est pas sans conséquence sur la rigueur du droit foncier local (Diawara, 1997). La moindre parcelle de terre sur le plateau est cultivée. Autour de Bandiagara, par exemple seulement 9 % des terres sont considérées aptes à l'agriculture autour de Bandiagara (selon la Saclaer, à Bandiagara), de nombreux champs artificiels ont été construits. Des champs en fascines, avec des blocs de pierres sèches se sont multipliés depuis plusieurs années sur le plateau. De nombreux blocs alignés aujourd'hui sur les barres gréseuses témoignent d'un passé agricole intensif dans la région. La céréaliculture reste la base de l'économie et le fondement de la société dogon, avec le mil et le sorgho, ainsi que ponctuellement le fonio. La demande de plus en plus importante nécessite de nombreuses parcelles cultivées et de moins en moins de jachères, d'où la nécessité de planter des espèces fertilisant rapidement les sols (*Faidherbia albida*).

L'exiguïté des terres n'est pas sans conséquence sur la rigueur du droit foncier local (Diawara, 1997). Le maître de la terre demeure l'intermédiaire obligatoire pour toute création d'une exploitation agricole (Dieterlen, 1959). Les personnes qui se verront céder des parcelles sont désignées comme des exploitants des champs. Lorsqu'un dogon décède, ses terres sont héritées par le frère cadet qui les distribuera ensuite à son entourage. Il n'existe donc pas d'exercice de monopole par une famille particulière (Diawara, 1997).

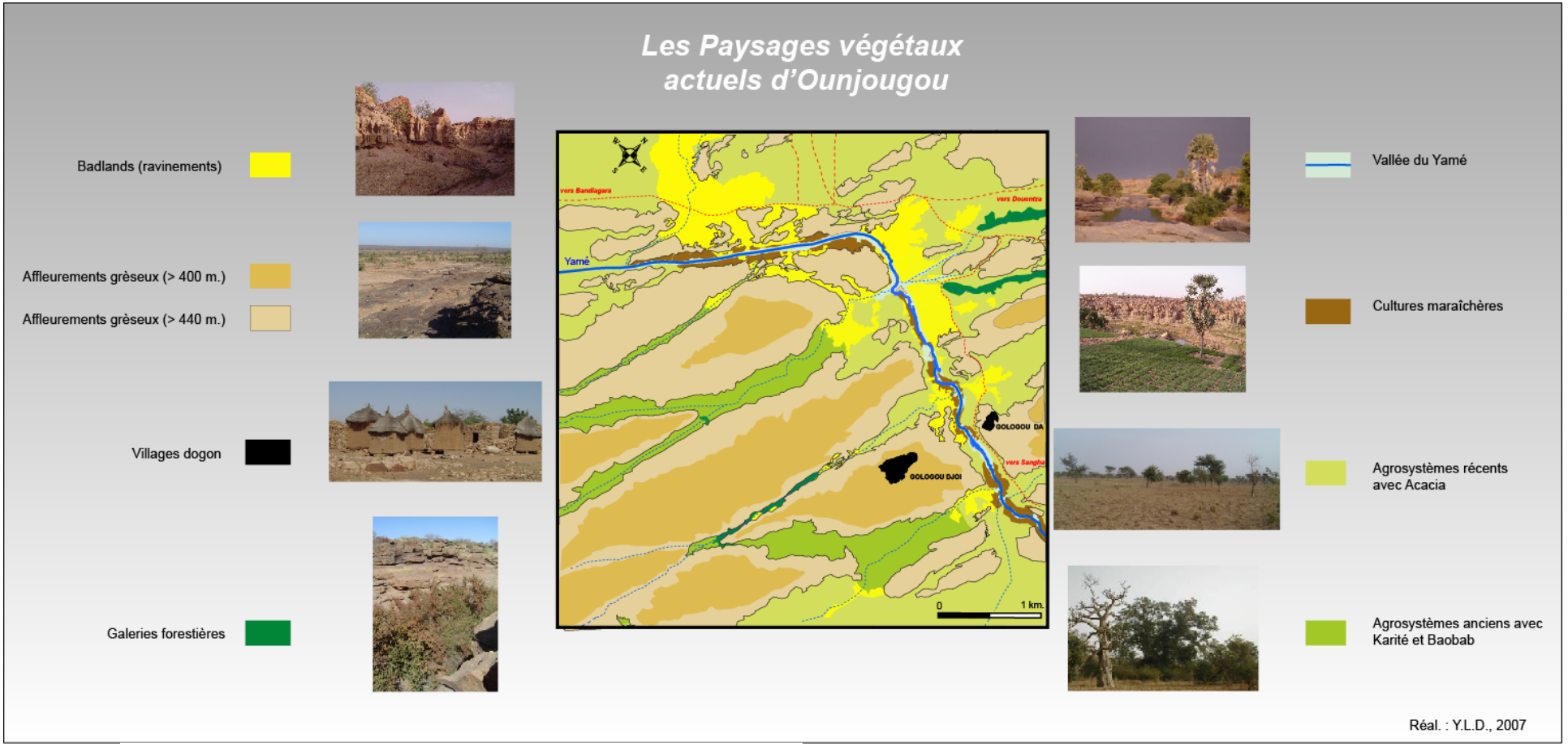


Figure n° 15 : Les paysages végétaux actuels d'Ounjougou

Les agrosystèmes dominants dans la zone d'étude d'Ounjougou (cf. figure n° 15) correspondent à des savanes-parcs arborées à karité (*Vitellaria paradoxa* ou *Buyterospermum parkii)* ou balanzan, le *Faidherbia albida*, comportant des champs de mil, et des jachères de plus en plus réduites (Le Drézen, 2003, Le Drézen & Ballouche, soumis). Dans le but de multiplier les surfaces agricoles afin de pratiquer une agriculture intensive, les affleurements et corniches gréseux peuvent être recouverts régulièrement de sédiments, prélevés dans la vallée et les mares. Les champs souvent délimités par des murets de pierres limitent l'érosion des sols en saison des pluies lors des fortes précipitations et filtrent l'eau de ruissellement. Les principales cultures sont le mil et le sorgho sur les terrasses et les glacis lors de l'hivernage. L'agrosystème dominant, développé récemment (cf. figure n° 15), a comme espèce principale le *Faidherbia albida,* typique de l'agropastoralisme soudanien. Elle est intéressante pour l'agriculture par sa phénologie inversée et son rôle fertilisant. Elle constitue un bon fourrage aérien en saison sèche pour les petits troupeaux caprins ou bovins. Des agrosystèmes plus anciens (cf. planche n° 1) sont différents physionomiquement, avec comme principale espèce le karité caractéristique de l'agriculture traditionnelle soudanienne. Cette espèce est régulièrement associée à *Parkia biglobosa, Daniellia oliverii, Adansonia digitata, Borassus sp., Lannea/Sclerocarya sp., Prosopis sp., Vitellaria sp.*. Ces espaces correspondent à des héritages complexes et témoignent d'une anthropisation ancienne du milieu.

Les dépressions sont toutes cultivées sur le plateau (cf. figure n° 15), comme sur les rives du Yamé. Il existe une longue tradition maraîchère sur le plateau (Bouju, 1984 ; Dieterlen, 1956 ; Calame-Griaule, 1980). La saison maraîchère correspond principalement à la fin des récoltes céréalières, durant la saison sèche. Le maraîchage est devenu très important ces dernières décennies sur le plateau en raison de la multiplication des barrages. En effet près de 75 % ont été construits entre les années 1974 et 1987 (Diawara, 1997). Les superficies irriguées ont été multipliées par près de 20 depuis les années 1930 (Diawara, 1997) et sont en nette augmentation entre les années 1988 et 2001 (avec environ 750 hectares à la fin des années 80 et plus de 2000 ces dernières années). La culture maraîchère dominante est l'oignon, avec plus de 60 % des surfaces et plus de 36 000 tonnes par an de produits (chiffre de la SACLAER, à Bandiagara). L'essentiel de cette production est principalement destiné à la vente sur les marchés des villes de la région, puis également aux marchés de Bamako, du Burkina Faso ou de la Côte d'Ivoire, à partir de Mopti. Les autres cultures maraîchères sont les tomates, patates douces, tabac, ail et aubergines.

La culture de l'oignon est ancienne au Pays dogon, les premières descriptions remontent à 1903 dans le rapport annuel de Bandiagara (archives coloniales, ID 99). La culture s'est ensuite rapidement intensifiée avec la construction des premiers barrages dans la région, comme le confirme Nao Kalapili et Yana Odi (habitant de Gologou Da), expliquant la multiplication des oignons et du mil depuis une cinquantaine d'années et une diminution des cultures maraîchères du tabac.

A l'amont de la vallée du Yamé, ces dépressions cultivées sont visibles par des murets de pierres protégeant les nombreux jardins cultivés en terrasses. La végétation visible dans la vallée du Yamé et sur les berges cultivées correspond en majorité à des espèces fruitières ou ornementales, récemment introduites comme le manguier (*Mangifera sp.)* et *Andira inermis* accompagné de très rares espèces soudaniennes (*Sygyzium)*.

Des zones de "*bad lands*" caractérisent les paysages du plateau. Ces surfaces sont exceptionnellement importantes dans le secteur d'Ounjougou depuis l'autocapture du Yamé au début du vingtième siècle (en 1936). Ces espaces correspondent à des ravinements importants caractérisés par des espèces végétales typiques de milieux dégradés (Le Drézen & Ballouche, soumis), comme les *Combretaceae, Boscia sp. et Balanites aegyptiaca* (cf. figure n° 15).

2. Le site d'étude d'Ounjougou

2.1. Présentation du site

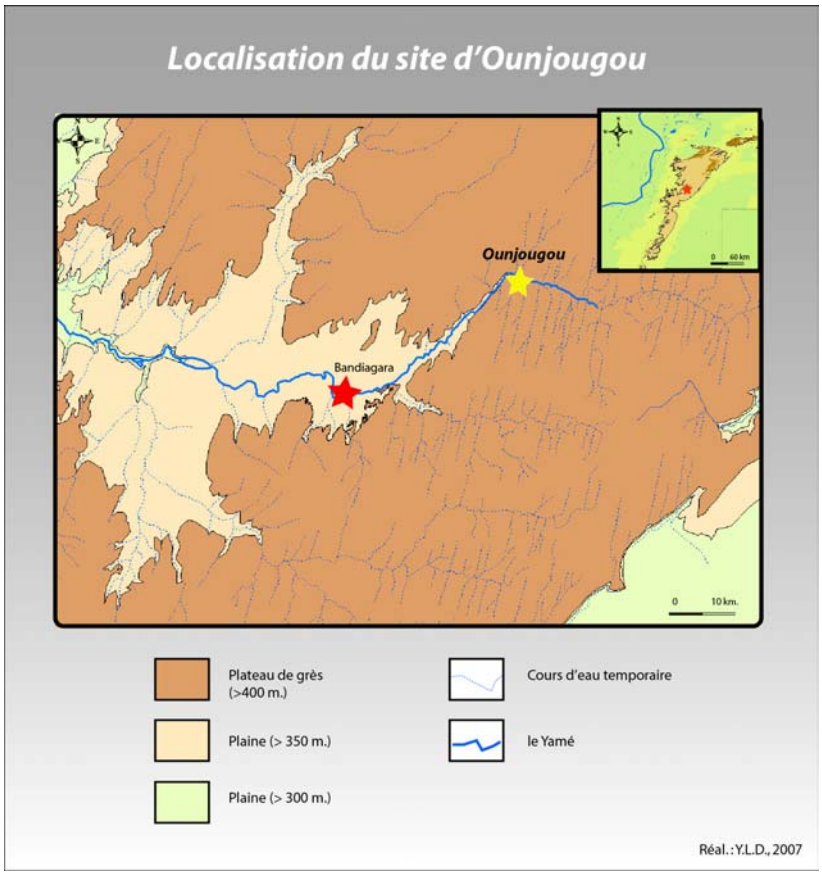


Figure n° 16 : Localisation du site d'Ounjougou

Le site d'Ounjougou offre des conditions exceptionnelles pour l'étude de l'histoire d'un écosystème soudano-sahélien en Afrique de l'Ouest. Ounjougou occupe une position intermédiaire (cf. figures n° 1 & 16) entre les sites archéologiques majeurs Nigéria et du Burkina Faso (comme Gajigana, Gobnangou, Oursi) et ceux de l'extrême Ouest de l'Afrique, comme Dhar Tichitt en Mauritanie. Les investigations paléoenvironnementales ont été peu développées aux alentours, sauf dans le Delta Intérieur du Niger (McIntosh, 1995) et au Nord du Burkina Faso (à Oursi, Ballouche & Neumann, 1995 ; Ballouche, 1998). Notre zone d'étude présente surtout l'avantage d'être à la limite de deux domaines climatiques et floristiques (soudanien et sahélien), ce qui permet une étude des fluctuations des changements

saisonniers et des conséquences sur la végétation. Le gisement d'Ounjougou correspond en fait à une centaine de sites archéologiques, répartis le long du Yamé et de ses affluents. Cette dépression située à la confluence de quatre rivières attire manifestement depuis des millénaires des populations importantes. Ce site laisse apparaître sur les abords de la vallée des couches sédimentaires qui se sont avérées d'une grande richesse paléobotanique, archéologique et géologique.

La zone d'étude se présente comme un ensemble de ravinements dessinés aux dépens d'une succession complexe de formations éoliennes, alluviales et colluviales quaternaires. La séquence stratigraphique, d'une hauteur moyenne d'une dizaine de mètres (mais beaucoup plus en cumulé) a livré du matériel archéologique, sédimentaire et archéobotanique, couvrant une période allant du Paléolithique ancien à l'époque actuelle. Le potentiel du gisement d'Ounjougou important pour la mise en relation des occupations humaines avec les variations environnementales sur une longue séquence chronologique a motivé la création en 1997 d'un programme de recherches interdisciplinaire et international, intitulé "Peuplement humain et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest" (Huysecom, 2002).

2.2. Un espace mobile

Les évènements paroxysmiques des hivernages 1936 ou 2007 sont significatifs des fonctionnements torrentiels de bassin versant, avec des crues tous les 50 à 100 ans. Le rôle des sociétés devient probablement important à déterminer aux périodes où leur présence peut être documentée. La nécessité d'une approche systémique se justifie en intégrant le rôle des différents facteurs, dont le "forçage anthropique". Il est particulièrement important de mettre sur pied une méthodologie spécifique pour approcher les échelles temporelles courtes (annuelles, saisonnières, …).

Ces évènements exceptionnels des hivernages 1936 et 2007 permettent une meilleure compréhension des évènements brusques, ayant pu intervenir régulièrement dans la vallée du Yamé.

L'autocapture a été engendrée par l'**hivernage de 1936**, saison la plus humide depuis le début du vingtième siècle (Rasse & al., 2006). La moyenne pluviométrique a dépassé 785 millimètres à Bandiagara (cf. figure n° 9). Cette année 1936 est considérée comme une

"catastrophe" par les villageois des rives du Yamé. Ces précipitations importantes ont bouleversé l'allure des paysages de la vallée. Le Yamé avant 1936 s'écoulait en direction du site du Ravin du Sud (figures n° 4, 5 & 12) et rejoignait la vallée actuelle du Yamé par une paléocascade. Une crue exceptionnelle avec 398 millimètres au mois d'août a facilité l'autocapture du Yamé. Cette autocapture aurait été selon les habitants extrêmement rapide faisant reprendre au Yamé son lit passé (à l'Holocène ancien à récent).

L'existence d'un ancien lit alluvial du Yamé est clairement démontrée par 9 mètres de sédiments supérieurs, au fond alluvial actuel. Il empruntait un cours situé à 402 mètres d'altitude, soit neuf mètres au-dessus du cours actuel. Plusieurs indices géomorphologiques suggèrent le passage à une période récente d'un cours d'eau d'une compétence certaine. La vision d'ensemble de ce site montre un passage sableux de type alluvial entre les grès dont l'aspect et la granulométrie grossière est proche de certains endroits du fond alluvial actuel de la vallée. Les preuves géologiques sur le paléolit (Rasse & al., 2006 ; Christol, 2004) correspondent à des marmites d'érosion sur les grès (formes d'érosion existant dans le lit actuel du Yamé) ; à un poli fluviatile sur les blocs localisés dans le talweg du paléocours) et à une patine noire au débouché du paléocours (paléocascade). Une carte topographique française de 1936, au 1/200.000^{ème} retrouvée à la bibliothèque de l'Université d'Oxford (par Chantal Tribolo), publiée en 1942 permet également de démontrer ce phénomène. Ce document par comparaison à la photographie aérienne de 1952 confirme le scénario d'autocapture du Yamé. Il apparaît sur la carte de 1936 avec un "paléocours" s'écoulant vers le site des Unio.

L'action de l'érosion régressive a été importante. Il existe aujourd'hui un bras mort de la rivière, localisé dans un secteur du site où les affleurements gréseux dominent. Le creusement du lit du Yamé s'est effectué de manière privilégiée dans les formations alluviales du *Promontoire* (sommet du Ravin de la Mouche) aux dépens d'un secteur de la vallée où domine un substratum gréseux plus résistant.

Le Yamé a connu ainsi plusieurs phases d'érosion succédant à des phases de remblaiement sur l'ensemble de sa vallée. Un remblaiement progressif de la vallée de l'Holocène récent et terminal a précédé une phase d'engorgement, puis de défluviation, jusqu'à l'autocapture de 1936, qui par indigence a emprunté le paléolit. L'importance de l'encaissement du Yamé dans les formations alluviales et les ravinements importants (*bad lands*) permettent d'envisager une modification de nature hydrographique ou hydrologique.

Le site d'*Ounjougou*, qui signifie le lieu de la "Confluence" en dogon, revêt un caractère sacré pour les villageois et dans la tradition orale. Le site d'Ounjougou correspond

au lieu de Confluence du Yamé avec le Boubangou, Ménié Ménié, la Rivière du Ravin Sud et de celle du site des Unio. Selon les habitants, le lit principal est soit celui du Yamé soit celui du Boubangou, selon les périodes et les débits de chacun. La population locale considère ce changement brutal du cours du Yamé, comme le résultat d'un affrontement entre le génie des eaux du Yamé et celui du Boubangou. Les témoignages révèlent l'existence d'une paléocascade du Yamé (ou rapides), la présence de marécages au niveau de la Confluence et du coude actuel du Yamé (à Oumounama) avant août 1936. Les villageois informent de la présence d'un bois sacré à l'aval de la Confluence actuelle, au niveau du site du Ravin de la Mouche et de la Termitière. Le bois sacré aurait disparu en une nuit montrant le caractère évènementiel de la "catastrophe" et tend à étayer l'hypothèse d'un apport d'eau exceptionnel de l'amont du bassin versant.

L'hivernage 2007 a été extrêmement humide en Afrique et plus particulièrement en Afrique de l'Ouest. La situation est apparue comme critique dans de nombreux pays et de nombreuses organisations sont venues en aide aux populations sinistrées. Entre juillet et septembre, les précipitations ont dépassé les 610 millimètres à Bandiagara (communication Lassana Cissé), de nombreuses rivières ont débordé entraînant de nombreux dégâts humains et matériels (cf. planche photographique n° 2). Dans la nuit du 4 au 5 juillet 2007, de grandes quantités de pluies sont tombées sur le bassin amont du Yamé entre 1h00 et 1h30. Les précipitations équivalent à 48 millimètres à Bandiagara et sont supérieures à 90 millimètres à Sangha (Eric Huysecom, Communication orale). Le Yamé a très rapidement débordé, entraînant des conséquences importantes de l'amont (Ounjougou) à l'aval de la vallée (Bandiagara, Sévaré, etc.). Les berges ont été rapidement érodées, les sites d'études des coupes chronostratigraphiques en Rive Gauche et Droite ont disparu. Les jardins maraîchers de la vallée ont disparu, des terres agricoles sur le glacis également. Les arbres de la vallée ont été en majorité arrachés et emportés à plus de quinze kilomètre en aval (à Bandiagara). La vallée s'est rapidement élargie de plusieurs mètres en quelques minutes. Les dégâts sur la vallée du Yamé sont nombreux, barrages détruits, ponts arrachés, bétails emportés, routes coupées, etc. Aucun décès n'est décompté dans les villages de Gologou, mais plus de 1 000 sans abris ont été relogé dans des gymnases et écoles de Bandiagara. Les communes de Gologou Da et Djoï (les plus proches de notre espace d'étude) ont été touchées par ces crues, le barrage a été submergé (réalisé en 1997), les terres cultivables des jardins maraîchers ont été emportés, 188 manguiers et 83 goyaviers ont été arrachés avec de nombreux autres arbres, comme les *Andira* de la vallée, des rôniers et les derniers S*ygyzium* (L. Diarra, Journal l'Essor, 20 juillet 2007).

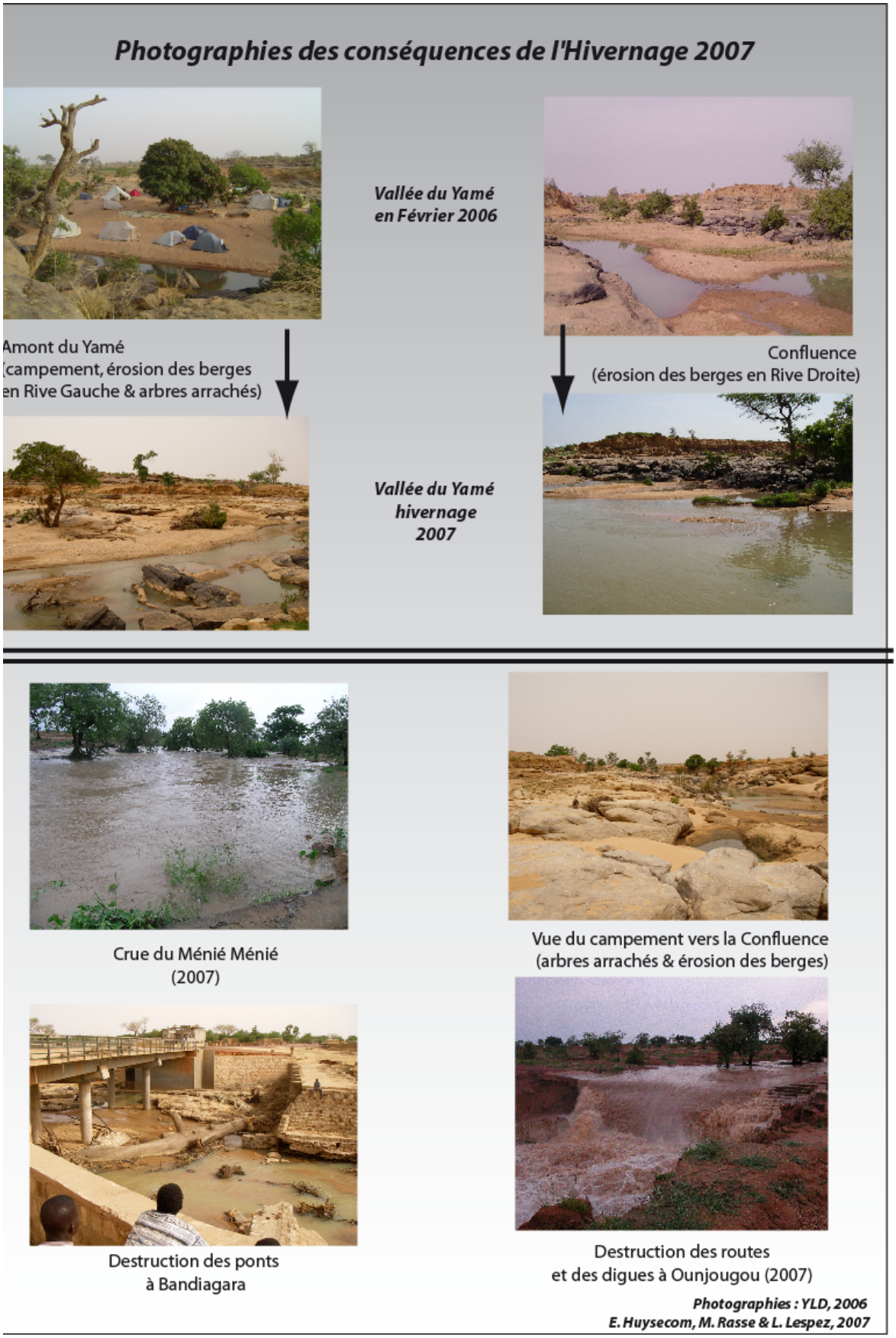


Planche photographique n° 2 : Photographies des conséquences de l'hivernage 2007

Selon le maire de la Commune de Bandiagara, Ibrahim Tembély, "le niveau du Yamé est monté à plus d'un mètre de hauteur à Bandiagara, causant la désolation". Selon les chiffres du gouvernement : 1 696 victimes ont été recensées suite aux inondations, 1 333 à Bandiagara, 231 à Garou Ley (30 kilomètres au Sud de Bandiagara), 92 à Djombo-Djénéké et 40 à Goundaka. A Bandiagara, les inondations ont causé la destruction de 93 concessions, soit 96 famille sinistrées, dont près de 600 enfants, la coupure de l'eau et de l'électricité en ville ; la destruction de cinq ponts (selon les Nations Unies par le Bureau de Coordination des Affaires Humanitaires) et la destruction d'une vingtaine de petits barrages.

De nombreux conflits commencent à apparaître pour identifier les responsables et les causes dans la région. Le Directeur National de l'Hydraulique, Malick Alousseini explique "une mauvaise gestion du cahier hydrographique, avec trop d'ouvrages censés améliorer les conditions de vie des populations, il existerait trop de digues bloquant le passage naturel des eaux de ruissellement. Il faut donc revoir la politique de mise en oeuvre des ouvrages si nous ne voulons pas voir d'autres dégâts de ce genre". Les autorités locales ne partagent pas ce point de vue, comme le Maire de Bandiagara ne souhaitant ni diminuer, ni arrêter les projets de mis en oeuvre des ouvrages.

En septembre 2007, lors d'une mission de terrain par des collègues du programme, les affluents du Yamé (Ménié Ménié et Goubangou) sont entrés de nouveau en crue, érodant considérablement les berges de la vallée.

Ces inondations récentes permettent de mieux percevoir les conséquences de 1936 et de prendre en compte le caractère évènementiel dans nos études stratigraphiques et micromorphologiques. Ces évènements brutaux aux conséquences géomorphologiques pourront être "intéressants" à mettre en relation avec des dynamiques passées depuis quatre mille ans dans la vallée du Yamé.

3. Le programme de recherches "Peuplement humain et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest"

3.1. Présentation du programme

Les sites archéologiques d'Ounjougou découverts en 1993 sont étudiés depuis 1997, sous la coordination d'Eric Huysecom dans le cadre du programme "Peuplement humain et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest", placé sous les auspices des commissions malienne et suisse de l'U.N.E.S.C.O. Les objectifs fixés par les chercheurs ont conduit à constituer une équipe de recherche pluridisciplinaire et internationale. L'organisation et la coordination du projet sont sous la responsabilité du Dr Eric Huysecom, de l'Université de Genève.

Les recherches paléoenvironnementales associent des études géomorphologiques et stratigraphiques sur le terrain à des analyses en laboratoire sur la nature et l'organisation des dépôts (sédimentologie et micromorphologie) et sur leur contenu (signal incendie, palynologie, palynofaciès, anthracologie, archéobotanique et phytolithes). Les laboratoires concernés sont le Géophen à Caen (U.M.R. 6554 L.E.T.G. C.N.R.S. avec L. Lespez & moi-même), le laboratoire *Archäologie und Archäobotanik Afrikas* à Francfort (K. Neumann & B. Eichhorn), le laboratoire Paysages & Biodiversité à Angers (A. Ballouche) et le Ledra à Rouen (U.M.R. 6063 IDEES ; avec M. Rasse). Les recherches françaises ont été financées dans le cadre du programme ECLIPSE II ("Environnement et climat du passé : histoire et évolution" de l'I.N.S.U., l'Institut National des Sciences de l'Univers, du C.N.R.S.) de 2005 à 2007. Le titre du projet est "Variations climatiques et processus anthropiques dans les dynamiques paysagères holocènes en Afrique soudano-sahélienne (Exemple du Plateau dogon, Mali)" sous la coordination d'A. Ballouche. Ce projet était centré sur l'identification de l'impact respectif des facteurs climatiques et anthropiques sur les modifications paysagères et le fonctionnement des hydrosystèmes en milieu de savane de l'Ouest de l'Afrique au cours de l'Holocène. L'objectif est de croiser les données issues d'archives sédimentaires (géomorphologie, micromorphologie, palynologie, palynofaciès, anthracologie, archéobotanique, phytolithes) et archéologiques au cours de l'Holocène, afin d'identifier la

nature et les causes des transformations paysagères et paléoenvironnementales. Le travail a également été financé par une allocation doctorale attribuée par l'école doctorale "Littérature, Cultures et Sciences Sociales" (E.D. 68) de l'Université de Caen Basse-Normandie et par le Ministère français de la Recherche.

Sur le terrain, la Mission Culturelle de Bandiagara (créée par décret 93- 203 P- RM du 11 juin 1993) en charge du site du patrimoine mondial de Bandiagara depuis janvier 1994, permet le contact avec l'ensemble des institutions et des populations des villages fréquentés par la mission.

Le programme de recherches réunit chaque année en septembre-octobre, toutes les équipes du projet afin de présenter l'évolution des fouilles, les nouveaux résultats et les prochaines missions. Les avancées du programme font l'objet chaque année de rapports, d'une centaine de pages, publiés dans des numéros spéciaux "*Jahresbericht*", par le F.L.S.A (Fondation Suisse-Liechtenstein pour les recherches archéologiques à l'étranger). Les recherches effectuées ces dernières années permettent d'établir une séquence chronostratigraphique continue et de caractériser les occupations du Pléistocène à la période historique (Huysecom & al., 2003 ; Rasse & al., 2004, 2005, 2006 ; Le Drézen & al., soumis ; Lespez & al., accepté). Il n'a été retrouvé aucun reste osseux pour le moment sur le site d'Ounjougou, une absence qui s'explique par l'acidité des sols latéritiques, très ferrugineux, qui se sont développés sur les grès. Les résultats des différentes recherches définissent des phases d'occupation, fondées sur les données chronostratigraphiques, archéologiques et paléoenvironnementales (Huysecom & al., 2003), au cours de l'Holocène. Les couches sédimentaires du Pléistocène sont étudiées principalement par Michel Rasse, celles de l'Holocène ancien et moyen ont été observées en collaboration par Laurent Lespez, Michel Rasse et moi même. Les recherches paléobotaniques de l'Holocène ont été menées par Aziz Ballouche, Katharina Neumann, Barbara Eichhorn et moi même, dans lequel s'inscrivent ces travaux (par la palynologie, l'anthracologie et la carpologie).

L'intérêt de cette recherche doctorale est d'étudier, observer et interpréter la deuxième séquence de l'Holocène récent et l'Holocène terminal, par des analyses à hautes résolutions, afin de déterminer la part des sociétés et des climats dans les dynamiques des paysages dans la vallée du Yamé. Différentes méthodes ont dû être mobilisées pour acquérir une meilleure compréhension de ces paysages humanisés. Les résultats ont ensuite été confrontés avec ceux des collègues du programme, qu'ils soient anthracologues, archéologues ou ethnologues.

Des recherches précédentes à celles de ce programme ont été effectuées au Pays dogon avec de multiples données économiques, sociales, ethnologiques ou archéologiques. Les informations sont multiples et variées, elles correspondent à différentes explorations au XIX^{ème} siècle (René Caillé, Heinrich Barth, le lieutenant Abdon-Eugène Mage ou Edmond Caron) ; à des monographies (comme "Haut-Sénégal-Niger", par Maurice Delafosse, 1912) ; des missions ethnographiques au XX^{ème} siècle (dont celle de Marcel Griaule en 1933, qui aboutiront à de nombreux ouvrages de référence tels ceux de : Dieterlen G., 1941 ; Leiris M., 1948 ; etc.) ; des recherches géographiques dans les années soixante par Jean Gallais (1965) ; puis des recherches sur l'histoire du peuplement dans les années 1970-1980 (Izard, 1970, 1985 ; Gallay & Sauvain-Dugerdil, 1981).

3.2. Présentation des données archéologiques

Les recherches pluridisciplinaires développées au sein de ce programme supposent que nos recherches paléoenvironnementales s'articulent étroitement aux résultats obtenus par nos collègues archéologues.

Après plus de dix ans de recherches à Ounjougou et au Pays dogon, il est possible de proposer une séquence chrono-culturelle de référence sur plus de vingt mille ans, du Pléistocène à nos jours.

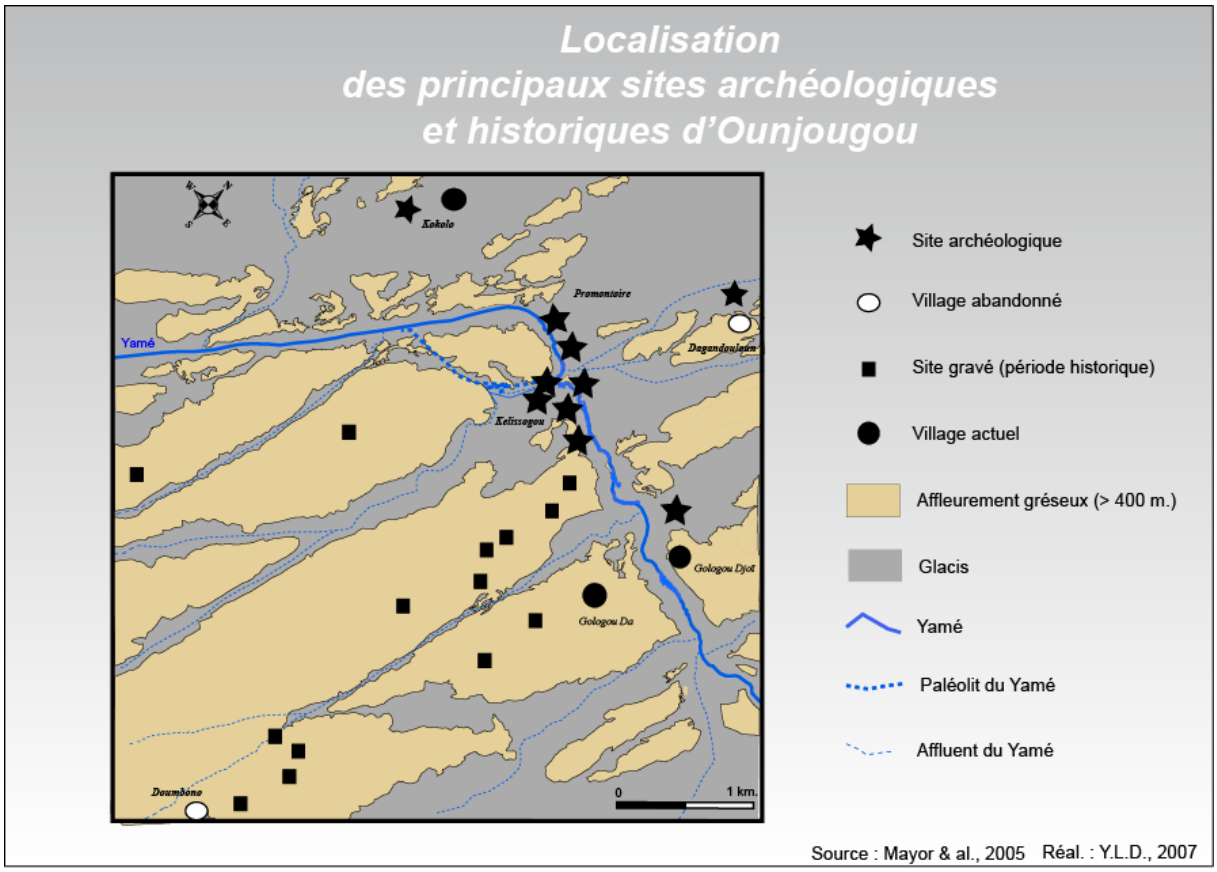


Figure n° 17 : Localisation des principaux sites archéologiques et historiques d'Ounjougou

3.2.1. Des données archéologiques, dès le Paléolithique à Ounjougou :

Le Paléolithique se définit en premier lieu par le mode de subsistance des sociétés, basé principalement sur la chasse et la collecte. Les plus anciens témoins d'occupations paléolithiques découverts sur le site d'Ounjougou (cf. Figure n° 17 ; Soriano, 2006) sont bien datés et semblent remonter au Pléistocène moyen. L'essentiel des occupations connues s'est déroulée durant le Pléistocène supérieur. A Ounjougou, comme sur la majorité des sites ouest africains, les vestiges de cette période se réduisent aux industries en pierre taillée. Cette séquence est une référence incontournable pour le Paléolithique d'Afrique de l'Ouest (Robert & al., 2003 ; Soriano, 2006).

3.2.2. Ounjougou et le "Néolithique africain" :

- *La concept de "Néolithique africain" :*

Le concept de "Néolithique africain" a longtemps fait débat parmi les archéologues et continue toujours. Cette expression diffère du terme de Néolithique, généralement admis par la communauté scientifique en Europe et au Proche Orient, qui désigne des sociétés sédentaires dont l'économie est basée sur un système de production de biens vivriers (Huysecom, 2006).

En Afrique, le processus de *néolithisation* diffère selon les régions, les sociétés et les chercheurs. Selon certains auteurs (Huysecom, 2007), le *Néolithique africain* correspond à des sociétés productrices de céramique, présentes dès le début de l'Holocène à Ounjougou et pratiquant la cueillette sélective et intensive de certaines plantes comestibles sauvages (dernier stade atteint par les chasseurs-cueilleurs avant la sédentarisation et le passage à l'agriculture). En revanche, selon d'autres auteurs, le Néolithique correspond à une sédentarisation des sociétés pratiquant l'agriculture (MacDonald, 1997 ; MacDonald & Allsworth-Jones, 1994 ; Breunig, 2007). Mais tous les archéologues s'accordent pour dire que les paysans-éleveurs entrent dans une ère de production et de consommation, correspondant à un changement économique et culturel, vers 1 500 avant notre ère en Afrique de l'Ouest.

- *Réflexion sur les débuts de l'agriculture et de l'élevage en Afrique de l'Ouest :*

Le rôle des pratiques agraires est déterminant en Afrique de l'Ouest, dans la première moitié du 2ème millénaire avant notre ère. La période précédant la domestication des céréales correspond à une exploitation intensive des graminées sauvages, comme au Soudan avec l'exploitation du *Setaria sp*. au 9-8ème millénaire avant notre ère ou avec le sorgho sauvage au 6ème millénaire avant notre ère ; en Mauritanie (Dhar Tichitt, Oualata), avec le *Cenchrus biflorus* dès le 3ème millénaire avant notre ère (Munson, 1989). L'Holocène récent est une période importante dans ***le processus de domestication des paysages par l'agriculture*** (Neumann, 2005 ; Smith, 2006 ; Hoelzmann & al., 2001 ; Breunig & Neumann, 2002, 2003). Le mil d'Ounjougou est contemporain des autres données sur le *Pennisetum* en Afrique occidentale (Amblard, 1994 ; Macdonald, 1996) et légèrement postérieur au Burkina Faso et au Nigeria (Neumann, 2005). La culture du mil est reconnue à cette période dans de

nombreux sites en Afrique de l'Ouest (figure n° 18), comme à Dhar Tichitt, Oualata, Dijigayai (entre le 2ème et 1er millénaire avant notre ère, Mauritanie) ; Tin Akoff, Oursi (Burkina Faso) ; Kursakata, Gajigama (Nigéria) ; Birimi (Nord Ghana) ; Windé Koroji, Karkarichinkat (Mali) et à Djenné Djeno (Mali) (Munson, 1989 ; Amblard, 1994 ; McIntosh, 1995, 1997 ; Ballouche & Neumann, 1995 ; Neumann & Vogelsand, 1996 ; Ballouche, 1998 ; Neumann, 1999 ; D'Andrea & Casey, 2002).

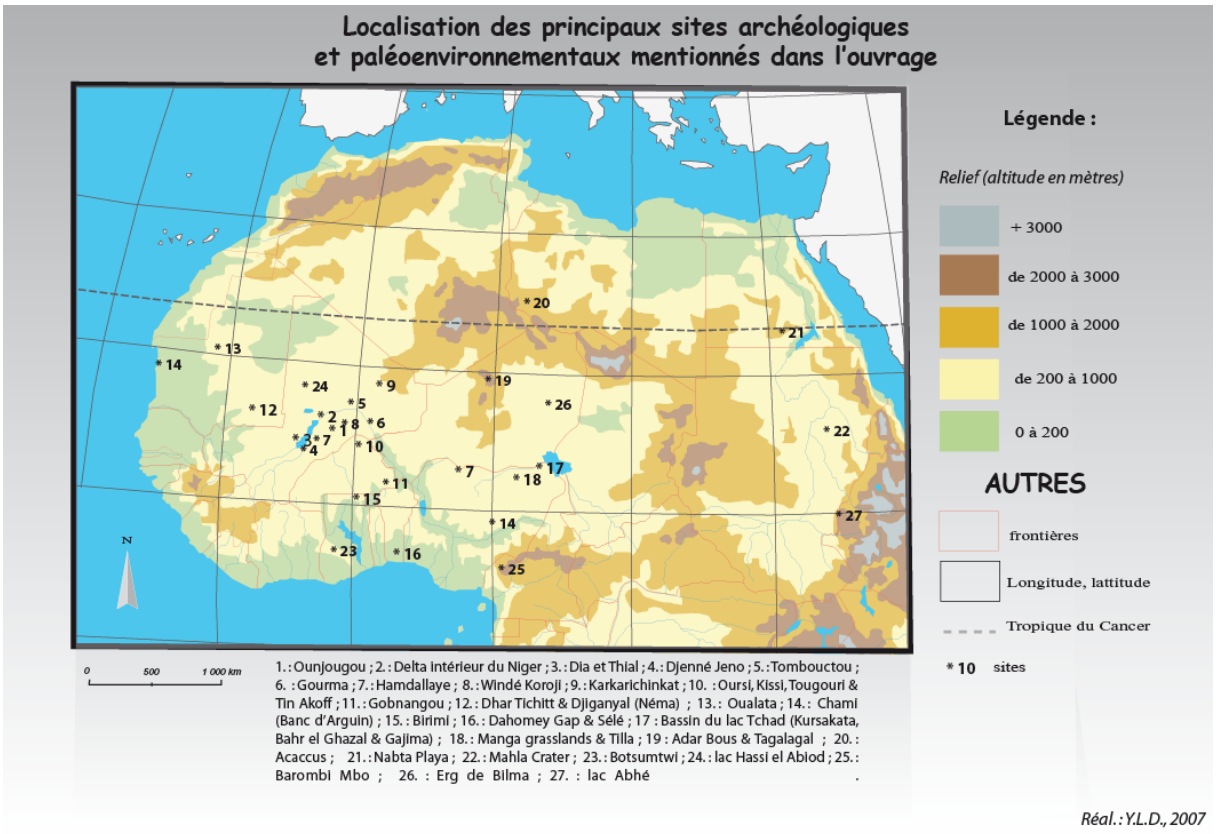


Figure n° 18 : Localisation des principaux sites archéologiques et paléoenvironnementaux mentionnés dans cet ouvrage

Une **agriculture** s'est ainsi progressivement intensifiée en Afrique de l'Ouest, sur des zones de bas-fonds ou de décrue pour les cultures du riz et du sorgho ou sur les sols drainés nécessitant des défrichements pour le mil. Il est souvent attribué un rôle important de l'aridification du Sahara dans l'affirmation de l'agriculture. Au cours de l'Holocène récent, des changements des sociétés sont enregistrés en raison de déplacements importants liés à une aridification des zones septentrionales. Les sociétés vont se diversifier culturellement, économiquement, anthropologiquement et linguistiquement (Huysecom, 2007), et vont migrer vers des zones plus favorables, comme les zones plus humides dans les savanes, les zones côtières ou les grandes vallées (Smith, 1974). L'affirmation du peuplement et du développement des agrosystèmes se situe clairement dans ce contexte.

Par contre, la question de ***l'élevage*** reste encore souvent en suspens en Afrique de l'Ouest, car les restes faunistiques sont très rares en raison de sols défavorables à la longue conservation des ossements. L'élevage des bovidés en Afrique débute très tôt, avec la domestication des aurochs (*Bos p. primigenius*) dans le Sahara et la vallée du Nil, vers le 9ème millénaire avant notre ère, à Bir Kiseiba et à Nabta Playa (Wendorf & al., 1990, 1992) et dans l'Enneri et le Tibesti (entre le 6ème et 5ème millénaire avant notre ère), précédant de plusieurs millénaires l'élevage des ovi-caprinés (les chèvres, moutons), importé du Proche Orient. Les sites de Chami (Banc d'Arguin, Mauritanie), et de Karkarichinkat (vallée du Tilemsi, Mali) semblent prouver l'existence d'un élevage de bovidés 2 000 ans avant notre ère (Smith, 1974) ; comme dans l'Acacus (Tassili algérien) vers 4 000 ans avant notre ère, à l'Adrar Bous (dans le Ténéré nigérien) vers 3 800 ans avant notre ère dans l'Adrar Bous ou à Dar Tichitt (Mauritanie) vers 1 500 ans avant notre ère (avec chèvres et gros bétail). Des ossements de bovins domestiqués ont été signalés à Borno (Nigeria) au premier millénaire avant notre ère (Breunig & al., 1996) et peuvent être associés aux migrations des sociétés au cours de la période sèche de l'Holocène récent.

- *Les données archéologiques de l'Holocène à Ounjougou :*

Les recherches archéologiques effectuées dans la vallée du Yamé (Figure n° 17) apportent de nouvelles données importantes pour la connaissance des origines du Néolithique en Afrique. Les fouilles archéologiques à Ounjougou ont permis d'identifier un peuplement ancien avec du matériel antérieur à la domestication des céréales, qui ne commence qu'au 2ème millénaire avant notre ère. En Afrique de l'ouest subsaharienne, les traces d'occupation datant de l'Holocène ancien sont éparses, et les recherches sur le site d'Ounjougou ont permis de définir trois phases principales pour l'occupation de la vallée durant l'Holocène ancien et moyen (Huysecom & al., 2004).

La première phase, correspondant au début de l'Holocène ancien, se situe entre le 10ème et le 9ème millénaire avant notre ère. L'industrie lithique découverte (éclats retouchés, petites armatures bifaciales, …) en stratigraphie dans les différents dépôts montre que la matière première dominante correspond aux galets de quartz issus du substrat gréseux local. La découverte de tessons indique un usage de la céramique dès le dixième millénaire avant

notre ère, et révèle que des populations se réinstallent le long du Yamé au début de l'amélioration climatique de l'Holocène. La céramique d'Ounjougou est l'une des plus anciennes céramiques d'Afrique (Huysecom, 2004, 2006, 2007). L'invention de la céramique témoigne d'une certaine emprise des hommes sur l'environnement, permettant la conservation et la cuisson des éléments.

La deuxième phase d'occupation à l'Holocène ancien, au huitième millénaire avant notre ère a livré un matériel lithique peu abondant, associé à de la céramique et à du matériel de broyage (meule de grès et molette cylindrique). Le débitage a lieu *in situ*. Les tessons révèlent un dégraissant de quartz et des éléments de décors (Huysecom, 2004, 2007).

La troisième phase qui survient dans l'Holocène moyen, entre le sixième et quatrième millénaire avant notre ère, succède à un hiatus important dans l'occupation humaine. Un seul site (le Promontoire néolithique) témoigne de la reprise des occupations à cette période. L'outillage sur grès quartzitique révèle la présence d'un atelier de taille spécialisé dans le façonnage bifacial de pointes en grès (Figure n° 17).

A Ounjougou, les hommes maîtrisent la technique de la céramique dès le 10ème millénaire, ce qui est plus tôt qu'au Niger (9ème millénaire avant notre ère ; à Tagalagal et dans l'Adrar Bous 10 ; Close, 1995 ; Roset, 1996 ; Jesse, 2003), en Lybie (au 8ème millénaire avant notre ère, à Ti-n-Torha ou Uan Tabu), en Algérie (à Launey et Amékni ; Barich, 1974 ; Camps, 1969) et dans le Sud du Sahara (entre le 6ème et 4ème millénaire avant notre ère, au Cameroun, à Shum Laka ; au Nigeria, à Konduga ; au Mali, à Kourounkorokale et au Ghana, à Bosumpra ; Lavachery, 2001 ; MacDonald, 1997 ; Shaw, 1985). La meule et la molette d'Ounjougou s'avèrent être parmi plus anciennes d'Afrique subsaharienne, comme celles connues au 9ème millénaire avant notre ère dans le Sahara central (au Niger, à Temet). En général, les industries lithiques des phases 1 et 2 s'apparentent au "technocomplexe microlithique ouest-africain" qui est plus méridional (MacDonald, 1997), avec les sites de Iwo Eleru et Rop au Nigeria, de Bigerville en Côte d'Ivoire et de Shum Laka au Cameroun (Lavachery, 2001).

- *Le Néolithique récent du Plateau dogon (3500-500 B.C.) :*

Deux grandes phases chrono-culturelles définissent le Néolithique récent d'Ounjougou : la phase 4, au troisième millénaire avant notre ère et la phase 5, au deuxième millénaire avant notre ère.

La phase 4 (2900-2200 avant notre ère) a peu de céramiques mais leurs caractéristiques techniques et typologiques, sont de type *dotted wavy line* (Figure n° 19). Elles trahissent une ascendance culturelle saharienne, avec des formes hémisphériques. Ces formes sont observables à la même période dans le Tilemsi (à Karkarichinkat Sud ; figure n° 19 ; Smith, 1974) et dans le Delta intérieur du Niger mais à la fin du troisième millénaire avant notre ère. (MacDonald, 1996). Par contre, les recherches actuelles n'ont révélé aucune trace d'habitat à cette époque. La vallée du Yamé se trouve probablement sur la trajectoire d'un ou plusieurs axes de mouvements Nord-Sud, liés à l'abandon progressif des zones sahariens (Ozainne, 2006, 2007).

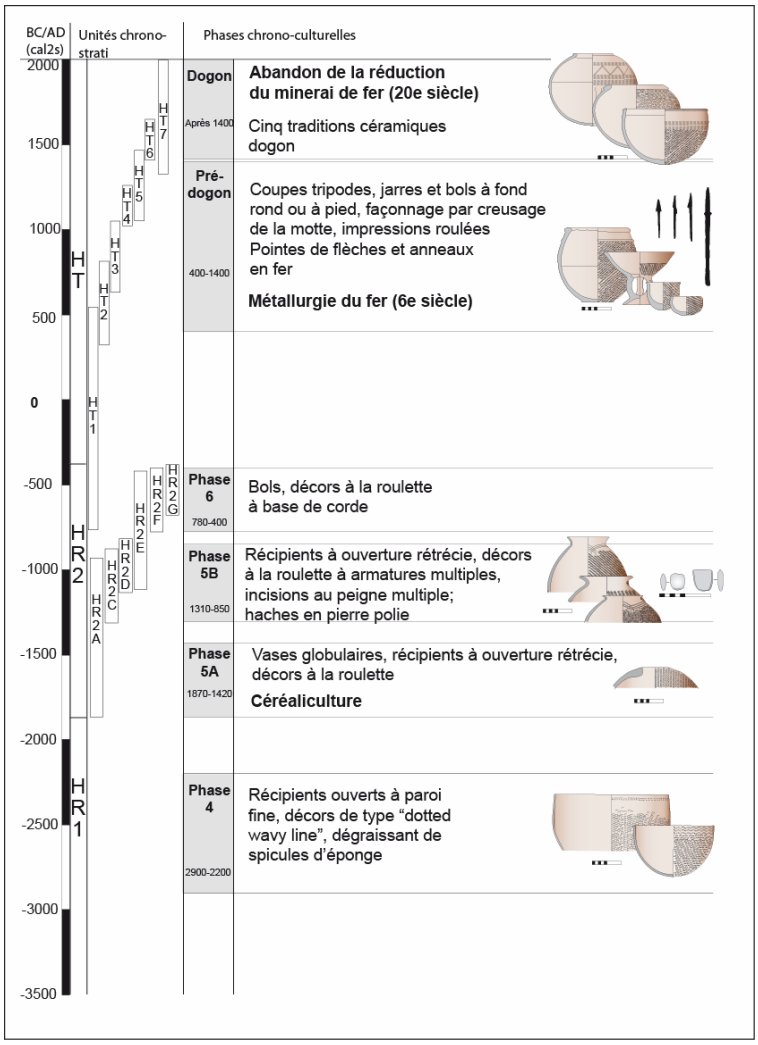


Figure n° 19 : Cadre chrono-culturel de l'Holocène récent et terminal à Ounjougou, Réalisé par S. Ozainne

La phase 5 est très bien documentée sur le site d'Ounjougou et datée entre 1800-900 avant notre ère, avec deux sous-ensembles : la ***phase 5A*** (entre 1780-1410 avant notre ère) et la ***phase 5B*** (entre 1300-840 avant notre ère). La phase 5 montre une rupture culturelle différente avec la phase précédente (cf. figure n° 19). Cette phase est la période clef dans cette recherche doctorale, car le rôle des sociétés devient non négligeable en raison d'une sédentarisation, de pratiques agricoles et pastorales dans de nombreux sites d'Afrique de l'Ouest. A Ounjougou, un contexte économique et culturel radicalement différent des phases précédentes se met en place, coïncidant avec les débuts de l'agriculture dans la région (Ozainne, 2007). L'abondance de matériel de broyage et les différents témoignages d'habitat concordent avec la présence de mil domestiqué (*Pennisetum glaucum*), attestée sur le site des Varves dès le début de la phase 5 (Eichhorn & Le Drézen, 2007). Toutefois, la présence de bétail dans la vallée du Yamé au deuxième millénaire avant notre ère ne peut être ignorée, ni écartée. Les informations relatives à une quelconque activité pastorale sur le site d'Ounjougou sont faibles, mais les fouilles menées par Néma Guindo (dans la Plaine du Séno) devraient prochainement pouvoir fournir des indications précieuses sur le pastoralisme dans la région.

La phase 5A (entre 1780-1410 avant notre ère) est connue par un corpus céramique modeste (figure n° 19), marquant une rupture avec la Phase 4. Il s'agit en majorité de vases à col et bord éversés, arrondis, aplatis ou biseautés à l'extérieur, avec des diamètres de 14 à 21 centimètres. Les pâtes sont le plus souvent dégraissées avec du quartz. Les décorations correspondent à des impressions roulées, au peigne fileté simple rigide ou souple (Ozainne, 2006, 2007). D'un point de vue culturel, ces caractéristiques se retrouvent dans toute la partie orientale du Plateau dogon au deuxième millénaire avant notre ère. Les lames de hache en pierre polie sont nombreuses. Le matériel de broyage et de polissage est abondant et divers, avec des pierres à rainures, meules et fragments de meules en grès. Plusieurs structures d'habitat aménagées avec des blocs et des dalles de grès ont été découvertes. Ces éléments indiquent la présence d'établissement temporaire sur les rives du Yamé.

La phase 5B d'Ounjougou (entre 1300-840 avant notre ère) reflète une intensification des occupations dans la vallée du Yamé. Les caractéristiques techniques de la céramique (figure n° 19) sont semblables à celles de la phase 5A, avec toutefois de nouvelles composantes stylistiques, indiquant notamment des relations avec le Méma, sur les marges du

Delta Intérieur ; MacDonald, 1996). Ces indices évoquent une mise en place progressive d'un réseau d'échanges entre les deux rives du delta, résultant de déplacements de populations importants sur un axe Nord-Ouest/Sud-Est. Ces migrations peuvent correspondre à l'expansion graduelle de populations d'agriculteurs, qui délaissent progressivement la région Nord sahélienne. A Ounjougou, un habitat étendu a été révélé lors de fouilles archéologiques, présentant une superficie minimale de 6 000 m². Quelques structures de combustion ont été observées, ainsi que de nombreux blocs de grès, fragments de matériel de broyage et de poteries. L'habitat apparaît important, mais aucune structure en pierres, comparable à celle de la Phase 5A n'a été identifiée, qui laissent supposer des constructions plus simples avec une architecture légère. Une occupation semi-permanente peut être envisagée, avec des villages principaux ayant une position de retrait sur les interfluves gréseux (Ozainne, 2007).

Une récente découverte sur le site d'Ounjougou indique que la vallée a été occupée jusque vers le milieu du 1er millénaire avant notre ère, ce qui nous permet d'envisager *une sixième Phase culturelle* dans la vallée du Yamé. Un tesson de céramique dans un niveau daté entre 600-400 avant notre ère (sur la coupe dite du Rônier : Coupe 13 de la Rive Gauche) conserve des traces d'un décor roulé serré, proches des décors de la phase 5B. Cette occupation représente une entité chrono-culturelle en continuité culturelle avec les phases précédentes. C'est à cette période que le Delta Intérieur du Niger devient propice à des occupations permanentes, comme à Dia (Bedaux & al., 2005).

La capacité de la vallée du Yamé a jouer un rôle de refuge dans des conditions globales arides dans la région ouest africaine est probable. La vallée semble toutefois abandonnée entre 400 avant notre ère et 600 après notre ère.

- *Les occupations Pré-dogon & dogon dans la vallée du Yamé :*

Les recherches archéologiques ont mis en évidence de nombreuses traces d'occupations humaines durant l'Holocène terminal dans la vallée du Yamé (figures n° 17 & 19). Les dernières découvertes archéologiques, par D. Keïta sur le site de Kokolo (à 3 kilomètres en aval du site de la Confluence) montrent une occupation avec une structure complexe d'habitat de forme ovulaire avec des blocs de pierres, probablement avant le premier millénaire après notre ère. Des céramiques assez homogènes ont été découvertes avec des décors, ainsi que du matériel de broyage et des meules et molettes.

D'autres sites existent aussi à proximité de la falaise, à Songona (au 5 et 11ème siècle de notre ère) et à Damassogou (entre le 3 et 7ème siècle après notre ère). La culture dite des Toloy a été décrite par une équipe hollandaise dans les années 1970 à partir de fouilles dans la région de Sangha, dans la grotte A (Bedaux, 1972 ; Bedaux & Lange, 1983). Le concept de culture Toloy est remis en cause par E. Huysecom et A. Mayor (Huysecom & al, 2007) après des observations des greniers et par les caractéristiques de la céramique qui se sont avérées très proches de celles de la phase 5B d'Ounjougou. Ces découvertes au Pays dogon montrent un peuplement pré-dogon continu sur plus d'un millénaire, qui pratiquerait une agriculture intensive sur le plateau. Cette période correspond également dans la région à la Phase 1 du site urbain de Djenne-Djéno (découverte par le chercheur américain S.-R. McIntosch ; environ deux cent kilomètres plus au Sud d'Ounjougou), marqué par des populations ayant migrées depuis le site urbain de Dia (McIntosh, 1995, 1998) et du site de Zampia, correspondant à la disparition du matériel lithique en relation avec l'avènement du fer vers 900 et 550 avant notre ère.

Entre **le 6 et 11ème siècle** de notre ère, les sociétés sont présentes à proximité d'Ounjougou, sur le site de l'abri-sous-roche de Dagandouloun (à deux kilomètre au Nord de la Confluence ; Mayor, 2005). Les fouilles de ce site et de celui du Promontoire ont permis de mettre à jours de nombreuses céramiques avec des impressions de fibres de baobab, des coupes à pieds, des jarres contenant traditionnellement des aliments ou des liquides (figures n° 17 & 19). L'abri-sous-roche devait correspondre à un site rituel pré-dogon. Ces occupations laissent présager des agrosystèmes traditionnels avec notamment des espèces végétales qui sont choisies en raison de leur utilité, comme le baobab ou le karité.

Par ailleurs, dès le 6ème siècle, la région de Bandiagara a été un important site de production de fer, comme le confirment les fouilles de Ficko, à une cinquantaine de kilomètres à l'aval d'Ounjougou (Huysecom & al., 2006). Dans la région, les recherches archéologiques et historiques montrent une présence humaine importante avec le site de Djenné Djeno (à son apogée entre le 5 et 9ème siècle après notre ère ; McIntosh, 1995, 2006). A la même époque, l'Empire du Ghana (du "Pays de l'Or" ou "Pays de Wagadou") est à son apogée avec des limites situées à quelques kilomètres à l'Ouest de Bandiagara. D'autres sites ont pu être observés au Mali comme au Gourma avec le site de Tongo Maare Diabal (vers 400-1200 après notre ère ; Bedaux & Van der Waals, 2003), il serait contemporain du déclin de la cité de Djenné Djeno, avec des mouvements migratoires vers l'Est du Delta Intérieur du Niger (McIntosh, 1995).

Entre le 11 et 15ème siècle après notre ère, de nombreuses informations permettent de comprendre l'histoire du peuplement de la région. Les dernières fouilles effectuées à Kokolo montrent la présence de population pré-dogon avec un habitat complexe en pierres sèches au 13ème siècle après notre ère. Ce site peut être mis en relation avec celui de l'abri-sous-roche de Dagandouloun, qui aurait été abandonné vers le 12ème siècle et celui du Promontoire, abandonne vers le 13ème siècle (figures n° 16 & 18). Les céramiques de Kokolo correspondent à celles identifiées sur le site de Songona (5-11ème après notre ère), mais différent de celles de Dagandouloun (cf. figures n° 16 & 18) ou des grottes dites "*Tellem*" (Mayor, 2005 ; Bedaux & Lange, 1983). Le fer était utilisé pour des outils agricoles comme le certifient les lames à douille de daba, qui sont différentes de Dagandouloun où était observé principalement des pointes de flèches et des petits anneaux.

Au 11 et 12ème siècle après notre ère, les abri-sous-roche de la falaise dans la région de Sangha sont utilisés comme nécropoles collectives (murets de briques, squelettes humains, crânes de chèvres et bovidés, textiles, armes, etc.) ou comme lieux de rituels funéraires (céramiques, parures en fer, etc.). A partir du 13ème siècle, le passage de l'occupation dite *Tellem* à une occupation dogon se fait graduellement. Les premiers Dogon (originaire du pays Mandé, selon les traditions orales) seraient arrivés sur le Plateau dogon entre le 13 et 15ème siècle après notre ère (Mayor, 2005 ; Robion-Brunner, 2008). La région est un site stratégique, sujet à de nombreux conflits. Le plateau a longtemps servi de refuge. Entre le 7ème et le 16ème siècle, l'Empire songhaï et la dynastie dite de Dia essaient de conquérir le plateau. Leur occupation dans le Delta du Niger génère de nombreuses migrations sur le plateau et la falaise de Bandiagara. Au 15ème siècle, les Mossi dominent la région et attaquent régulièrement les Dogon dans la plaine et près de la falaise, provoquant leur retrait vers la falaise (Izard, 1985). A la fin du 16ème siècle, les marocains saccagent de nombreuses villes comme Tombouctou, Gao, Djenné (en 1591), et provoquent la chute de l'Empire Songhaï et l'anarchie dans la Boucle du Niger, dont les habitants fuient vers le plateau ou la falaise.

Du 15ème au 17ème siècle, de nombreux villages sont établis sur le Plateau dogon (comme Dagandouloun ou Orossobo). Progressivement, les Dogon vont s'installer sur le plateau et être des acteurs de la production paysagère. L'activité principale est l'agriculture sur le glacis (sur le site du Promontoire) et les rives du Yamé (Mayor, 2005), avec probablement des agrosystèmes traditionnels largement développés.

Au 18ème siècle, la région connaît de nombreuses menaces par ses voisins (peuls, moose, bambara, toucouleur ou marka) en raison du commerce d'esclaves. La majorité des Dogon s'installent sur le plateau à partir du 18ème siècle, pour trouver refuge. D'après A. Mayor (2005), le village de Dagandouloun était habité également du 18 au 19ème siècle, avec un approvisionnement en eau près de la rivière du Boubangou (un des affluents du Yamé), jusqu'à son tarissement. A partir de 1818, l'Empire peulh du Macina (ou de la Dina) est créé, sa capitale Hamdallaye (signifiant "louange de Dieu") est située à une quarantaine de kilomètres de Bandiagara. Ce nouvel état souverain musulman s'étend de Tombouctou au territoire Mossi, jusqu'à la Mauritanie, dirigé par Sékou Amadou. La ville d'Hamdallaye est fortifiée, avec près de 6 000 mètres de remparts, 60 quartiers et 300 000 habitants. La ville fut rasée le 16 mars 1862 par El Hadj Oumar Tall. Les villages dogon ont été progressivement razziés par les peulhs, quant ils refusaient de se convertir à l'Islam. Selon Allaye Nantumaye (du village de Gologou Da), l'abri de Dagandouloun aurait servi de refuge à ses ancêtres lors des attaques de cavaliers peuls, avec un atelier d'empoisonnement des flèches de guerre (figures n° 17 & 19). La chute de l'Empire, provoquée par les Toucouleurs, fut considérée comme un soulagement pour les Dogon. Le pastoralisme aurait été probablement interdit aux peulhs, à cette époque sur le plateau.

C'est à partir du **dix-neuvième siècle** que plusieurs explorateurs européens explorèrent la région, dont l'écossais Mungo Park (explorations de 1795 à 1806) ; le français René Caillé (explorations de 1824 à 1828) et l'allemand Heinrich Barth (explorations de 1850 à 1855).

La conquête française commença en 1893. La colonisation de l'Afrique de l'Ouest est très rapide, en deux décennies, après la conférence de Berlin, en 1884. Faidherbe est le responsable français de la colonisation au Soudan et Archimard envahit Djenné et Bandiagara en 1892. Le Soudan fait partie de l'A.O.F. (Afrique Occidentale Française) et est divisé en 21 cercles. De nombreuses révoltes, comme celle de 1910 d'Ibissa à Poi You dogon, persistent au Pays dogon, jusqu'en 1960 (date de l'indépendance).

C'est à partir de **1907,** que les Dogon sont réellement connus des européens, avec Louis Desplagnes, lieutenant d'infanterie coloniale, qui fut le premier à décrire cette société, puis ensuite les différentes missions (comme Dakar-Djibouti de 1931 à 1933, dirigée par Marcel Griaule, qui comprenait l'ethnologue et écrivain Michel Leiris ; Sahara-Soudan en 1935 ; Sahara-Cameroun en 1937 ; puis Niger-Lac Iro en 1939, avec les deux ethnologues Denise Paulme et Germaine Dieterlen).

L'Etat colonial a apporté de nouveaux droits "d'expropriation collective" en considérant que les terres sont "vacantes et sans maîtres". La législation coloniale a minimisé les droits traditionnels relatifs à la terre, l'eau et les zones forestières. Plusieurs textes relatifs au foncier ont été adoptés durant cette période (l'Arrêté Faidherbe du 11 mars 1865, les Décrets du 20 juillet 1900, 30 août 1900, 2 mai 1906 et l'Arrêté du 19 octobre 1906 ou le Décret du 20 mai 1955 et celui du 10 juillet 1956, etc.). Les conséquences sont multiples, comme notamment une quasi disparition des *Alamodiou* (ou *Alamodjou* ou "groupe des vilains") chez les Dogon. Le rôle de ces *Alamodiou* est très important dans la gestion des terres, du milieu environnant. Ils correspondent à des associations traditionnelles assez bien structurées et indépendantes du pouvoir politique et administratif, qui existaient dans chaque village du Pays dogon. Ils sont chargés de la protection des ressources naturelles renouvelables, de protéger des arbres (gestion des ressources, mobilisation contre les incendies, …), de la gestion des points d'eau. Ils devaient surveiller les arbres fruitiers contre la cueillette des fruits à l'état vert, organiser la cueillette des fruits, surveiller les mares, interdire les feux, etc. Ils respectaient les décisions du Hogon. Ils ont quasiment disparu de la région ces dernières années. Ces organisations ont été affaiblies par l'islamisation des Dogon, par la politique coloniale puis la politique centralisée de l'état malien (Tessougué T. & De Noray M.-L., 1995). Aujourd'hui, dans certains cercles comme Bankass (commune de Dimmbal), les activités des *Alamodiou* ont été élargies, comme l'interdiction de la coupe des arbres verts, la gestion des conflits sociaux, les travaux de défense et de restauration des sols et des eaux, l'information et la sensibilisation des populations sur la dégradation de leur environnement et l'alphabétisation des populations. Ils impliquent également de plus en plus les éleveurs à la gestion afin de limiter les litiges entre agriculteurs et éleveurs.

Les bois sacrés étaient assez nombreux dans la région avant les années soixante. Ils étaient localisés par des petits fétiches, indiquant le caractère sacré du lieu. L'affaiblissement des associations locales de gestion des ressources naturelles et l'islamisation ont eu différentes conséquences sur l'occupation du sol à Ounjougou et dans la région, comme la disparition de certains de ces bois sacrés (comme l'ancien bois des *Undio*, sur notre zone d'étude), la plantation de nouvelles espèces végétales dans les champs céréaliers, etc. Dans les villages de Gologou Da et Gologou Djoï, il n'existe plus de nos jours d'*Alamodiou*. L'animisme a nettement reculé ces dernières années. Toutefois, les recherches ethnographiques et ethnohistoriques montrent que les Dogon animistes utilisent toujours les abris-sous-roche comme lieu de sépultures ou lieux de rituels (Griaule, 1938 ; Dieterlen, 1941 ; Lauber, 1998 ;

Beckwith & Fisher, 1999 ; …). Les lieux interdits sont toujours respectés (comme la Confluence du Yamé à la tombée de la nuit, lieu du Génie des Eaux), les bois sacrés et certaines espèces végétales traditionnelles (baobab, karité, etc.) sont conservés.

4. *Une démarche géographique et géoarchéologique*

La démarche adoptée dans le cadre de ce travail doctoral emprunte d'une part à certaines approches géographiques du paysage et d'autre part à des approches développées par la géoarchéologie, afin de reconstituer les environnements passés.

4.1. Le "*paysage*" des géographes

De multiples approches abordent la notion de *paysage* donnant lieu à une abondante bibliographie. Ce terme polysémique est un concept ancien, qui trouve son origine dans le domaine artistique mais qui a fortement évolué au fil du temps, selon les disciplines et les régions du globe.

La *géographie* s'empare dès la fin du XVI^{ème} siècle de la notion de paysage, à travers les nombreuses descriptions des découvertes des différents explorateurs et géographes. Son utilisation s'est répandue à partir du XIX^{ème} siècle quand, à partir d'un travail de terrain, de nombreux géographes s'intéressent à la description et la compréhension du paysage.

Ainsi, à la fin du XIX^{ème} et au début du XX^{ème} siècle, cette notion va prendre une dimension nouvelle en tant qu'objet scientifique, puisque se créée en **Allemagne** la "*Landschaftskunde",* **une science des paysages** en relation avec la géographie. L'école allemande de la "*Landcshafstkunde"* intègre le rôle des hommes sur leur environnement avec la notion de "*Kulturlandschaft*". Les géographes allemands (Alexander von Humboldt, Karl Ritter, Friedrich Ratzel, Alfred Hettner, Otto Schlüter ou Siegfried Passarge) réfléchirent à une science des Paysages à partir de leurs recherches sur les formations végétales, les relations Hommes/Nature et les facteurs de transformation, autour des concepts d'espace ("*Raum*"), de peuple ("*Mensch*"), de culture ("*Kultur*") et d'Histoire ("*Geschichte*"). Ces scientifiques considéraient le paysage comme une "expression spatiale des structures réalisées dans la nature par les jeux de lois scientifiquement analysables" (Rougerie & Beroutchachvili,

1991). A la fin du XIX^{ème} siècle, cette approche est formalisée comme géographique après l'institutionnalisation des universités d'une discipline géographique universitaire. Alexander von Humboldt fut l'un des précurseurs de l'approche naturaliste des paysages (typologie des formes végétales) et Karl Ritter est considéré comme le père de la géographie environnementaliste (vision holiste de la nature). Siegfried Passarge (géographe allemand d'origine italienne) établit en 1919 le manifeste de la "*Landschaftskunde"* ("*Die Grundlagen der Landschaftskunde"* ; Rougerie & Beroutchachvili, 1991). Au cours du vingtième siècle, la géographie allemande qui orienta longtemps ses recherches sur les éléments naturels des paysages va s'ouvrir sur leur caractère social, avec des nouveaux concepts, comme le "paysage naturel" *("Naturlandschaft"), le* "paysage culturel" *("Kulturlandschaft")* ou "l'écologie du paysage" (*Landschaftökölogie*). Cette notion de **Paysage culturel**, traduction directe de l'allemand "*Kulturlandschaft*", est une expression introduite par Nortbert Krebs lors d'une conférence à Berlin en 1923.

Différents courants de pensées et écoles à travers le monde ont également définis cette notion de *paysage*. **En Union Soviétique**, elle est étudiée à partir de l'expression de "*Complexe Naturel Territorial*" (C.N.T.), qui traduit la même logique que la "*Landschaftskunde*" (Rougerie & Beroutchachvili, 1991). **Aux Etats-Unis**, "l'Ecole de Berkeley", dans les années 1920, dont l'un des responsables fut Carl O. Sauer (1890-1975) définit le paysage comme "une combinaison d'éléments matériels et de ressources naturelles, disponibles en un lieu, avec les oeuvres humaines correspondant à l'usage qu'en ont fait les groupes culturels qui ont vécu en ce lieu". La notion de **paysage culturel** (*Cultural landscape*) connut un vif succès dans cette école géographique. Sauer considère le paysage culturel comme la notion clé et définit plus généralement le paysage, comme étant "le concept central de la géographie" (Sauer, 1925).

Dans la première moitié du vingtième siècle, **en France**, la géographie continue de privilégier l'aspect matériel du paysage. Roger Dion, dans son *Essai sur la formation du Paysage rural français*, le considère comme la combinaison de facteurs socio-économiques et politiques. Le paysage est considéré dans ces approches comme "un produit dérivé et non-intentionnel de la relation homme-nature, une sorte de révélateur neutre, produit à l'insu de son producteur" (Debarbieux, 2002). Entre les années 1950 et 1970, la notion de paysage perd de son intérêt car considérée comme trop floue et subjective pour être scientifique. Seule l'Europe de l'Est continue de s'y intéresser, mais en occultant largement l'approche subjective,

ce qui donne lieu au concept de géosystème. Le paysage ne revient au centre des recherches géographiques qu'à la fin des années 1960 en particulier avec G. Bertrand (Bertrand, 1968, 1978 ; Bertrand & Bertrand, 1991, 2000), comme "combinaison dynamique, donc instable, d'éléments physiques, biologiques et anthropiques, formant un ensemble unique et indissociable". Cette tentative d'étude globale repose sur la combinaison d'approches issues de sciences naturelles (géomorphologie, géologie, biologie) et d'approches issues des sciences sociales. Il est remarquable que cette initiative soit le fait d'un biogéographe.

Dans le milieu des années 1970, partant du concept de géosystème, des approches plus globales sont tentées. G. Bertrand (1978) propose une approche recentrant le paysage comme produit d'un travail social et tente d'esquisser l'histoire du milieu par des "scenarii paysagers", permettant d'étudier les évolutions sociales et environnementales. Notre analyse de l'interface nature/société emprunte beaucoup à la méthode "G.T.P." (**Géosystème, Territoire, Paysage**) proposée par G. Bertrand (1991, 2000, 2002) qui vise à "rapprocher ces trois concepts ou notions pour analyser comment fonctionne un environnement géographique dans sa globalité". C. et G. Bertrand (2000) précisent qu'un géosystème est "une combinaison territoriale […] où interagissent des éléments abiotiques (comme la roche, l'air, ou l'eau), des éléments biotiques (les animaux ou les végétaux) puis des éléments anthropiques. L'impact des sociétés humaines est considéré, à priori, comme faisant partie du système et non comme un élément extérieur et perturbateur. Ce système d'évolution anthropique déménage, aménage et ménage les systèmes bio-physiques. La différenciation entre les systèmes résulte des différentes combinaisons diachroniques et synchroniques entre les éléments écologiques puis les éléments sociaux." Le **géosystème** est ainsi une entrée naturaliste dans l'espace-temps d'une nature anthropisée, tandis que son insertion dans le dispositif de maîtrise du **territoire**, permet l'interprétation socio-économique du géosystème et, enfin, le **paysage** en constitue la dimension culturelle et identitaire, basée sur les représentations sociale de la nature.

Le paysage **en Afrique de l'Ouest** est au cœur de nombreux travaux de géographes et de naturalistes ; il a donné naissance à une école de pensée originale (l'Ecole dite franco-ivoirienne ; Rougerie, 1969 ; Richard, 1973, 1985 ; Filleron, 1995 ; Riou, 1990, 1995). Dans les années 1970, de nombreux chercheurs de l'O.R.S.T.O.M. (actuellement I.R.D.) et de l'Institut de Géographie Tropicale de l'Université de Côte d'Ivoire ont souhaité assurer le passage du "Milieu" des naturalistes, au "Paysage" des géographes (Filleron, 1977 ; Riou,

1980 ; Koli Bi Zuéli, 1981 ; Richard, 1985 ; Rougerie & Beroutchachvili, 1991). C'est par le concept de *paysage,* dont "le caractère résulte de l'action de facteurs naturels et/ou humains et de leurs interrelations" (Le Berre, 2000) qu'il donc est possible de dépasser les approches déterministes et les discours simplificateurs.

En effet, rien n'exprime autant que le paysage, la relation entre une société et son territoire. Les paysages observés de nos jours en Afrique de l'Ouest correspondent à la manifestation des relations entre les hommes avec leur environnement à travers leurs cultures, leurs vécus, leurs savoir-faire, leurs pratiques, leurs technologies. Ces paysages ne sont pas de simples héritages fossiles ou des reliques, ils sont le fruit de l'histoire et sont vivants. Ils conservent un rôle social actif dans la société contemporaine et sont généralement étroitement associés au mode de vie traditionnel mais dans lequel le processus évolutif continue. Les *paysages* ont clairement sur le Plateau dogon cette dimension culturelle, historique, dynamique et évolutive. Ils peuvent correspondre à une mosaïque, avec des objets reliques, tels les ravins boisés, et des éléments fonctionnels, comme les espaces protégés par les interdits coutumiers ou religieux. Les *paysages culturels* sont aussi évolutifs par le rôle socio-économique actif des populations, avec un mode de vie à la fois traditionnel et contemporain.

Les savanes ouest-africaines sont aujourd'hui largement reconnues comme étant une production combinée de la Nature et des Sociétés, marquée par des dimensions ethno-socio-culturelles. Ces dernières années, cette vision est devenue courante chez les géographes, écologues, anthropologues, archéologues ou historiens de l'environnement. Toutefois, de nombreux auteurs considèrent que ces milieux sont surtout le résultat d'une dégradation et les défrichements, le surpâturage ou les feux de brousse ont longtemps été désignés comme responsables de cette dégradation. Pourtant, de manière paradoxale, l'histoire de l'environnement en Afrique de l'Ouest est encore souvent considérée comme essentiellement déterminée par le climat et l'influence des sociétés comme secondaire voire négligeable (Marchant & Hooghiemstra, 2004 ; Salzmann, 2005).

Notre recherche s'inscrit donc dans une approche qui s'inspire des notions de géosystème et de paysage culturel. En effet, les *paysages* nous apparaissent comme "l'œuvre conjuguée des Hommes et de la Nature" (article 1 de la "Convention du Patrimoine Mondial", Le Berre, 2000). Ils résultent de systèmes de production marqués par l'interaction entre les comportements sociaux et les variables naturelles, à différentes échelles de temps. En visant à

restituer la trajectoire des paysages de la vallée du Yamé et de comprendre les rôles respectifs qu'y tiennent les Hommes et la Nature, notre recherche se place en particulier au centre du débat sur le rôle des sociétés, dans l'évolution des savanes ouest africaines. Cela, en faisant appel aux méthodes de la géoarchéologie.

4.2. L'approche géoarchéologique

La géoarchéologie peut être assimilée à une science consistant en la reconstitution des environnements façonnés par les sociétés. Ce terme possède différentes définitions en fonctions des scientifiques. Si Walsh K. (1998) considère que ce terme correspond à l'association de l'archéologie et de la géomorphologie, J.-P. Daugas (1995) lie par contre les sciences naturelles, les sciences de la terre et l'archéologie. La géoarchéologie est née des travaux menés en collaboration par les archéologues et les naturalistes (Bravard & Prestreau, 1997), avec les techniques et les approches de la géomorphologie, de la sédimentologie, de la pédologie, de la stratigraphie et de la géochronologie (Water, 1992), puis de la palynologie, anthracologie, malacologie, etc.

Ainsi, elle correspond à des recherches interdisciplinaires principalement d'ordre paléoenvironnemental sur un site archéologique ou/et en marges (Berger, 1997 ; Fouache, 2007 ; Rasse, 2007). Cette discipline remonte aux années 1940 avec la collaboration entre archéologues et naturalistes (notamment par l'archéologue R. Braidwood ; Huot, 1994). Développée dans le monde anglo-saxon et scandinave, ces recherches se sont multipliées ces dernières années en Europe du Nord, en Angleterre puis en France.

En France les études géoarchéologiques débutent dans les années 1970-80, avec Minzoni-Deroche, Sanlaville (au Proche Orient, en 1988), Daugas (1995 ; & al. 1977, 1978, 1982) ou Tixier & Raynal (1989). Ces recherches sont effectuées sur diverses zones d'études, en Auvergne, dans le bassin du Rhône et en milieu méditerranéen (Bravard & Petit, 2000 ; Provansal & Morhange, 1994 ; Jorda, 1980, 1993 ; Berger, 1995, 1997 ; Ballais, 1995, 1996 ; Fouache, 2007 ; Rasse, 2007 ; Lespez, 1999 ; …). La géoarchéologie fortement influencée par la géographie s'est attachée aux systèmes fluviaux (Bravard & Prestreau, 1997 ; Provansal, 2003 ; Lespez, 2006, 2007 ; Allée & Lespez, 2007 ; Rasse, 2007 ; Fouache, 2007, Coussot, Fouache, Pavlopoulos & Jovanovski, 2007) et à leur liens avec les bassins-versants et la

production des paysages agraires (Berger & al., 1996 ; Berger, 1997 ; Boissinot & Brochier, 1997 ; Burnouf & al., 1997 ; Cubizolle & al., 2001 ; Cyprien & al., 2001 ; Lespez, 1999, 2003).

En théorie, au-delà des études thématiques qui permettent de restituer les paléoclimats, la succession des formations végétales et l'histoire des impacts anthropiques sur l'environnement, il s'agit de développer une réflexion commune sur les rapports entre les sociétés et leur environnement. Parallèlement s'est développée une archéologie des paysages (Chevalier, 1978) qui s'intéresse à la dimension spatiale des environnements et des rapports entre Nature et Sociétés. Aujourd'hui, il est même courant de trouver la notion d'archéogéographie, correspondant à l'étude de l'espace des sociétés du passé et de ses dynamiques, dans toutes ses dimensions (Chouquer, 2002). La géoarchéologie pratiquée dans cette recherche doctorale est envisagée comme une étude large des environnements passés, proche de l'expression d'archéologie des paysages, qui lie des études paléoenvironnementales, archéologiques, géographiques, géomorphologiques, …

L'archéologie du paysage et la géoarchéologie sont encore des disciplines assez nouvelles et encore mal définies en Afrique et plus spécialement en Afrique de l'Ouest. Les recherches archéologiques ou/et paléoenvironnementales sont couramment pratiquées, mais le paysage est le plus souvent abordé comme cadre de développement des sociétés passées. Cependant, les modifications des milieux au cours de ces quatre derniers millénaires, sous l'effet des forçages climatiques globaux (Gasse, 2000), de sociétés qui ont progressivement maîtrisé la nature (Huysecom, 2007), posent la question de l'histoire des paysages d'Afrique de l'Ouest. Il est aujourd'hui admis sur ce constat que les hommes ont domestiqué l'environnement très tôt (Huysecom, 2007 ; Ballouche & Rasse, 2007) et se sont appropriés les espaces par différents types de gestion (feux, élevage, agriculture ; Le Berre, 2000 ; Redman, Kinzig & Lubu, 2003 ; Toupal, 2003).

Les recherches géoarchéologiques interdisciplinaires abordant ces problèmes sont rares en Afrique de l'Ouest. Elles se rapprochent souvent plus de *l'écologie des paysages* (Garine, Langlois & Raymond, 2003) ou d'une étude des différentes actions anthropiques sur les paysages (Hahn-Hadjali & Schmid, 1999 ; Neumann *& al*., 2004 ; Ballouche & Dolidon, 2005 ; Eichhorn & Neumann, sous presse).

Ainsi l'intérêt de nos recherches est de comprendre les processus successifs à l'origine des paysages contemporains et de documenter leur dimension patrimoniale. Comprendre les paysages actuels du Plateau dogon, c'est connaître les dynamiques climatiques, floristiques actuelles et passées, c'est comprendre le rôle des sociétés et leurs liens avec le milieu. Les relations passées entre les hommes et leur environnement demeurent primordiales pour comprendre ces espaces. Ainsi sera étudié le rôle des feux, de l'élevage ou de l'agriculture, qui correspondent à différents facteurs contribuant à produire ces paysages de savanes, assimilables à des paysages culturels.

4.3. Les emboîtements d'échelles spatio-temporelles

Les emboîtements d'échelles sont une opération courante et omniprésente dans les études environnementales (Planchon, 1991). Le transfert d'échelle permet de mettre en perspective un objet géographique, mais il ne va pas sans poser des problèmes d'interprétation et de réalisation (Renaud, 1991). Les recherches géoarchéologiques effectuent régulièrement cette opération en prenant appui sur le particulier pour accéder à un degré d'explication plus général (Guilaine, 2000 ; Berger & al., 1999). Les géographes africanistes ont également beaucoup travaillé à l'échelle du terroir en Afrique (Blanc-Pamard, 2005), en prenant en compte des changements d'échelles progressifs, afin de pratiquer une analyse des systèmes d'interaction sur le milieu. Etudier le paysage par l'emboîtement d'échelles correspond à analyser l'organisation du milieu du local au général, avec des études microscopiques à partir des coupes de la vallée du Yamé jusqu'à des échelles plus petites d'Afrique de l'Ouest. Les observations débutent à très grande échelle soit macro et microscopique (palynologie, micromorphologie, signal incendie, etc.), puis progressivement prennent en compte le "géofaciès" (par l'étude de transects, de coupe stratigraphique, de parcelles agricoles, etc.) et l'ensemble du "géosystème" (avec le bassin versant et ses différentes formations végétales et ses mises en valeur agricoles). Ces études comparatives seront ensuite confrontées à une échelle plus réduite correspondant au "domaine", avec la comparaison des paysages de la vallée du Yamé avec ceux du Pays dogon dans son ensemble,

puis du domaine sahélien au domaine soudanien. Enfin il s'agira de mettre en perspective les résultats à une plus petite échelle, correspondant à l'Afrique de l'Ouest.

L'emboîtement des échelles est également pris en compte d'un point de vue temporel. La notion de dynamiques paysagères et la caractérisation des processus et des forçages climatiques et/ou anthropiques correspondent à la prise en compte de pas de temps impliqués dans ces interactions et ces processus de modification du milieu. Des scenarii sont utilisés comme modèle de dynamiques des paysages à un moment donné. Les échelles temporelles étudiées sont de l'ordre de l'instantané (avec des modifications très rapides du géosystème, comme en 1936 ou au cours de l'hivernage 2007), du saisonnier (avec les études micromorphologiques et du signal incendie), jusqu'aux échelles centennales et millénaires (avec les études chronostratigraphiques et palynologiques). Les dynamiques de paysages sont envisagées de façon hiérarchique, en emboîtant les échelles spatiales et temporelles, du microscopique au domaine et de l'instantané au plurimillénaire. Les paysages du Pays dogon marqués par le passé enregistrent les premières marques du futur. La réflexion sur les paysages depuis 4 000 ans correspond à une étude et une caractérisation des paysages dits hérités et construits. On peut espérer ainsi, en reconstituant l'élaboration des paysages dans le passé redonner un sens au paysage, en tenant compte des pratiques et des aménagements anthropiques et de l'évolution du climat.

4.4. Les approches méthodologiques

Nos approches méthodologiques (cf. figure n° 20) correspondent à une démarche géoarchéologique. Les méthodes de terrain comportent des observations de coupes et une détermination de la stratigraphie de l'ensemble de la vallée du Yamé. Elles ont également consisté en de nombreuses prospections, enquêtes et recherches de documents et archives. Les méthodes de laboratoire ont été nombreuses et effectuées dans divers laboratoires, à Caen, Besançon et Angers. Elles ont donné lieu à des analyses palynologiques, micromorphologiques, du signal incendie à partir d'échantillons prélevés sur le terrain et grâce à l'utilisation de divers matériels mis à disposition par les différents laboratoires d'accueil (granulomètre laser, microscopes, chaîne de litholamellage, etc.).

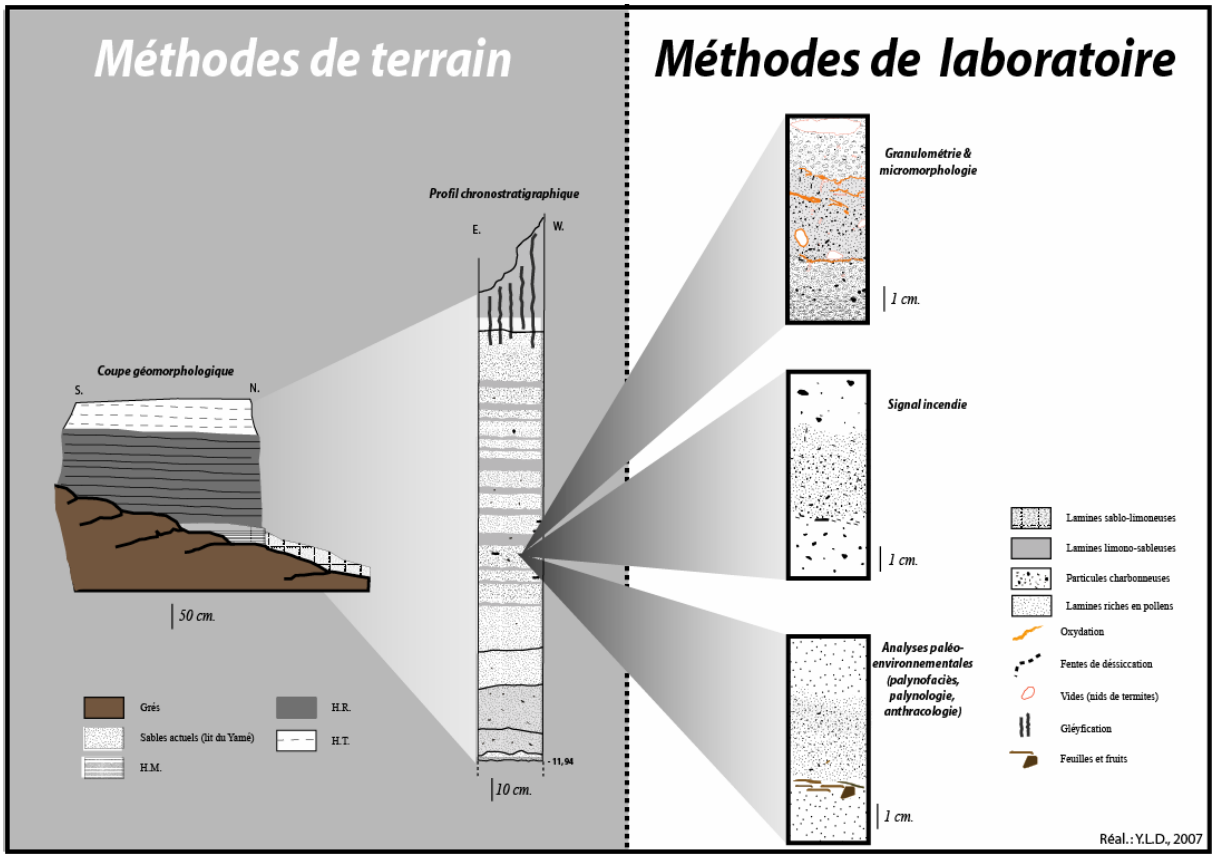


Figure n°20 : Les méthodes de terrain et de laboratoire

4.4.1.Les missions de terrain

- *<u>Support et sources de connaissance du géographe</u>*

Durant ces quatre années de recherches doctorales au sein du programme, le travail de terrain constitue une étape importante. Le terrain demeure en géographie le point de départ, la base du chercheur géographe. Quatre missions ont été nécessaires afin de connaître le site, l'environnement, le milieu, "l'objet géographique", la société dogon, etc. Des études stratigraphiques permettent de caractériser les phases de remplissage, d'érosion au cours de l'Holocène. Des prospections contribuent à la connaissance du milieu environnant et des espèces végétales actuelles. Chaque mission fait l'objet de prélèvements d'échantillons traités et analysés en laboratoire. Les enquêtes et diverses rencontres avec les villageois, éleveurs et agriculteurs permettent de comprendre les règles et les interdits à partir de récits de chacun, mais également de créer des contacts importants tant sur le plan scientifique qu'humain.

- *Quatre missions*

La campagne de terrain en 2004 (Huysecom & al., 2005) a été essentiellement consacrée à des prélèvements dans les dépôts de l'Holocène moyen et récent à des fins d'analyses palynologiques et sédimentologiques. Les échantillons ont été réalisés principalement sur la Rive Gauche du Yamé, à l'amont de la confluence. Quatre sites différents sur la rive gauche ont permis de décrire huit coupes : trois coupes dans le *ravin du Vitex*, trois dans le *ravin du Detarium*, une à l'amont sur la coupe *du Rônier* et une dans le *ravin du Lannea*. Une autre coupe a été réalisée sur la Rive Droite, la coupe *du Balanites*. Au cours de cette campagne 175 échantillons de sédiments ont été prélevés, un bloc de 30 x 20 centimètres pour une première analyse micromorphologique et une demi dizaine d'échantillons de mousses prélevées pour l'analyse de la pluie pollinique actuelle sur notre zone d'étude.

La campagne de 2005-2006 (Huysecom & al., 2007) correspond à deux missions sur le terrain. La première s'est déroulée en septembre/octobre 2005 au cours de l'hivernage et la seconde en janvier 2006. La mission de 2005 a associé les botanistes, archéobotanistes et palynologues des équipes de Francfort (K. Neumann et B. Eichhorn), de Caen (A. Ballouche et Y. Le Drézen), un géomorphologue de Rouen (M. Rasse) et un archéologue de Genève (E. Huysecom). Elle s'est déroulée à la fin d'un hivernage particulièrement pluvieux à l'échelle régionale, malgré des disparités locales. L'objectif était la reconnaissance de la végétation régionale en fin de saison des pluies et la collecte de matériel de référence pour la pluie pollinique et les phytolithes (cf. figure n° 21). Des échantillons de sédiments de surface ont été systématiquement prélevés dans différents types de savanes, des forêts galeries, des champs et des jachères d'âges différents provenant de plusieurs zones de végétation du Mali, sur un transect des domaines sahélien à soudanien. La végétation actuelle a été documentée sur les sites de ces prélèvements par des relevés phytosociologiques simplifiés. Les échantillons de surface seront utilisés comme référence pour l'interprétation des échantillons palynologiques et phytolithiques du site d'Ounjougou. Il a été prélevé également du bois d'arbres, arbustes et arbrisseaux, particulièrement des taxa rares, pour améliorer la collection de référence à l'Université de Francfort. Des échantillons de charbons supplémentaires ont été prélevés dans l'Holocène récent et terminal.

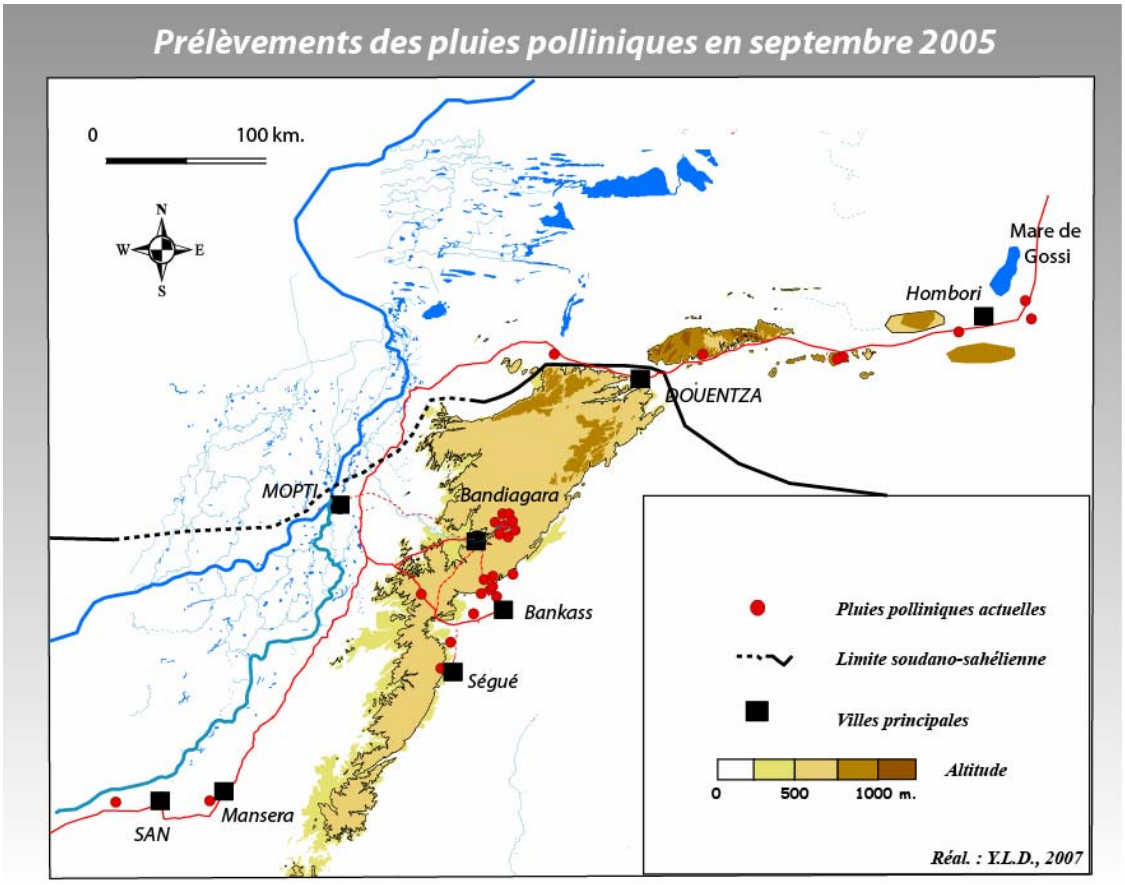


Figure n° 21 : Prélèvements des pluies polliniques en septembre 2005

La mission de janvier 2006 (Huysecom, 2007) avait pour but de caler stratigraphiquement les différentes phases holocènes avec les dates nouvelles obtenues en 2005 sur les Rives Droite et Gauche du Yamé. Un travail de rafraîchissement (mené en collaboration avec L. Lespez), sur des coupes en Rive Droite et en Rive Gauche ont permis de mieux cerner les différentes périodes de dépôts de l'Holocène récent. Cette mission avait pour objectif la proposition d'un cadre stratigraphique cohérent (cf. partie 2) nécessaire à la compréhension du fonctionnement hydrosédimentaire et de l'évolution du couvert végétal de la vallée du Yamé au cours des dix derniers millénaires. Parallèlement aux travaux de chronostratigraphie sur l'Holocène, un nouvel échantillonnage pour analyses polliniques et micromorphologiques a été mené.

La mission de janvier-février 2007 a permis de finaliser les enquêtes auprès des villageois, de réaliser les dernières prospections (repérage des espèces et individus à partir des

photographies aériennes) et de travailler sur la chronostratigraphie de plusieurs coupes sur le site des Unio, afin de mieux comprendre les dynamiques des hydrosystèmes durant la phase historique.

- *Une étude du milieu environnant : les prospections*

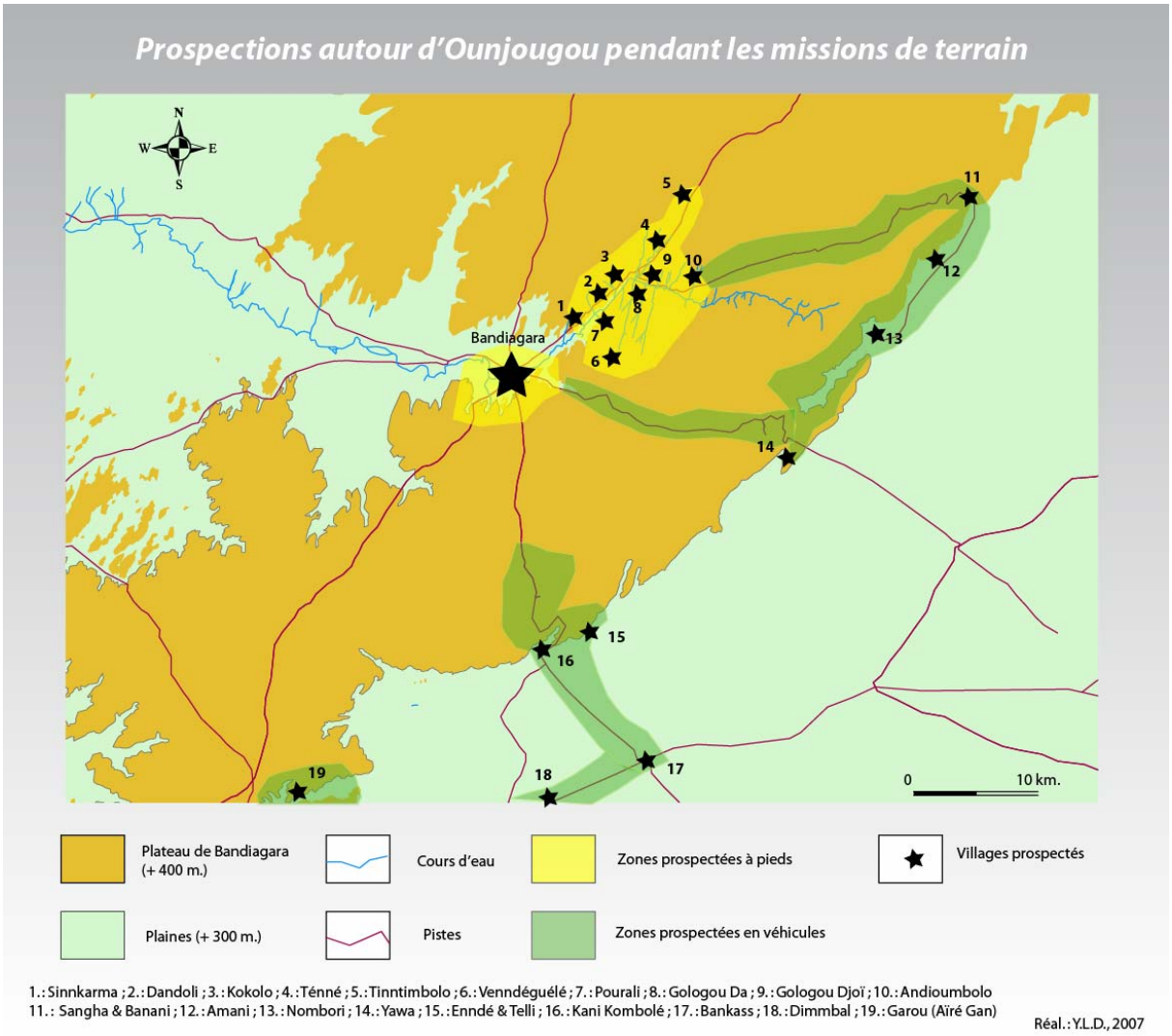


Figure n° 22 : Prospections autour d'Ounjougou pendant les missions de terrain

Lors des missions effectuées, de nombreuses prospections (cf. figure n° 22) ont été menées sur la zone d'étude. Les études du milieu environnant sont importantes pour un géographe afin de connaître l'espace d'étude, de caractériser et différencier le milieu, de prendre connaissance de la flore, etc. Les prospections ont eu différents objectifs, comme identifier les différentes espèces végétales existant dans la région (dans les ravins, autour des bois sacrés, sur les interfluves gréseux, dans les champs, sur les rives des cours d'eau, etc.).

L'identification des espèces végétales est possible grâce à des ouvrages spécialisés sur les espèces végétales ouest africaines (Arbonnier, 2000) et grâce à un dictionnaire réalisé (cf. annexe) lors des deux premières missions où sont répertoriés les noms vernaculaires, latins, dogon et bambaras. Ce dictionnaire a été réalisé grâce à l'aide d'Amadi Kalapili, chef-médecin traditionnel du village, chargé des travaux et des jeunes à Gologou Da. Ces recherches sur le terrain ont été effectuées principalement avec Amadi Kalapili ou Modou Tessougué, (villageois de Dimmbal, dans la plaine du Séno) et avec quelques collègues, chercheurs du programme comme Katharina Neumann, Barbara Eichhorn et Aziz Ballouche. Les études du milieu environnant et végétal ont été effectuées aussi dans des ravins de la falaise comme à Telli, Enndé (près de Kani Kombolé), près de Yawa, ou sur le massif de l'Aïré Gen (près de Garou), vers Nandoli, Ségué (plus au Sud) ou au Nord du Plateau sur la route Mopti - Hombori (cf. figures n° 21 & 22).

Ces prospections ont également permis une meilleure connaissance des différents villages et de leurs agrosystèmes (cf. figure n° 22), comme :

- les villages proches de la zone d'étude d'Ounjougou (Goulogou Da, Gologou Djoï);
- puis les villages ou les hameaux entre trois et quinze kilomètres d'Ounjougou (Kokolo à 3 km sur la route de Bandiagara, Pourali à 5 km au Sud-Ouest sur la rive gauche du Yamé, Venndéguélé à 5 km au Sud, Adjimbolo à 5 km à l'Est, Sinkarma à 9 km à l'Ouest, Dandoli à 6 km à l'Ouest, Goroda en amont du Ménié Ménié, Bagalé à une quinzaine de kilomètres au Nord, Animboro à cinq km au Nord ;
- autour de Bandiagara, dans un rayon de 5 kilomètres ;
- puis dans divers secteurs sur le plateau, comme sur la piste entre Bandiagara et Yawa (le long des cours d'eau, près des barrages, dans les espaces cultivés), entre Bandiagara et Bankass, entre Kani Kombolé et Djiguibambo, entre Bankass et San, ou vers Baboyé ;
- autour du plateau comme dans la plaine du Séno, à Dimmbal (village à 8 km de Bankass), sur les dunes entre Bankass et Kani Kombolé, dans le Nord du Plateau, vers Hombori, autour de la mare de Gossi et en domaine soudanien vers San.

- *Une étude des traditions orales et de la mémoire : les enquêtes*

Des enquêtes ont été effectuées au cours de ces quatre missions, dans les principaux villages de la zone d'étude (à Gologou Da, Gologou Djoï et Dimmbal). Notre démarche s'est essentiellement appuyée sur des entretiens semi-dirigés. La barrière linguistique est un problème qui a nécessité de fait de nombreux traducteurs (soit du français en bambara ou du français en dogon). Les traducteurs ont été divers lors de ces quatre missions, des étudiants maliens, des membres du programme, des villageois, des instituteurs, etc.

Le choix de l'échantillon a été assez simple, car nous souhaitions interroger principalement les personnes âgées dans les villages, afin de connaître leur visions des changements paysagers depuis le début du vingtième siècle. Les individus ayant participés aux enquêtes correspondent le plus souvent aux chefs de villages ou aux hommes ayant des responsabilités dans les villages, puis aux hommes étant propriétaires de terres.

Afin de traiter ensuite pertinemment les données obtenues, les questionnaires comportaient des questions d'opinion simples, compréhensibles et concises. Il est évident que le traitement de ces enquêtes nécessite d'être prudent dans les interprétations et la restitution de nos résultats, en particulier en raison de la traduction des réponses, et dans l'effet "mémoire" des populations interrogées. Les informations acquises lors de ces enquêtes éclairent notre compréhension des dynamiques paysagères récentes, sans avoir la prétention de faire appel à une analyse anthropologique, ethnographique ou ethnobotanique.

- *Une analyse des archives et des fonds de bibliothèque*

Lors des missions de terrain, un travail de recherches bibliographiques et d'archives a été effectué dans les organismes et les bibliothèques de Bamako, Mopti ou Bandiagara. Les informations sur les données climatiques au cours du vingtième siècle ont été recueillies aux archives de l'I.R.D. à Bamako (avec l'autorisation de monsieur Brunnet Jailly, le directeur), aux archives nationales de Bamako (fonds anciens et récents), aux archives nationales et coloniales de Koulouba (Bamako), puis au P.R.B.P. (Projet de Réhabilitation des Barrages et des Pistes) à Bandiagara (avec l'autorisation du chef volet barrage : Hamady Samaké).

Les informations sur les paysages, leur évolution et les pratiques agricoles sont disponibles dans la capitale malienne aux archives coloniales (à Koulouba), à la bibliothèque

nationale, à la bibliothèque de l'I.S.H. (Institut des sciences humaines, avec l'autorisation de son directeur Kléna Sanogo), à la bibliothèque de l'E.N.S.U.P. (Université de Bamako), à la D.N.C.T. (direction Nationale des Collectivités Territoriales) et à la D.N.C.N. (Direction Nationale des Conservations de la Nature). A Bandiagara, des informations relatives à ce sujet sont également disponibles dans quelques organismes, comme le S.L.A.C.A.E.R. (Service Local de l'Appui au Conseil de l'Aménagement et de l'Equipement Rural), au Service des Eaux et Forêts (avec le capitaine Sangaré Lancery) et à la Mission Culturelle de Bandiagara (avec le conservateur du patrimoine et chef de Mission Culturelle Lassana Cissé)

4.4.2. Les analyses de laboratoire

- *Les traitements des échantillons*

Les échantillons (après prélèvement sur le terrain) ont été ramenés en laboratoire sous différentes formes, en sachets (pour des analyses granulométriques, palynologiques ou la méthode par tamisage concernant le signal incendie) et en blocs (pour des études micromorphologiques). Chaque échantillon nécessite différents traitements chimiques en laboratoire, nécessaires aux études granulométriques et micromorphologiques effectuées au Laboratoire Géophen. Les traitements chimiques pour la palynologie ont été effectués au Laboratoire M.2.C. (Morphodynamique Continentale et Côtière, (U.M.R. C.N.R.S. 6143) à l'Université de Caen (cf. protocoles en annexe).

- *Les laboratoires d'accueil*

Le principal laboratoire d'accueil est le Géophen (U.M.R. 6554 L.E.T.G. du CNRS), à l'Université de Caen. Durant ces quatre années de recherches, les deux directeurs qui se sont succédés (J.-M. Cador et D. Delahaye depuis 2004) ont permis d'effectuer dans de bonnes conditions cette recherche, avec un libre accès au laboratoire, la disposition de matériels informatiques et de logiciels, des matériels pour effectuer les diverses méthodologies, comme la palynologie, la granulométrie la micromorphologie, etc.

Le Laboratoire "M.2.C." (Morphodynamique Continentale et Côtier) de l'Université de Caen (U.M.R. C.N.R.S. 6143) a permis d'effectuer trois stages d'une durée de trois semaines à un mois, afin de traiter chimiquement les sédiments afin de monter les lames palynologiques. Martine Clet, palynologue au laboratoire M.2.C. a supervisé ces divers traitements.

L'accueil au Laboratoire Chrono-Environnement (UMR 6565 CNRS) à l'Université de Franche-Comté à Besançon s'est traduit par deux stages de 8 jours, en collaboration avec Boris Vannière, afin d'étudier le signal incendie par la microscopie en lumière réfléchie.

Le Laboratoire "Paysages et Biodiversité" (P.P.F. de la D.S.10, Sciences agronomiques et écologiques) de l'Université d'Angers a apporté la possibilité d'effectuer des analyses palynologiques avec la collaboration de son Directeur Aziz Ballouche.

4.4.3.Restitution des données

- *Apports et intérêts du S.I.G. (Système d'Informations Géographiques) et de la cartographie*

Face aux nombreuses données acquises par les différentes disciplines et méthodes sur le Pays dogon au sein du programme "Peuplement et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest", la réalisation d'un système d'informations géographiques s'est imposée. Dans le cadre, d'un travail interdisciplinaire, la réalisation d'une cartographie commune de l'espace d'étude a facilité la coordination des travaux. Il est primordial que chaque participant au programme ait en commun le même fond cartographique et une même base de données pour faciliter les échanges. Sur le plan pratique, l'archivage des données, la publication et l'organisation des futures missions, sont désormais facilités. Ainsi, la production d'un set cartographique décidée par la majorité des chercheurs lors des réunions communes, a été réalisée sous le logiciel Arcview au Géophen. Des données géoréférencées étant systématiquement recueillies depuis la fin des années quatre-vingt dix par l'équipe, grâce au G.P.S., il était nécessaire désormais de disposer d'un S.I.G. commun, afin de faciliter les traitements, les analyses et les cartographies.

A partir d'une quinzaine de cartes topographiques I.G.N. au 1/200 000ème (Bandiagara, Douentza, Mopti, etc.), un fond cartographique a été réalisé. Il couvre à ce jour une superficie d'environ 150 000 km² (soit environ 30 % de la superficie du Mali). Les images ont été géométriquement corrigées, améliorées, analysées et interprétées. Une deuxième couche a été ajoutée à partir de photographies aériennes de 1952, 1984 et à partir des photographies par U.L.M. en 2005 (par David Gladsteen, 2005).

A partir de cette base, un S.I.G. a été élaboré à différentes échelles, sur l'ensemble de la zone (cf. figure n° 23) : couches altimétriques (courbes de niveau : 600, 400, 360, 300, 260 mètres), localités, hydrographie (Niger, Yamé et affluents, etc.), lacs et mares, pistes et routes.

Autour du site d'Ounjougou, des renseignements plus précis ont pu être extraits comme les agrosystèmes anciens et actuels, les villages, les ravins boisés, les individus arbustifs et arborés, les chemins, etc. (cf. figure n° 23).

Il existe quelques différences, entre les noms de localités couramment employés lors des missions ou dans les articles et les noms cartographiés sur les cartes topographiques de l'I.G.N. Les toponymes de la base de données respectent les noms indiqués à l'entrée des villages pour les lieux étudiés, quant aux autres toponymes, ils coïncident aux noms inscrits sur les cartes de l'I.G.N.

Un S.I.G. est spécifiquement conçu pour le traitement simultané des données spatiales et attributaires. Ainsi outre une grande capacité de traitement graphique, le S.I.G. doit être capable de traiter des attributs non graphiques tels que les données statistiques et des données spatiales correspondantes, à des échelles très différentes (par emboîtement d'échelles). Ainsi, les données de surfaces des champs, le nombre et la caractérisation des individus arborés sont enregistrés dans les bases de données du S.I.G.

Le croisement de couches thématiques est l'une des fonctionnalités essentielles d'un S.I.G (Tounsi & al., 1999, 2007 ; Rasse & Boëda, 2006). Des croisements ont été effectués lors de ces recherches, pour déduire les dynamiques des paysages végétaux et d'occupation du sol depuis les années cinquante jusqu'à 2006. La réalisation de cartes actuelles et passées est possible avec les différentes photographies aériennes et à partir des bases de données et des missions de terrain. Des cartes diachroniques ont été réalisées sur l'occupation du sol des années 1950 à 2007, de même que la cartographie des individus arborés. Une cartographie diachronique des paysages est possible sur le temps court, mais difficilement réalisable sur une échelle temporelle longue, d'autres techniques sont donc nécessaires (cf. figure n° 23).

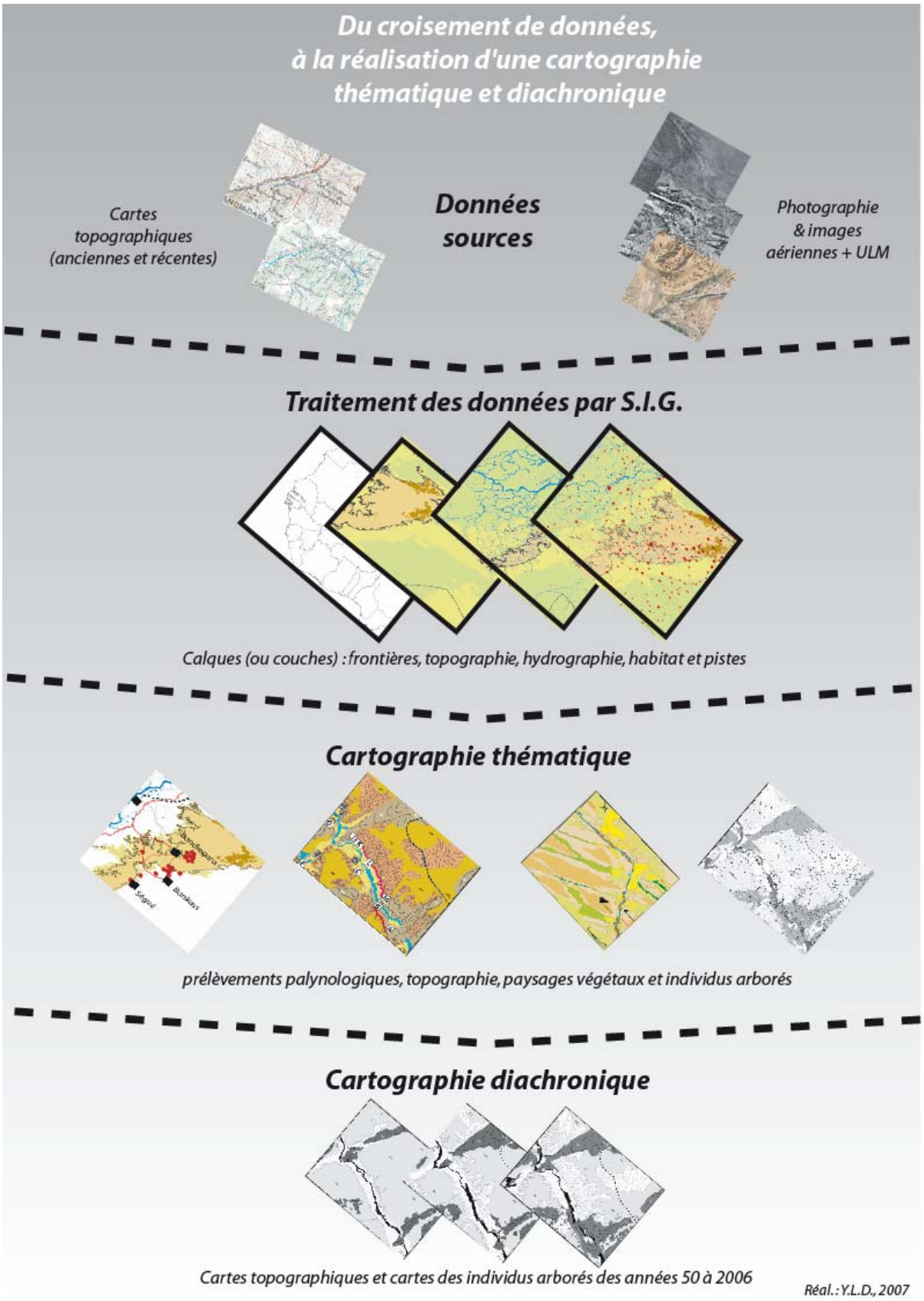


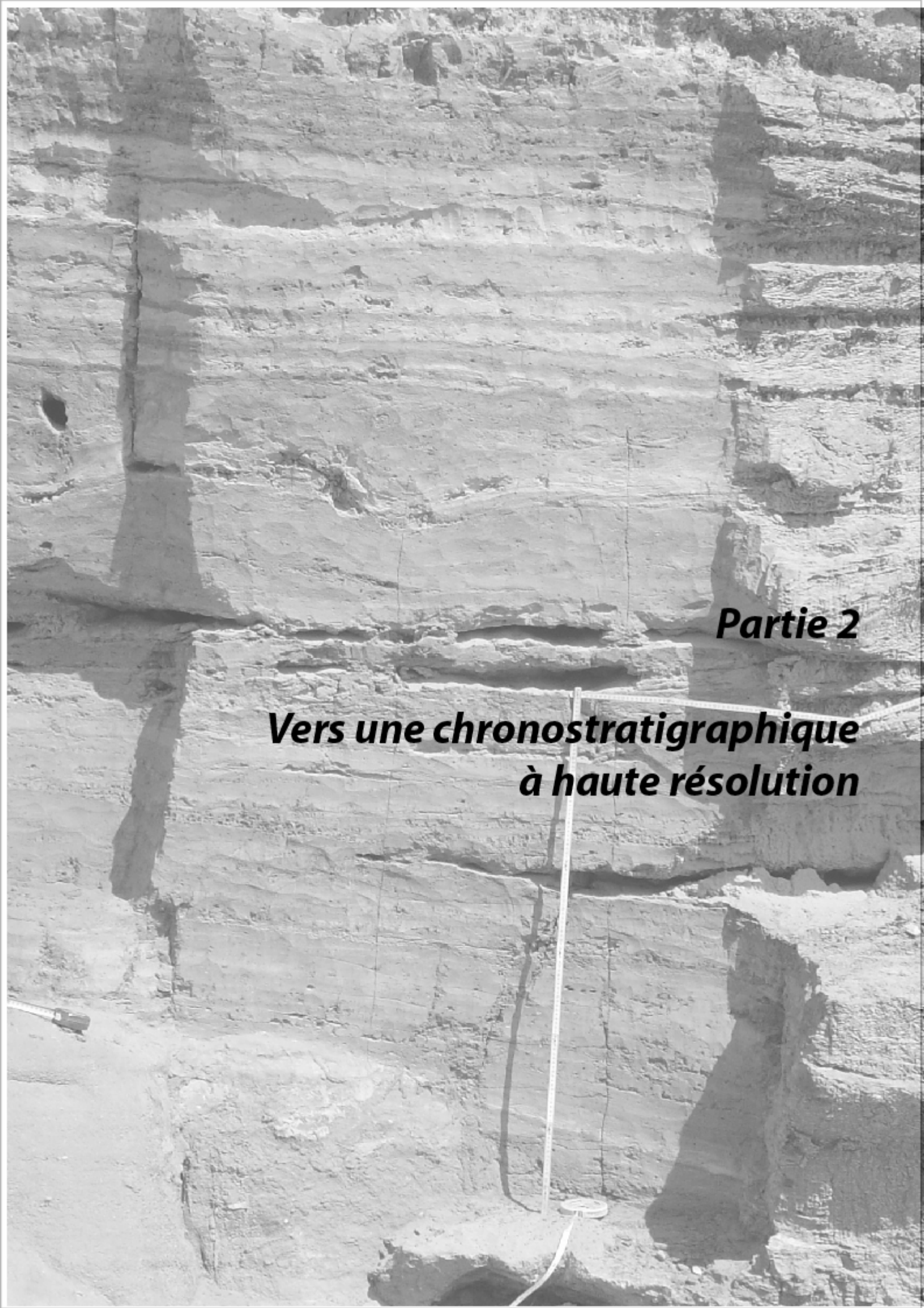
Figure n° 23 : Du croisement de données à la réalisation d'une cartographie thématique et diachronique

- *Réalisation et intérêts des blocs diagrammes*

La représentation graphique et diachronique d'un paysage est très difficile (Michelin, 1999). Le paysage est une notion visuelle et évolutive, rendant difficile une représentation par des mots ou par une représentation à plat. Le bloc diagramme demeure un outil de représentation en quatre dimensions des paysages visibles, il permet d'intégrer le relief (avec les talwegs de la vallée du Yamé et des ravins, aux interfluves des barres de grès) et les types d'occupation du sol (avec les formations végétales, les actions des hommes, de l'hydrologie, etc.) auxquels s'ajoutent la notion de temporalité. Le bloc-diagramme s'avère être un bon support pour aborder le thème du paysage. Cet outil offre l'avantage de faciliter la représentation du paysage sous forme de synthèse paléoenvironnementale.

La méthode nécessite au préalable un travail important d'analyse paysagère, d'où la nécessité de nombreuses prospections de terrain afin de caractériser les différentes unités paysagères et la prise de nombreuses photographies obliques. La première étape dans la réalisation des blocs diagrammes correspond à la représentation de transects topographiques possibles grâce à des mesures fines sur le terrain. La restitution de l'occupation du sol repose sur des hypothèses et des réflexions issues des analyses de terrain et de laboratoire. De nombreux blocs diagrammes ont été réalisés, afin de trouver le meilleur angle possible et la meilleure représentation de la zone d'étude. Les blocs diagrammes sont finalement réalisés à partir de la perspective cavalière. Cette perspective permet de représenter des objets géographiques en volume, sans point de fuite, ce qui signifie que la taille des objets ne diminue pas en arrière plan des blocs diagrammes. Cette représentation est utilisée initialement dans la conception des fortifications militaires, car elle conserve les formes et les tailles des divers objets géographiques. Cette perspective sert généralement pour des dessins géométriques, elle n'est pas conforme à la vision naturelle des objets. La perspective cavalière obéit à des règles précises, comme : le point de vue (un peu à gauche et au dessus, pour les blocs réalisés), la face frontale (face à la perpendiculaire du regard, correspondant au transect de la zone d'étude, selon les hauteurs et distances réelles), la face fuyante (correspondant à la face du côté, représenté selon les longueurs et hauteurs réelles, mais les mesures des angles ne sont pas conservées à la différence du parallélisme). Un bloc diagramme en perspective cavalière a donc un premier plan de même taille que la face en arrière plan, des faces fuyantes de même angle et aucun point de fuite, les relations de colinéarité entre les vecteurs sont conservées.

Cette représentation des paysages n'apparaît pas particulièrement agréable à l'œil à la différence de la perspective centrale. Toutefois cette dernière n'a pas été choisie dans cette recherche car les paysages sont très rapidement écrasés à l'arrière plan.



Partie 2

Vers une chronostratigraphique à haute résolution

Photographie : L.L., 2006
Rive Droite à l'amont de la Confluence

Étudier la chronostratigraphie de la vallée du Yamé depuis les quatre derniers millénaires, consiste en une analyse macroscopique et une interprétation fine des différents dépôts sédimentaires. Elles ont pour objectifs d'établir la succession des différentes dynamiques hydrosédimentaires et des changements fluvio-palustres.

Les études de terrain correspondent à une observation à échelle macroscopique de différentes coupes stratigraphiques sur les rives du Yamé, en comparant les faciès sédimentaires. Etablir ensuite le lien entre l'ensemble des différentes coupes observées permet de réaliser une synthèse chronostratigraphique à l'échelle des tronçons de vallée. L'intérêt de cette approche chronostratigraphique est d'établir un lien stratigraphique clair entre les différentes séquences et unités afin de distinguer les continuités et discontinuités au cours des quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé. Nous souhaitons ainsi contribuer à une meilleure connaissance :

- des dynamiques hydrosédimentaires et environnementales de la vallée et de ses versants ;
- des fonctionnements fluvio-palustres à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest.

2

1. La méthodologie

1.1. Un étude spatio-temporelle des dépôts sédimentaires : la stratigraphie

La stratigraphie est basée sur les principes de la superposition et de la continuité.

Une unité stratigraphique supérieure est considérée dans un milieu sédimentaire peu perturbé comme étant la plus jeune. Ce principe de superposition est important et permet d'apprécier les modes de dépôts à différentes échelles de temps dans un espace donné. Le principe de continuité indique qu'une couche est caractérisée par une couleur, une granulométrie, un contenu fossile (etc.) et correspond à une unité de temps pouvant être suivie dans une série stratigraphique.

Les études stratigraphiques ont évolué depuis le 19ème siècle (depuis le chercheur anglais W. Smith, qui réalisa la première carte géologique d'Angleterre (1815) et en France avec G. Cuvier et A. Brongniart) et sont devenues courantes et fondamentales dans les recherches paléoenvironnementales et archéologiques. La reconstitution d'une stratigraphie d'ensemble sur le terrain a pour but de reconstituer les environnements passés, les mises en dépôts et le rôle des cours d'eau, des vents, des sociétés sur les différentes unités et séquences stratigraphiques. La géomorphologie, l'archéologie, la palynologie, la micromorphologie, la sédimentologie, la paléontologie ou la géoarchéologie ont recours à une géologie stratigraphique. Cette approche verticale (par des coupes) et horizontale (par un décapage et rafraîchissement d'affleurement) est aujourd'hui devenue courante dans les recherches préhistoriques, associée aux prélèvements par des analyses effectuées ensuite en laboratoire.

Un décapage et un rafraîchissement des affleurements des différentes rives du Yamé ont été nécessaires, afin d'établir régulièrement et soigneusement des coupes stratigraphiques. L'analyse des faciès sédimentaires repose sur l'étude des dispositifs stratigraphiques observables sur le terrain selon les référentiels classiques (Reineck & Singh, 1973 ; Picard & High, 1973). Chaque coupe a ensuite un nom et un numéro puis est décrite lithologiquement, avec des précisions granulométriques, les couleurs, le pendage, les unités et lamines visibles. L'ensemble de ce travail correspond à une identification des unités lithostratigraphiques. A partir de ces premières observations de terrain, les premières hypothèses peuvent finalement être émises.

1.2. Terminologie des formations stratigraphiques

Les dépôts sédimentaires étudiés dans la vallée du Yamé (cf. figure n° 25) sont divisés en séquences, unités, sous-unités et lamines (cf. figure n° 24). Par commodité et dans un souci d'uniformité avec la terminologie archéologique, nous avons dénommé la notion de "couches" par unités sédimentaires.

Les séquences correspondent à une série d'unités stratigraphiques ayant un litage, une couleur, une texture et un pendage particulier. Dans ces recherches nous avons étudié une séquence stratigraphique de l'Holocène récent, sur les deux millénaires avant notre ère : HR2, avec 3 unités distinctes (HR2A, HR2B et HR2C) et sept séquences stratigraphiques de l'Holocène terminal (HT1 à HT7) correspondant au remplissage sédimentaires des deux derniers millénaires.

Chaque unité (cf. figure n° 24) est composée de sous-unités et de lamines (grossières et fines). Les unités stratigraphiques représentent des dépôts sédimentaires déposés en quelques siècles. L'ensemble des corrélations a été ensuite validé par 84 datations radiocarbones obtenues sur des charbons de bois (cf. infra). L'épaisseur d'une unité varie de plusieurs centimètres à plusieurs décimètres. Pour corréler les unités entre chaque coupe rafraîchie et étudiée, une étude des continuités des limites sédimentaires et des relations entre les sous-unités et les lamines sont nécessaires. Les corrélations sont possibles à partir de Lamines Caractéristiques de Référence (les L.C.R.) repérables par leurs épaisseurs et par leurs couleurs sur de longues distances.

Les lamines (cf. figure n° 24) ont des épaisseurs de quelques millimètres, avec des textures et des couleurs différentes. Chaque lamine a une texture, une teinte et un pendage caractéristique. Elles correspondent à des dépôts plus grossiers (sableux ou gravillonneux) ou plus fins (limoneux ou silteux).

Chaque séquence, unité, sous-unité et lamine de référence (cf. figure n° 24) a une numérotation ou nomination spécifique, afin de se repérer chronologiquement et spatialement. Cette approche litho-stratigraphique connaît certaines limites avec les dépôts de type lenticulaire, les remaniements de matériel sédimentaire ou des difficultés dans le suivi des limites de lamines ou couches, sur de grandes longueurs.

2

La notion de temps est importante est peut être abordée par la chronostratigraphie afin de connaître précisément la période de dépôt, le calage entre les unités. Ce calage chronologique est possible grâce à la datation de particules charbonneuses prélevées sur les coupes lors des missions de terrain. Chaque charbon prélevé est numéroté et sa position indiquée.

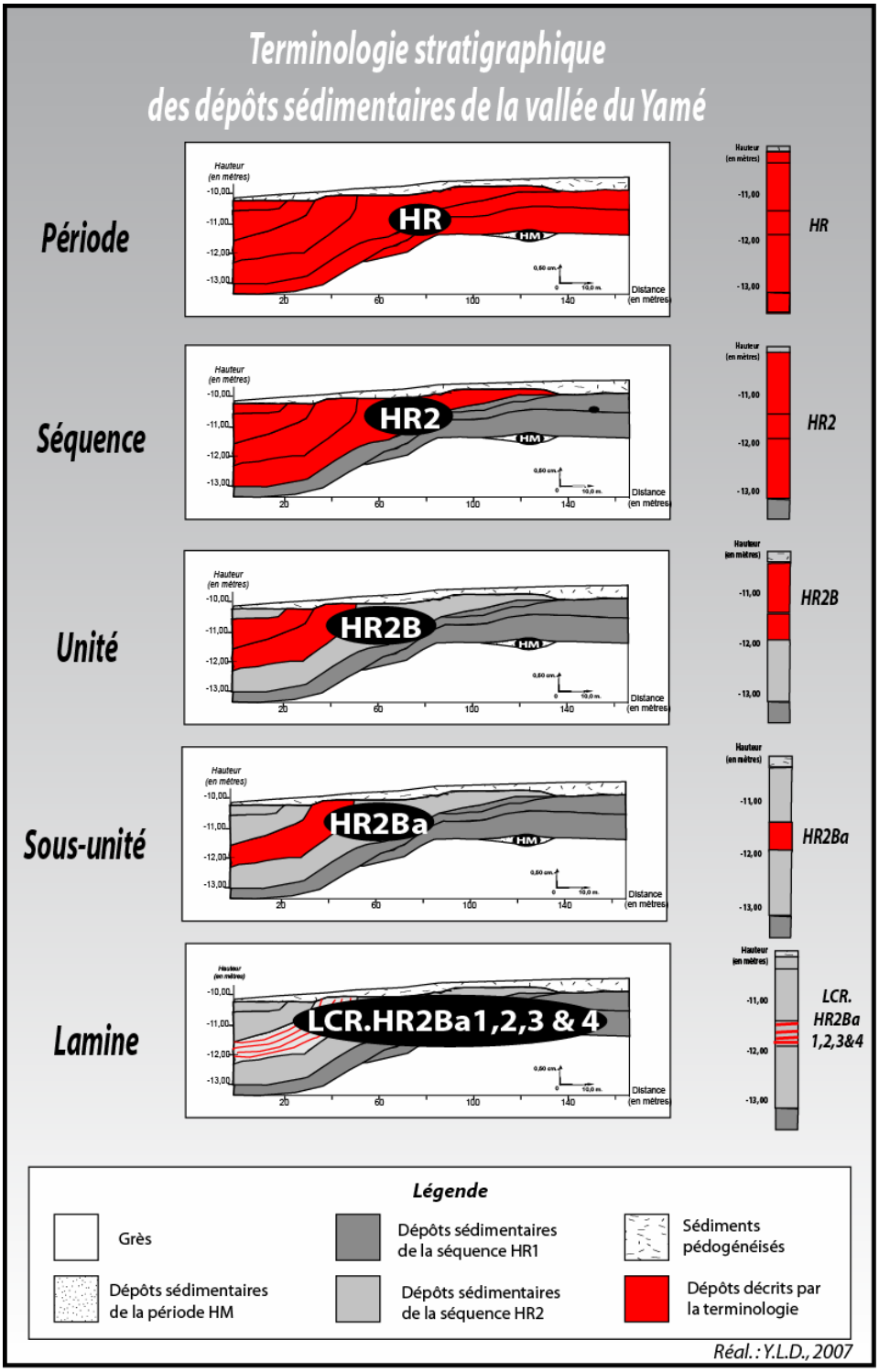


Figure n° 24 : Terminologie stratigraphique des dépôts sédimentaire de la vallée du Yamé

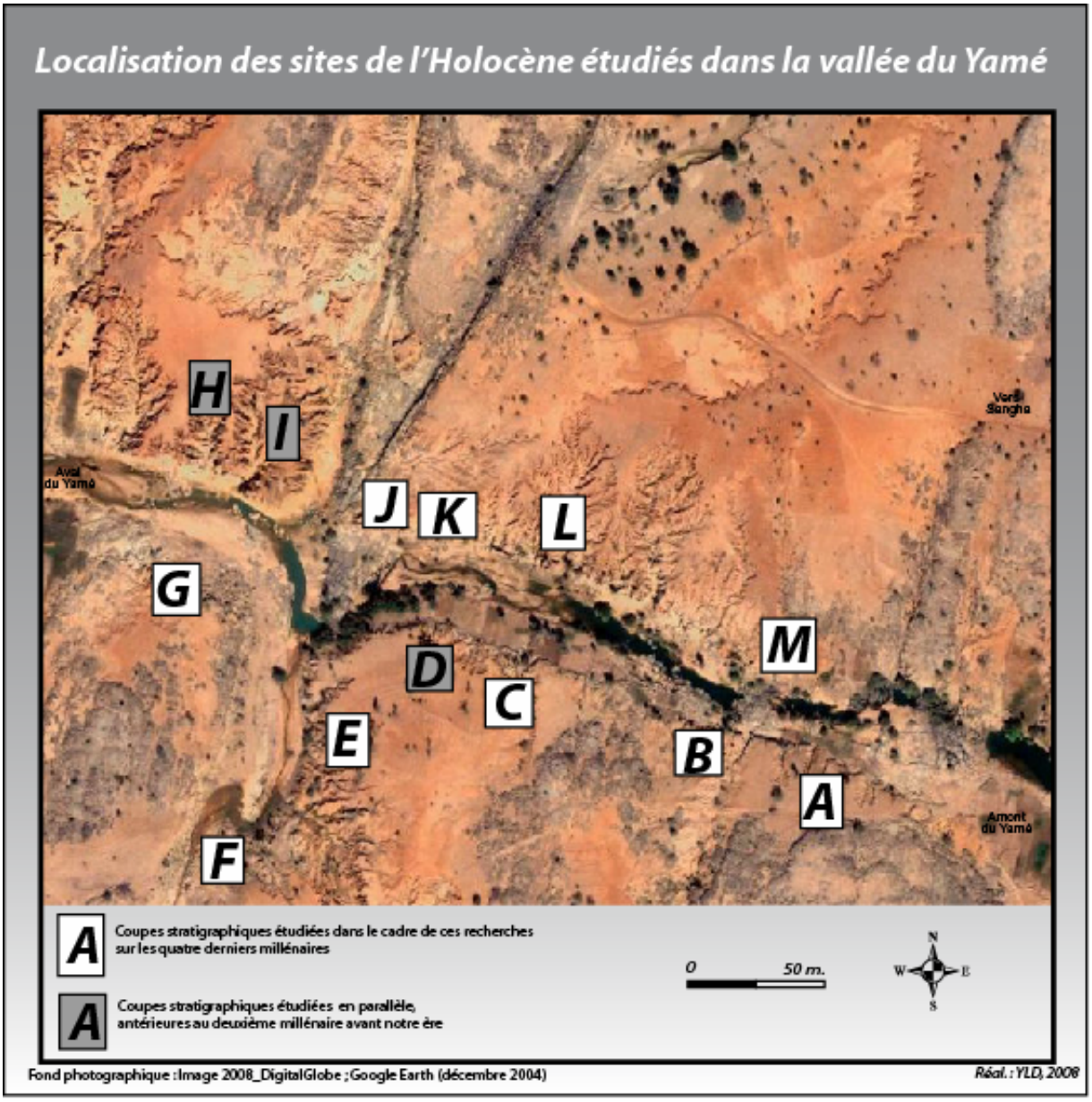


Figure n° 25 : Localisation des sites de l'Holocène étudiés dans la vallée du Yamé

Légende :
A.: Coupe 1 (du *Lannea*) Rive Gauche ; B.: Coupe 13 (du Rônier) Rive Gauche ; C.: Chenal du *Detarium* ; D.: Ravin du *Vitex* ; E.: Ravin Sud ; F.: Unio ; G.: Termitière ; H.: Ravin du Hibou ; I.: Ravin de la Mouche ; J.: Coupe 15 (Varves Ouest) Rive Droite ; K.: Coupe 13 (Varves Est) Rive Droite ; L.: Coupe 6 (du *Balanites*) Rive Droite ; M.: Coupe 0 Rive Droite

1.3. Chronologie & méthodes de datation

La collecte de micro et macro charbons de bois est effectuée directement sur les coupes stratigraphiques. Les particules sont conservées afin d'être envoyées dans les laboratoires de datations. Cependant, cette collecte est parfois délicate, car il est parfois difficile d'observer des particules charbonneuses dans certaines unités stratigraphiques. L'Holocène ancien 1, par exemple n'est pas encore directement daté dans la vallée du Yamé (Lespez & al, accepté). Les sols peuvent être affectés par des remaniements d'origine biologiques (principalement des termites sur les rives du Yamé) pouvant provoquer des perturbations des particules charbonneuses.

Dans le cadre des recherches paléoenvironnementales sur le site de la vallée du Yamé, il était nécessaire d'obtenir de nombreuses datations absolues. La stratégie de datation a pour objectif d'attribuer un âge aux unités ou aux lamines, dans le but d'obtenir une chronologie précise du fonctionnement de la dynamique paléohydrologique de la vallée du Yamé et de dater ces dynamiques environnementales.

La méthode de datations relative des unités est effectuée grâce aux relations stratigraphiques observées et décrites sur le terrain. Près de 98 échantillons provenant de différentes séquences et unités stratigraphiques entre l'Holocène ancien et aujourd'hui ont été datées dans différents laboratoires. Cinquante-huit datations ont été effectuées antérieurement à la présente recherche. Depuis 2003, grâce au financement des programmes Eclipse-II et Artemis, quarante nouvelles datations A.M.S. et conventionnelles ont été réalisées. Les résultats de mesure d'activité en Carbone 14 pour les échantillons de charbons de l'Holocène récent prélevés sur le terrain ont été obtenus au "*Physikalisches Institut"*, de l'Université d'Erlangen (à Nürnberg, en Allemagne) et au laboratoire de "*Mesure Carbone 14*" (à Gif-sur-Yvette, en France). Ces quatre-vingt quatre dates permettent de caler avec précision ces différentes séquences sédimentaires (Rasse & al., 2006, Huysecom *& al.,* 2007 ; Le Drézen & al., 2007, soumis ; Lespez & al., accepté).

Les inversions de dates restent très faibles sur le site, seules trois datations apparaissent inversées et encore en tenant compte des calibrations à deux sigmas, les écarts restent infimes. Cette observation permet de déduire un "*turn-over*" rapide des particules charbonneuses, qui indique un faible remaniement et des durées de stockage longues. Seules les premières phases de l'Holocène ancien posent aujourd'hui problème. Elles n'ont pas pu encore être datées avec

précision du fait du faible nombre de charbons disponibles et de leur remaniement systématique depuis les séquences pléistocènes. Les datations restent difficiles également pour les périodes les plus récentes, du fait des intervalles de calibration recouvrant souvent les quatre derniers siècles.

Les datations obtenues après réajustement sont dites calibrées et exprimées en B.C cal. (*Before Christ*) ou A.D. cal. (*Anno Domini*). Dans ce travail, les différentes datations sont exprimées en âge radiocarbone (B.P. : *Before Present*) et entre parenthèses, en age calibré avec un intervalle de confiance à 2 sigmas (probabilité de datation : 95,4 %), en B.C. ou A.D.

1.4. Vers une chronostratigraphie globale de la vallée du Yamé à l'Holocène

Il existe peu de renseignements chronostratigraphiques sur les systèmes fluviaux en Afrique de l'Ouest. Dans les régions tropicales et subtropicales, les études les plus récentes s'appuient, principalement sur des enregistrements lacustres (Gasse, 2002 ; Russel & Johnson, 2005 ; Haslett & Smart, 2006 ; Leblanc *& al*., 2006 ; Shanahan *& al*., 2006) et marins (De Menocal & al., 2000 ; Lézine *& al*., 2005 ; Hooghmiestra & *al*., 2006). Les recherches ont été principalement consacrées aux grands organismes fluviaux et en particulier le Nil (Said, 1993 ; Williams & al., 2000) et au Congo (Marret & al., 2001 ; Runge, 2002). L'étude la plus proche d'Ounjougou est celle consacrée au Niger (Makaske, 1998), mais elle reste encore à approfondir.

L'étude du site d'Ounjougou (cf. figures n° 25 & 26 ; voir annexe en format A3) souligne le potentiel de la vallée du Yamé pour reconstituer les dynamiques holocènes d'un système fluvial en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne (Lespez & al., 2007, accepté ; Le Drézen & al., soumis). Les investigations permettent de proposer une chronostratigraphie globale du remplissage de la vallée du Yamé et de reconstituer les dynamiques hydrosédimentaires au cours des dix derniers millénaires.

M. Rasse a décrit l'évolution géomorphologique et paléoenvironnementale de la vallée au cours des 40 000 dernières années (Rasse & al., 2004, 2006). Les quatre-vingt-dix-huit dates obtenues, dont une vingtaine inédite, permettent d'établir avec précision la chronostratigraphie de l'Holocène (Le Drézen *& al.,* 2007, soumis ; Lespez & al., accepté).

Les nouvelles investigations effectuées pour ces recherches doctorales ont consisté dans le suivi des formations fluvio-palustres sur plus de 600 mètres de longueur, des quatre derniers millénaires, observables en coupes sur les rives de la rivière. Le relevé précis d'une cinquantaine de coupes et le suivi systématique des limites stratigraphiques sur toute la longueur du fond de vallée étudié ont permis de mettre en évidence la succession des séquences sédimentaires de l'Holocène récent et terminal et d'établir une chronostratigraphie à haute résolution inédite en Afrique de l'Ouest

L'analyse des faciès sédimentaires repose sur l'étude des dispositifs stratigraphiques observables sur le terrain selon les référentiels classiques (Reineck & Singh, 1973 ; Picard & High, 1973). Les altitudes des coupes chronostratigraphiques sont calculées à partir d'un zéro métrique de référence, localisé sur la barre de grès à l'Ouest du site de la Confluence à proximité du site des Unio (cf. figures n° 25 & 26).

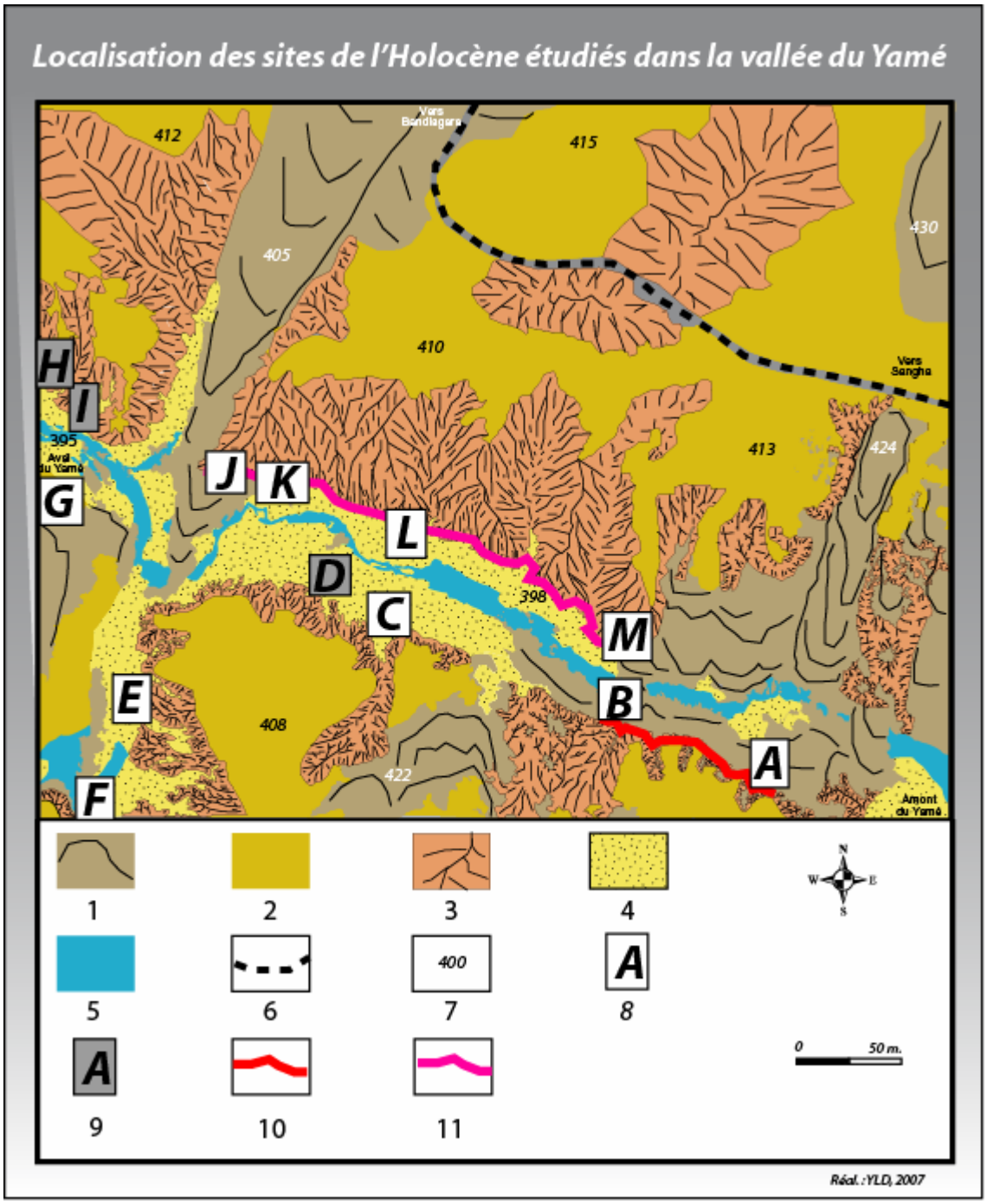


Figure n° 26 : Carte des sites de l'Holocène étudiés dans la vallée du Yamé

Légende : 1. : Barres de grès ; 2. : Glacis ; 3. : Zones érodées ; 4. : Bas fonds sableux ; 5. : Cours d'eau ; 6. : Piste actuelle ; 7. : Points cotés ; 8. : coupes de la deuxième séquence de l'Holocène récent et terminal ; 9. : coupes de l'Holocène ancien et moyen ; 10. : Rive Gauche étudiée ; 11. : Rive Droite étudiée.
A.: Coupe 1 (du *Lannea*) Rive Gauche ; B.: Coupe 13 (du Rônier) Rive Gauche ; C.: Chenal du *Detarium* ; D.: Ravin du *Vitex* ; E.: Ravin Sud ; F.: Unio ; G.: Termitière ; H.: Ravin du Hibou ; I.: Ravin de la Mouche ; J.: Coupe 15 (Varves Ouest) Rive Droite ; K.: Coupe 13 (Varves Est) Rive Droite ; L.: Coupe 6 (du *Balanites*) Rive Droite ; M.: Coupe 0 Rive Droite

2

2. La chronostratigraphie des deux derniers millénaires avant notre ère

La description de la chronostratigraphie des deux millénaires avant notre ère s'appuie sur les coupes principales des rives Gauche et Droite à l'amont de la Confluence du Yamé (les autres coupes sont présentées en annexe) et sur un essai de synthèse chronostratigraphique, afin de restituer l'évolution des dynamiques sédimentaires.

2.1. Chronostratigraphie de la Rive Droite du Yamé

2.1.1. Les principales coupes chronostratigraphiques de la Rive Droite du Yamé

Trois coupes seront décrites (Coupes 6, 9 et 15), elles se succèdent d'amont en aval, sur la Rive Droite du Yamé (les coupes 0, 7, 8, 10, 11, 12, 13 et 14 sont présentées en annexe).

- ***La Coupe 6 de la Rive Droite du Yamé (dite coupe du Balanites) :***

La coupe 6, dite coupe du *Balanites* (cf. figure n° 27 & planche n° 3) est localisée sur la Rive Droite à cent soixante mètres en amont de la Coupe 15 de la Rive Droite et en face de la coupe du Chenal du *Detarium* (Rive Gauche). La hauteur de la coupe dépasse les 2,5 mètres, avec des dépôts attribués à l'Holocène moyen et à la première séquence de l'Holocène récent.

Les quatre vingt dix premiers centimètres correspondent à des dépôts du Pléistocène, avec des silts jaunes à blancs.

Les soixante centimètres suivants sont des sédiments caractéristiques de l'Holocène moyen. Le matériel correspond en majorité à des lits de sables fins noirs, de sables grossiers,

gravillons et galets et des lits de sables moyens beiges avec des charbons (grosses particules centimétriques). Les dates obtenues sont 6410+/-49 B.P. (5480-5310 B.C. cal.) et 6296+/-52 B.P. (soit 5390-5200 B.C. cal.).

Les unités suivantes correspondent à des dépôts de la première séquence de l'Holocène récent (HR1). Les sédiments sont lités de sables fins à moyens blanc-beige de 0,2 à 0,5 centimètres, alternant avec des lits limono-sableux gris, riches en micro-charbons. Les datations sont échelonnées entre 4 468 +/- 46 B.P. (soit 3360-3030 B.C. cal.) à la base et 3904 +/- 42 B.P. (2389 +/- 64 B.C. cal.) au sommet.

Au sommet de la coupe, les sédiments ont subi une importante pédogenèse et demeurent difficilement identifiables.

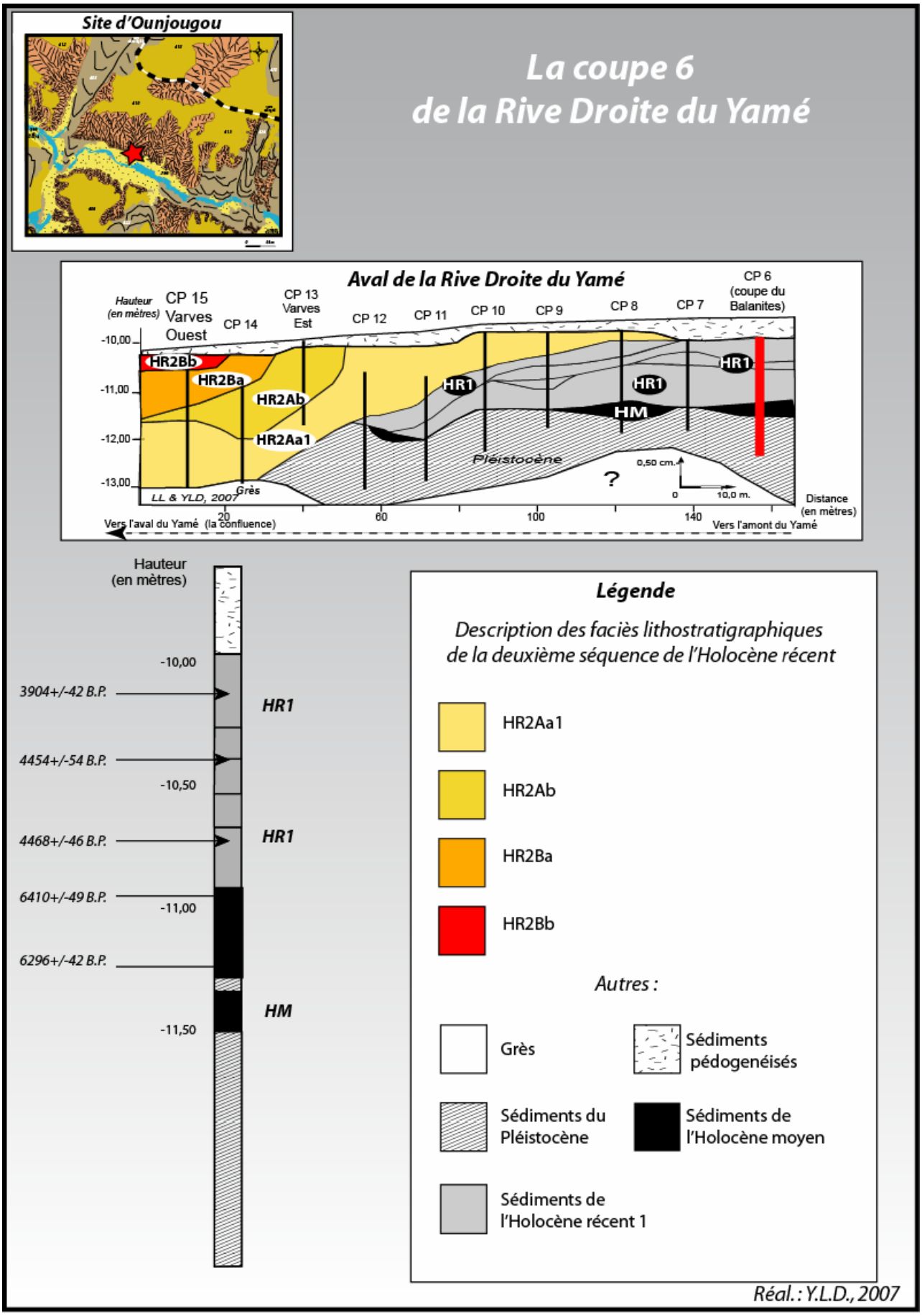
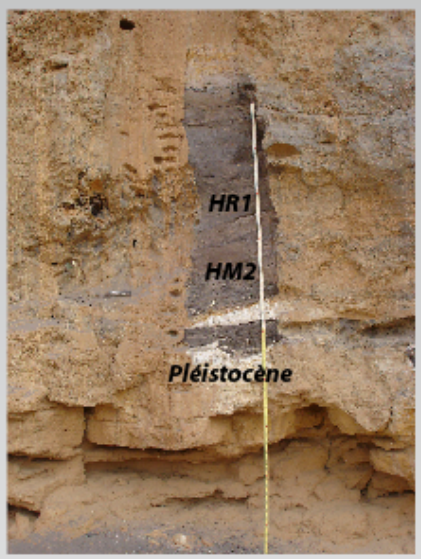


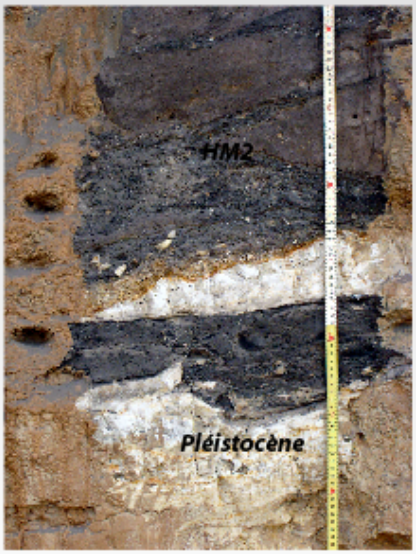
Figure n° 27 : Coupe 6 de la Rive Droite du Yamé

Coupe 6 de la Rive Droite du Yamé (Coupe du Balanites)

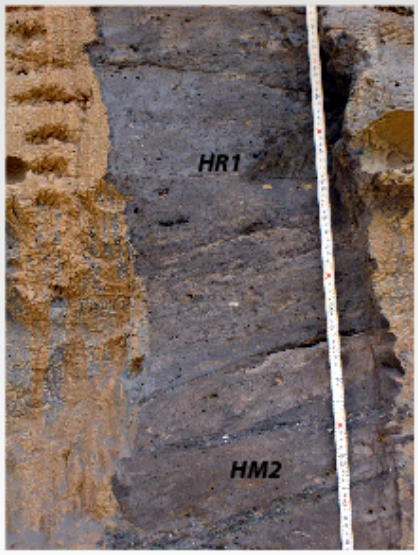


La coupe 6 dans sa globalité

Sommet de la Coupe



Base de la Coupe



Centre de la Coupe

Photographies : L.L., 2006
Réal. : Y.L.D., 2007

Planche Photographique n° 3 : Coupe 6 de la Rive Droite du Yamé

- ***La Coupe 9 de la Rive Droite :***

La Coupe 9 est située à une soixantaine de mètres à l'aval de la Coupe 6 (du Balanites) de la Rive Droite (cf. figure n° 28 & planche n° 4). Cette coupe stratigraphique est localisée en face du Ravin du Vitex sur la Rive Gauche du Yamé. L'épaisseur des dépôts est comprise entre 2 à 3 mètres, dont près d'un mètre cinquante de sédiments attribués au Pléistocène (silts bancs à jaunes).

Sept unités sont identifiées (cf. figure n° 28 ; planche photographique n° 4) dans des séquences stratigraphiques de l'Holocène moyen et de l'Holocène récent.

Les sédiments de l'Holocène moyen à la base de la coupe sont compacts avec des couleurs qui tendent du gris clairs au gris foncé, de la base au sommet. L'unité est datée de 6080 +/- 35 B.P. (soit 4998 +/- 43 B.C. cal.). Un tronc d'arbre i*n situ* reste visible à proximité de la coupe.

Les unités de la première séquence de l'Holocène récent (HR1) sont des sédiments rythmés avec des lits de 5 centimètres d'épaisseur de sables moyens de couleurs beiges et des lits de limons gris de 1 à 5 centimètres d'épaisseur (une dizaine de lamines ont pu être observées). La date obtenue pour cette unité est 3515 +/-30 B.P. (soit 1839 +/- 49 B.C. cal.).

La dernière unité de la première séquence de l'Holocène récent (HR1) a une vingtaine de centimètres d'épaisseur. Cet ensemble apparaît comme ravinant les couches précédentes, plus anciennes. L'ensemble correspond à des sables moyens fins beiges, mais quelques lamines limoneuses grises sont observées. Des troncs d'arbres sont encore visibles au sein de cette unité.

La deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2) apparaît déjà quarante mètres plus en amont (au niveau de la Coupe 7) avec la sous-unité HR2Aa1. Cette sous-unité a une épaisseur de cinquante à soixante centimètres. Elle est visible également cent mètres plus en aval et est plus dilatée, avec près d'un mètre cinquante de sédiments au niveau de la base de la coupe 15 (décrite ultérieurement). L'ensemble est lité et composé de lamines limoneuses grises de 0,5 à 5 centimètres d'épaisseur et des lamines de sables grossiers ocres ou des sables moyens à fins gris clairs et blancs, de 3 à 5 centimètres d'épaisseur (cf. figure n° 28 ; planche photographique n° 4). Près de dix-sept lamines limoneuses grises ont été repérées. Les sédiments sont riches en feuilles et en charbons de bois. La date obtenue pour cette sous-unité est de 3395 +/- 30 B.P. (1689 +/- 39 B.C. cal.).

Le sommet de la coupe est pédogénéisé sur une cinquantaine de centimètres.

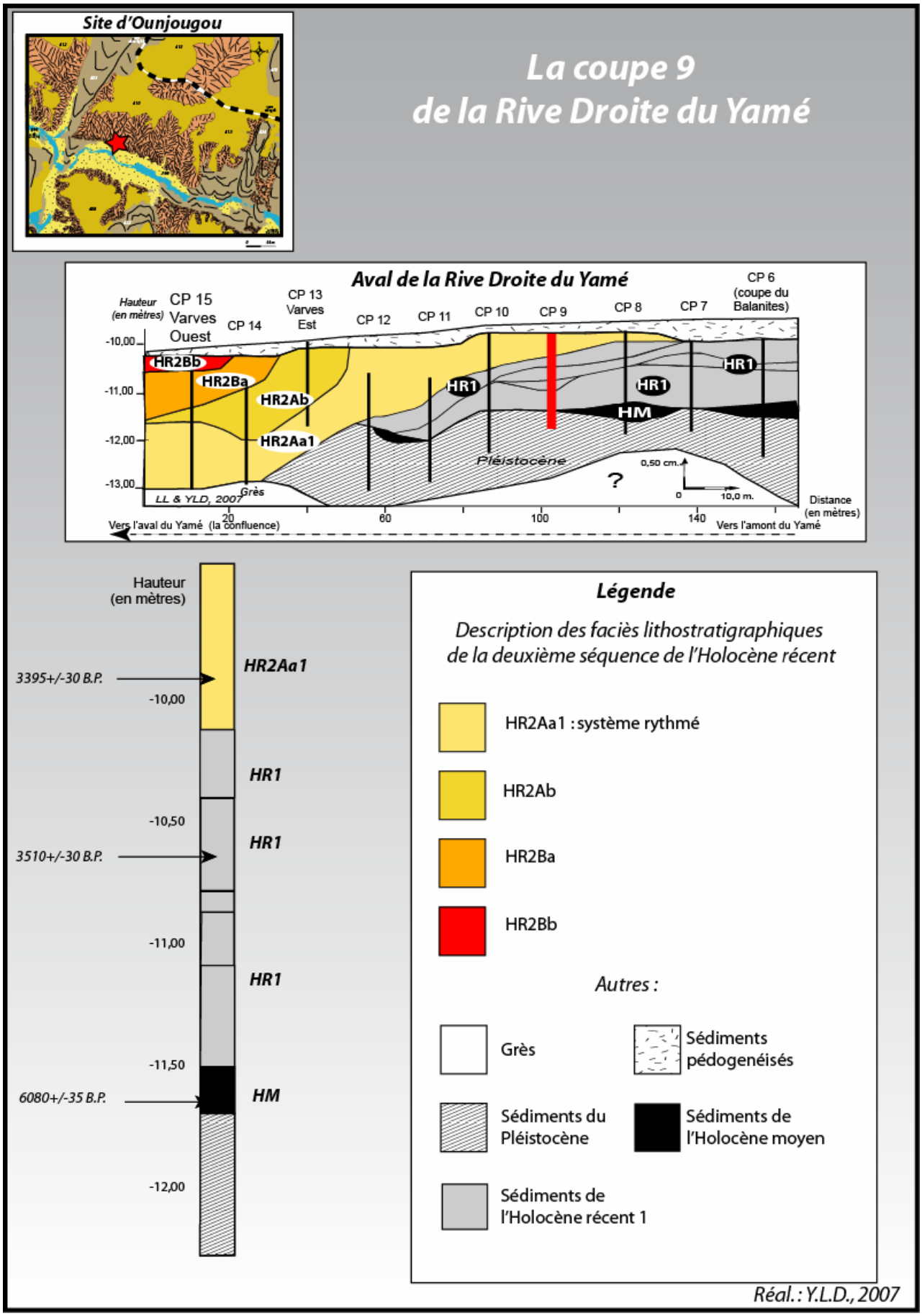
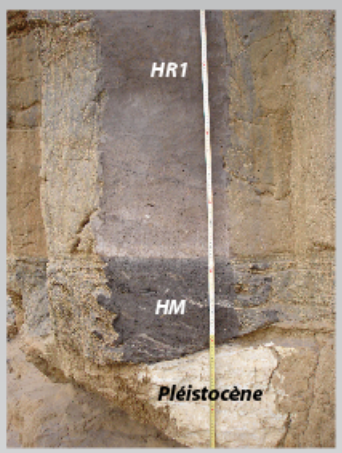


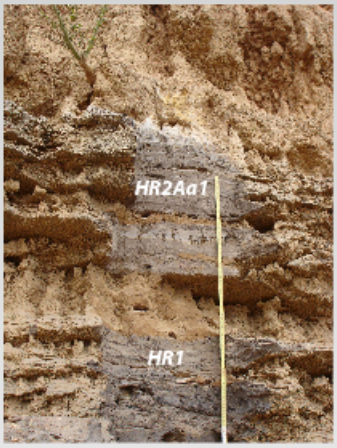
Figure n° 28 : Coupe 9 de la Rive Droite du Yamé

Coupes 8, 9 & 10 de la Rive Droite du Yamé

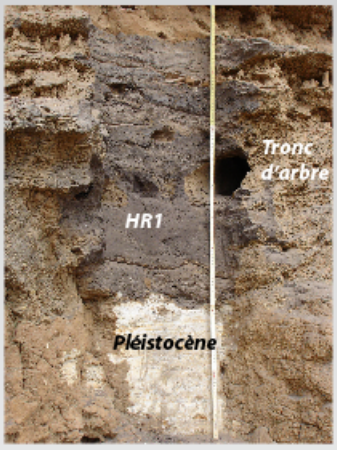
Vue sur la coupe 8



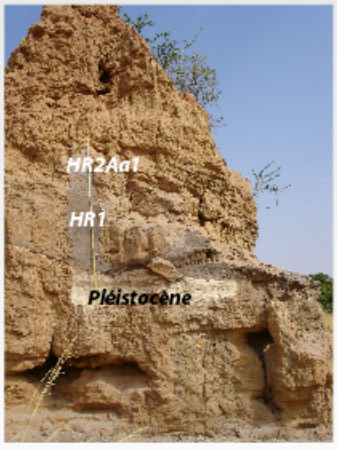
Base de la Coupe 8



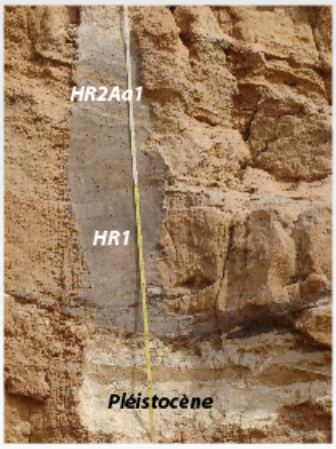
Sommet de la Coupe 9



Base de la Coupe 9



Vue sur la Coupe 10



Base de la Coupe 10

Photographies : Lespez L., 2006
Réal. : Y.L.D., 2007

Planche Photographique n° 4 : Coupes 8, 9 & 10 de la Rive Droite du Yamé

- ***La Coupe 15 de la Rive Droite (dite Coupe des Varves Ouest) :***

Une description plus précise est faite pour cette coupe, car elle a été choisie pour des analyses fines en laboratoire (cf. partie 3 et 4). La Coupe 15 est située 160 mètres en aval de la Coupe 6, avec une hauteur de deux mètres quatre-vingt (cf. figure n° 29 ; planche photographique n° 6). Deux unités différentes attribuées à la seconde séquence de l'Holocène récent (HR2) sont observées sur la coupe 15 (dite coupe des Varves Ouest) : HR2A et HR2B (avec quatre sous-unités distinctes : HR2Aa1, HR2Ab, HR2Ba, HR2Bb).

La première unité HR2A repose sur le grès avec une première sous-unité HR2Aa1, qui a une épaisseur d'un mètre trente. Les sédiments correspondent à un système rythmé, avec des lamines limono-sableuses grises et des lamines de sables fins blanc-gris. Les passées grises comportent des fissures de dessiccation et des liserés d'oxydation à leur sommet. Plus de soixante lamines différentes sont repérables. Cette sous-unité est très riche en particules charbonneuses. Son sommet apparaît plus sableux, il est possible de constater une transition progressive plus ravinante sur les vingt derniers centimètres, avant la nouvelle sous-unité HR2Ab. Elle est datée entre 3420 +/- 40 B.P. (soit 1735 +/- 57 B.C. cal.) et 2920 +/- 60 B.P. (soit 1310-930 B.C. cal.). Sept dates sont disponibles pour cette unité, soit approximativement un enregistrement équivalant à cinq siècles (calibrés) sur une épaisseur d'un mètre.

Une fouille en 1998 avait permis d'observer des artefacts dispersés (tessons roulés ou non). Lors de fouilles archéologiques effectuées sur le site dit des varves Est (Coupe 13 de la Rive Droite), a été mis à jour un site d'habitat à la base de cette unité, avec une date de 3219 +/- 60 B.P. (soit 1640-1380 B.C. cal.). La mise en place de cette nouvelle dynamique sédimentaire (érosion et remplissage) dans la vallée du Yamé vers 3420 +/- 40 B.P. (soit 1880-1620 B.C. cal.) semble coïncider avec l'abandon de cet habitat néolithique, installé sur le substrat gréseux.

La deuxième sous-unité de HR2A correspond à HR2Ab, elle possède une faible extension et est localisée entre les sous-unités HR2Aa1 et HR2Ba, qui sont nettement plus développées (cf. figure n° 29 ; planche photographique n° 6). La sous-unité s'amorce trente à quarante mètres plus en amont au niveau de la coupe 13 et est dilatée à son maximum d'épaisseur au niveau de la coupe 14 (10 mètres en amont de CP15) avec plus de quatre vingt centimètres. L'épaisseur sur cette coupe est d'environ trente centimètres. Près d'une vingtaine de lamines ont été repérées, comportant de nombreux charbons de bois. L'ensemble est assez

sableux et seules quelques lamines sont identifiables. Elle est comprise entre post. 2920 +/- 60 B.P. (soit post. 1310-930 B.C. cal.) et ante. 2800 +/- 60 B.P. (soit ante. 1120-820 B.C. cal.).

La deuxième unité stratigraphique HR2B est enregistrée avec la sous-unité HR2Ba, qui a une épaisseur de quatre-vingt centimètres. Cette sous-unité apparaît plus sableuse que la précédente, avec moins de lamines limono-sableuses (cf. figure n° 29 ; planche photographique n° 6). L'ensemble des sédiments est de couleur gris, avec des sables moyens-fins, d'anciennes lamines limoneuses peu visibles et de nombreux charbons. La base (sur les dix premiers centimètres) correspond à un lit sableux, ravinant faiblement la sous-unité précédente. Le sommet est plus sableux (fins-moyens), blanchâtre avec des lits de cinq à quinze centimètres alternant avec une dizaine de lamines limoneuses grises foncées, de deux à cinq centimètres d'épaisseur. Elle est datée de 2800 +/- 60 B.P. (soit 966 +/- 75 B.C. cal.) et 2840 +/- 45 B.P. (soit 1130-890 B.C. cal.).

L'unité HR2B se termine avec la deuxième sous-unité stratigraphique de la Rive Droite : HR2Bb. Elle est toujours rythmée et n'est pas datée. Elle a une épaisseur d'environ trente centimètres. Ce système quasiment identique au précédent, paraît plus compressé, avec des lamines limoneuses d'environ un centimètre et des lits de sable de un à trois centimètres (cf. figure n° 29 ; planche photographique n° 6). Le sommet correspond à une lamine limoneuse grise d'une épaisseur de cinq centimètres. La partie sommitale de la coupe est difficilement identifiable en raison de la pédogénéisation.

Ces unités stratigraphiques de la coupe 15 permettent de poser la question de la durée de ces dépôts laminés et de formuler l'hypothèse de leur saisonnalité.

Empreintes et restes foliaires dans les sédiments de la Rive Gauche et Droite du Yamé

Empreinte d'une feuille
(Coupe 13 de la Rive Gauche)

Empreinte foliaire comparée à une feuille actuelle de *Sygyzium*
(Coupe 13 de la Rive Gauche)

Restes de feuilles
(Coupe 8 de la Rive Gauche)

Empreintes foliaires
(Coupe 0 de la Rive Droite)

Restes foliaires
(Coupe 8 de la Rive Gauche)

Empreinte et reste de feuille
(Coupe 13 de la Rive Gauche)

Photographies : Le Drézen Y., Neumann K. & Martinez E.

Planche photographique n°5 : Empreintes et restes foliaires dans les sédiments de la rive Gauche et Droite du Yamé

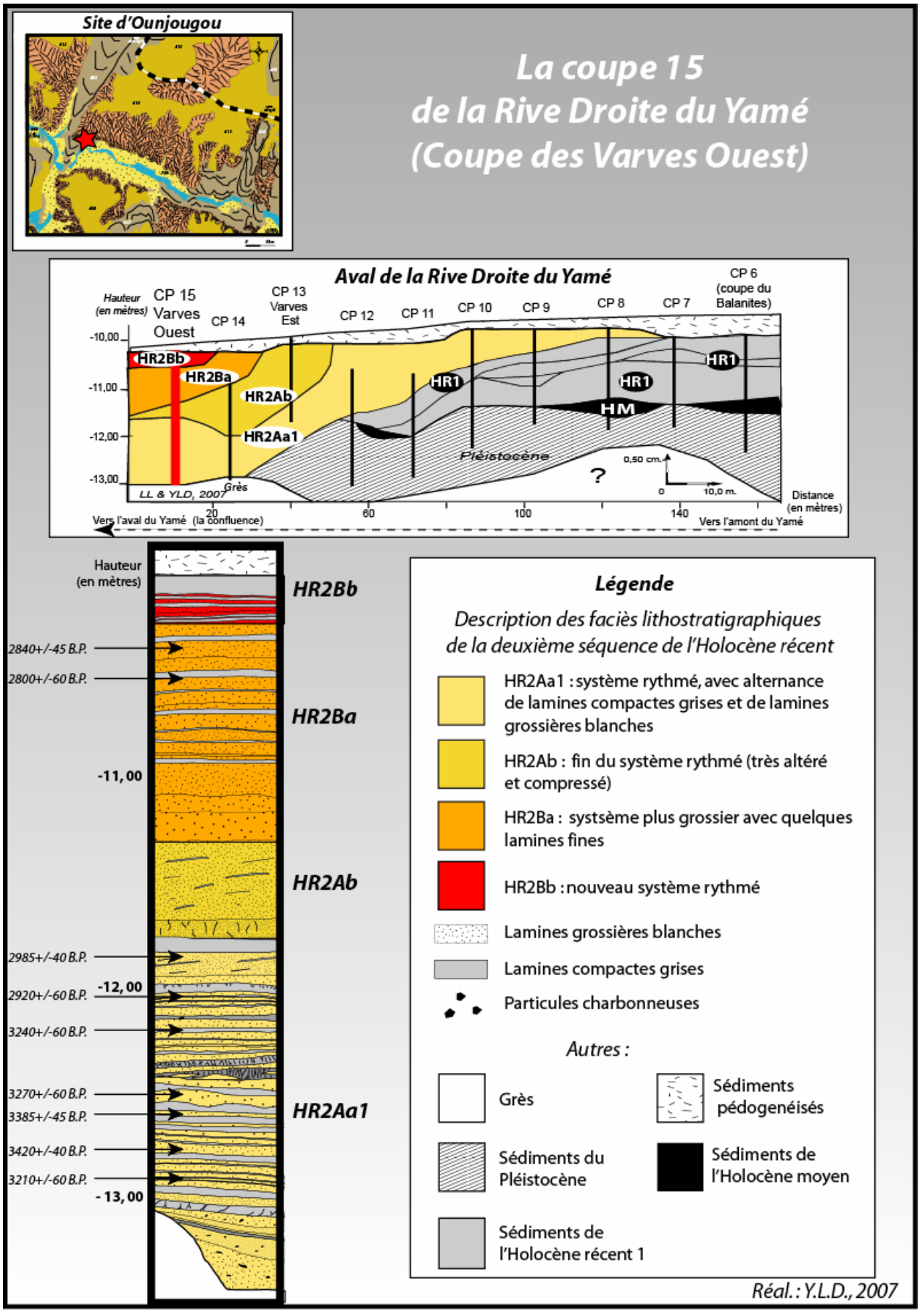


Figure n° 29 : Coupe 15 de la Rive Droite du Yamé

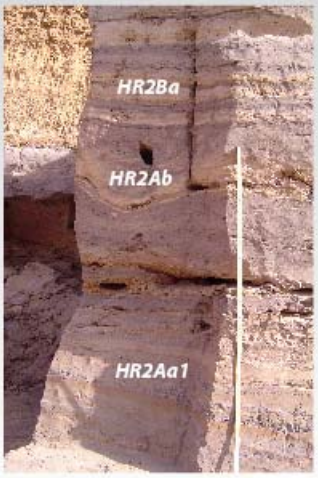
La Rive Droite :
La Coupe 15 (Varves Ouest)

La Coupe, vue de la barre de grès du site de la Confluence

La Coupe et le site archéologique à gauche

La Coupe vue de profil

Vue sur les 4 sous-unités



Sous-unités HR2Aa1, HR2Ab & HR2Ba

Lamines caractéristiques de référence de la sous-unité HR2Aa1

Photographies : Le Drézen Y.

Planche Photographique n° 6 : Coupe 15 de la Rive Droite du Yamé

2.1.2. *Synthèse chronostratigraphique de la Rive Droite*

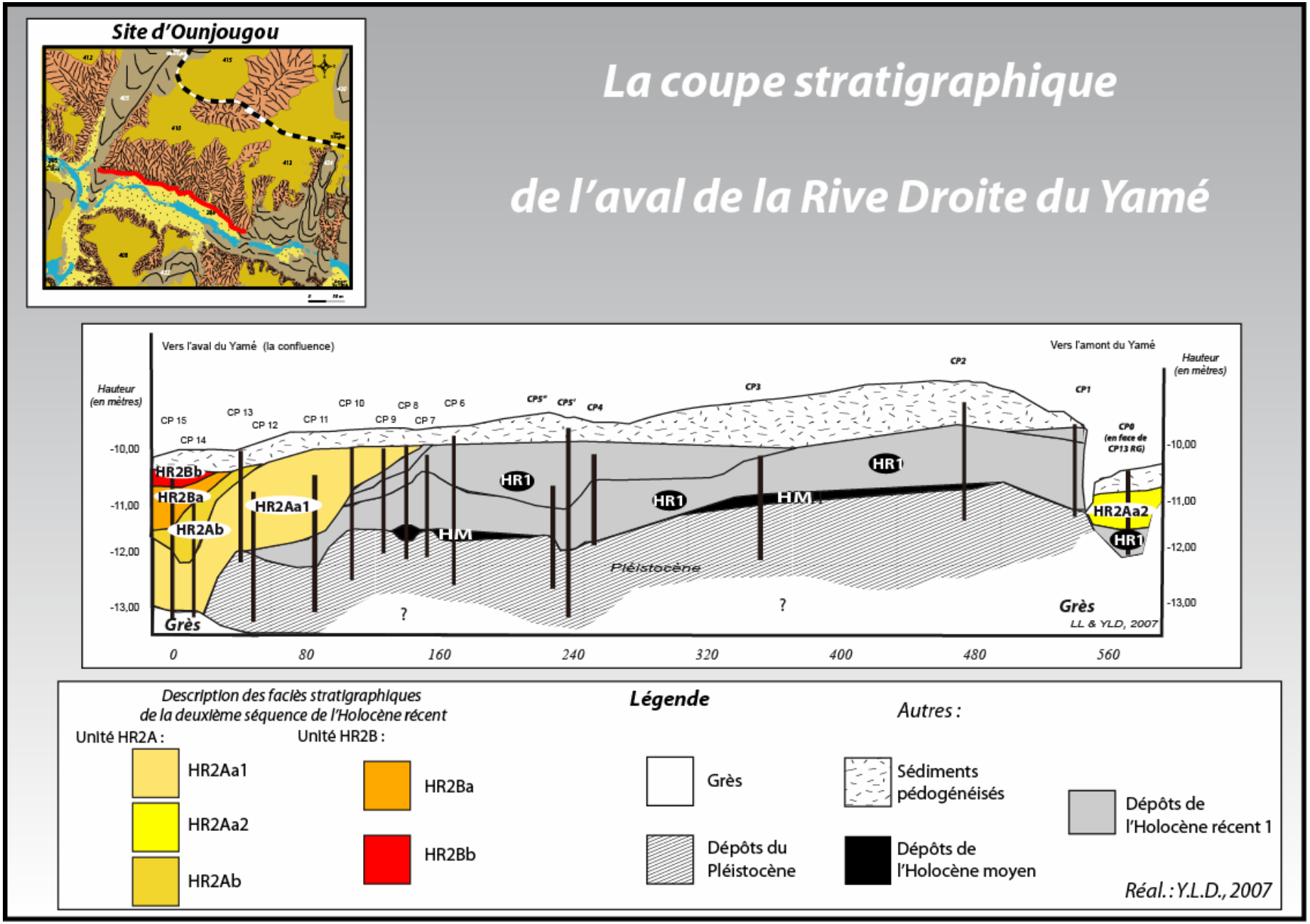
Les sédiments ont pu être observés en Rive Droite sur une longueur de cent soixante-dix mètres et une hauteur de deux à quatre mètres (cf. figure n° 30).

La base de cette séquence chronostratigraphique correspond à des sédiments de l'Holocène moyen (antérieure à 6410+/-49 B.P., soit 5480-5310 B.C. cal.), reposant sur des silts jaunes à blancs du Pléistocène. Les formations de l'Holocène moyen sont caractérisées par une unité détritique, constituée par des lentilles grossières sablo-graveleuses à galets et par des sédiments lités. L'alternance d'unités litées correspond à des sables beiges ou blancs et limono-sableux gris, riches en restes organiques (troncs fossiles, charbons de bois, cendres…). Les évolutions post-dépositionnelles les rendent aujourd'hui plus ou moins visibles. Ces formations s'expliquent par des dynamiques caractéristiques de chenaux, dans une plaine alluviale très végétalisée.

Pour les unités de la première séquence de l'Holocène récent (HR1), il est possible de se demander si une sédimentation rythmée ne se développe pas du fait de la régularité des successions de lits de sables fins blancs et de sables silteux gris à restes organiques. Mais la continuité de ces formations fait souvent défaut contrairement aux séquences suivantes. Des troncs de bois entiers sont visibles dans cette première séquence de l'Holocène récent. Les unités de la première séquence de l'Holocène récent (HR1) sont comprises entre 4550+/-30 à 3500+/-30 B.P. (soit entre 3370 et 1740 B.C. cal.). Les unités sommitales sont respectivement datées de 3904+/-42 B.P. (soit 2470-2340 B.C.) et de 3510+/-30 B.P. (soit 1880-1780 B.C. cal.).

Les sédiments de la deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2) antérieurs au deuxième millénaire avant notre ère se mettent en place suite à une importante phase de ravinement des formations de l'Holocène moyen. La séquence est visible sur plus de cent soixante mètres et sur plus de trois mètres de hauteur. Ces unités et sous-unités présentent un faciès bien laminé de type "rythmites" et sont très riches en micro-particules charbonneuses. Elles sont également très riches en restes foliaires (Planche n° 5). Ces sédiments de la deuxième partie de l'Holocène Récent témoignent d'une nouvelle métamorphose de la vallée du Yamé, qui sera plus précisément étudiée grâce aux analyses de laboratoire. Les unités et sous-unités de la deuxième séquence de l'Holocène récent à l'aval (Coupe 15) sont datées entre 3420+/-40 et 2800+/-60 B.P. (soit entre 1880 et 820 B.C. cal.) et à l'amont avec l'unité HR2Ca (Coupe 0 de la Rive Droite) de 3195+/-30 B.P. (soit 150-1410 B.C. cal.).

Figure n° 30 : Coupe stratigraphique de l'aval de la Rive Droite du Yamé



2.2. Chronostratigraphie de la Rive Gauche du Yamé

2.2.1. Les principales coupes chronostratigraphiques en amont de la Rive Gauche du Yamé

Trois coupes sont décrites, elles se succèdent d'amont en aval de la Coupe 4 à la Coupe 13 sur la Rive Gauche, sur 80 mètres de longueur (les autres coupes sont présentées en annexe).

- ***La coupe 4 de la Rive Gauche :***

La coupe 4 de la Rive Gauche a une hauteur de deux mètres cinquante. Elle est localisée à douze mètres en aval de la Coupe 1 (Coupe du *Lannea*) et à 68 mètres à l'amont de la coupe 13 (Coupe du Rônier). Elle est située au niveau du petit ravin du *Lannea*, à l'amont de la Rive Gauche du Yamé (cf. figure n° 31 ; planche photographique n° 7).

Elle montre quatre unités de la première séquence de l'Holocène récent (HR1) visibles sur un mètre d'épaisseur. Elles possèdent des faciès clairement lités, où alternent des lamines grossières et d'autres plus fines, qui sont très riches en particules charbonneuses. Deux dates ont été obtenues pour cette période, 3940+/-30 B.P. (2570-2300 B.C. cal.) à 20 centimètres de la base et 3500+/-30 B.P. (soit 1910-1740 B.C. cal.), quatre-vingt centimètres plus haut.

La deuxième séquence de l'Holocène récent est enregistrée avec deux sous-unités, HR2Aa2 et HRCa. HR2Aa2 a une épaisseur de soixante-dix centimètres. Elle correspond à des sédiments rythmés, caractérisés par une alternance de lamines fines grises et compactes, oxydées et fissurées à leurs sommets et de lamines plus grossières. Quant à la sous-unité HR2Ca (cf. figure n° 31 ; planche photographique n° 7), elle n'apparaît qu'au sommet de la coupe 4 et va se dilater progressivement vers l'aval. Cette sous-unité est également caractérisée par une sédimentation rythmée, avec le même type d'alternance de lamines que l'unité précédente. Les derniers centimètres de la coupe sont pédogénéisés.

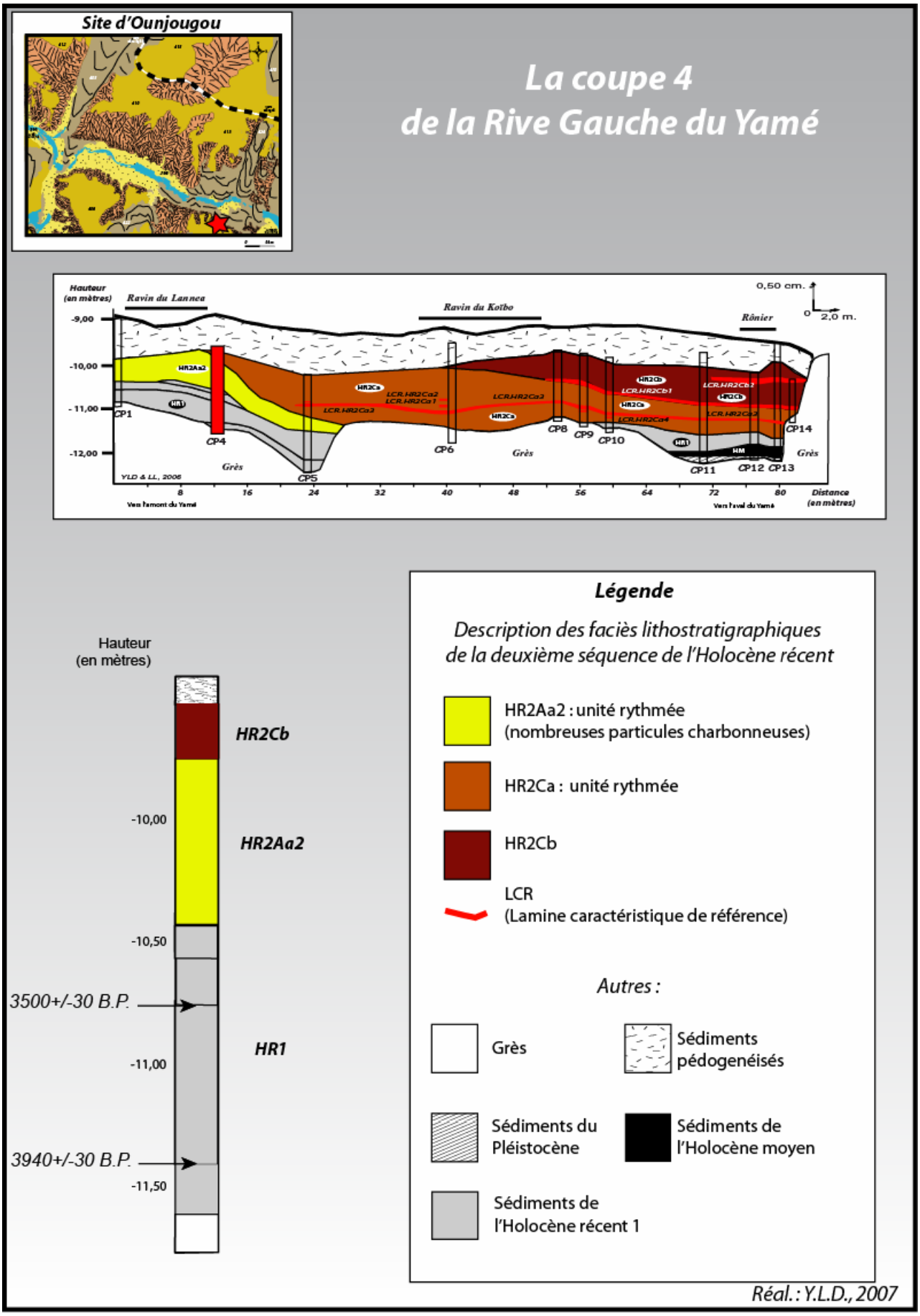


Figure n° 31 : Coupe 4 de la Rive Gauche du Yamé

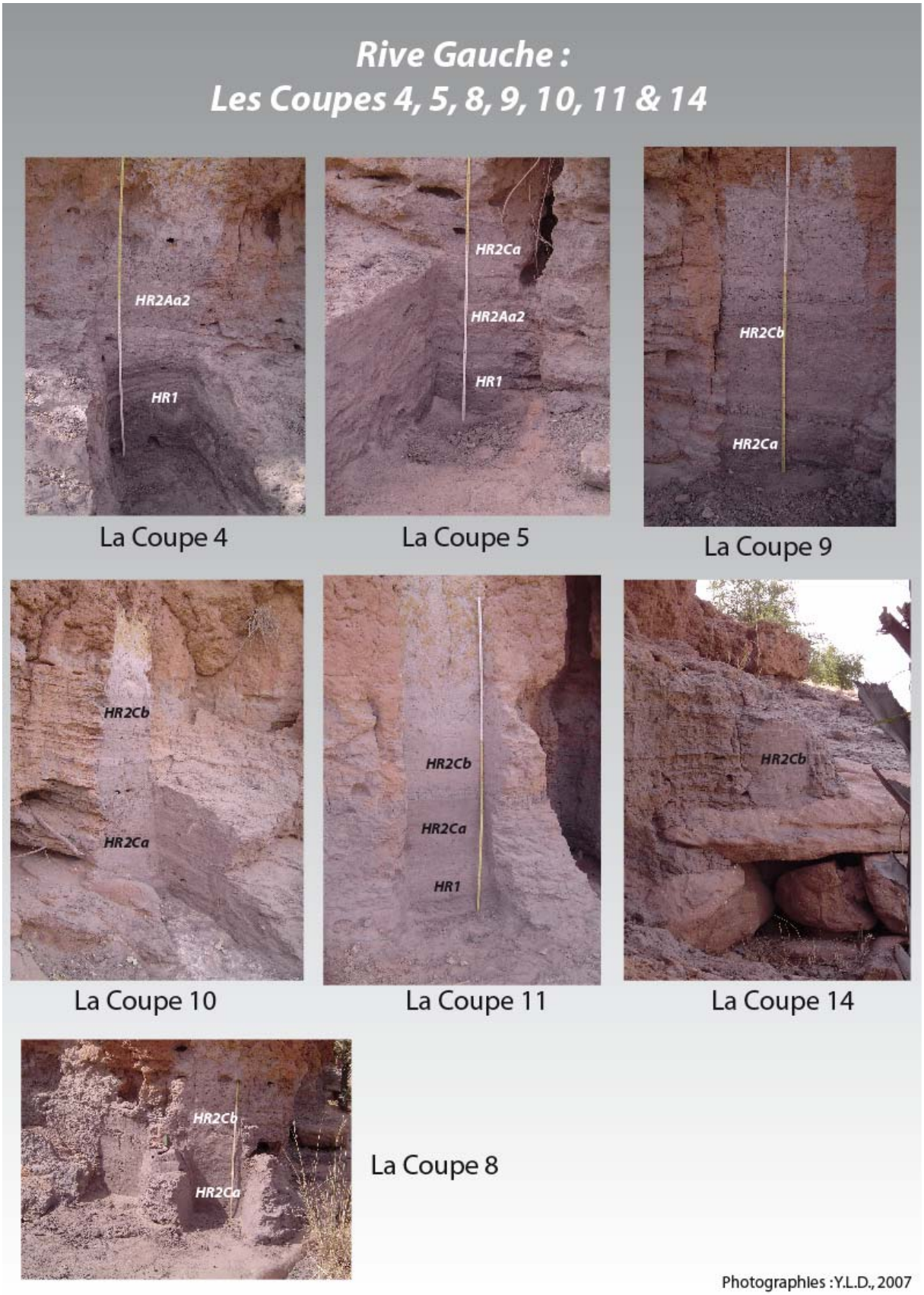


Planche Photographique n° 7 : Coup s 4, 5, 8, 9, 11 et 14 de la Rive Gauche du Yamé

- ***La coupe 6 de la Rive Gauche, dite coupe du* Koïbo *:***

La coupe 6 a une hauteur de trois mètres soixante (cf. figure n° 32 ; planche photographique n° 8), elle est distante de 40 mètres (plus en aval) de la Coupe 1 (du *Lannea*) et de 40 mètres (plus en amont) de la Coupe 13 (du Rônier).

L'unité stratigraphique principale est HR2Ca. Elle a une épaisseur d'un mètre vingt-sept. Il s'agit d'un système rythmé, constitué de plus de quatre-vingt lamines fines grises, comprises entre 0,5 et 4 centimètres d'épaisseur, qui alternent avec des lamines blanches grossières de 1 à 3 centimètres d'épaisseur (cf. figure n° 32 ; planche photographique n° 8).

Trois de ces lamines ont servi de référence, pour établir la stratigraphie relative de la Rive Gauche, la *L.C.R. HR2Ca.1* d'un centimètre d'épaisseur (visible sur une soixantaine de mètres de longueur), qui se trouve quinze centimètres dessous *L.C.R. HR2Ca.2* (de deux centimètres d'épaisseur) et dix centimètres au dessus de *L.C.R. HR2Ca.3* (de quatre centimètres d'épaisseur).

De nombreux restes organiques ont pu être repérés dans cette unité, des feuilles, des graines (de *Parinari*), du bois ou des particules charbonneuses.

Les deux mètres sommitaux de la coupe sont pédogenéisés et de fait difficilement identifiables. L'ensemble est recouvert de colluvions, épais de plusieurs décimètres.

La date obtenue (2510+/-30 B.P., soit 790-520 B.C. cal.) provient d'un charbon prélevé au sommet de la lamine *LCR HR2Ca.3*.

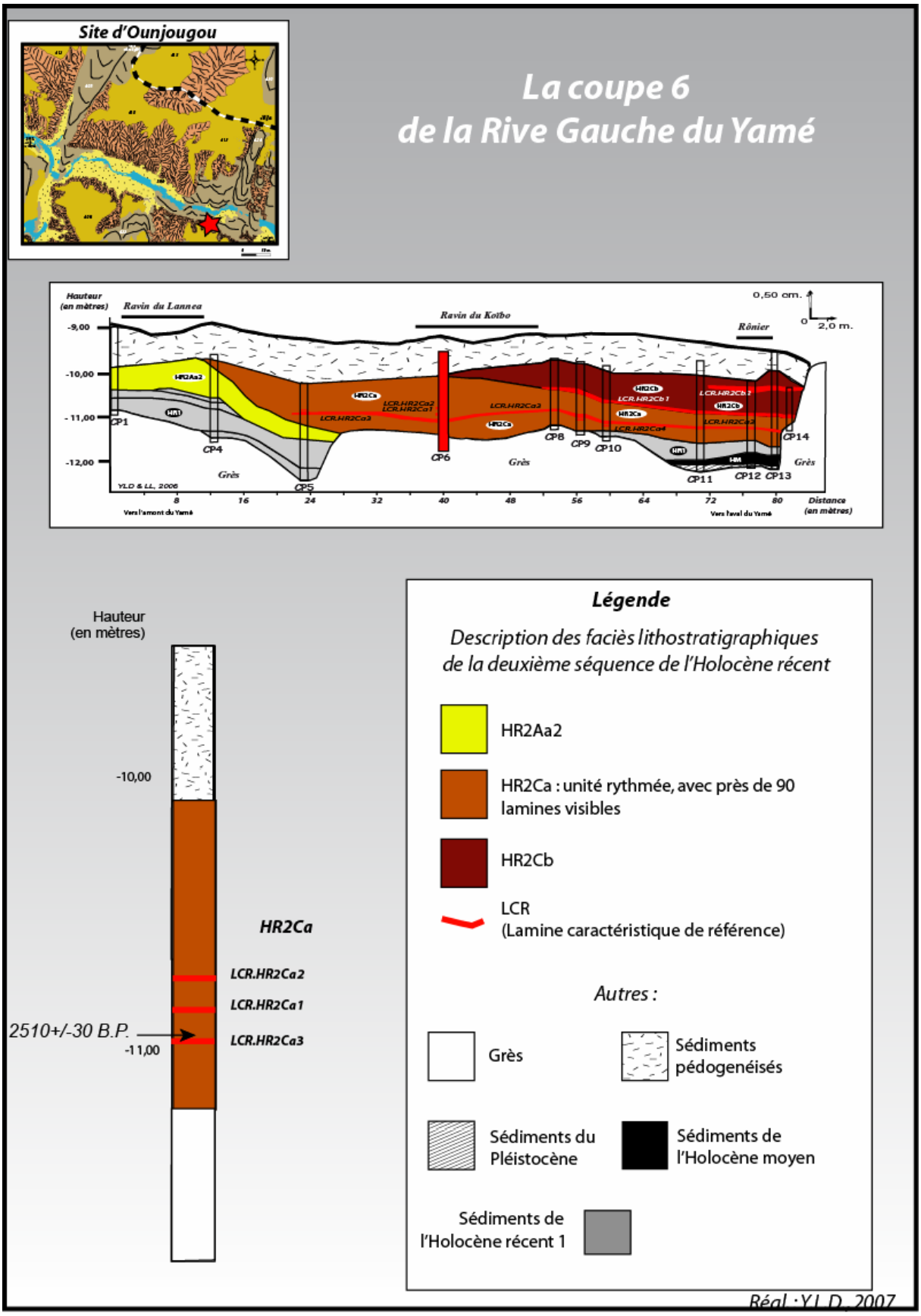


Figure n° 32 : Coupe 6 de la Rive Gauche du Yamé

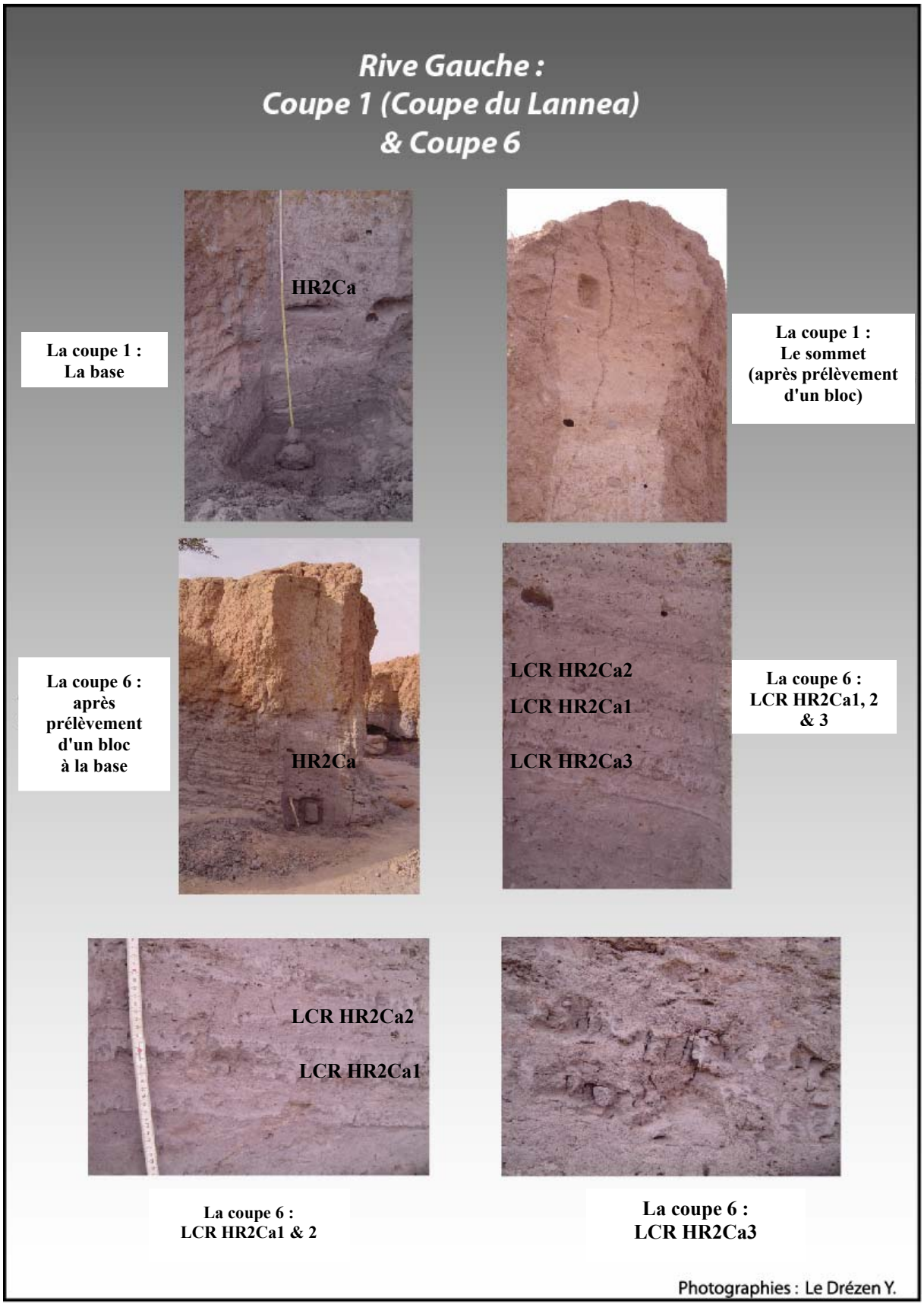


Planche Photographique n° 8: Coupes 1 et 6 de la Rive Gauche du Yamé

- ***La coupe 13 de la Rive Gauche, dite coupe du Rônier :***

La coupe 13 est décrite plus précisément, car elle a été choisie pour des analyses fines de laboratoire. Elle mesure deux mètres quarante de haut. Cette coupe est localisée à quatre vingt mètres en aval de la coupe 1 (cf. figure n° 33 ; planche photographique n° 9). Les sédiments holocènes reposent sur un horizon pléistocène, de silts très compacts blanchâtres à tâches ocre. La base de la coupe apparaît très perturbée, à cause de nombreux nids et chenaux de termites visibles sur les quatre vingt premiers centimètres. Les nids peuvent avoir des diamètres de vingt centimètres. Cette perturbation est sans doute responsable de nombreux mélanges sédimentaires.

Les vingt premiers centimètres correspondent à des sédiments attribuables à l'Holocène moyen, de part leur faciès. Il s'agit de sables fins brun-gris avec des tâches ocre. A la base, il est observé un lit de sables fins très noirs.

Vingt centimètres de lits de sables blancs moyens à fins sont également visibles au dessus correspondant vraisemblablement à la première séquence de l'Holocène récent (HR1).

Au dessus s'amorce l'unité HR2C qui est beaucoup moins perturbée. La sous-unité *HR2Ca* a une épaisseur de soixante cinq centimètres. Elle est nettement rythmée avec vingt huit lamines fines grises et vingt huit lamines grossières grises-blanches, soit cinquante six lamines au total (cf. figure n° 33 ; planche photographique n° 9). Les lamines fines grises ont différentes épaisseurs, de quelques millimètres à deux centimètres.

Des L.C.R. (Lamines Caractéristiques de Référence) sont visibles dans cette sous-unité, dont la *L.C.R. HR2Ca.3*, avec une épaisseur d'un centimètre, située au milieu de cette sous-unité. Les lamines fines ou plus grossières comportent de nombreux restes organiques, comme des graines de *Parinari*, de feuilles ou de particules charbonneuses. Il a été repéré sur le terrain, en observant ces dépôts, que les feuilles s'étaient déposées au sommet des lamines grossières, tandis que l'oxydation et les fissures de dessiccation se sont formées dans les parties sommitales des lamines grises. Il existe deux datations permettant de fixer chronologiquement cette sous-unité stratigraphique : 2473+/-36 B.P. (soit 710-410 B.C. cal.) à la base et 2440+/-40 B.P. (soit 670-400 B.C. cal.) au sommet.

La sous-unité *HR2Cb* commence avec la *L.C.R. HR2Cb.1*. Cette sous-unité possède plus d'une trentaine de lamines limoneuses, avec des épaisseurs très variables, de quelques millimètres à plusieurs centimètres (cf. figure n° 33 ; planche photographique n° 9). Elle

apparaît comme la précédente, très riche en matière organique. Elle est épaisse d'une cinquantaine de centimètres.

La *LCR HR2Cb.1* est épaisse de six centimètres d'épaisseur et visible sur plus de vingt six mètres de longueur, vers l'amont. La base de cette unité est riche en brindilles et feuilles. Ce matériel foliaire encore intact correspond à des feuilles de *Sygyzium*, par comparaison à des feuilles actuelles de même arbre, visible aujourd'hui le long de la vallée. Cette L.C.R. est une lamine fine grise, qui compte à son sommet de nombreuses fissures de dessiccation avec un liseré ocre de quelques millimètres, correspondant à une oxydation. Il est possible que cette lamine par son épaisseur exceptionnelle corresponde en fait à l'accumulation de plusieurs lamines successives.

Deux autres L.C.R. ont été identifiées dans cette unité stratigraphique. La *L.C.R. HR2 Cb.2* est située quarante centimètres au dessus de la *L.C.R. HR2Cb.1*. Elle correspond à des sédiments fins gris et a une épaisseur de six à sept centimètres. La *L.C.R. HR2Cb.3* est située cinquante centimètres au dessus de la *L.C.R. HR2Cb.1*, soit douze centimètres au dessus de la *L.C.R. HR2Cb.2*. Cette dernière lamine correspond en fait à une alternance sur neuf centimètres d'épaisseur de fines lamines grossières blanches et de lamines fines et compactes grises.

Le sommet de HR2Cb est environ trente centimètres au dessus de la *L.C.R. HR2Cb.3*, qui apparaît pédogénéisé, avec une couleur très ocre.

Une date a été obtenue de 2641+/-36 B.P. (900-770 B.C. cal.) au sommet de la sous-unité, elle indique une légère inversion par rapport aux dates de la base de la coupe et montre des remaniements possibles de particules charbonneuses, qui restent exceptionnelles sur ces séquences.

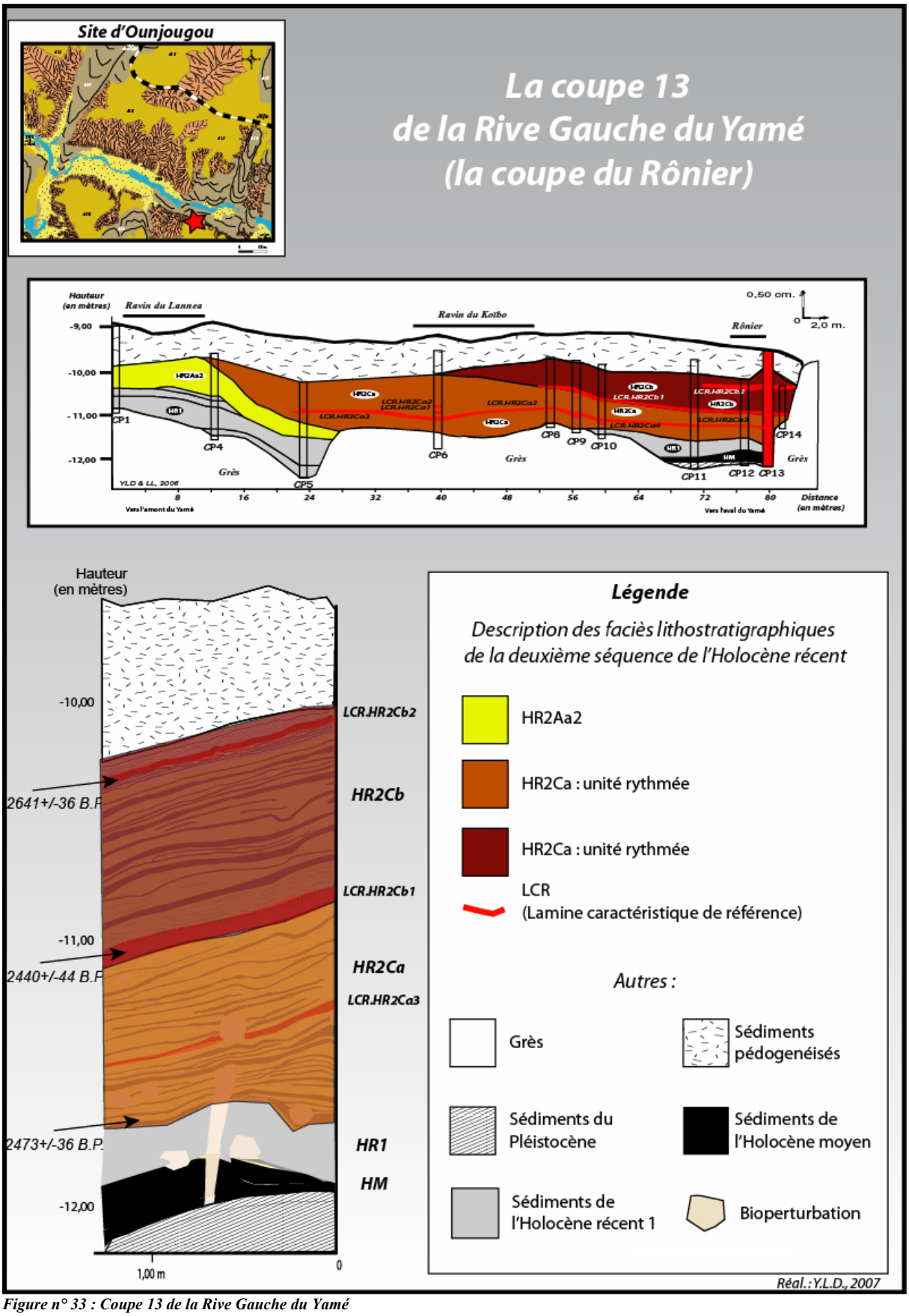


Figure n° 33 : Coupe 13 de la Rive Gauche du Yamé

Rive Gauche :
La Coupe 13 (Coupe du Rônier)

Les Coupes 12, 13 & 14
(avec la barre de grès au fond)

La Coupe 13 rafraîchie
avant les prélèvements
(en 2004)

La Coupe 13 (en 2004) après les prélèvements
palynologiques et d'un premier bloc (= LM.RR.2004)

La Coupe 13 après les prélèvements de 9 blocs
(en 2006)

La Coupe 13 après les prélèvements
paléoenvironnementaux
(en 2007)

Lamines fines
et grossières
de HR2Ca

Photographies : Le Drézen Y.

Planche Photographique n° 9: coupe 13 de la Rive Gauche du Yamé

2.2.2. *Synthèse chronostratigraphique de la Rive Gauche du Yamé*

Les sédiments de l'amont de la Rive Gauche ont été observés sur 90 mètres de longueur et 3 à 4 mètres de hauteurs.

A la base de nombreuses coupes, il est observé des sédiments de la première séquence de l'Holocène récent (HR1). Ils sont sableux et riches en grosses particules charbonneuses et datés entre 3940+/-30 à 3500+/-30 B.P. (soit entre 2485 et 1780 B.C. cal.).

Ces formations (cf. figure n° 34) sont ensuite ravinées par les unités et sous-unités de la deuxième séquence de l'Holocène récent : celles-ci sont d'abord représentées par HR2Aa2, visible sur les coupes 1 à 5, sur une longueur de trente mètres et une hauteur maximale d'un mètre. La base de l'unité a été datée sur la coupe 1 à 3385+/-37 B.P. (soit 1770-1530 B.C. cal.)

Mais l'essentiel de la stratigraphie correspond à l'unité HR2C, avec deux sous-unités HR2Ca et HR2Cb (cf. figure n° 34), qui ont pu être suivies sur pratiquement toute la longueur de la Rive Gauche et sont postérieures aux unités décrites en Rive Droite. Il s'agit d'une unité présentant des sédiments rythmés, qui ont un faible pendage de l'amont vers l'aval d'environ 3 % et épousent régulièrement la topographie des barres de grès.

La base de HR2Ca est datée entre 2510+/-30 B.P. et 2440+/-44 B.P. (soit 790-400 B.C. cal.). Cette sous-unité présente un faciès de rythmites alternant des lamines grossières sableuses blanches et des lamines limoneuses grises, plus fines. Elle est visible sur les coupes 4 à 14, soit sur plus de quatre-vingt mètres de longueur. Des restes archéologiques (céramiques) ont été découverts au sommet de la sous-unité sur la coupe 8. Ces tessons de céramiques décorées ont été observés au niveau d'un horizon très riche à feuilles.

La dernière sous-unité de l'Holocène récent : HR2Cb, est postérieure à 2440+/-44 B.P. (soit 670-400 B.C. cal.). Elle est épaisse d'environ un mètre et visible sur plus de 40 mètres, vers l'aval. Une soixantaine de lamines sont visibles au sein de cette unité, avec des fissures de dessiccation visibles et des liserés d'oxydation au sommet des lamines fines. Cette sous-unité est également très riche en restes foliaires et en particules charbonneuses (tout comme la précédente sous-unité).

La barre gréseuse en aval de la coupe 13 de la Rive Gauche (coupe du Rônier) s'élève à 9,50 mètres en dessous du point zéro métrique de référence du site d'Ounjougou. Cette barre (comme la barre de grès du site de la Confluence) a probablement retenu les eaux du Yamé durant la deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2), favorisant une sédimentation

rythmée, en arrière. Chaque unité sommitale des coupes rafraîchies est généralement très pédogenéisée et il nous est ainsi difficile de déterminer le passage vers l'Holocène terminal.

Le nombre de lamines au sein de la sous-unité HR2Ca dépasse les soixante et les datations obtenues montrent des différences entre la base et le sommet de la sous-unité indiquant une période de dépôt aux alentours d'un siècle. La date obtenue à la base de la sous-unité correspond à 2473+/-36 B.P. (soit 770-410 B.C. cal.) et au sommet : 2440+/-36 B.P. (soit 670-400 B.C. cal). La coupe 13 (coupe du Rônier) permet de réfléchir sur la durée intégrée dans ces formations litées. L'hypothèse de dépôts annuels parait la plus vraisemblable, mais seules les analyses micromorphologiques réalisées en laboratoire permettront de le préciser.

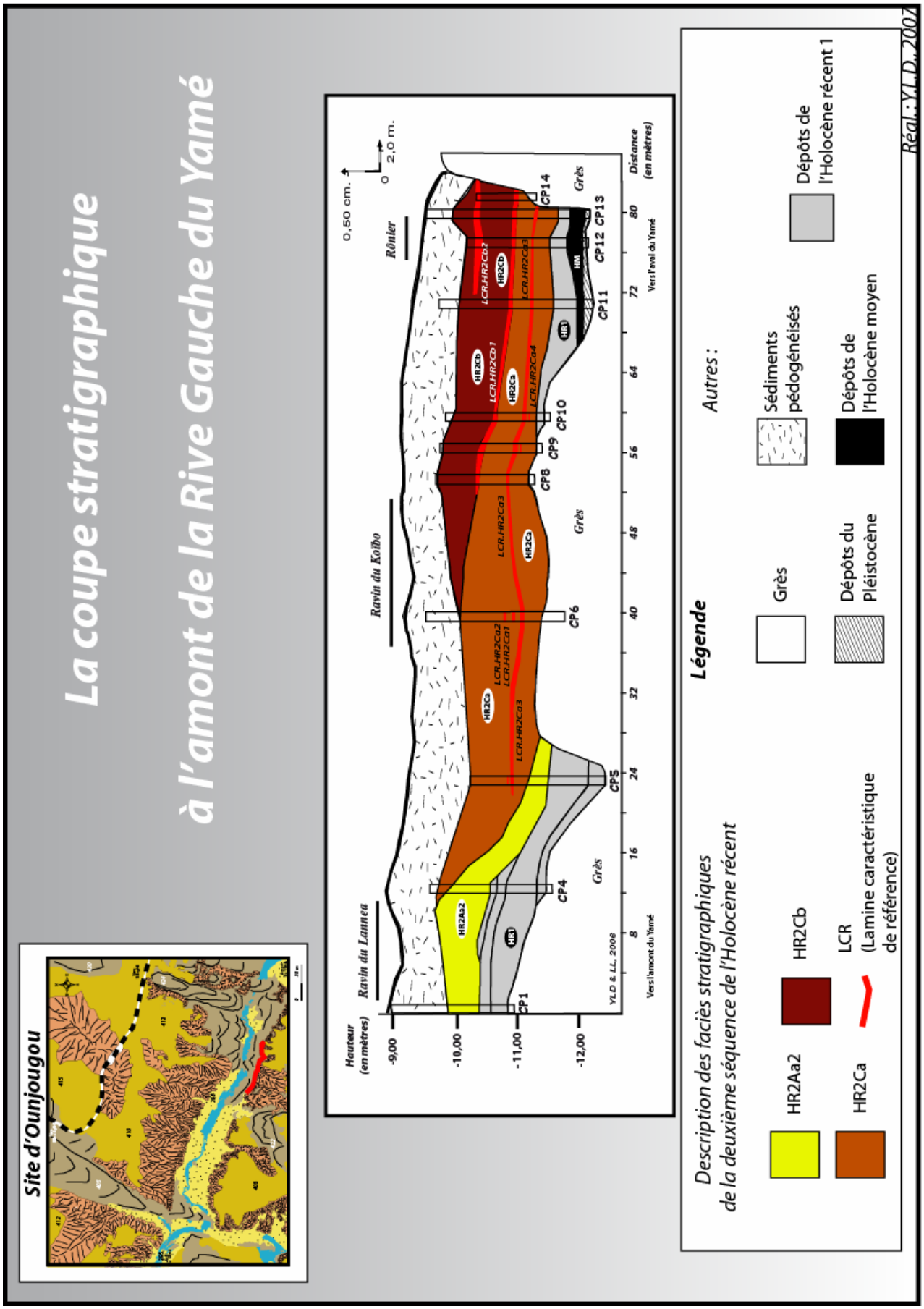


Figure n° 34 : Coupe stratigraphique à l'amont de la Rive Gauche du Yamé

2.2.3. *Dispositif stratigraphique d'ensemble des deux derniers millénaires avant notre ère*

- ***Essai de reconstitution spatiale des zones fluvio- palustres***

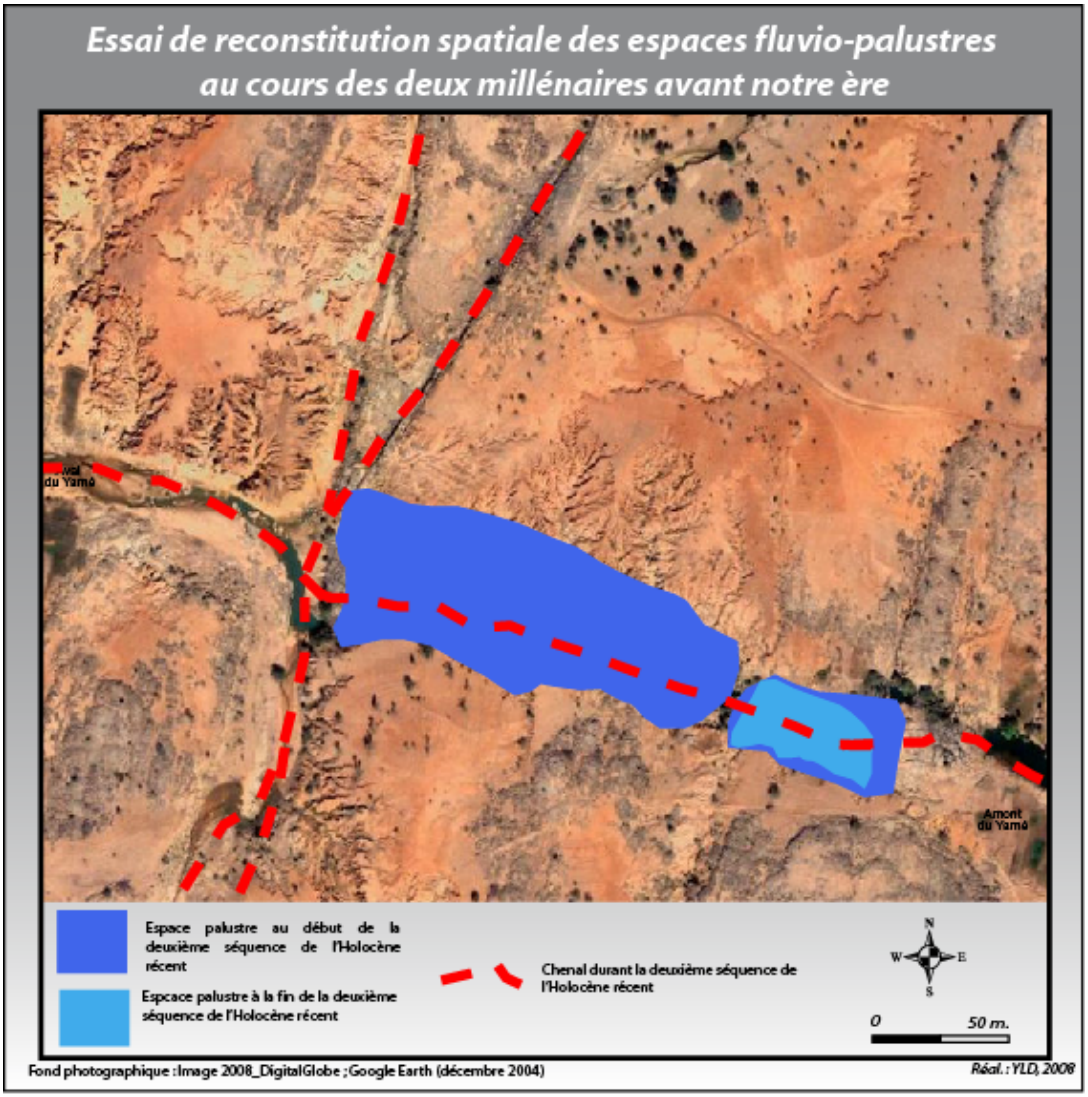


Figure n° 35 : Essai de reconstitution spatiale des espaces fluvio-palustres des deux millénaires avant notre ère

Les deux millénaires précédant notre ère correspondent à une zone palustre de grande superficie depuis l'amont du site de la Confluence jusqu'à l'amont de notre zone d'étude (Coupe 1 de la Rive Gauche ; cf. figure n° 35). Ces deux mares temporaires et le chenal permanent correspondent à deux unités stratigraphiques HR2A et HR2B visibles en Rive Droite, comme en Rive Gauche (correspondant à cinq sous-unités : HR2Aa1, HR2Aa2, HR2Ab, HR2Ba et HR2Bb). La longueur de la mare est estimée à plus de 250 mètres de longueur, sur une soixantaine de mètres de largeur.

Progressivement avec l'exhaussement du niveau de base et un assèchement progressif, une autre mare va se former à la fin de la deuxième séquence de l'Holocène récent (cf. figure n° 35) et principalement dans la partie amont de la zone d'étude. Cette mare correspond à une unité stratigraphique : HR2C, soit deux sous-unités HR2Ca et HR2Cb, qui sont visibles en Rive Gauche. La mare a une longueur équivalant à une cinquantaine de mètres et une largeur comprise entre 40 et 50 mètres.

- ***Essai de reconstitution de la géométrie transversale des zones palustres***

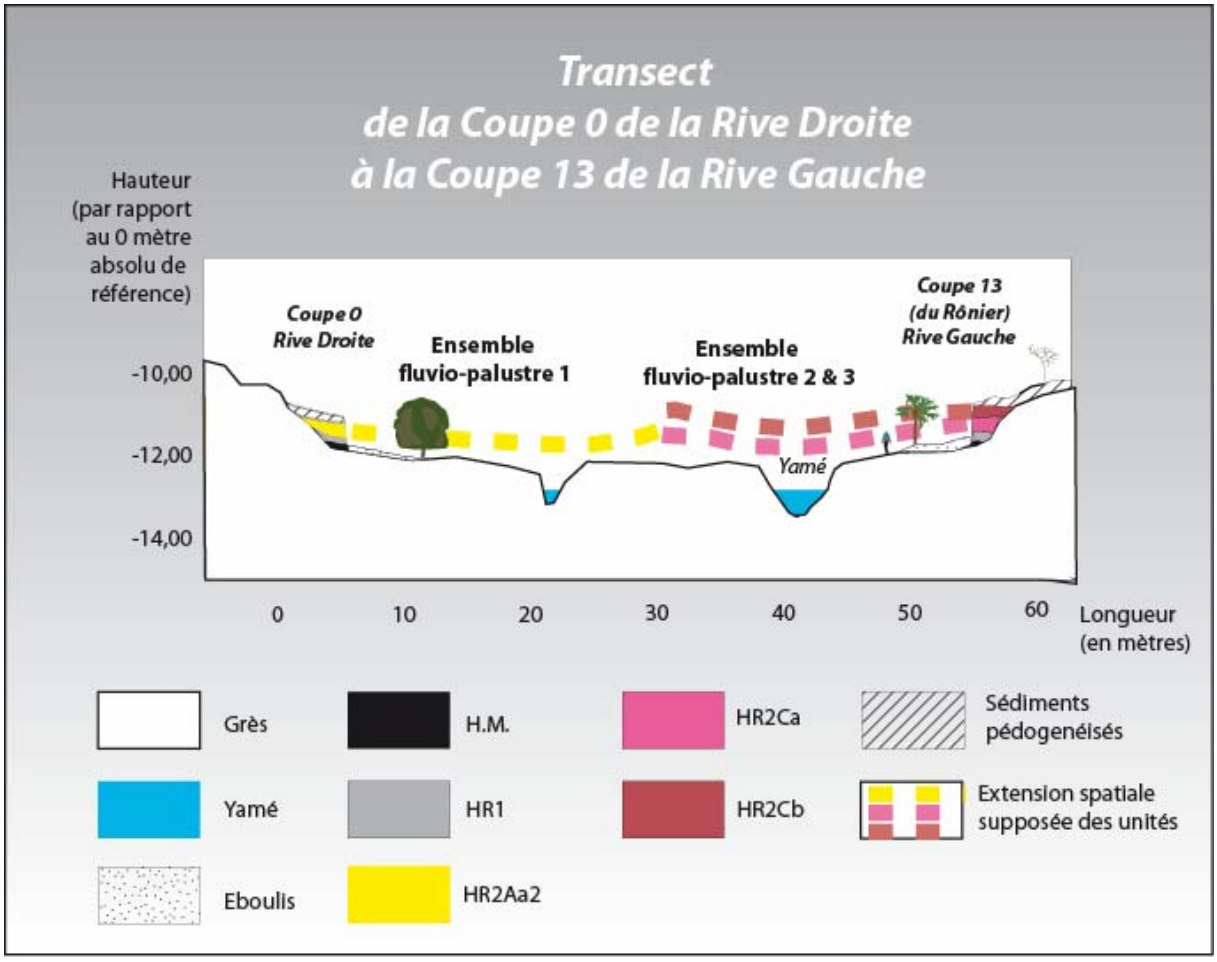


Figure n° 36 : Transect de la coupe 0 de la rive Droite à la coupe 13 de la rive Gauche

A l'amont, la vallée du Yamé a une largeur d'environ cinquante mètres et est plus étroite qu'au niveau de la Confluence (Cf. partie 1), située 500 mètres plus en aval (80 mètres).

La vallée au niveau de la Coupe 13 de la Rive Gauche et de la Coupe 0 de la Rive Droite est obstruée par une barre de grès (cf. figure n° 36).

La sous-unité HR2Aa2 est visible sur la Rive Droite alors que les sous-unités HR2Ca et HR2Cb sont visibles en Rive Gauche. L'épaisseur de ces sous-unités est comparable et varie d'un mètre sur la Coupe 0 à cinquante centimètres sur la Coupe 13. Il a été possible d'estimer l'extension de ces dépôts sédimentaires de la deuxième séquence de l'Holocène récent, grâce aux ravinements observables à proximité des coupes, dans les sédiments de HR2Aa2, HR2Ca et HR2Cb. Ils peuvent être visibles environ deux à cinq mètres en amont des coupes dans les ravins. Ils sont déposés soit sur le grès soit sur des unités stratigraphiques plus anciennes de l'Holocène moyen. Il est possible ainsi de connaître l'extension des zones humides au cours de l'Holocène récent.

Ces formations palustres de l'Holocène récent s'étendaient ainsi à l'amont de la vallée sur quarante à cinquante mètres de large. La hauteur de la lame d'eau devait être probablement réduite renforçant l'image d'un comblement progressif de la vallée, au cours des quatre derniers millénaires.

Les formations fluvio-palustres de l'Holocène récent correspondent à un développement de vastes mares. Chacune est progressivement comblée avant qu'un ravinement superficiel remanie les sédiments et ne recrée des conditions favorables à l'établissement d'un nouveau système fluvio-palustre rythmé.

A l'amont de la vallée se sont succédées plusieurs mares, piégées derrière une barre de grès (la barre du Rônier), sur une durée d'environ un millénaire. Il est vraisemblable que les niveaux de base de ces espaces palustres se soient progressivement exhaussés chaque année, mais seules des analyses plus fines en laboratoire permettront de le préciser.

Le nombre de lamines importants au sein des sous-unités HR2Aa1, HR2Ba et HR2Ca indiquent des périodes de dépôt très rapides, d'une durée de un à quelques siècles. Les coupes 15 de la Rive Droite et 13 de la Rive Gauche permettent de réfléchir sur la durée intégrée dans ces formations litées séculaires. L'hypothèse de dépôts annuels peut-être formulée à ce stade de notre recherche, mais seules des analyses de laboratoires nous permettront de comprendre ce système.

3. *Chronostratigraphie des deux derniers millénaires*

Les sédiments de l'Holocène terminal sont plus hétérogènes que ceux décrits à l'Holocène récent. Les différentes séquences sont présentées par coupes, à partir des unités et sous-unités les plus anciennes.

3.1. Chronostratigraphie du Chenal du *Detarium*

Le chenal du *Detarium* (cf. figures n° 37) est localisé à l'aval des coupes de la Rive Gauche, décrites précédemment et en amont de la Confluence. Il est localisé en face de la coupe du *Balanites* sur la Rive Droite (Coupe 6). Le chenal a une hauteur de deux mètres cinquante et une largeur de cinq à six mètres.

Les sédiments de la base sont détritiques, ils correspondent à un remplissage constitué de sables grossiers, très riches en particules charbonneuses, renforçant l'aspect noirâtre des sédiments. Ces séquences sédimentaires sont attribuées à l'Holocène moyen, avec une date de 5305+/-30 B.P. (soit 4240-4040 B.C. cal.).

Les sédiments de l'Holocène moyen sont ravinés par un chenal, qui sera progressivement comblé par une unité stratigraphique de l'Holocène terminal (HT4). Le chenal présente ainsi un remplissage de séquences attribuées à l'Holocène terminal, après une incision des sédiments de l'Holocène moyen (HM2 et HM4) entre 932+/-45 B.P. (soit 1020-1210 B.C. cal.) et 870+/-30 B.P. (soit 1040-1260 B.C. cal.). Les sédiments de HT4 ont une épaisseur d'un mètre cinquante. Les sédiments apparaissent rythmés et comportent des lamines grossières, constituées de sables moyens à grossiers et des lamines plus fines grises et compactes. Les lamines ont une épaisseur de trois à cinq centimètres en moyenne. Elles n'apparaissent ni oxydées, ni fissurées. Ces passées sédimentaires sont riches en particules charbonneuses allongées. Le sommet est pédogénéisé sur près de soixante-dix centimètres.

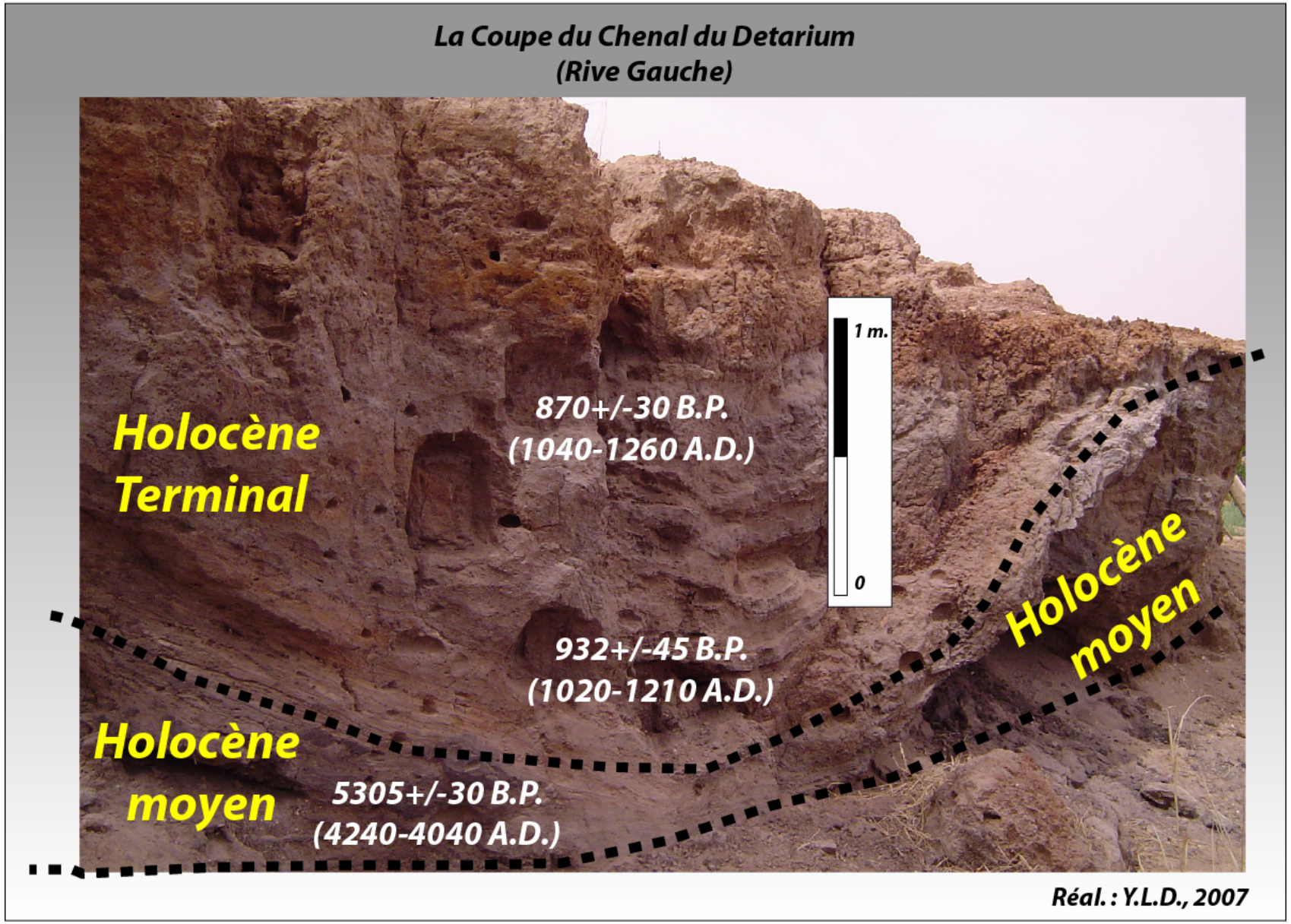


Figure n°37: la coupe du chenal du Detarium

3.2. Chronostratigraphie du Ravin Sud et du site des *Unio*

3.2.1. Les principales coupes chronostratigraphiques du site des Unio

- ***La Coupe 1 du site des Unio***

La Coupe 1 du site des Unio est localisée à l'amont du Ravin Sud (cf. figure n° 38 & Planche Photographique n° 10). L'épaisseur des dépôts dépasse le mètre cinquante. Deux unités de la séquence de l'Holocène terminal peuvent être distinguées sur cette coupe.

La première unité correspond à HT4, elle a une cinquantaine de centimètres d'épaisseur et alterne des lits gris compacts avec des lits plus grossiers. Les quinze premiers centimètres correspondent à un lit assez perturbé, avec de nombreuses feuilles. Le lit supérieur a une dizaine de centimètres d'épaisseur en moyenne et présente une alternance de lamines de sables très fins blancs et des lamines limoneuses grises, riches en charbons. Des liserés d'oxydation sont repérés à chaque sommet des lamines fines. Elles ont 2 à 5 centimètres d'épaisseur et sont riches en particules charbonneuses et en matière organique. Des lits de silts blancs alternent au sommet avec des lits gris riches, en particules charbonneuses.

La deuxième unité HT6 est visible avec la sous-unité HT6B. Elle a une cinquantaine de centimètres d'épaisseur et correspond à des limons à tâches ocre. Cette teinte coïncide à de nombreux restes intacts et bien conservés, de cinq à dix centimètres de longueur, de moules d'eau douce. Le pendage de cette unité est différent de la précédente, qui était jusqu'alors quasiment horizontal. Cette nouvelle phase sédimentaire montre un fort pendage de trente à quarante degrés vers l'Ouest, en direction du ravin des Unio et vers le paléolit du Yamé.

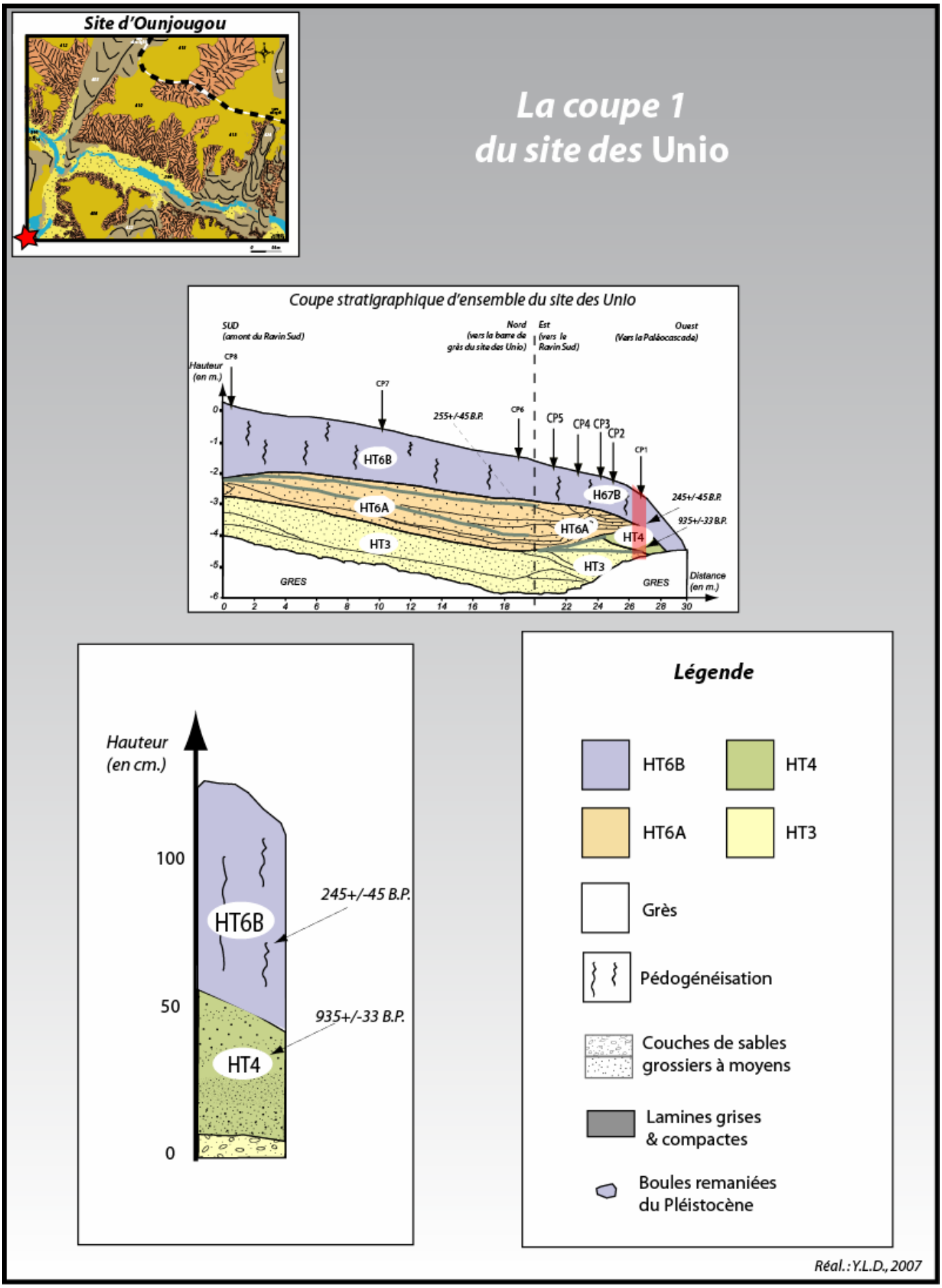


Figure n° 38 : la coupe 1 du site des Unio

Planche Photographique n° 10 : le site des Unio

- ***Synthèse chronostratigraphique des coupes 2 à 5 du site des Unio***

Cet ensemble stratigraphique mesure quatre mètres cinquante de long et trois mètres de hauteur (cf. figure n° 39 & Planche Photographique n° 7). Trois unités stratigraphiques ont pu être identifiées : HT3, HT4, HT6 (avec deux sous-unités HT6A et HT6B).

La première unité HT3 a été observée sur les coupes 5 et 2. Visible sur une cinquantaine de centimètres de hauteur, une quinzaine de lits s'y distinguent. Il s'agit de sables très grossiers, ocre avec des gravillons ou galets. Le sommet de l'unité est granulométriquement plus fin, avec des sables fins à moyens et des passées plus limoneuses. De plus, deux lamines limoneuses "HT3-8" et "HT3-13", plus fines se distinguent, elles ont environ cinq centimètres d'épaisseur. Ces différentes textures, grossières et très fines montrent des compétences hydrologiques différentes et variables, tout au long de cette séquence.

La deuxième unité HT4 est visible sur la coupe 2. Cette unité a une vingtaine de centimètres. Elle se distingue par son faciès plus limoneux. Cinq couples de lamines sont visibles. Ils alternent des limons gris ou noirs compacts avec des sables fins blancs et des silts jaunes. Le pendage est différent de l'unité précédente, les lits sont inclinés d'Ouest vers l'Est.

La troisième unité HT6 est visible avec la sous-unité HT6A (cf. figure n° 39) qui a une épaisseur comprise entre cinquante centimètres et deux mètres. Près de dix-neuf lits ont été repérés. L'ensemble est assez comparable à HT3 et comporte de nombreux lits de sables grossiers, gravillons et galets entrecroisés. Cette unité montre une compétence importante des affluents du Yamé, qui ont remanié du matériel pléistocène (boules et boulettes de silts gris, dans les couches 5 et 17). La deuxième sous-unité HT6B a environ un mètre d'épaisseur et correspond à des limons compacts gris à tâches ocre.

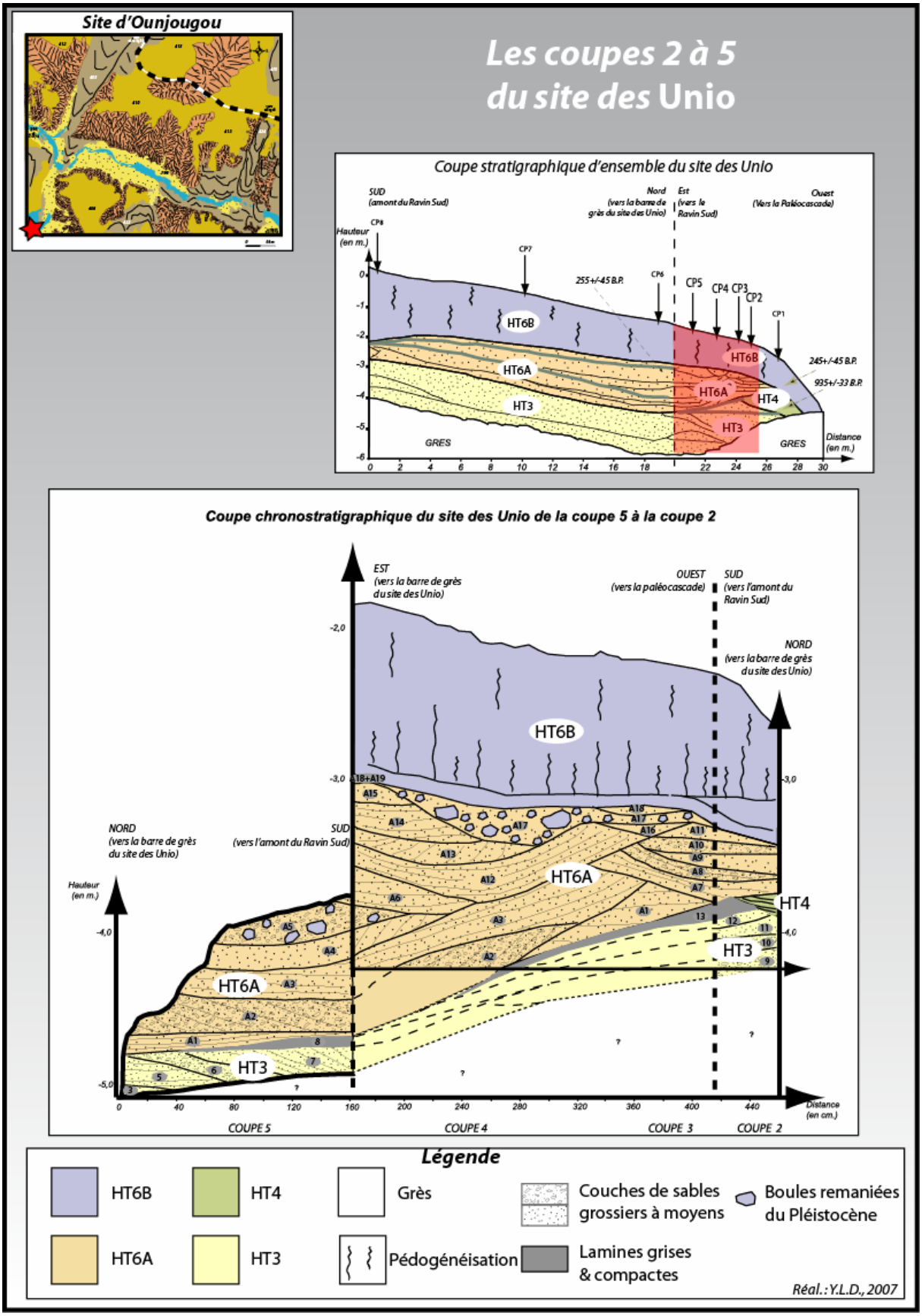


Figure n° 39 : les coupes 2 à 5 du site des Unio

- ***Synthèse chronostratigraphique des coupes 6 à 8 du site des Unio***

Les Coupes 6 à 8 sont situées 2 mètres à l'amont de la Coupe 4 (cf. figure n° 40). Elles ont une hauteur de quatre à cinq mètres cinquante. Deux unités sont visibles HT3, HT6 (avec deux sous-unités HT6A et au sommet HT6B).

L'unité stratigraphique HT3 repose sur le grès (cf. figure n° 40). Les premiers centimètres sont imbibés par des résurgences issues des grès. L'unité est grossièrement sableuse de couleur beige avec quelques galets (de taille comprise entre 2 et 4 centimètres). Quelques lits limoneux gris assez compacts sont visibles. L'ensemble est en général assez perturbé. L'épaisseur du premier lit (HT3-1) avoisine les cinquante centimètres. Le deuxième lit HT3-4 a un mètre d'épaisseur, il s'agit d'un ensemble sableux avec des boulettes grises remaniées et des petits galets d'un centimètre. De nombreux fragments de céramiques sont visibles au sein de cette unité. Ils sont de taille comprise entre quatre et dix centimètres et ont des bords roulés avec des décors. Ils sont attribuables à la période pré-dogon (soit au 13ème siècle, communication orale, de S. Ozainne).

La deuxième unité HT6 est visible avec la première sous-unité HT6A (cf. figure n° 40) qui a une hauteur de deux mètres et comporte plus de treize lits. Les cinquante premiers centimètres correspondent à quatre lits HT6A-1 à HT6A-4, qui ont une granulométrie assez grossière (gravillons, petits galets et sables moyens blancs). Le lit supérieur HT6A-5 mesure près de cinquante centimètres et comporte des sables remaniés, avec quelques passées horizontales limoneuses et grossières (galets, gravillons et sables grossiers). Le lit HT6A-13 mesure un mètre d'épaisseur, il correspond à des sables blanc-ocre, avec un pendage important de 30° vers l'amont. Le lit HT6A-14' est compact gris, il a une épaisseur de 5 centimètres et est visible sur les trois coupes, sur vingt mètres de longueur. Les derniers lits HT67A-15 à 17, sont sableux, très jaunes (avec du sable très fin).

La deuxième sous unité de HT6 : HT6B (cf. figure n° 40) a une épaisseur de deux à trois mètres. Les vingt-cinq premiers centimètres sont très limoneux d'une couleur grise, avec un sommet assez ocre, très pédogénéisé.

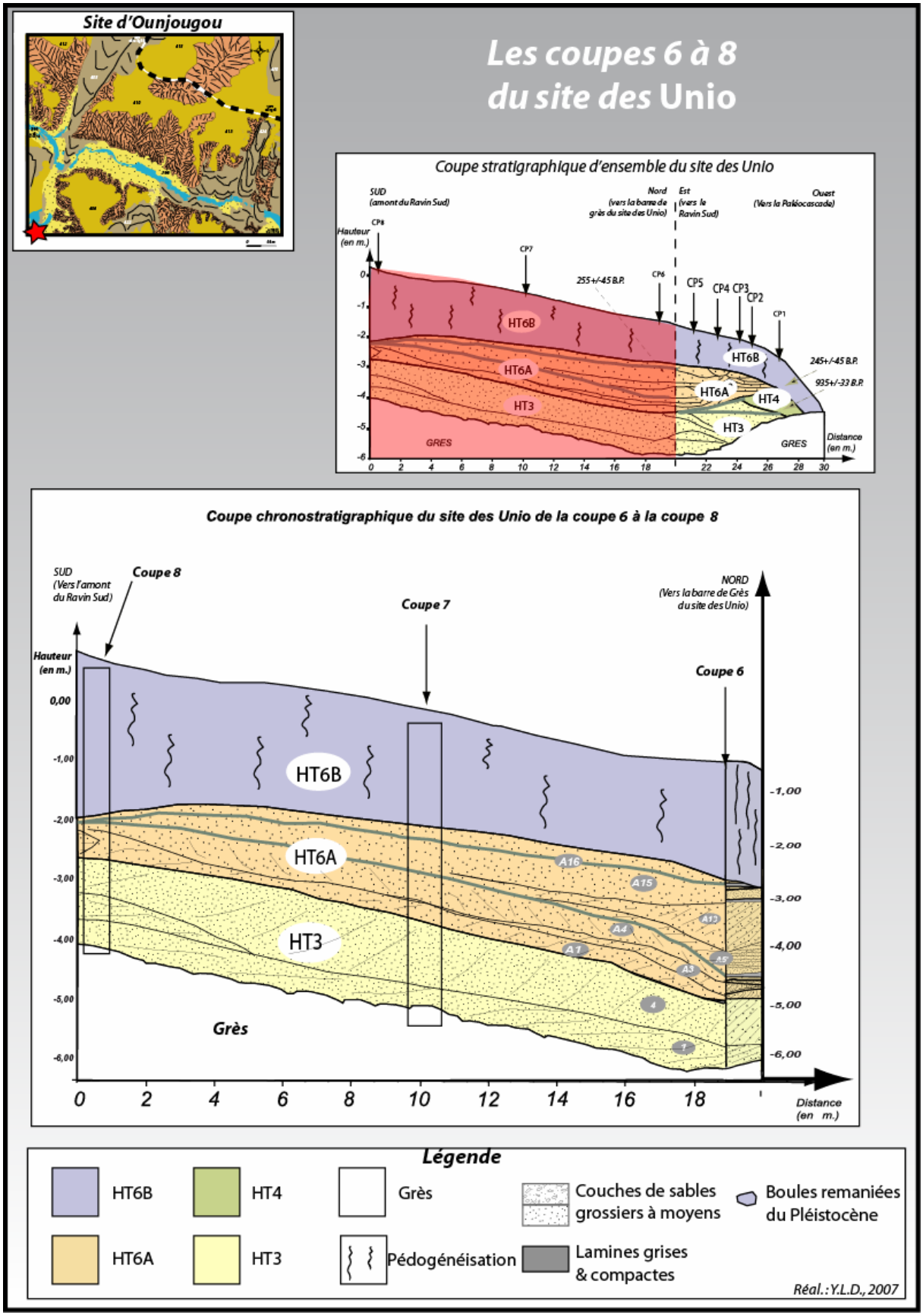


Figure n° 40 : les coupes 6 à 8 du site des Unio

- ***Synthèse chronostratigraphique globale du site des Unio***

L'observation de la chronostratigraphie du site des Unio sur une longueur d'une trentaine de mètres et une hauteur moyenne de quatre mètres (cf. figure n° 41) permet de mettre en évidence la succession de trois unités sédimentaires : HT3, HT4 et HT6 (avec deux sous-unités HT6A et HT6B).

L'unité stratigraphique HT3 n'est pas datée directement. Elle est antérieure à 935+/-33 B.P. (soit 1093+/-47 A.D.). Elle correspond globalement à des sables moyens à grossiers beiges et comporte quelques lamines plus limoneuses compactes grises. Cette unité a une épaisseur d'environ un mètre et compte neuf lits distincts. Elle présente des faciès assimilables à une dynamique de chenal avec des écoulements divagants entre des bancs de sables.

L'unité HT4 est datée de 935+/-33 B.P. (soit 1093+/-47 A.D.). Elle correspond à des sédiments plus limoneux, rythmés, comportant de nombreux restes organiques (feuilles, graines, particules charbonneuses). L'organisation en lamines alternées est semblable à celle décrite sur les coupes de l'Holocène récent en Rive Gauche et Droite du Yamé, avec des lamines grossières (plus sableuses) et plus fines (limoneuses). La dynamique de cette unité correspond à des dépôts fluvio-palustres rythmés.

La sous-unité HT6A est antérieure à 245+/-45 B.P. (soit *ante* 1668+/-119 A.D.). Elle correspond à des dépôts de sables moyens-fins, de couleur beige à ocre, entrecroisés montrant des dynamiques associées à un chenal sableux. L'épaisseur de l'unité est d'un à deux mètres, avec 23 lits distincts.

La sous-unité HT6B, datée de 245+/-45 B.P. (soit 1668+/-119 A.D.), correspond à des dépôts limoneux compacts gris-beige. Elle a près de deux mètres d'épaisseur et possède de nombreux restes de coquilles d'Unio (provoquant de nombreuses taches d'oxydation dans les dépôts). Ces sédiments sont assimilés à un comblement progressif de la vallée du Yamé (avec un marécage), en relation avec le paléolit du Yamé qui a pu fonctionner depuis le 17ème siècle environ jusqu'à 1936 (autocapture du Yamé, cf. partie 1).

La dynamique au début de l'unité HT6 (avec la sous-unité HT6A) correspond à des sédiments alluviaux et détritiques, caractéristiques d'un chenal divagant entre des bancs de sables. La fin de l'unité (HT6B) correspond à des dépôts palustres engorgés dans le fond de la vallée du Yamé avant son incision en 1936.

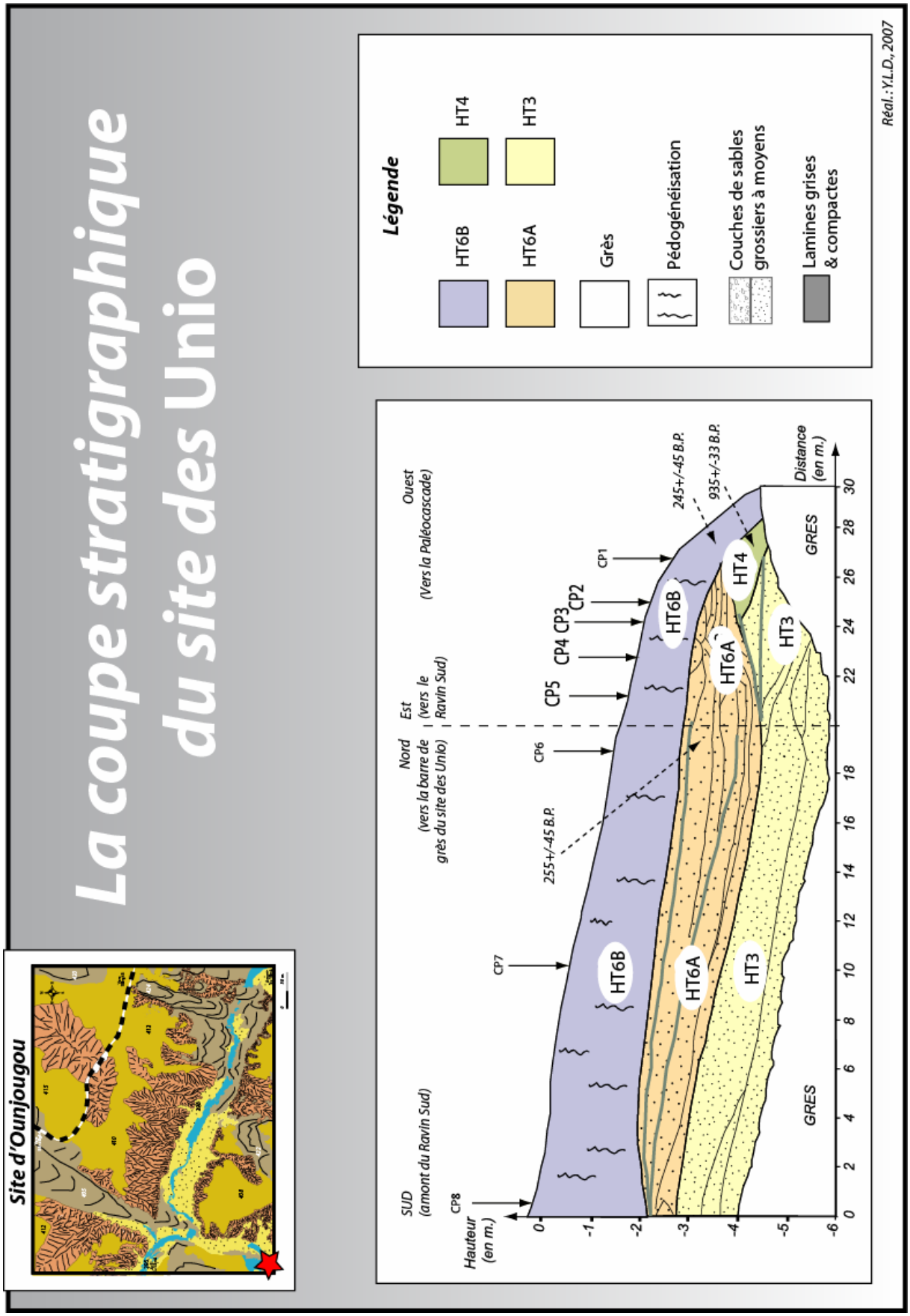


Figure n° 41 : Coupe chronostratigraphique du site des Unio

3.2.2. *Quel remplissage sédimentaire entre le Ravin Sud et le site des Unio ?*

- ***Dispositif stratigraphique d'ensemble des deux derniers millénaires à l'aval de la Confluence :***

Les principales coupes présentent des séquences attribuables à l'Holocène terminal (A3, en annexe), observées dans le Ravin Sud, qui a été emprunté par le Yamé dans sa phase finale de fonctionnement, avant son autocapture en 1936.

Les coupes présentées (cf. figure n° 42) sont décrites de l'aval vers l'amont, du Ravin Sud au site des Unio. Le Ravin Sud, situé quelques mètres au Sud de la Confluence, correspond à un remplissage sédimentaire d'un affluent du Yamé en Rive Gauche et à la vallée du Yamé, durant quelques siècles.

Les sédiments holocènes sont observables dans le Ravin Sud, de la Confluence jusqu'au site des Unio (à l'amont), sur une longueur de près de 400 mètres et sur une épaisseur de 3 à 7 mètres. Les couches les plus anciennes correspondent à la période de l'Holocène moyen (HM4), avec une date de 5275+/-35 B.P. (soit 4240-3980 B.C. cal.). Les sédiments sont assez grossiers, à la base des coupes 1 à 4 du Ravin Sud.

La première séquence de l'Holocène récent (HR1) est visible sur trois mètres d'épaisseur et sur trois cents mètres de longueur, avec les coupes 0 à 4 du Ravin Sud. Quatre unités sont identifiées. La sédimentation correspond essentiellement à deux phases alternant des lamines fines compactes grises et de lamines plus grossières, entre lesquelles s'intercalent les sédiments rythmés, riches en matière organique avec de nombreuses feuilles, graines et particules charbonneuses. La base de l'unité est datée de 4549+/-35 B.P. (soit 3370-3100 B.C. cal.) et le sommet de 3975+/-45 B.P. (soit 2620-2330 B.C. cal.).

La deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2) n'est pas enregistrée au Ravin Sud et au site des Unio.

La séquence de l'Holocène terminal est visible sur les quatre cents mètres de la coupe entre les deux sites, avec quatre unités stratigraphiques. Trois unités (HT3, HT5 et HT6) apparaissent détritiques, avec du matériel grossier, sables, gravillons, galets. Une unité apparaît rythmée, sur le site des Unio, correspondant à HT4. L'unité sommitale correspond à des dépôts compacts limoneux gris et ocre de HT6B et elle est visible sur l'ensemble du Ravin Sud et du site des Unio. Une description plus détaillée des formes attribuables à l'Holocène terminal peut être donnée grâce aux coupes relevées sur le site des Unio.

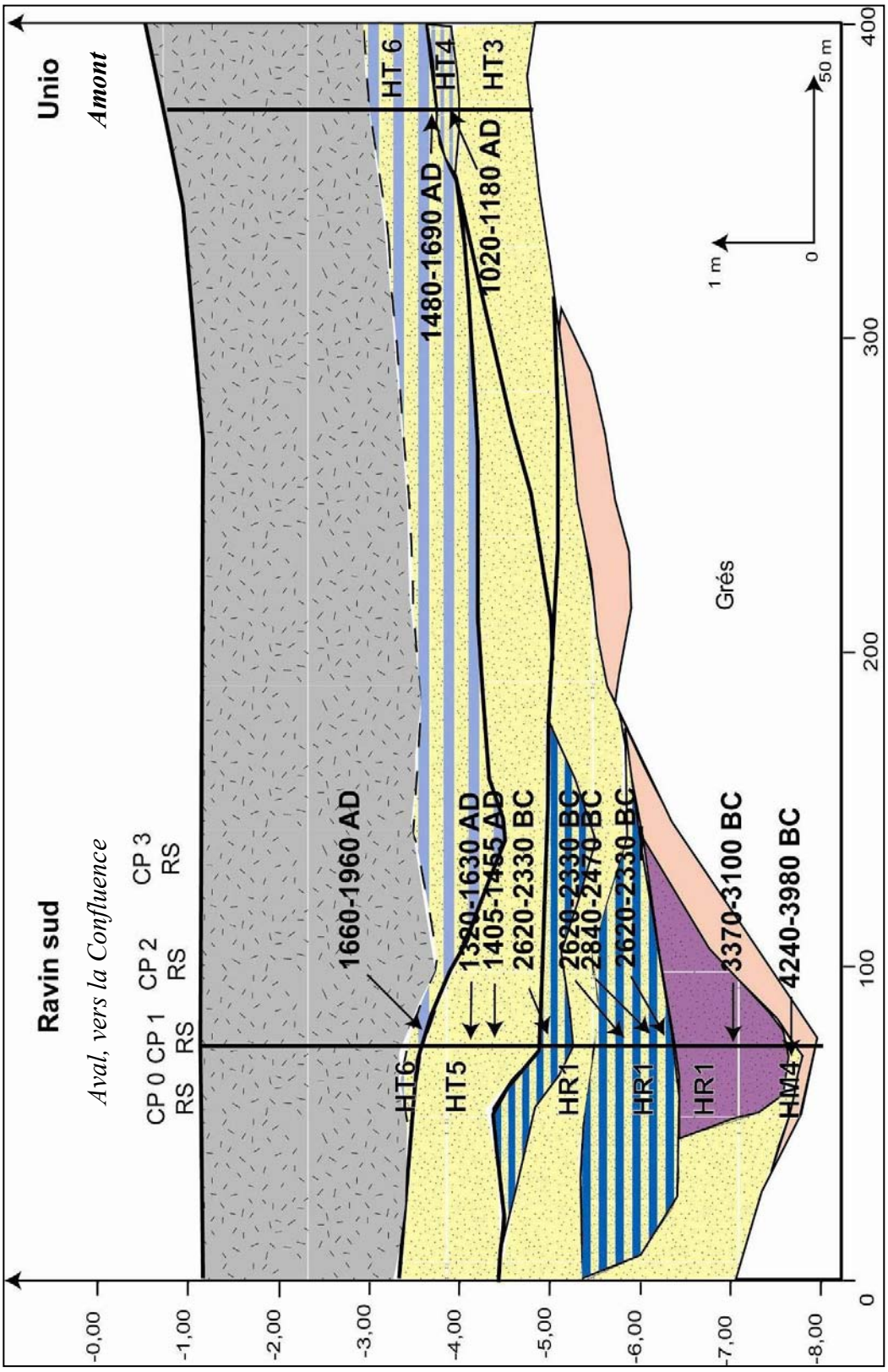


Figure n° 42 : Coupe chronostratigraphique du Ravin Sud. Réal. : Lespez .L., 2007

Coupe stratigraphique globale du Ravin Sud

- ***Essai de reconstitution spatiale des zones fluvio-palustres :***

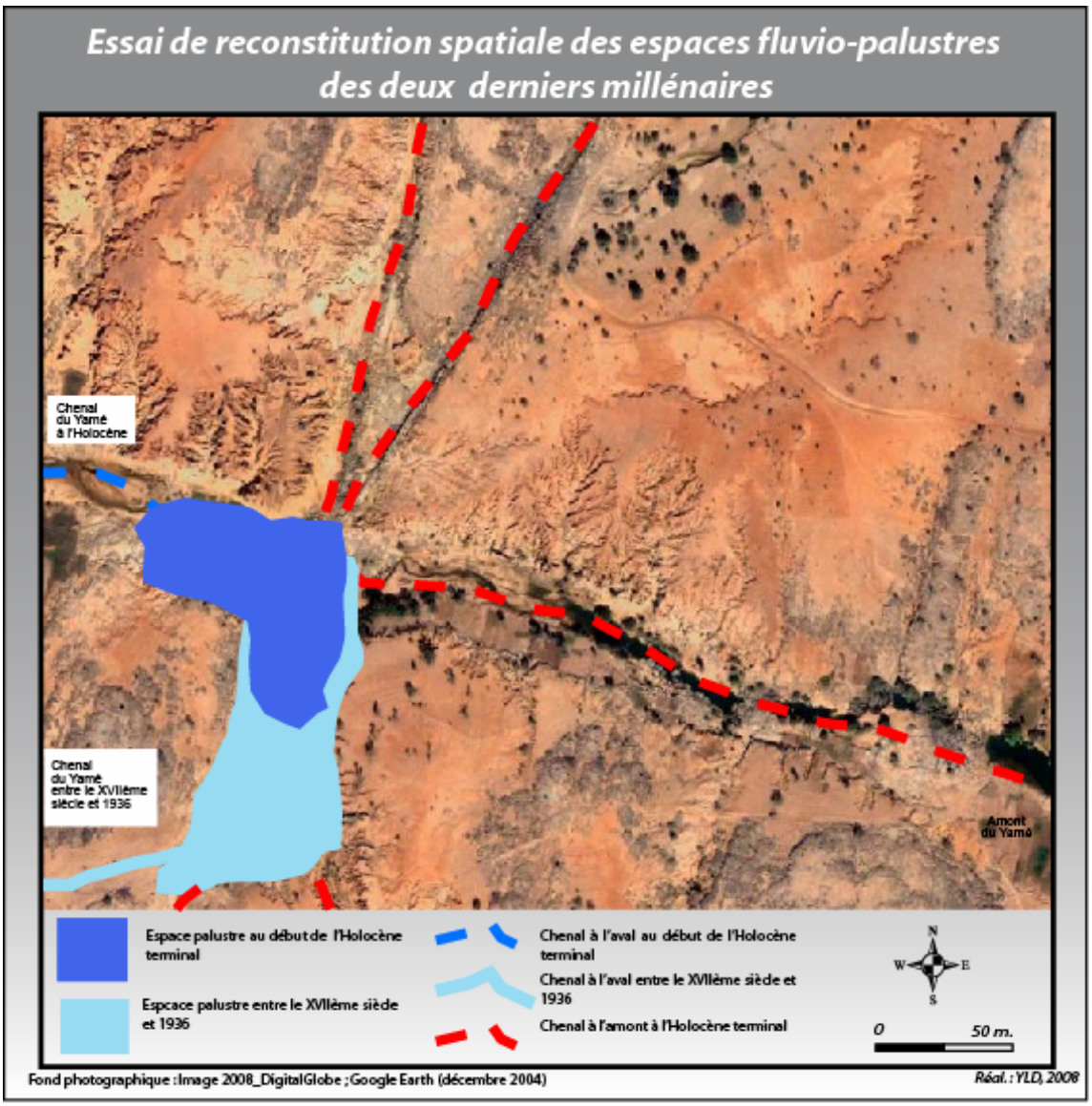


Figure n° 43 : essai de reconstitution spatiale des espaces fluvio-palustres des deux derniers millénaires

A la fin de l'Holocène moyen et à la première séquence de l'Holocène récent, le Ravin Sud et le site des Unio correspond à une zone fluvio-palustre à la confluence du Yamé, avec des arrivées sédimentaires à la fois du ravin Sud et des Unio vers le Yamé. Cet espace se remplit progressivement durant la deuxième séquence de l'Holocène récent. Durant le début l'Holocène terminal le Ravin Sud est encore un affluent du Yamé (cf. figure n° 43), avec une dynamique de colmatage. La confluence est au début de l'Holocène terminal un espace marécageux avec un écoulement aval toujours identique aux siècles précédents et à l'actuel. C'est au XVII^{ème} siècle avec l'exhaussement du niveau de base du lit et des mares, que le

2

Yamé va progressivement s'écouler en direction des Unio et de la paléocascade (cf. figure n° 43). Le colmatage a été très rapide avec au départ un fonctionnement fluviatile (HT6A) puis ensuite à un fonctionnement palustre (HT6B) qui correspond à une grande zone marécageuse depuis la Confluence jusqu'au site des Unio, sur une longueur de 150 à 200 mètres de longueurs. Le Yamé ne retrouvera son lit passé (et actuel) qu'en 1936 par autocapture, en raison d'une crue importante et d'une érosion régressive dans la partie avale de la Confluence.

4. Originalité des quatre derniers millénaires dans la chronostratigraphie globale de l'Holocène

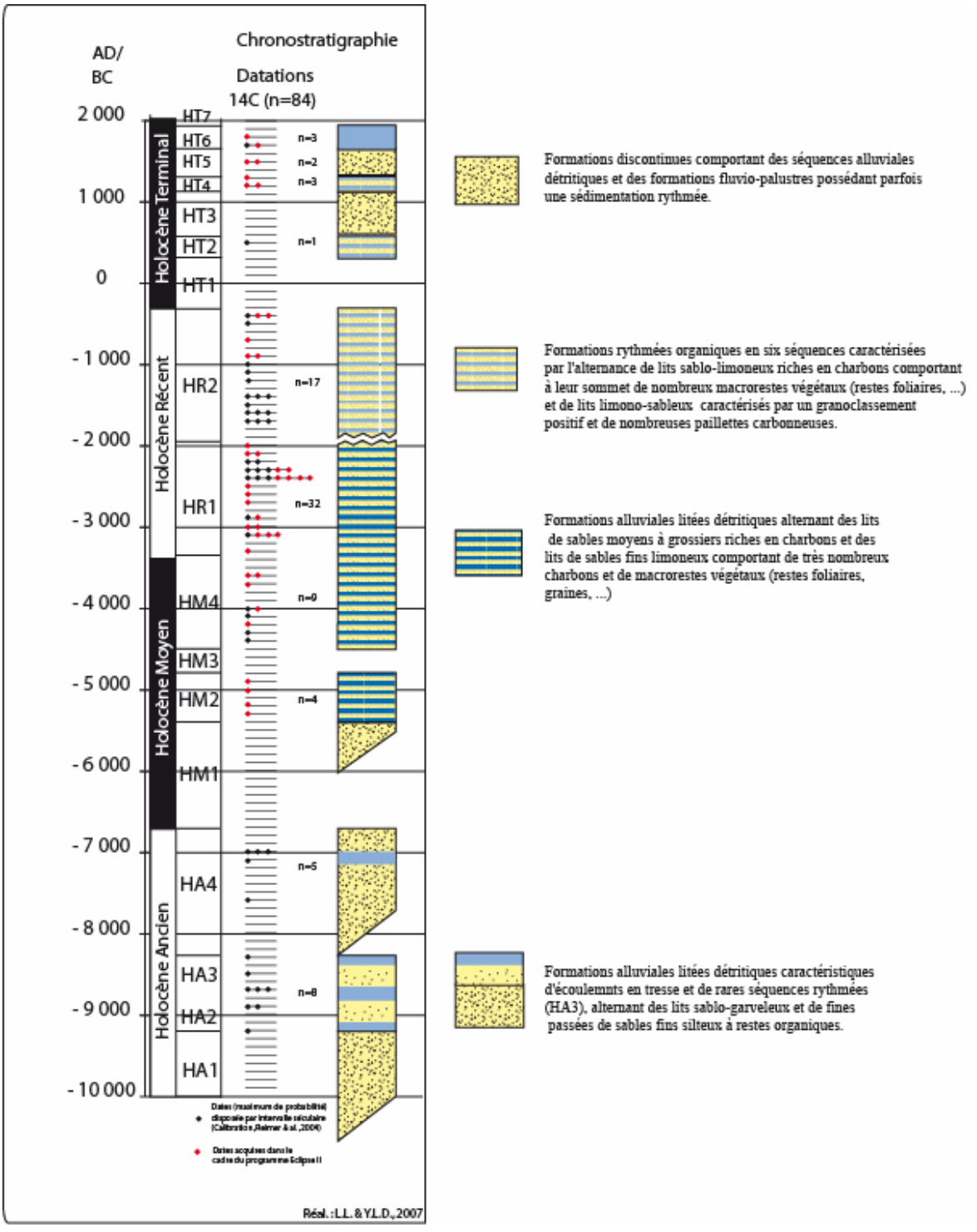


Figure n° 44 : Chronostratigraphie de l'Holocène dans la vallée du Yamé

Le travail que nous avons réalisé sur la chronostratigraphie à haute résolution de l'Holocène récent et terminal, doit être mis en perspective au sein de la séquence holocène d'Ounjougou. Nous proposons d'étudier rapidement, quels sont les points d'originalité par rapport à l'Holocène ancien, moyen et à la première séquence de l'Holocène récent, qui ont fait l'objet de recherches menées par Michel Rasse, Laurent Lespez au sein du programme pluridisciplinaire.

L'Holocène ancien a été abordé à l'aval du site de la Confluence, au Ravin de la Mouche (cf. figures n° 25 & 26). Un décapage d'ensemble du ravin de la Mouche a permis un relevé continu des niveaux attribués à l'Holocène ancien. Il met en évidence la succession de 3 séquences comportant 9 unités, constituées de 25 sous-unités sédimentaires (cf. figure n° 44). Ces observations ont conduit à l'établissement d'une chronostratigraphie en cours de publication (Rasse & al., 2006 ; Le Drézen & al., soumis ; Lespez & al., accepté). La sédimentation du début de l'Holocène témoigne de la variabilité des conditions hydrosédimentaire dans la vallée du Yamé entre le 10ème et 8ème millénaire avant notre ère. Elle confirme l'existence de transformations importantes du système fluvial au cours de l'Holocène ancien, à mettre sans doute à mettre en relation avec les fluctuations climatiques connues pour la fin du Tardiglaciaire et l'Holocène ancien (Lespez & al., accepté).

Les enregistrements sédimentaires de l'Holocène moyen (cf. figure n° 44) commencent après une interruption de la sédimentation pendant plus d'un millénaire (entre 8080+/-45-6410+/-49 B.P., soit 6810-4080 B.C. cal.). Le fond de vallée enregistre au cours **de l'Holocène moyen et de la première séquence de l'Holocène récent** (cf. figures n° 44 & 45), des formations alluviales litées et détritiques, constituées de lits de sables moyens à grossiers avec des gravillons centimétriques. Les unités sont régulièrement interrompues par des formations plus complexes finement litées de couleur grise à noire, à forte teneur en matière organique carbonisée ou non. Elles correspondent à l'alternance de lits détritiques de sables fins à moyens blancs à gris (1-5 cm). Ces lamines comportent de nombreuses particules charbonneuses de grande dimension (> 1 cm) et des lits de sables fins et limons (1-2 cm) indiquant de très nombreuses particules charbonneuses et macro-restes végétaux (restes foliaires, graines et troncs d'arbre (cf. planche n° 5 ; Le Drézen & al., soumis ; Lespez & al., accepté).

Les données chronostratigraphiques présentées depuis quatre millénaires dans la vallée du Yamé présentent une originalité par rapport aux informations précédentes. Les résultats sédimentaires de la fin de l'Holocène récent (HR2) et de l'Holocène terminal correspondent à une chronostratigraphie à haute résolution. La description de sédiments finement rythmés

avec une alternance de couples de lamines fines et grossières permet d'attester un comblement progressif de la vallée du Yamé à la fin de l'Holocène récent (cf. figure n° 44 & 45). Mais à cette étape de notre recherche, nous ne pouvons pas déterminer si ces enregistrements qui ont une échelle temporelle fine, sont annuels. Les datations obtenues principalement dans la deuxième séquence de l'Holocène récent montrent des sédiments qui sont déposés rapidement.

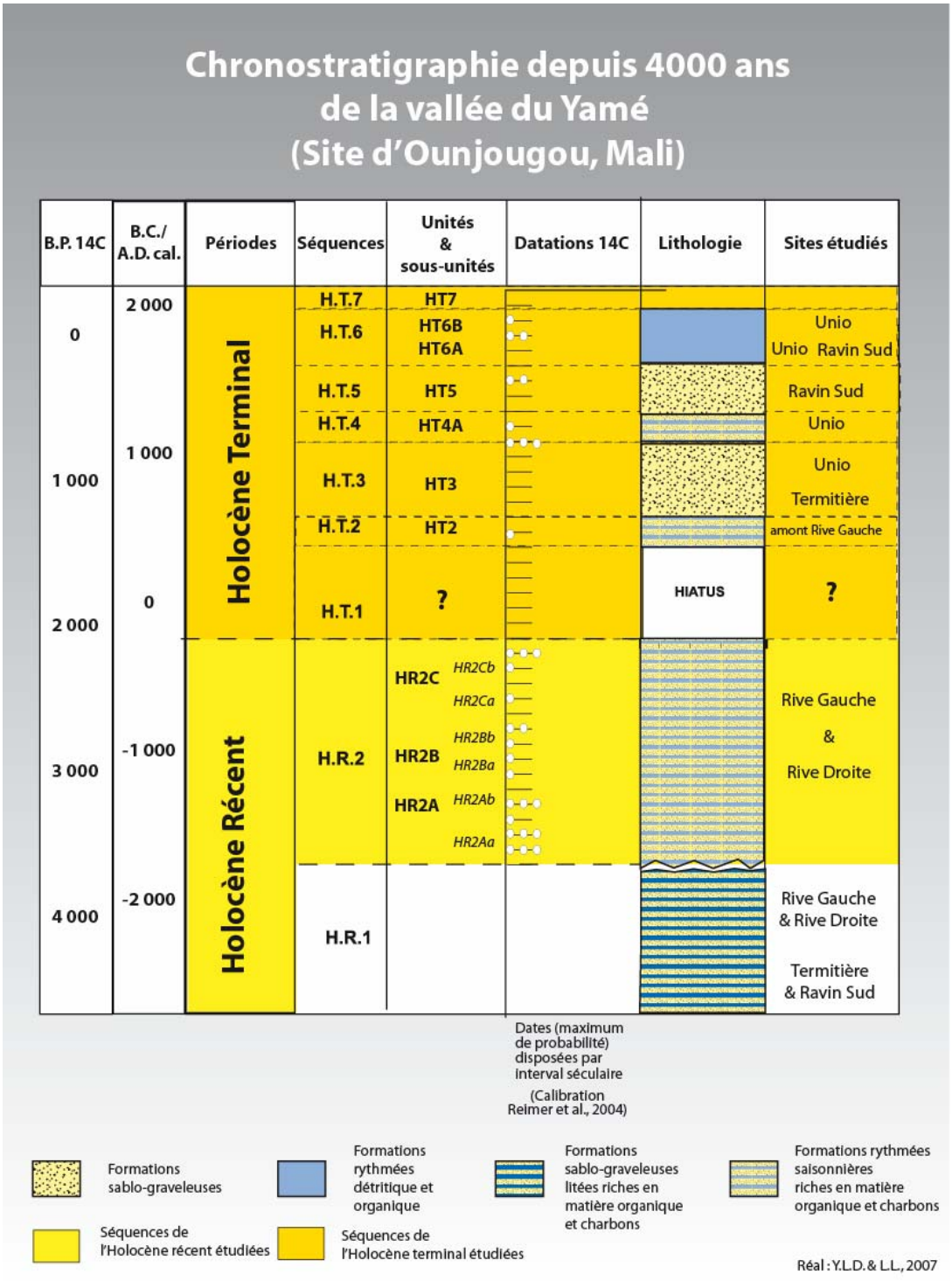


Figure n° 45 : Chronostratigraphie depuis 4 000 ans dans la vallée du Yamé

2

Les recherches chronostratigraphiques sur ces quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé montrent des enregistrements à différentes échelles de temps, du temps long au temps court. Ces données obtenues par les "*séquences chronostratigraphiques*", nous informent sur une échelle proche du millénaire, les "*unités*" et "*sous-unités*" correspondent à des échelles temporelles proches du séculaire, quant aux "*lamines*" rythmées, elles précisent des enregistrements avec une échelle temporelle fine, mais la question de la durée annuelle de ces rythmites est posée. Ces études permettent à cette étape du travail de mettre en avant différents "cycles" et "périodes", que nous souhaitons préciser et approfondir à partir de recherches effectuées en laboratoire.

Partie 3

Analyses des formations fluvio-palustres & des fonctionnements hydro-sédimentaires

Lame Mince de la Coupe 13 Rive Gauche (Rônier), épaisseur 105-130

L'analyse en laboratoire a pour objectif de caractériser les formations fluvio-palustres et les fonctionnements hydro-sédimentaires de la vallée du Yamé, au cours des quatre derniers millénaires.

Elle s'appuie d'abord sur la caractérisation du fonctionnement hydro-sédimentaire actuelle de la vallée du Yamé. A l'amont du site de la Confluence du Yamé, le type d'écoulement est en partie permanent avec de faibles débits de février à mai et des écoulements plus compétents durant l'hivernage. Une dynamique saisonnière caractérise les transferts sédimentaires actuels de la vallée. Pendant la saison des pluies, de juin à septembre, nous observons une compétence importante du Yamé et de ses affluents, avec de nombreuses crues. Entre septembre/octobre et janvier/février, la compétence des écoulements diminue. A partie de février jusqu'au mois de mai, les mares situées dans la plaine d'inondation remplies en saison des pluies, vont progressivement s'assécher. Il faut remarquer qu'à l'aval de notre zone d'étude, la vallée paraît sèche en surface, mais il existe toutefois une circulation en inféroflux sous les alluvions, visibles par l'exploitation de nombreux puisards creusés par les cultivateurs dogon.

L'étude des formations fluvio-palustres s'est appuyée sur des analyses de laboratoire correspondant à deux méthodes : la granulométrie et la micromorphologie.

La granulométrie permet de déterminer les conditions de dépôts et les processus de transports, au cours des quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé. Les analyses granulométriques ont été effectuées à partir des sédiments holocènes, prélevés sur les différentes coupes chronostratigraphiques, présentées précédemment (cf. partie 2) et également à partir de sédiments actuels de la vallée.

Les analyses micromorphologiques ont pour intérêts de connaître les milieux de dépôts, afin de déduire le fonctionnement des systèmes hydrosédimentaires et de préciser les conditions et les temps de formations des dépôts. Les observations ont été réalisées à partir d'un modèle de référence établi sur les sédiments rythmés de la fin de la deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2).

Etudier les dynamiques des formations alluviales et superficielles de la vallée du Yamé permet d'affiner les connaissances temporelles, sur les formations alluviales et superficielles d'un hydrosystème fluvial en Afrique de l'Ouest.

1. Des analyses granulométriques

1.1. La méthodologie

Les analyses granulométriques permettent de déterminer les processus de transport des sédiments et les conditions de dépôts de la vallée du Yamé, au cours des quatre derniers millénaires. Elles sont abordées à partir d'échantillons prélevés lors des différentes missions de terrain et permettent de connaître la classification des particules minérales, inférieures à 2 millimètres afin de différencier la taille des particules fines à grossières et de définir une terminologie pour les différentes couches observées au cours de l'Holocène. Il s'agit enfin de mettre en relation la taille des particules avec les processus de transport et de sédimentation.

Les analyses granulométriques ont été réalisées en laboratoire (au Géophen), avec la collaboration d'Aline Garnier, dans le cadre de son Master 1 de Géographie, dirigé par L. Lespez (Garnier, 2007). Elles impliquent d'abord la dissociation complète du sédiment, jusqu'à l'état de particules élémentaires et la destruction totale des agrégats (Baize, 2000), puis leur traitement au granulomètre laser (LS 200, Coulter), qui utilise la diffraction de la lumière, afin de mesurer les tailles des particules comprises entre 0,05 et 2 000 µm.

1.2. De l'échantillonnage aux analyses granulométriques

Les échantillons prélevés lors des différentes missions de terrain ont été réalisés minutieusement sur les différentes coupes chronostratigraphiques de la vallée. Chaque prélèvement est constitué d'environ 200 à 300 grammes de sédiments, qui sont nécessaires pour différentes analyses réalisées en laboratoire : destruction totale de la matière organique, dissociation des agrégats des sédiments à l'agitateur mécanique, puis traitement par ultrasons. Le principe de mesure est basé sur la diffraction de la lumière par les particules. Les analyses ont permis de réaliser des histogrammes de fraction (pourcentage pour chaque classe granulométrique) et des courbes fréquentielles de distribution des particules (pourcentages cumulés). Des indices statistiques ont été utilisés lors de ces analyses, avec les formules de Folk & Ward (1957), pour les grains moyens et l'indice de tri. L'image de Passega (Passega,

1957 ; Arnaud-Fassetta, 1998) a été également employée pour connaître la compétence moyenne et maximale du flux liquide afin de fournir une image synthétique des types de milieux sédimentaires. Deux paramètres ont été extraits de la courbe cumulative, la médiane (M), représentant la capacité tractive du courant pour l'ensemble du dépôt et le percentile le plus grossier (C), représentant la fraction la plus grossière, qui permet de connaître la compétence maximale du courant.

1.3. Caractérisation granulométrique des dépôts laminés

- *Analyses des sédiments actuels*

Différents milieux de sédimentation existent dans la vallée du Yamé (berges, bancs latéraux ou médians, mares temporaires, lit majeur). L'étude des dépôts sédimentaires actuels du Yamé (cf. figure n° 46) permet de caractériser les dynamiques hydrosédimentaires, en relation avec le fonctionnement hydrologique actuel. Il est nécessaire de pendre en compte le rythme saisonnier dans ces analyses, du fait des différences de débits (cf. partie 1) et des caractères morphodynamiques du Yamé, entre la saison sèche et la saison des pluies.

En saison des pluies, dans la traversée des barres de grès, le Yamé possède des vitesses importantes caractéristiques d'écoulements torrentiels. Il n'existe pas de sédimentation le long de ce type de chenal. En revanche quant la vallée s'élargit, nous observons une mobilité des paysages fluviaux guidée par la variation des débits en fonction de la saisonnalité du climat. En saison des pluies, le chenal permanent connaît des écoulements rapides et c'est l'ensemble de la plaine d'inondation (fond de vallée) qui est régulièrement inondée. En revanche en saison sèche, la largeur du chenal se réduit de dix à vingt mètres au milieu d'une plaine d'inondation, qui s'assèche.

Les formations, qui se déposent dans les **chenaux permanents,** correspondent principalement aux sédiments des chenaux ou en décrue. Ils caractérisent des dynamiques moyennes de dépôts avec une sédimentation régulière (médiane : 500 à 650 µm et percentile supérieur : 1 000-3 250 µm). Les sédiments caractérisent plutôt une suspension uniforme lors d'écoulement peu compétent.

En périodes de crues, le Yamé est caractérisé par des sédiments grossiers, comportant du matériel sableux et gravillonneux. **Les bancs médians** (révélés lors des décrues) sont les milieux représentatifs de dynamiques hydrologiques affectant les chenaux, en période de crue. Ils se forment davantage suite à un transport par roulement sur le fond et par saltation. Sur les images C.M., les bancs médians caractérisent le mode de transport le plus énergique (avec une médiane de 1 200 µm et un percentile supérieur à 1,5 cm).

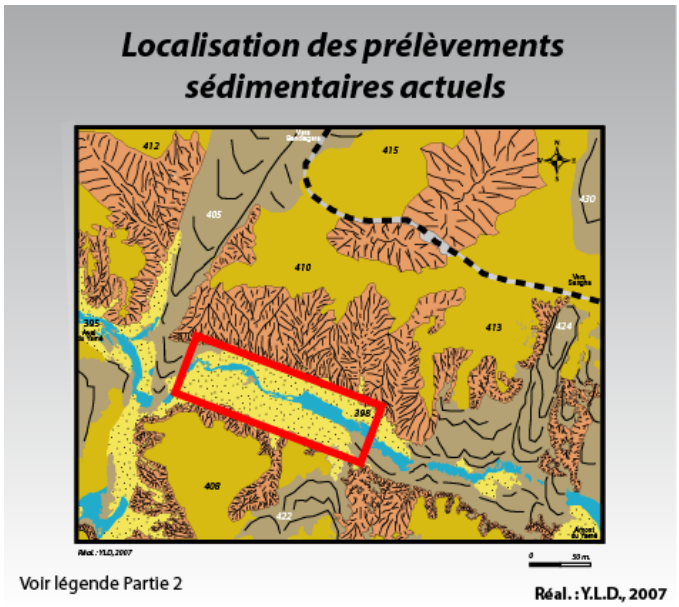


Figure n° 46 : localisation des prélèvements sédimentaires actuels

Les sédiments **des bancs latéraux et des berges** correspondent à l'alternance de lits grossiers et plus fins. La fraction sableuse et graveleuse (20 % de la fraction totale de l'échantillon), en relation avec des écoulements plus rapides et compétents, caractérise les dépôts de crue. En revanche, à la fin de chaque crue, la vitesse d'écoulement diminue favorisant le dépôt d'un matériel sédimentaire moins grossier, voire très fin. Ces sédiments observés sur une tranchée, effectuée en janvier 2006 (par L. Lespez & Y. Le Drézen), à l'amont du site de la Confluence en Rive Droite, sur un banc latéral du Yamé permettent de montrer la régularité de ces successions lors de plusieurs saisons des pluies. Il est possible d'observer des changements de dépôts et de texture sur une profondeur réduite (27 centimètres). Les dépôts de débordements sur les berges ou sur la plaine d'inondation sont caractéristiques des épisodes de crues, caractérisés par une dynamique hydrologique soutenue. La médiane des sédiments est comprise entre 700 et 1 200 µm, alors que le percentile supérieur atteint 7 500 à 1 500 µm et est plus important pour les dépôts de berges que pour ceux de la plaine d'inondation.

Dans la plaine d'inondation, il faut distinguer un type de dépôt particulier. En effet une fois la décrue amorcée, la plaine d'inondation va progressivement s'assécher et ne subsiste que quelques mares permanentes. Ces dernières s'assèchent presque toute en fin de saison sèche, alors que l'écoulement du Yamé correspond à un chenal étroit. Les sédiments de ces mares temporaires sont caractérisés par une sédimentation plus complexe, avec l'alternance de sables grossiers et de limons. La médiane est de 644 µm représentant surtout les limons (déposés en début de saison sèche) et le percentile supérieur est de 7 500 µm, il correspond aux sédiments en suspension se déposant en périodes de crue. Des sédiments ont également été prélevés dans des zones qui restent humides quasiment toute l'année (cf. planche photographique n° 11). Ils sont laminés et caractérisés par l'alternance de lamines de granulométrie différente. Deux types de lamines de plusieurs centimètres d'épaisseur sont visibles, une lamine grossière de sables assez grossiers mesurant en moyenne deux centimètres, tandis que la lamine plus fine est constituée de sables plus fins et de limons gris noirs. De nombreuses feuilles intactes sont repérées entre la lamine grossière et fine. A proximité du chenal, quand les sédiments demeurent humides, nous n'observons pas de liserés d'oxydation, même quand ils s'assèchent. En revanche, lorsque nous nous éloignons du chenal, nous constatons des surfaces oxydées et des fentes de dessiccation, correspondant à des sols polygonés.

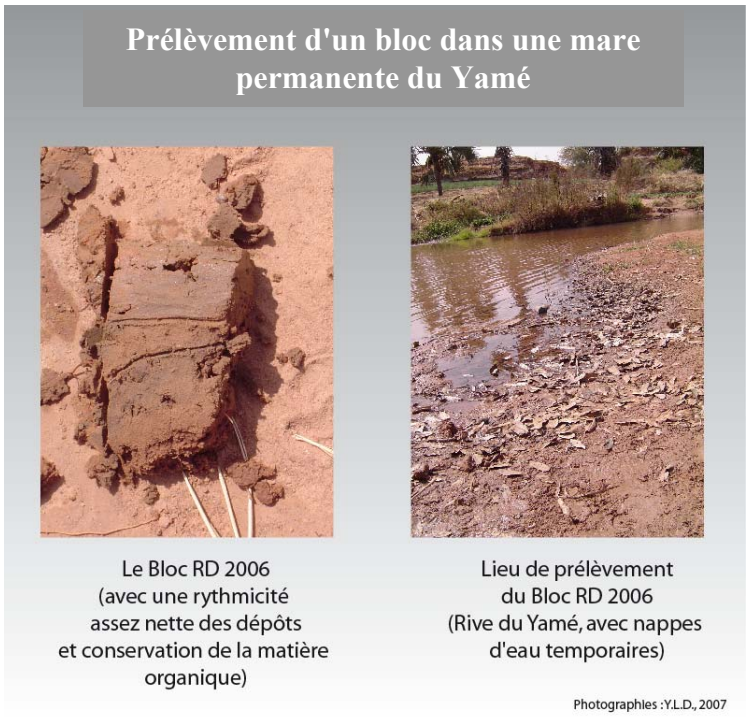


Planche Photographique n° 11 : prélèvement d'un bloc dans une mare permanente du Yamé

L'analyse des dépôts actuels permet d'obtenir une image du fonctionnement dynamique des milieux fluviaux aux échelles saisonnière et annuelle, que nous allons tenter de comparer aux fonctionnements et aux milieux sédimentaires des quatre derniers millénaires dans la vallée.

- *Analyses des sédiments du deuxième millénaire avant notre ère (HR2):*

Les analyses granulométriques ont été réalisées à partir des sédiments des différentes séquences de l'Holocène et plus précisément sur les quatre derniers millénaires. Les sédiments rythmés (du HR2) de la Coupe 13 de la Rive Gauche (Rônier) ont été particulièrement analysés, afin de déterminer les caractéristiques granulométriques des lamines fines grises et les lamines plus grossières, caractéristiques des sédiments de la deuxième séquence de l'Holocène récent. Six lamines ont été analysées dans l'unité HR2C.

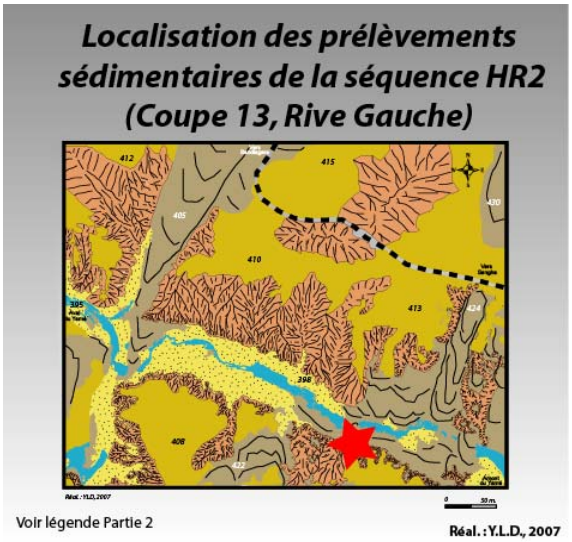


Figure n° 47 : localisation des prélèvements sédimentaires de la séquence HR2

D'un point de vue granulométrique, les lamines grossières et fines présentent chacune des caractéristiques propres. La figure 48 cumule l'ensemble des analyses pour les lamines grossières et fines et met en évidence leurs différences granulométriques.

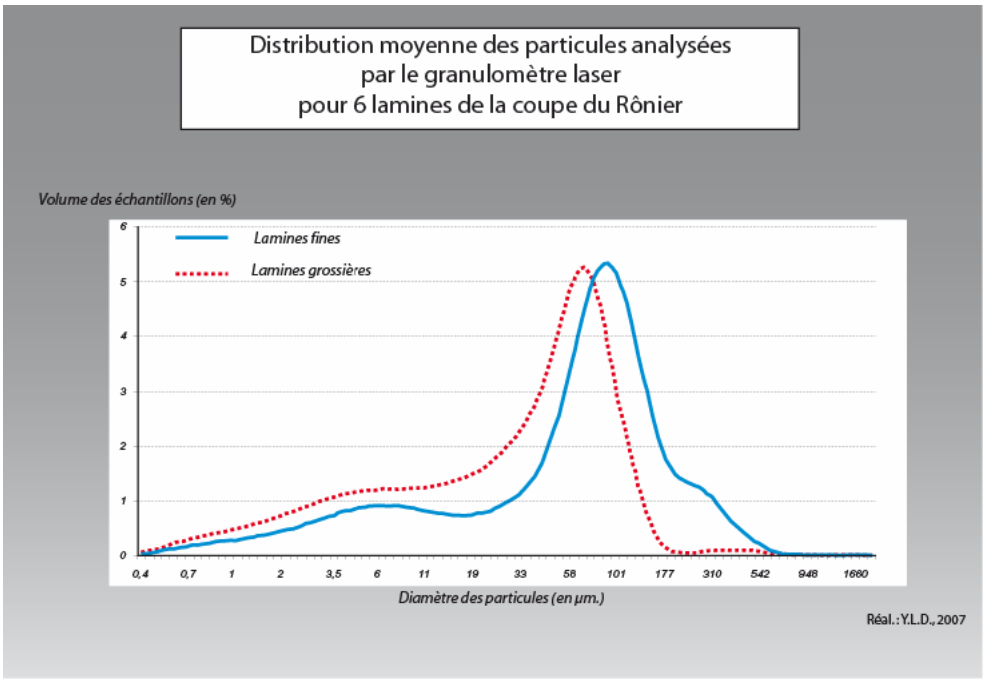


Figure n° 48 : diamètre moyen des particules analysées par le granulomètre laser pour les lamines grossières et fines de la coupe du Rônier

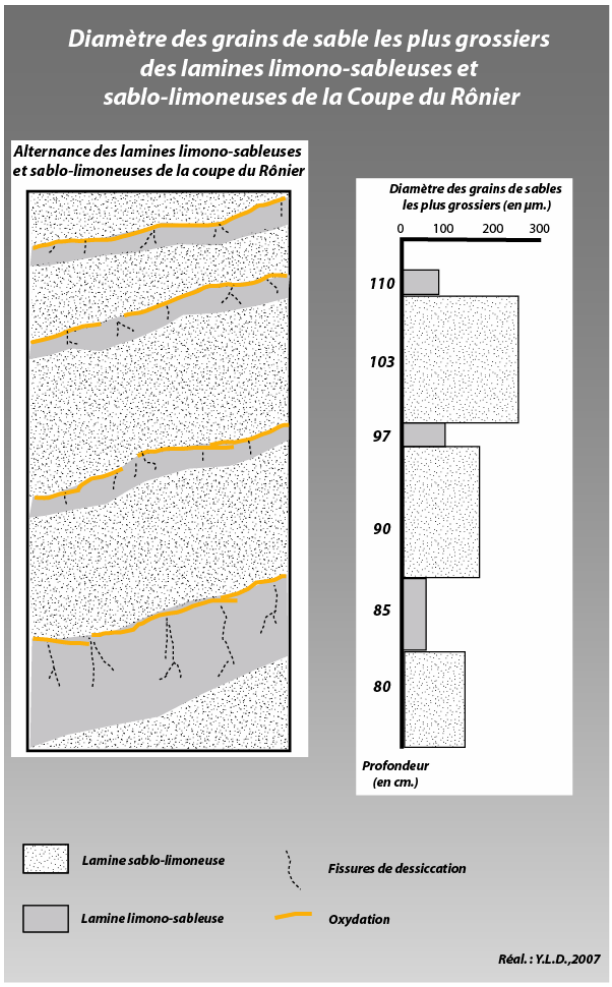


Figure n° 49: diamètre des grains moyens de sable les plus grossiers des lamines limono-sableuses et sablo-limoneuses de la coupe du Rônier

La courbe des lamines fines indique la présence de sédiments très limoneux accompagnés de sables fins. La courbe des lamines grossières montre un peu moins de limons et davantage de sables fins et de sables moyens à grossiers. Le caractère alterné dans l'organisation du dépôt est très net sur le graphique en histogramme de la figure 49. Dans les lamines sablo-limoneuses (cotes 80, 90 et 103 cm), le décile le plus grossier (10 % des volumes échantillonnés) comporte des grains compris entre 150 et 250 µm (sables moyens et grossiers). Dans les lamines limono-sableuses (85, 97 et 110 cm), la limite inférieure de ce même décile est d'environ 100 µm (sables fins). La médiane pour les lamines fines de la Coupe 13 de la Rive Gauche sont compris entre 40 et 80 µm et le percentile supérieur est inférieur à 500 µm (généralement proche de 300 µm). Tandis que pour les lamines plus grossières la médiane est comprise entre 80 et 500 µm, et le percentile est quant à lui toujours supérieur à 500 µm. Il faut remarquer que dans les séquences plus grossières des unités HR2A et HR2B, nous retrouvons les mêmes types d'alternances granulométriques, même si les valeurs peuvent changer. Les systèmes apparaissent plus grossiers comme sur la Coupe 15 de la Rive Droite. En général, les percentiles des séquences fines pour l'Holocène récent ne dépassent pas les 600 µm, alors que les séquences plus grossières sont souvent supérieures à 800 µm.

1.4. Caractérisation des fonctionnements et des milieux hydrosédimentaires

Ces analyses granulométriques des dépôts rythmés de la deuxième séquence de l'Holocène récent (figures n° 50 et 51) permettent de caractériser et de définir les lamines visibles en alternance sur les différentes séquences des rives du Yamé. Une lamine sablo-limoneuse et une autre limono-sableuse peuvent être différenciées granulométriquement. Les figures 50 et 51 permettent de comparer les modes de dépôts actuels avec ceux des milieux anciens de sédimentation.

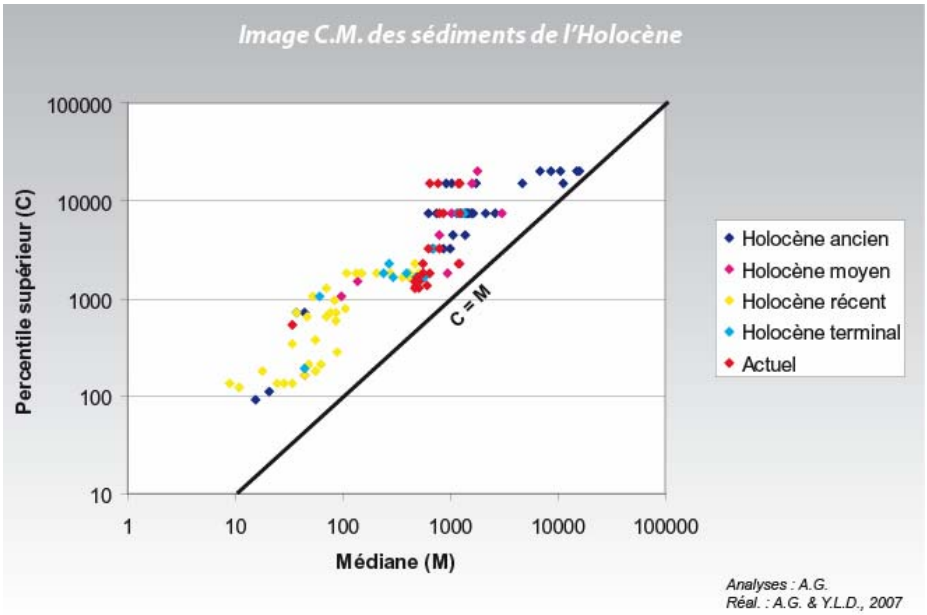


Figure n° 50 : image CM des sédiments de l'Holocène

Les analyses granulométriques des sédiments de la vallée du Yamé indiquent des modes de transport différents (cf. figure n° 50), au cours des périodes et des séquences de l'Holocène. Les analyses ont montré pour l'Holocène ancien, une compétence du Yamé plus importante, avec des écoulements très énergiques (en mode gradué) qui n'a pas été retrouvée dans les autres périodes. L'Holocène moyen connaît principalement des sédiments issus d'écoulements compétents, avec des modes de transports énergiques, mais avec également des phases plus calmes d'écoulement moins énergiques ou de décantation.

Les sédiments du début et de la fin de l'Holocène récent (HR1 et HR2) sont alternés (Garnier, 2007), ils montrent la même opposition granulométrique entre les dépôts grossiers et plus fins. Ils indiquent globalement le même type de fonctionnement saisonnier, mais un système moins énergique et moins compétent (cf. figure n° 51). Par comparaison, il est possible de penser que les lamines fines sont caractéristiques de mares temporaires, localisées dans la plaine d'inondation en étiage, alors que les lamines grossières correspondent à des dépôts issus de conditions plus énergiques observées dans les parties marginales de la plaine d'inondation, en saison des pluies, lors des crues du Yamé.

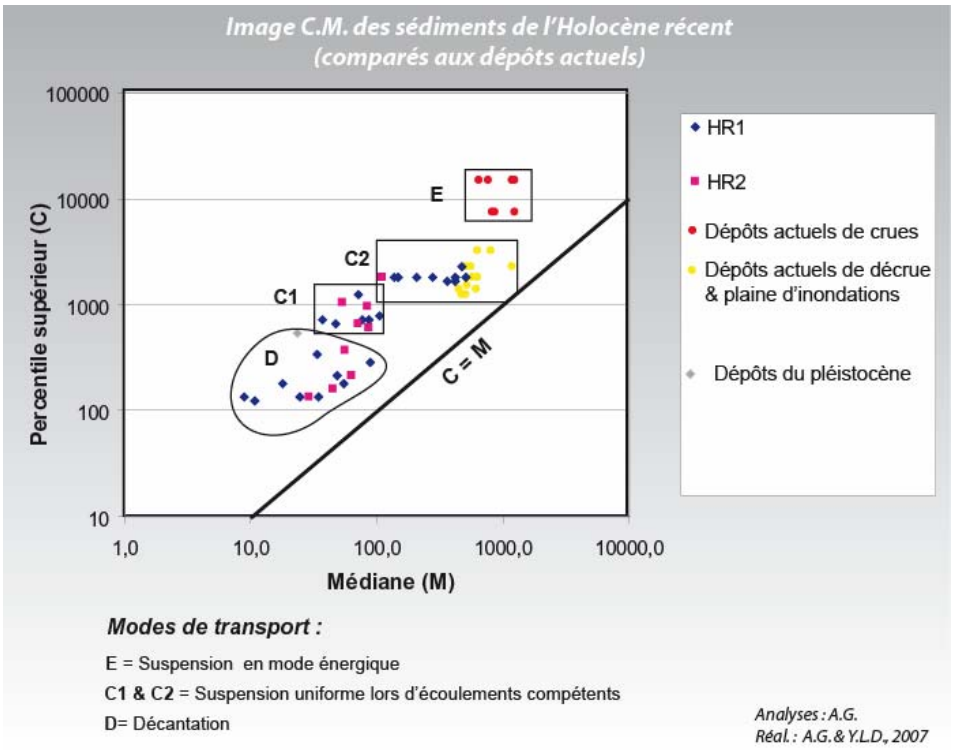


Figure n° 51 : image CM des sédiments de l'Holocène récent

Les sédiments conservés du quatrième millénaire avant notre ère sont caractérisés dans la vallée du Yamé par une alternance de dépôts avec des granulométries différentes, correspondant principalement à deux modes de dépôts. Ces alternances de lamines (grossières et fines) semblent caractéristiques d'une sédimentation à rythme saisonnier. Elles vont être analysées plus précisément dans le chapitre suivant à l'aide de la micromorphologie.

2. *Des analyses micromorphologiques*

2.1. Méthodologies

2.1.1. Les intérêts de la micromorphologie en géoarchéologie

La micromorphologie est une étude des caractères sédimentaires et pédologiques des dépôts, à l'aide de techniques microscopiques (cf. figure 52). Elle a pour but de reconstituer l'histoire et la genèse des sédiments et des sols et d'en préciser le fonctionnement (Courty & al., 1989 ; Kooistra & Kooistra, 2003).

L'étude des sédiments par la micromorphologie a de divers et de nombreux intérêts. Elle permet de connaître :

- les dynamiques des géosystèmes ou de la pédogenèse ;
- la reconstruction de l'état de surface des sols à un moment donné par l'observation et l'analyse des traits texturaux ;
- l'évaluation des potentiels ou contraintes agraires ;
- la caractérisation des différentes mises en valeur des sols, de leurs dégradations par les sociétés ou non.

Les observations des différents traits pédologiques permettent une meilleure connaissance de la mémoire des sols (Fedoroff, 1995 ; Fedoroff & Courty, 2002). L'interprétation et la hiérarchisation de ces traits permettent d'établir une chronologie des processus pédologiques actifs au moment du fonctionnement de ces sols. Les principaux processus actifs au cours de l'Holocène correspondent aux activités biologiques, à la possible redistribution des carbonates, des sesquioxydes, de la pédogenèse stoppée par des apports sédimentaires, etc.

La plupart des analyses micromorphologiques sont des études de paléosols et de caractérisation des pédogénèses (Courty, 1987 ; Leger, 1987 ; Pecsi & Morozova, 1987 ; Fedoroff, 1995 ; Berger, 1995) et plus rarement des études des formations superficielles, faiblement pédogénéisé (MacPhail & al., 1987 ; Kooistra & Kooistra, 2003). De plus l'Holocène a principalement été étudié dans les années 1980-90, à partir de l'analyse des sols peu évolués, mono à polyphasés ou fluviatiles, comme :

- en France par Bourcart (1962), Courty (1987, 1988 ; Courty & al., 1987, 1989), Bornand (1987), Wattez & Courty (1987), Gebhardt (1992), Fedoroff (1995 ; Fedoroff & al., 1987, 1994, 2002), Berger (1995, 1996, 1997 ; Berger & Thiebault, 2002 ; Berger & al., 2003, 2004), Arnaud-Fasseta (1998, 2000, 2004), Devillers (2005) ; Lespez & al. (2004) ; Tounsi & al. (2007)

- en Angleterre, par McPhail (1999) ;

- en milieu méditerranéen, par Hok (1976), Magaldi (1984), Goldberg (1993), Berger (1995 ; Berger & Jung, 1996 ; Berger & Thiebaut, 2002), Kontogeorgos & Kapranos (1999), Mcphail (1999), Kooistra (2003), Giammatteo (2002), Scarciglia (2003), Buurman (2004), Sauerwein (2004), Fouache & Pavlopoulos (2005), Lespez (2007) ;

- aux USA et en Palestine, par Goldberg (1993).

Des études de sédiments varvés se sont également développées ces dernières années (Hughen & al., 1996 ; Schulz & al., 1996 ; Lotter & Lemke, 1999 ; Zolitschka, 2003). Les études les plus récentes définissent ces formations varvées, comme des sédiments annuellement stratifiés de divers lacs au sens large (Sturm, 1979 ; Renberg, 1981 ; O'Sullivan, 1983 ; Saarnisto, 1986 ; Zolitschka, 2003). Certains processus sédimentaires en système fluvial demeurent encore peu décrits, comme en particulier les systèmes fluvio-palustres à rythme saisonnier (exemple en Afrique du Nord : Abichou (2002), Fedoroff & Courty (1987), Pomel (2003), Faust & al. (2004)).

Les recherches en micromorphologie demeurent encore assez rares en Afrique de l'Ouest. Ce manque de référence empêche des corrélations sur les dynamiques sédimentaires et morpho-pédologiques à l'échelle régionale.

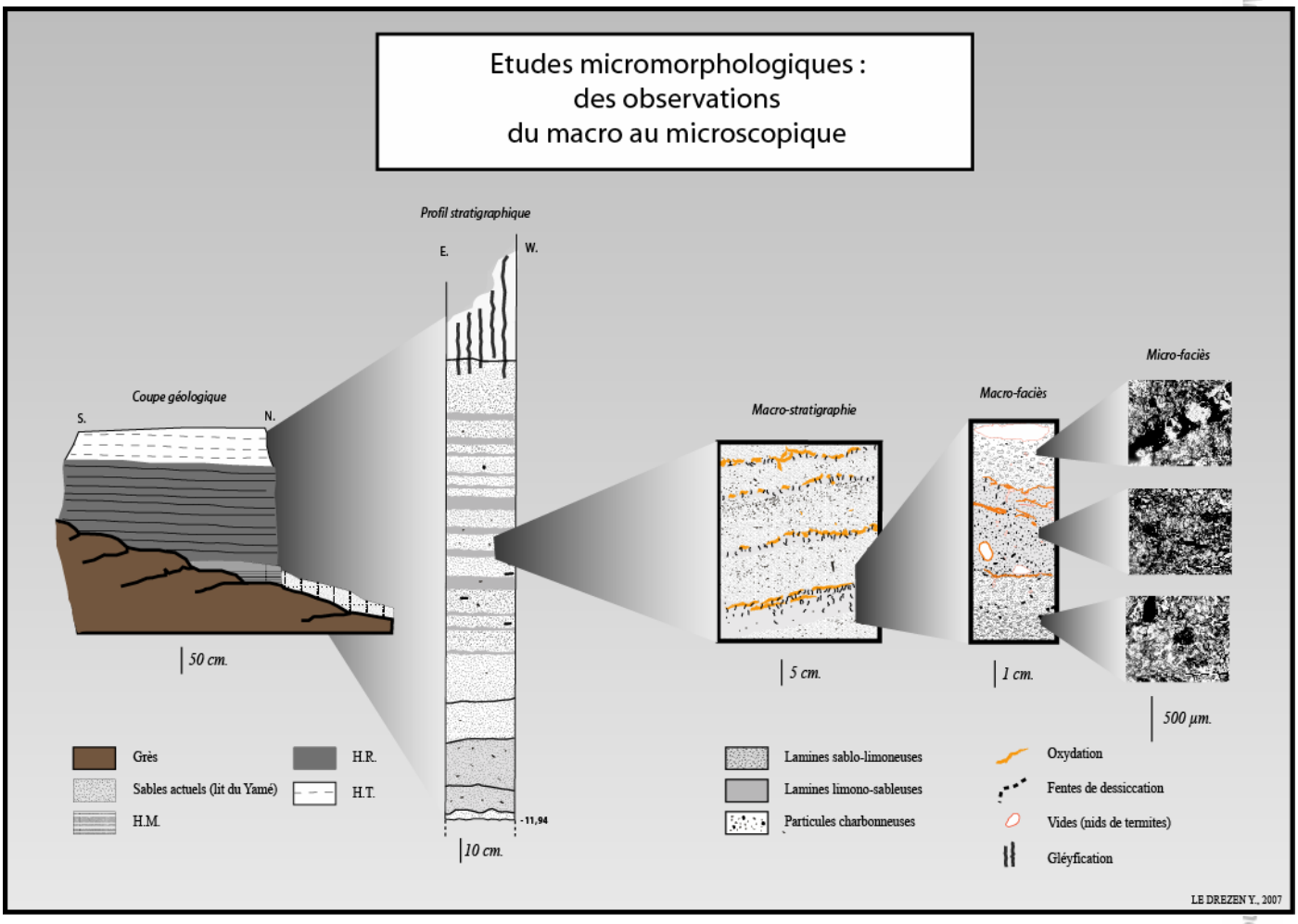


Figure n° 52 : études micromorphologiques : des observations du macro au microscopique

L'étude micromorphologique de la vallée du Yamé correspond à des analyses de sédiments de système fluvial, avec des taux d'accumulation importants et des phénomènes de pédogenèse, ce qui diffère des études de paléosols et se rapproche des études des grands remplissages sédimentaires en micromorphologie. Elle va permettre de comprendre l'évolution de la sédimentation et de la pédogenèse, mais également la durée et l'intensité des périodes sèches, la durée des périodes plus humides et la récurrence des crues. **Les résultats obtenus** à partir d'une interprétation micromorphologique seront confrontés aux autres méthodes, comme la sédimentologie ou les études paléobiologiques, afin d'obtenir des interprétations paléoenvironnementales fiables. Dans le cadre de notre étude, la micromorphologie va être employée afin de déterminer dans la vallée du Yamé, au cours des quatre derniers millénaires :

- les milieux de dépôts étudiés sur le terrain,
- le fonctionnement des systèmes hydrosédimentaires,
- et les différents processus de pédogenèse.

2.1.2. De l'échantillonnage à l'analyse de lames minces

La micromorphologie permet une observation microscopique des sédiments et des sols à partir de lames minces grand format (taillées dans des blocs de sédiments meubles prélevés sur le terrain). L'étude micromorphologique a nécessité une méthodologie adaptée, les sédiments observés correspondent à des dépôts conservés de plaine d'inondation, caractéristiques d'un remplissage de mares ou de chenaux secondaires.

Les blocs prélevés sur le terrain sont de taille assez grande (20 à 30 cm de long sur 5 à 10 de large). Ils sont correctement consolidés, nommés et orientés sur le terrain (cf. figure n° 53). Au cours des différentes missions, une trentaine de blocs de sédiments non désagrégés a été prélevée sur différentes coupes, correspondant à l'Holocène récent ou terminal. Les prélèvements s'effectuent sur des séquences entières comme sur la Coupe 13 de la Rive Gauche ou la Coupe 15 de la Rive Droite ou par contacts entre les séquences, comme pour la Coupe 1 du site des Unio. L'échantillonnage est serré pour assurer la corrélation entre tous les traits et l'organisation de l'ensemble.

En laboratoire (cf. figure n° 53), chaque bloc doit être bien sec avant une induration par résine, selon le protocole de Guillore (Guillore, 1980). Les blocs sont ensuite placés dans le stand d'imprégnation, sous vide (-0,9 bars), avec un ajout régulier de résine très fluide. La polymérisation des blocs dure approximativement trois semaines sous hotte aspirante. Les blocs vont être ensuite débités en plaquettes (de 5 à 10 mm d'épaisseur) à l'aide d'une scie. Chaque plaquette est collée par résine sur des porte-objets provisoires (lames de verre), rectifiée puis ensuite collée par résine sur des porte-objets définitifs et réduite par la rectifieuse. Une lame mince doit avoir une épaisseur de 25-30 microns et les quartzs doivent avoir sous microscope en lumière polarisée des couleurs blanc-gris. Les lames réalisées sont des lames dites "mammouths", avec des tailles de 13,6 sur 6,5 centimètres (cf. Protocole en annexe).

Les premières **analyses micromorphologiques** sur le site d'Ounjougou ont été menées par Sylvie Coutard (1999), avec une visée essentiellement paléo-pédologique. Ses analyses ont été effectuées à partir de douze lames minces (sur la coupe 15 de la Rive Droite, dite des

Varves Ouest). Pour cette recherche doctorale, ces lames ont été reprises et les **observations** ont été effectuées sur **quarante sept lames minces grand format**. Le caractère assez transparent et coloré d'un échantillon aminci à l'épaisseur-standard permet d'assimiler la lame mince à une "diapositive" (Gebbhardt, 2000). Les couleurs sont donc générées par le phénomène d'absorption. Les variations sont identifiées principalement au niveau des couleurs, de la teinte ou de la pureté. La micromorphologie permet d'observer des portions du sol, de la couverture pédologique depuis l'œil nu (échelle 1) jusqu'à des grossissements importants par la microscopie en lumière à réflexion ou transmise (x20, x50, x100, x1000 en immersion, sur les lames non recouvertes) ou par la binoculaire (x2, x50). Les lames minces "grand format" ont été analysées selon des méthodes classiques (Brewer, 1967 ; Bullock *& al*., 1985 ; Courty & al., 1989 ; Fédoroff & Courty, 1994 ; Delvigne 1998). L'observation des lames minces a été effectuée à la loupe binoculaire puis au microscope, en lumière transmise, polarisée ou réfléchie (Specklin, 1979 ; Brewer, 1967 ; Delvigne, 1998 ; Kemp, 1998), ce qui permet d'obtenir de nombreux renseignements sur la minéralogie, les distributions relatives des éléments, les milieux de dépôts sédimentaires.

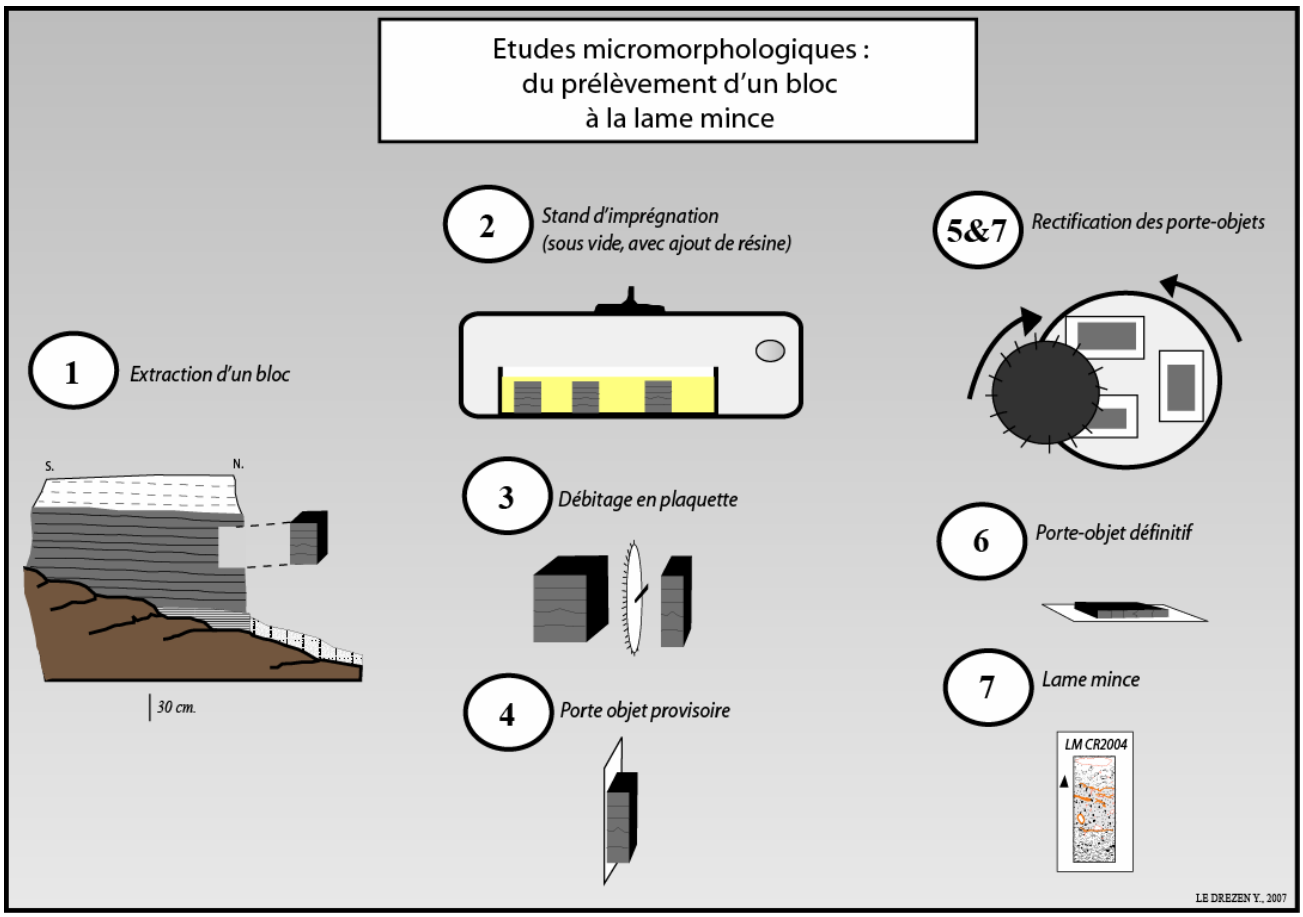


Figure n° 53 : études micromorphologiques : du prélèvement d'un bloc à la lame mince

Les descriptions des lames ont suivi le même protocole tout au long de l'étude. Nous avons caractérisé la microstructure, les constituants (squelette, matrice, matière organique, …), les traits post-sédimentaires et les traits d'origine anthropique. L'observation et la description d'une lame nécessitent trois étapes, suivant des méthodes classiques (Fedoroff & Courty, 2002) correspondant à :

- *la macroporosité du sol* avec une caractérisation des vides, du système poral et de la microstructure (à l'œil nu et à la loupe binoculaire puis au microscope polarisant). Elle est visible avec les fentes correspondant soit à des chenaux partiellement comblés d'origine biologique (le plus souvent par les termites mais aussi d'origine végétale par le système racinaire) soit à une origine mécanique (fissures de dessiccation ou des cavités, généralement fermées et isolées dans les sédiments saturés en eau) ;

- *l'étude de la masse basale.* Elle permet une identification de la fraction grossière, plus fine et de leurs distributions relatives. Cette analyse met souvent en évidence les traits sédimentaires, permettant d'identifier l'origine, les processus de transport et de dépôts des sédiments.

- *l'étude des différents traits,* qui a pour objectif de décrire les traits pédologiques, texturaux, cristallins, amorphes, d'appauvrissement, d'assemblage ou excrémentaux. Ces différents traits sont formés par des redistributions verticales ou latérales de particules érodées à la surface du sol ou dans les horizons de sub-surface ;

- des observations, qui permettent d'établir une typologie d'ensemble des organisations pédo-sédimentaires tenant compte des phénomènes de sédimentation, d'érosion, de remaniement et de pédogenèse.

Des photographies ont été prises à partir d'un microscope (en lumière polarisée analysée, en lumière polarisée non analysée, en lumière réfléchie, …), afin d'apprécier les surfaces, les tailles des particules organiques, charbonneuses, minérales, etc. Les informations concernant les particules charbonneuses seront présentées et décrites dans la partie 4 de cette thèse (chapitre 3 : Signal incendie).

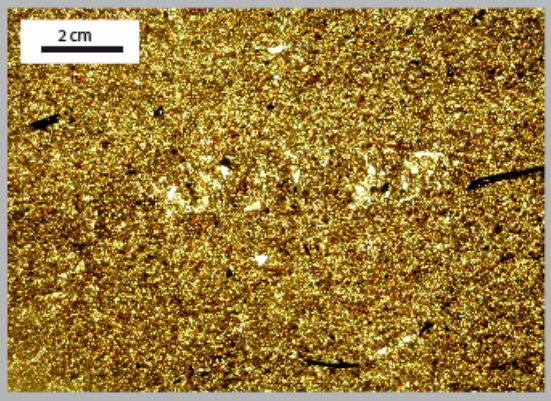
La prise en compte du rôle et des impacts de la micro faune sur les sols est nécessaire lors de l'analyse de lames minces réalisées sur des blocs prélevés en région tropicale. *Les traits excrémentaux* et la bioperturbation résultent de l'activité de la faune du sol. La micro-faune des sols du Plateau dogon est principalement constituée de termites, visibles par leurs traits de passage (creusement d'un chenal et tassement de la masse basale), par les traits de

fouissements ou par les traits excrémentaux (en nids d'abeille). De nombreux travaux ont décrit le rôle de ces insectes sur la morphologie des sols, mais peu de recherches ont traité de leur rôle dans les processus d'humification et de minéralisation au niveau des sols tropicaux (Garnier Sillam & al., 1987). Généralement seule une partie de la matrice est affectée par leur activité, l'autre partie conservent les caractères du matériau parental (lamines plus limoneuses ou sableuses, cf. 2.2 de cette partie 3).

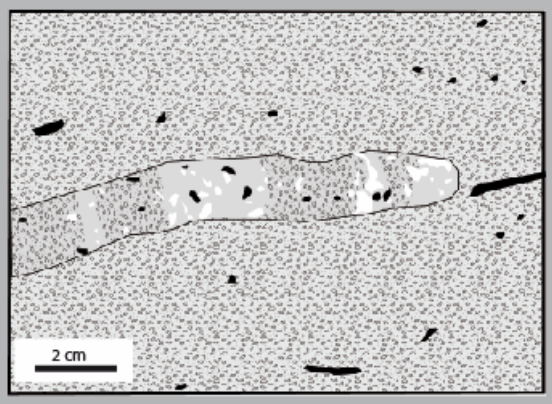
Les termites constituent une des biomasses les plus importantes et des plus actives des sols tropicaux. Ils modifient la structure des sols et la porosité. Ils brassent, mélangent les minéraux et les matières organiques et consomment une grande part de la production végétale dans les différents dépôts de l'Holocène récent, comme le bois, les feuilles, l'humus, etc. V. Eschenbrenner (1986) explique justement le fait que les termites constituent une composante majeure de la faune des sols tropicaux : l'action de ces insectes sur les sols a suscité de nombreux travaux dans des domaines variés (cycle de la matière organique, remontée des sédiments, modifications chimiques, physiques, minéralogiques et biologiques). Les principaux résultats ont été résumés par Lee et Wood (1971) et par Bachelier (1978). Les déjections des termites sont constituées de près de 60 % de matière organique et 40 % de matière minérale (Bachelier, 1978). Des couloirs et des fèces de termites très nets ont été photographiés lors des analyses micromorphologiques, à partir des lames minces des différentes séquences de l'Holocène récent et terminal (cf. planche photographique n° 12)

La structure est facilement repérable et identifiable avec un mode dit en "empilement d'assiettes" ou "*bow like*". La matrice apparaît modifiée dans les "pellets", qui s'avèrent être en fait des micro-agrégats organo-minéraux de différents types, formés lors du brassage intestinal. Les formes sont généralement ovoïdes ou cylindriques (entre de 0,2 à 2 mm de diamètre) appelés aussi "granules", "boulettes" ou "boudins". Gennart & al. (1961) furent parmi les premiers à décrire des observations microscopiques sur les "termitières champignons" (au Zaïre). Stoops (1964) a lui aussi analysé et différencié plusieurs types de structures spécifiques de l'activité des termites : les structures en granules ("*pellet-structure*"), en calottes empilées ("*bow-structure*") et en lamelles ("*lamellar structure*"). M. Maldague (2003), plus récemment a décrit le fort contraste entre les sols autour et à proximité des termitières. Les tumulus sont formés d'argile, pauvres en matière organique et dépourvus de cailloux. Des termites puisent en profondeur (2 à 4 m) l'argile nécessaire à l'édification des nids. Ces isoptères utilisent une matière végétale ayant subi une décomposition préalable par les champignons, les bactéries, la micro- et macro-faune du sol. Une disparition rapide de la litière peut être ainsi imputée à l'activité des termites.

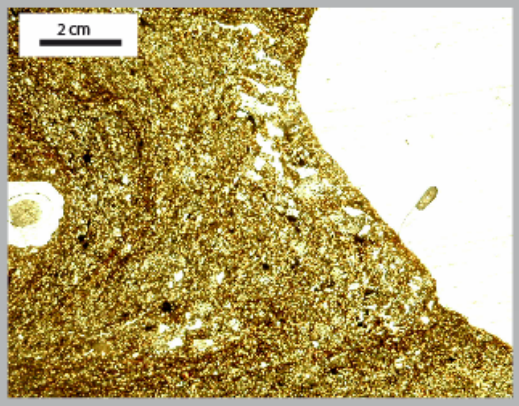
Illustrations de la bioperturbation dans les sédiments passés et actuels d'Ounjougou



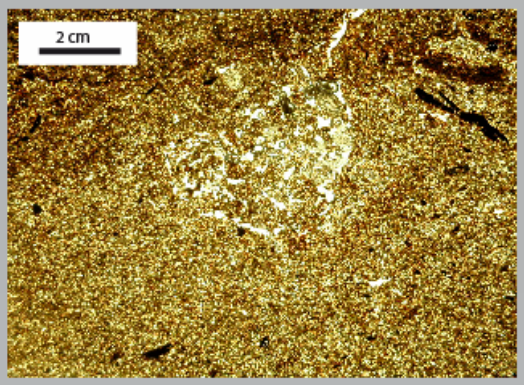
Photographie d'un chenal de termites (en *bow like*)



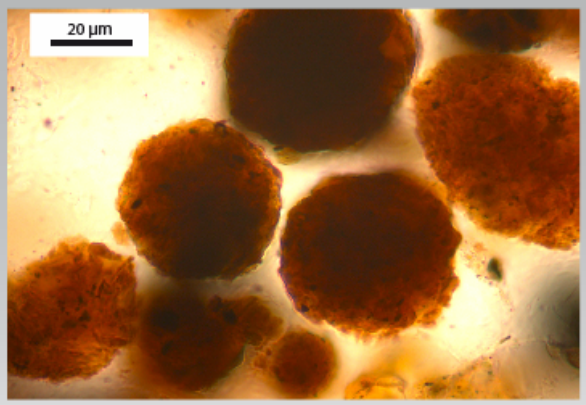
Croquis d'un chenal de termites avec des dépôts en "empilement d'assiettes" (bow like)



Nid et pellets de termites



Pellets de termites



Fèces de termites

Chenaux actuels de termites

Croquis & photographies réalisés à partir des lames minces des coupes des Varves Ouest et du Rônier par microscopie en lumière transmise

Réal. : Y.L.D., 2007

Planche Photographique n ° 12 : illustrations de la bioperturbation dans les sédiments passés et actuels de la vallée du Yamé

2.2. Caractérisation micromorphologique des dépôts laminés

Les sédiments rythmés avec une alternance de lamines limono-sableuses et sablo-limoneuses sont visibles sur plusieurs mètres d'épaisseur, au sein des unités et sous-unités de la deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2). Ils correspondent aux sédiments des Rives Droite et Gauche, ils sont parfaitement identifiables sur les coupes stratigraphiques 15 de la Rive Droite (Coupe des Varves Ouest) et 13 de la Rive Gauche (Coupe du Rônier). Nous avons réalisé un échantillonnage systématique sur ces coupes, afin de caractériser par des études micromorphologiques ces dépôts rythmés.

Des observations approfondies ont été particulièrement réalisées sur la Coupe 13 de la Rive Droite, avec la lame mince : LM CR2004, qui présente la micro stratigraphie la mieux conservée de la séquence HR2 (Le Drézen & Lespez, 2007, Le Drézen & al., soumis). Les études ont été pratiquées sur la succession des lamines limono-sableuses et sablo-limoneuses, mais également au sein même de ces lamines, afin de décrire les dynamiques sédimentaires, pédologiques et organiques.

L'étude fine de ces sédiments va permettre de définir correctement et de mieux comprendre les modes et les temps de dépôt.

2.2.1. Les lamines sablo-limoneuses

Les lamines identifiées par la granulométrie comme sablo-limoneuses sont de couleur gris clair à blanche, avec une épaisseur moyenne de 3,5 centimètres. Les grains de sable observés sont en majorité du quartz, avec des diamètres compris entre 150 et 250 µm. Le quartz est un des minéraux les plus fréquents du grès (caractéristique du Plateau dogon). Il est reconnaissable en lumière polarisée non analysée (L.P.N.A.) lors d'analyses en lames minces par sa limpidité et par son inaltération. En lumière polarisée analysée (L.P.A.), il présente des teintes de biréfringences grises ou blanches. Les grains de sables sont émoussés, granoclassés de manière verticale et positive. La présence de limons fins et de matière organique est peu visible sauf dans la partie sommitale. Les particules opaques sont roulées, de taille généralement assez grosse (de 100 à plus de 1 000 µm) et quelques particules de suies (< à 10 µm) sont visibles (cf. figure n° 54).

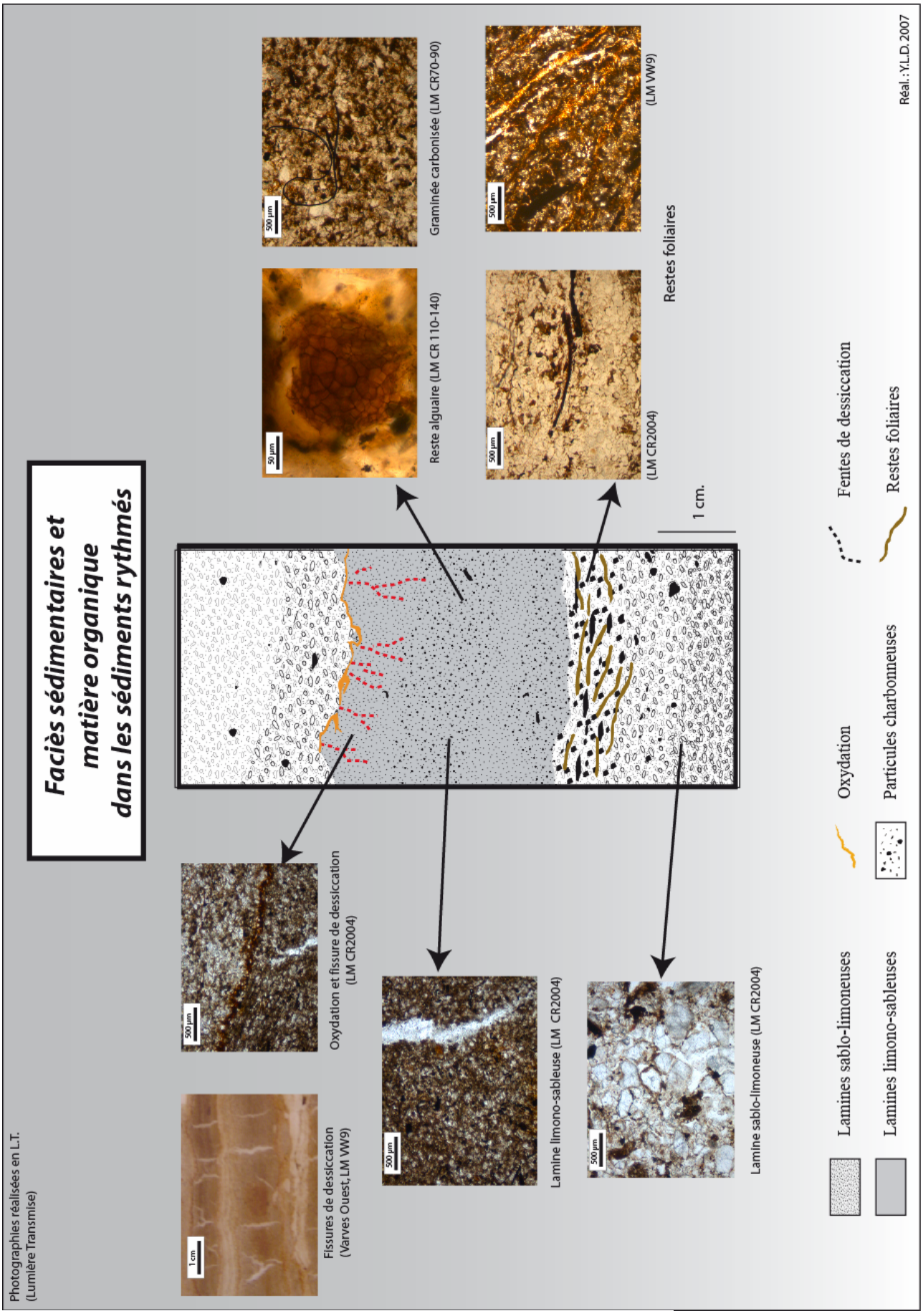


Figure n° 54 : faciès sédimentaires et matière organique dans les sédiments rythmés

2.2.2. Les transitions entre les lamines sablo-limoneuses et les lamines limono-sableuses

Les sommets des lamines sablo-limoneuses apparaissent d'une couleur plus foncée (brune à noire) sur une épaisseur très fine entre 100 à 400 µm. Cette couleur correspond à un dépôt important de matière organique au sommet d'une matrice de sables moyens à fins. De nombreuses feuilles ont pu être observées, très bien conservées, superposées les unes aux autres. Les particules charbonneuses sont très nombreuses, de grande taille, de forme allongée et en position horizontale. Les restes végétaux sont nombreux et très fragmentés. La matière organique végétale est de couleur brunâtre. Les tissus végétaux sont bruns clairs, très allongés (1 à 6 cm environ) et fins (environ 40 µm d'épaisseur), de teinte jaune en lumière transmise (indiquant une matière organique fraîche), ce qui correspond à des restes foliaires. Les fragments allongés bruns épais, d'aspect fibreux (dont le parenchyme est composé de grandes cellules parallélépipédiques) correspondent à des restes de graminées, généralement mal conservés et fragmentés. Les particules charbonneuses sont nombreuses, de tailles diverses et plus ou moins bien conservées. Elles seront décrites dans les chapitres suivants. La porosité est importante avec de nombreux vides entre les dépôts foliaires et les grains de quartz, correspondant à des vides d'entassement (cf. figure n° 54).

2.2.3. Les lamines limono-sableuses

Les lamines limono-sableuses sont très compactes de couleur grise à noire, avec une épaisseur moyenne de 4 centimètres. Les grains de sable ont des diamètres compris entre 50 et 100 µm, et présentent un granoclassement vertical positif. La microstructure générale est assez massive. Les limons fins et la matière organique sont très présents et compacts. Les particules opaques de type charbonneuses sont allongées (paillettes) de tailles différentes, en positions verticale et horizontale, accompagnées de quantité de suies. Elles sont moins grosses (entre 1 à 50 µm) à la base. Des particules globulaires hyalines ou roses sont présentes régulièrement au sein de la lamine, elles correspondent à des restes alguaires. La lamine est assez bioperturbée avec des cavités fermées et des chenaux (*bow like*) de termites.

2.2.4. Les sommets des lamines limono-sableuses

Les sommets des lamines limono-sableuses sont caractérisés par de l'oxydation, d'une épaisseur de 300 à 450 µm (principalement sur la Coupe 13 de la Rive Gauche et à la base de la Coupe 15 de la Rive Droite). Les grains de quartz sont recouverts d'une patine ferrugineuse ocre. Les particules opaques sont également très oxydées. Les sommets présentent en général des fissures de dessiccation formant des prismes réguliers (très nets sur la Coupe 13 de la Rive Gauche et à la base de la Coupe 15 de la Rive Droite). Ces dernières, espacées en général d'un centimètre font moins d'un millimètre d'épaisseur et un centimètre de profondeur (longueur) en moyenne (ce qui correspond à environ un tiers de la lamine fine). Les particules opaques sont plus nombreuses qu'à la base, de formes diverses (allongée, arrondie) et souvent oxydées (cf. figure n° 54).

3. Vers l'établissement d'un modèle fluvio-palustre saisonnier

L'observation et la réalisation d'un modèle référentiel sont importantes dans la compréhension de la mise en place du système hydrosédimentaire de la vallée du Yamé (Le Drézen & Lespez, 2007 ; Le Drézen & al., soumis). La mise en place d'un modèle de référence des systèmes rythmés de la deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2) est possible grâce aux recherches micromorphologiques appuyées sur les séquences décrites sur le terrain et aux résultats des analyses granulométriques.

3.1. Des enregistrements saisonniers ?

Les lamines sablo-limoneuses correspondent à des dépôts de ruissellements relativement compétents, avec un apport de sables grossiers à fins et un remaniement de particules végétales et charbonneuses. Ces dépôts proviennent du bassin versant amont du Yamé (environ 500 km²) dont la végétation environnante sèche a pu être brûlée lors de la saison sèche précédente, permettant la mobilisation de matériel grossier lors des pluies avec de nombreux charbons. Ensuite nous observons le dépôt de feuilles, dans des mares de plaine d'inondation en eau (de type marécageux) avec un ruissellement assez faible.

Les lamines limono-sableuses grises correspondent à des sédiments de milieux palustres (cf. figure n° 55). La sédimentologie indique un écoulement de compétence très faible voire des eaux stagnantes, avec un apport de matériaux fins (limons, charbons, suies, …). Le fonctionnement est confirmé par les eaux courantes (limons, charbons, …) ou par l'atmosphère (micro-charbons, suies, …) puis par la présence d'algues. Les particules charbonneuses présentes en grand nombre laissent supposer des feux récurrents et importants dans les savanes environnantes.

Un assèchement local des plans d'eau et des sédiments est ensuite régulièrement observé. Il est caractérisé par une oxydation superficielle et un développement de fentes de dessiccation. Cet assèchement des mares sur les rives du Yamé entraîne la formation de sols

polygonés. La ferruginisation correspond au passage du fer de l'état réduit (Fe^{2+} en solution dans l'eau) à l'état oxydé (Courty *& al*, 1989). Ce phénomène d'oxydo-réduction nécessite un milieu riche en oxygène, correspondant à un environnement en contact avec l'air engendrant la dessiccation du sol (Tricart, 1965). L'action des bactéries et des racines, qui mobilisent et concentrent les hydroxydes de fer (Tricart, 1965), participe également à la formation d'hyporevêtements dans les chenaux racinaires. L'imprégnation diffuse observée correspond à une déshydratation du sédiment. Les liserés ferrugineux sont assimilables à un assèchement des mares. La formation de fissures de dessiccation et d'oxydation dans les sédiments déposés sur les rives du Yamé est toujours observée aujourd'hui dans la vallée du Yamé lors de l'évaporation des mares.

Cette succession indique donc le passage progressif d'un milieu hydrologique compétent à un milieu marécageux de décantation, puis à un environnement pédologique caractérisé par un assèchement progressif des sédiments et des sols qui se fissurent.

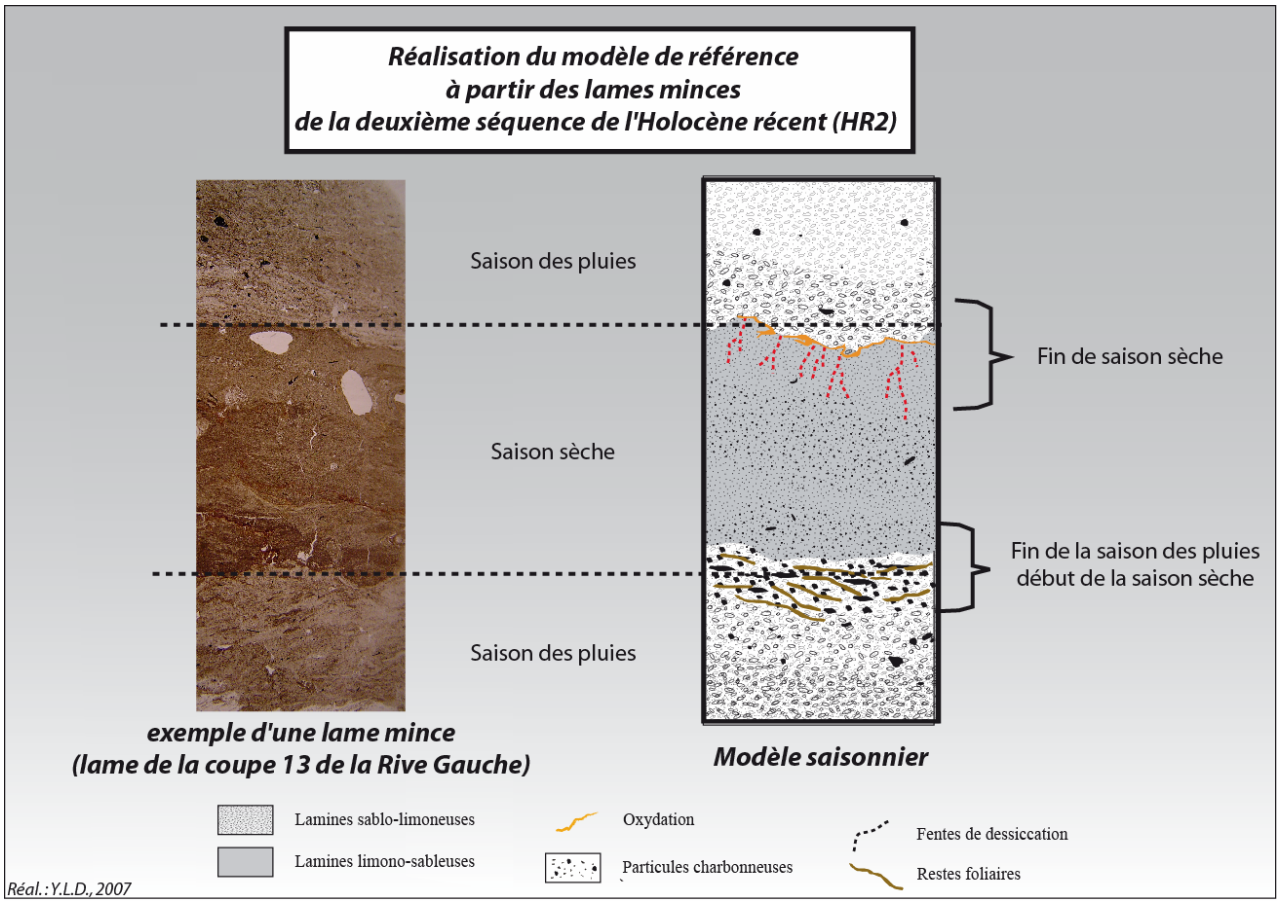


Figure n° 55 : Réalisation du modèle de référence à partir des lames minces de HR2

Les observations fines de la granulométrie et les données chronostratigraphiques ont montré un nombre important de couples de lamines avec des dates C14 très proches (cf. description de la Coupe 13 de la Rive Gauche et la Coupe 15 de la Rive Droite, cf. Partie 2). L'alternance de passées sédimentaires grossières et fines est caractéristique de cette séquence de l'Holocène récent et il a été dénombré près de 100 à 200 couples de lamines (cf. partie 2) correspondant à des durées comprises entre 100 et 300 ans.

La démonstration de cette séquence courte avec des dépôts rythmés, la succession d'enregistrements sédimentaires, attestée par la granulométrie et la disposition micro-stratigraphique d'ensemble permettent de corréler nos résultats aux traits observés aujourd'hui en bordure de mare permanente ou temporaire. La vallée du Yamé sur notre zone d'étude est caractérisée actuellement par quatre phases successives et régulières dans le temps : transport et dépôts de matériel grossier (saison des pluies), dépôt des feuilles et des graines (début de saison sèche), dépôts sédimentaires fins (décantation en saison sèche) et traits pédologiques (oxydation et fissures de dessiccation en saison sèche). Ces dépôts rythmés sont aujourd'hui caractéristiques de dépôts saisonniers, ce qui nous permet d'affirmer un modèle saisonnier pour l'Holocène récent (figures n° 55 & 56). L'observation et la réalisation d'un référentiel sont importantes dans la compréhension de la mise en place du système hydrosédimentaire de la vallée du Yamé (Le Drézen & Lespez, 2007 ; Le Drézen & al., soumis).

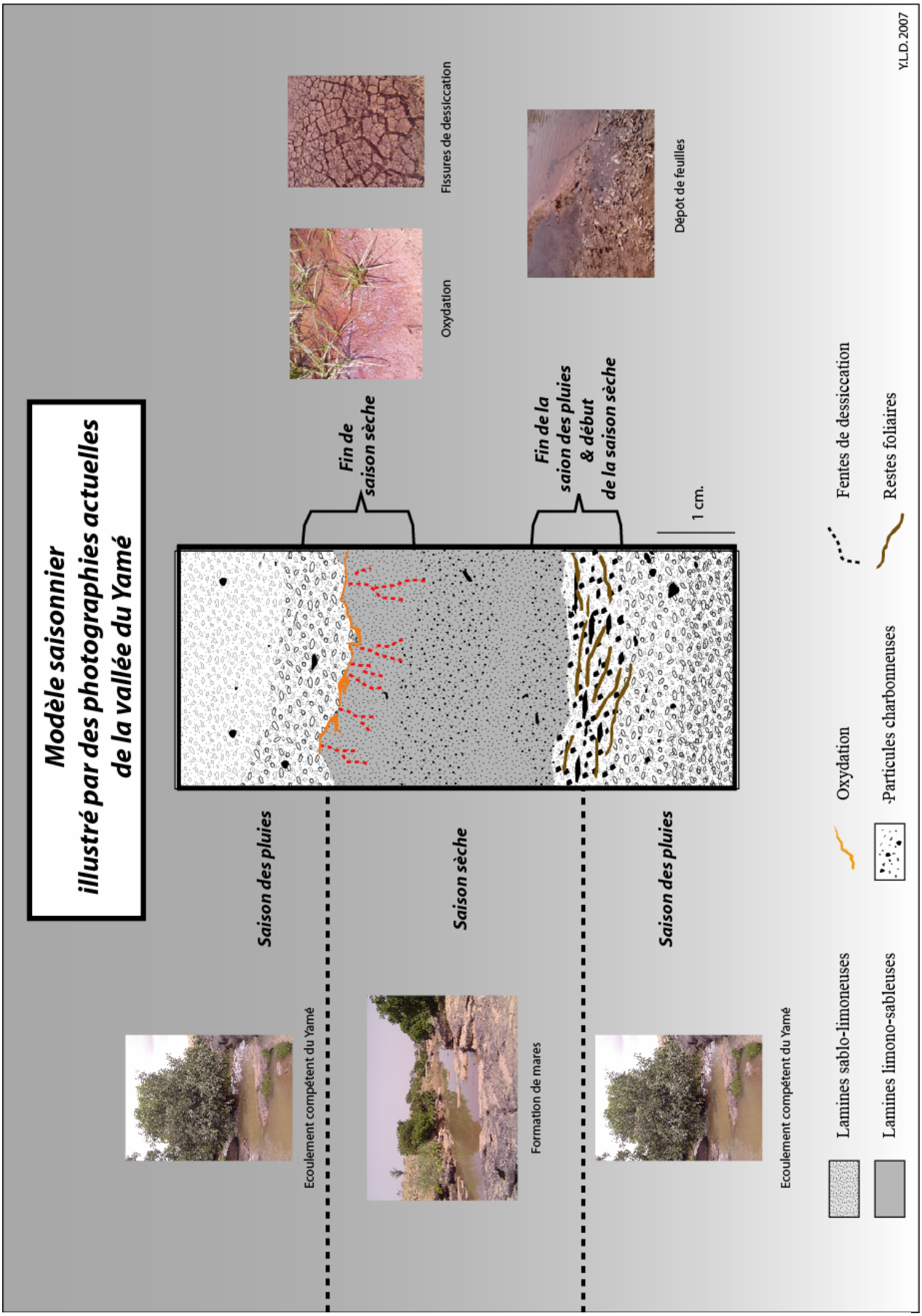


Figure n° 56 : Modèle saisonnier illustré par des photographies actuelles de la vallée du Yamé

3.2. Des dépôts rythmés, saisonniers et … varvés ?

Lors des premières années de fouilles, à la fin des années 1990, les archéologues suisses et paléo-environnementalistes belges avaient nommé certains sites et coupes stratigraphiques de "Varves" (Varves Ouest, Varves Est, …). Le mode de sédimentation leur semblait très proche des sédiments observés dans le Nord de l'Europe.

Depuis le XIX^{ème} siècle, les stratigraphies présentant la succession de sédiments foncés et clairs sont considérées comme des informations chronologiques (Heer, 1865). DeGeer (1912) inventa le nom de "varves" au début du vingtième siècle en étudiant les dépôts proglaciaires en Suède et détermina ainsi le temps écoulé depuis le D.M.G. (Dernier Maximum Glaciaire ; Zolitschka, 2003). Ce terme suédois signifiant "couches" est aujourd'hui employé comme synonyme de sédiments annuellement stratifiés. Les varves ne s'appliquent pas uniquement à des formations glaciaires, comme l'ont présenté Whittaker ou Perfiliev au début du vingtième siècle. Avec les études récentes à haute résolution sur la notion de "Global Change", les études de sédiments varvés se sont largement développées depuis une dizaine d'années (par exemple : Hughen & al., 1996 ; Schulz & al., 1996 ; Lotter & Lemke, 1999 ; Zolitschka, 2003). Même si les principales définitions ces dernières années dans les encyclopédies ou ouvrages scientifiques définissent les varves comme des sédiments proglaciaires, selon la première définition de DeGeer (1912). Les études les plus récentes définissent ces formations comme des sédiments annuellement stratifiés de divers lacs au sens large (Sturm, 1979 ; Renberg, 1981 ; O'Sullivan, 1983 ; Saarnisto, 1986 ; Zolitschka, 2003).

Les sédiments varvés ont une structure caractéristique visible macro ou microscopiquement avec généralement deux couches fines (ou lamines), des compositions, des épaisseurs, des couleurs différentes correspondant à des périodes ou événements annuels. Le plus grand nombre de lamines observé en une année est 19, lors des recherches effectuées par Dean & al. en 2001, principalement dans les environnements clastiques. Selon Zolitschka B. (2003), les sédiments varvés sont déposés et préservés dans certaines conditions environnementales telles que les lacs ou les océans. Les varves visibles dans les régions tropicales correspondent à des varves organiques dans des lacs ou mares mésotropiques ou eutrophiques.

Ainsi les sédiments rythmés et saisonniers observés dans la vallée du Yamé coïncident avec la définition de B. Zolitschka. Les deux lamines grossières et fines présentées ont bien des textures, des couleurs, des épaisseurs différentes. Le binôme des deux lamines (lamine sablo-limoneuse avec restes foliaires et lamines limono-sableuses avec oxydation et dessiccation) correspond à un dépôt annuel. Les sédiments varvés *stricto sensu* correspondent aux dépôts dit du Rônier (avec la lame mince de référence : LM CR-2004) où les saisons sont clairement enregistrées. Une année complète est bien enregistrée lorsqu'il y a une bonne conservation des lamines sablo-limoneuses, limono-sableuses, puis par l'oxydation et les fentes de dessiccation. Lorsque ce scénario est complet, il s'agit de la résultante des variations climatiques de type saisonnier.

4. Différents enregistrements saisonniers depuis les quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé

4.1. Quels sont les enregistrements avant le quatrième millénaire avant notre ère ?

Les analyses micromorphologiques sur les périodes précédant le quatrième millénaire avant notre ère ont été menées en collaboration avec Laurent Lespez (Le Drézen & Lespez, 2007 ; Le Drézen & al., soumis ; Lespez & al., accepté). Elles sont encore en cours, néanmoins, la présentation synthétique des premiers résultats pour les premiers millénaires de l'Holocène permet une meilleure compréhension des dynamiques et de la mise en place du système fluvio-palustre et du fonctionnement hydro-sédimentaire dans la vallée du Yamé, ces quatre derniers millénaires. Les lames minces de l'Holocène ancien proviennent de blocs échantillonnés au Ravin de la Mouche (à l'aval de la confluence, en Rive Gauche) et celles de l'Holocène moyen de la coupe du Detarium (en Rive Droite, à l'aval de la coupe du Rônier, cf. figure n° 55).

4.1.1. L'Holocène ancien (entre ante 9785+/-70 et 8080+/-55 B.P., soit ante 9400 à 6810 B.C. cal.) :

Le début de l'Holocène correspond à une incision spectaculaire du chenal sur plus d'une dizaine de mètres de profondeur dans les formations pléistocènes (Rasse & al., 2005, 2006 ; Lespez & al., accepté). Les premières unités de l'Holocène sont très détritiques (figure n° 57), en raison d'une période d'abondance hydrologique et de conditions climatiques plus humides au début de l'Holocène. Une seule unité de cette première séquence de l'Holocène (HA3) est caractérisée par des sédiments rythmés, assimilables à un ralentissement temporaire de la morphodynamique alluviale (11 400-10 600 B.P.). Ces premiers sédiments rythmés correspondent aux premiers enregistrements sédimentaires saisonniers de la vallée du Yamé (Le Drézen & al., soumis ; Lespez & al., accepté). Les écoulements durant la saison des pluies

étaient très compétents tandis que la saison sèche correspond à des dépôts de décantation de mares qui étaient permanentes (absence de fissures de dessiccation). Ces dépôts rythmés marquent également les premiers enregistrements de restes organiques (particules charbonneuses, feuilles, etc.), qui témoignent d'une végétation de plus en plus importante au cours de l'Holocène sur le bassin versant et les rives du Yamé (Rasse & al., 2005, 2006).

4.1.2. L'Holocène moyen et l'Holocène récent 1 (entre 8080+/-55 et 3450+/-50 B.P., soit 6810-1890 B.C. cal.) :

Les données de l'Holocène moyen et de la première séquence de l'Holocène (HR1) permettent de caractériser la dynamique et le fonctionnement hydrosédimentaires de la vallée du Yamé. Cette période (cf. figure n° 57) est caractérisée par des dépôts lités très riches en macro-restes. Les dépôts les plus grossiers correspondent à des écoulements très compétents de saison des pluies, au sein de chenaux assez étroits dans une plaine alluviale avec des versants probablement occupés par une forêt-galerie dense (Rasse & al., 2006 ; Eichhorn & Neumann, sous presse). En saison plus sèche, l'écoulement était moins compétent, transportant de nombreuses particules charbonneuses dans les mares permanentes (lamines sans fissure de dessiccation et sans oxydation). Cette période de l'Holocène moyen et du début de l'Holocène récent est caractérisée par une abondance des charbons de bois de toutes dimensions dans les sédiments (Rasse & al., 2006 ; Eichhorn & Neumann, sous presse ; Le Drézen & al., soumis ; Lespez & al, accepté). Le ravinement interne au sein de ces formations rend néanmoins délicate, une lecture saisonnière de la sédimentation et ne permet pas d'exclure des variations infra-saisonnières au sein de la saison des pluies par exemple. Pour cette période, les analyses sont encore à approfondir.

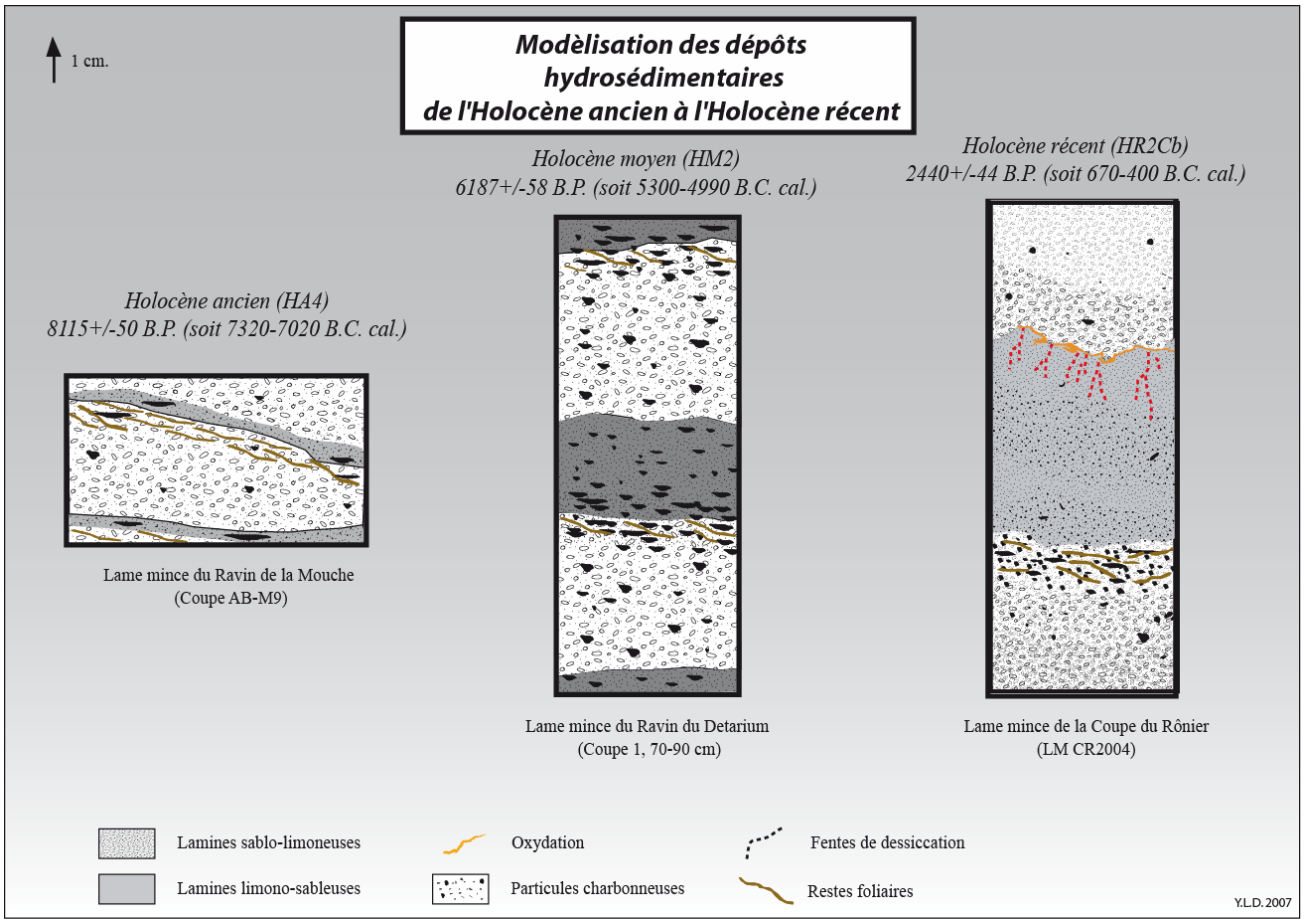


Figure n° 57 : modélisation des dépôts hydro-sédimentaires de l'Holocène ancien à l'Holocène récent

4.2. Quels sont les enregistrements saisonniers durant les deux millénaires avant notre ère ?

Les analyses micromorphologiques de la fin de l'Holocène récent (HR2) ont été effectuées à partir des différentes lames minces réalisées sur des coupes chronostratigraphiques de référence. Les analyses ponctuelles des coupes sont représentatives des différentes unités et sous-unités observées sur plusieurs dizaines voire centaines de mètres de longueur sur le terrain. Chaque analyse présentée est comparée au modèle référentiel à partir de la succession des lamines conservées. Les trois unités chronostratigraphiques de la deuxième séquence de l'Holocène récent ont été analysées.

4.2.1. L'unité HR2A, entre 3420+/-40 et ante 2840+/-45 B.P, soit 1880 - ante 890 B.C. cal

- *La sous-unité HR2Aa1, entre 3420+/-40 et 2920+/-60 B.P., soit 1880 - 930 B.C. cal.*

La première sous-unité de la deuxième séquence de l'Holocène récent correspond à **HR2Aa1** et à cinq lames minces réalisées sur la coupe 15 de la rive droite (Coupe des Varves Ouest) : LM VW5-20, LM VW 25-45, LM VW9, LM VW10, LM VW11 et LM VW12 (cf. planche n° 13 et figure n° 58).

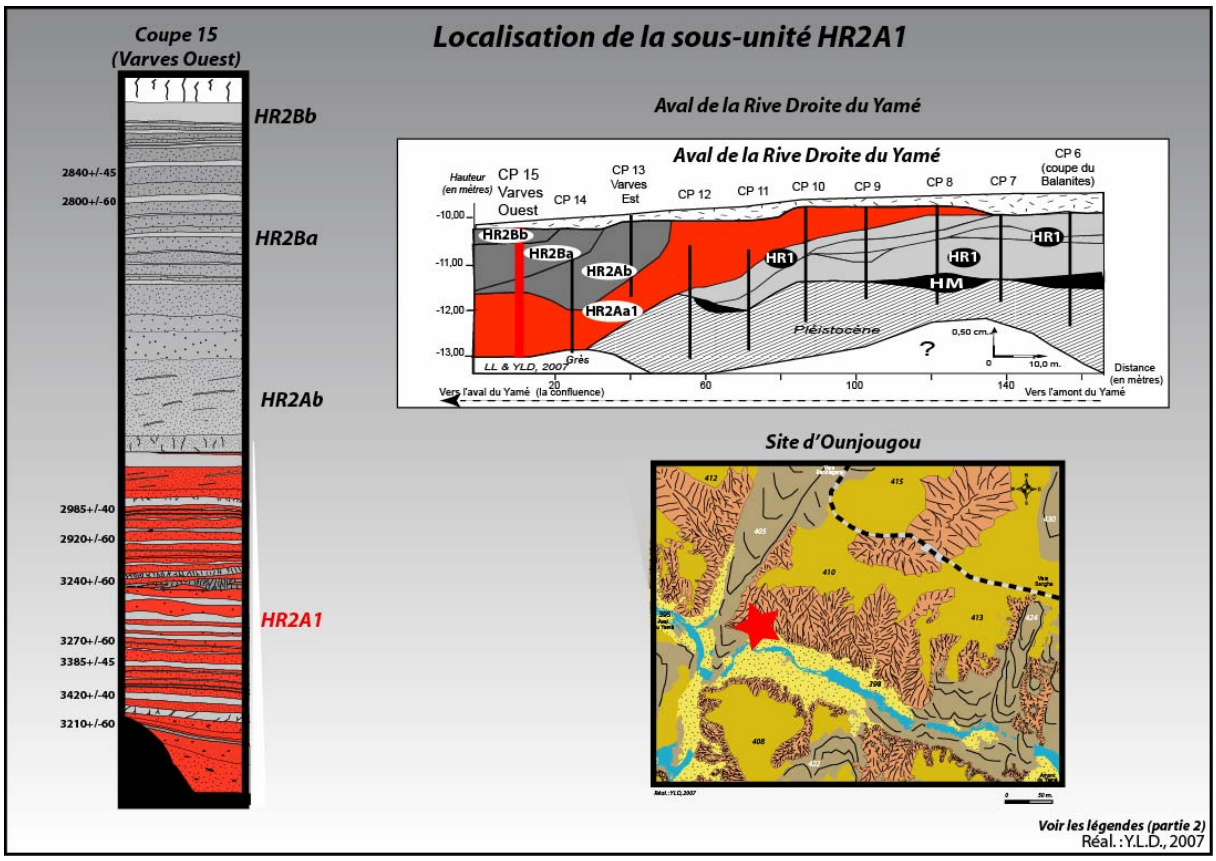


Figure n°58 : localisation de la sous-unité HR2Aa1

Les lamines sablo-limoneuses sont de couleur grise à beige clair, avec des épaisseurs de 1 à 5 centimètres. Les grains de quartz observés ont des diamètres compris entre 150 et 350 µm. Les grains de sables sont émoussés, granoclassés verticalement et positivement. Les limons sont absents dans les lamines grossières de cette sous-unité. Les particules charbonneuses sont roulées, de taille généralement assez grosse (200 µm en moyenne), les particules de suies sont visibles et assez nombreuses.

La transition de ces lamines grossières avec les fines est très riche en feuilles nettement conservées avec de nombreuses particules opaques allongées. L'oxydation est présente, elle est légèrement visible au dessus des restes foliaires. Cette oxydation est probablement due aux fissures de dessiccation qui par leur profondeur et leur largeur ont atteint au cours de la saison sèche le niveau des feuilles, qui s'est alors en partie oxydé.

Les lamines plus limoneuses sont d'une couleur brun foncé, avec des épaisseurs nettement plus fines que le modèle de référence analysé (entre 0,3 à 1 centimètre). Trois L.C.R. (lamines caractéristiques de référence) ont été examinées précisément : les LCR_HR2Aa1_1, 2 & 3, elles sont localisées entre 60 et 70 centimètres de la base. Les grains de sable observés correspondent à du quartz, avec des diamètres compris entre 40 et 80 µm et un granoclassement vertical positif. La microstructure générale est très massive, avec des limons fins très compactés. La matière organique est nettement présente. De nombreuses particules opaques allongées sont en position subhorizontale ou verticale, accompagnées d'une quantité de suie. Des restes alguaires sont identifiables en grande quantité et de grande taille. Les lamines sont peu bioperturbées à la base mais davantage au sommet de la sous-unité avec la transition de HR2Ab.

Le sommet des lamines fines est très fissuré, davantage que sur le modèle de référence. De nombreuses fissures de dessiccation sont repérées tous les 5 millimètres en moyenne avec une profondeur atteignant toute la lamine limoneuse et généralement assez large (1 à 2 millimètres).

Cette sous-unité HR2Aa1 apparaît nettement rythmée avec des alternances de lamines fines et grossières, comme proposées par le modèle de référence.

Planche photographique n° 13 : lames minces de la sous-unité HR2Aa1

- *La sous-unité HR2Ab, post 2920+/-60 et ante 2840+/-45 B.P., soit post 1310 - ante 890 B.C. cal :*

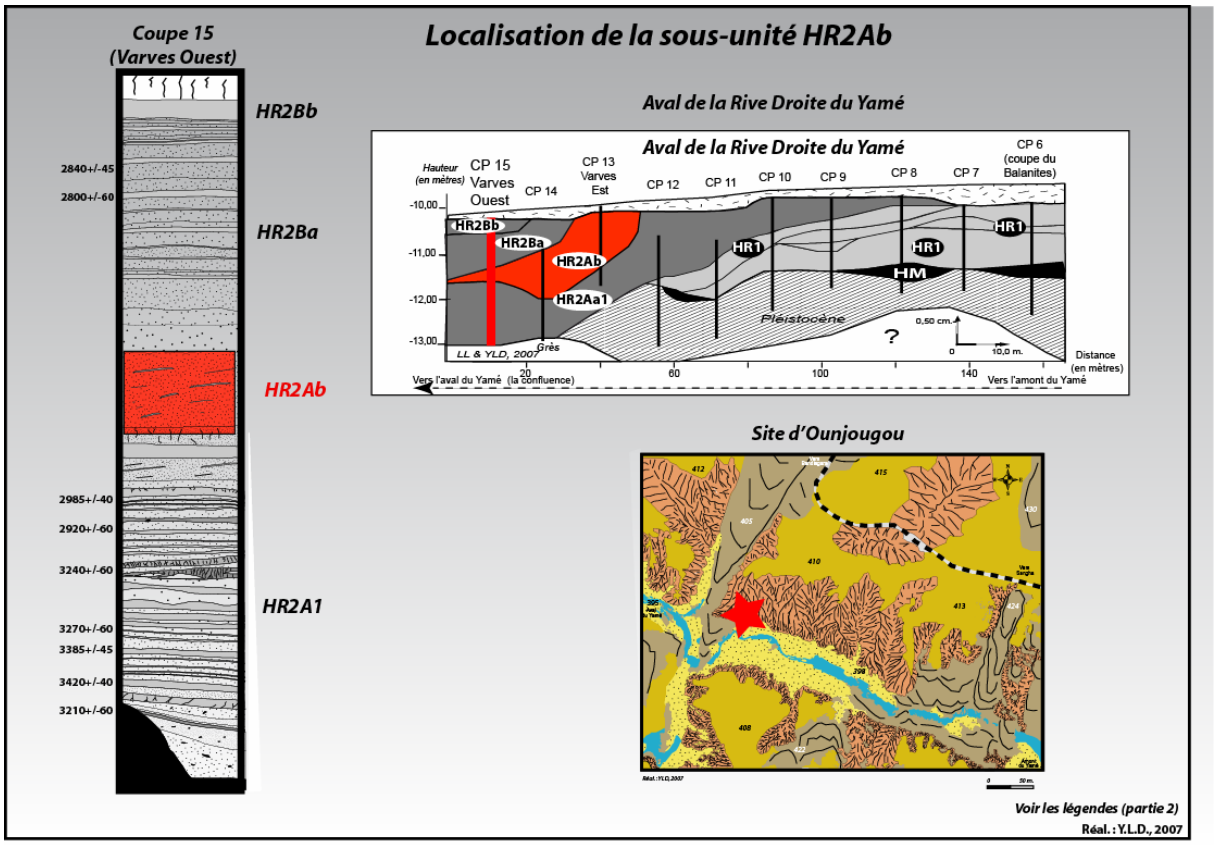


Figure n° 59 : localisation de la sous-unité HR2Ab

Cette nouvelle sous-unité de la deuxième séquence de l'Holocène récent correspond à **HR2Ab** et à cinq lames minces, dont une réalisée sur la coupe 15 de la Rive Droite (Varves Ouest : LM VW13, cf. figure n° 59 et la planche n° 14) et quatre sur la coupe 13 de la Rive Droite (Varves Est) (LM VE50-70 bas, LM VE50-70 haut et LM VE 90-110). Les lames minces ont été réalisées sur deux coupes différentes.

Les lamines plus sableuses sont de couleur brun clair de 1 à 3 centimètres d'épaisseur. Les grains de quartz apparaissent fins à grossiers, avec un granoclassement vertical positif. Les particules charbonneuses sont nombreuses, arrondies et allongées, de tailles diverses.

La transition entre les lamines grossières et fines est également très riche en restes foliaires avec de nombreuses particules charbonneuses allongées.

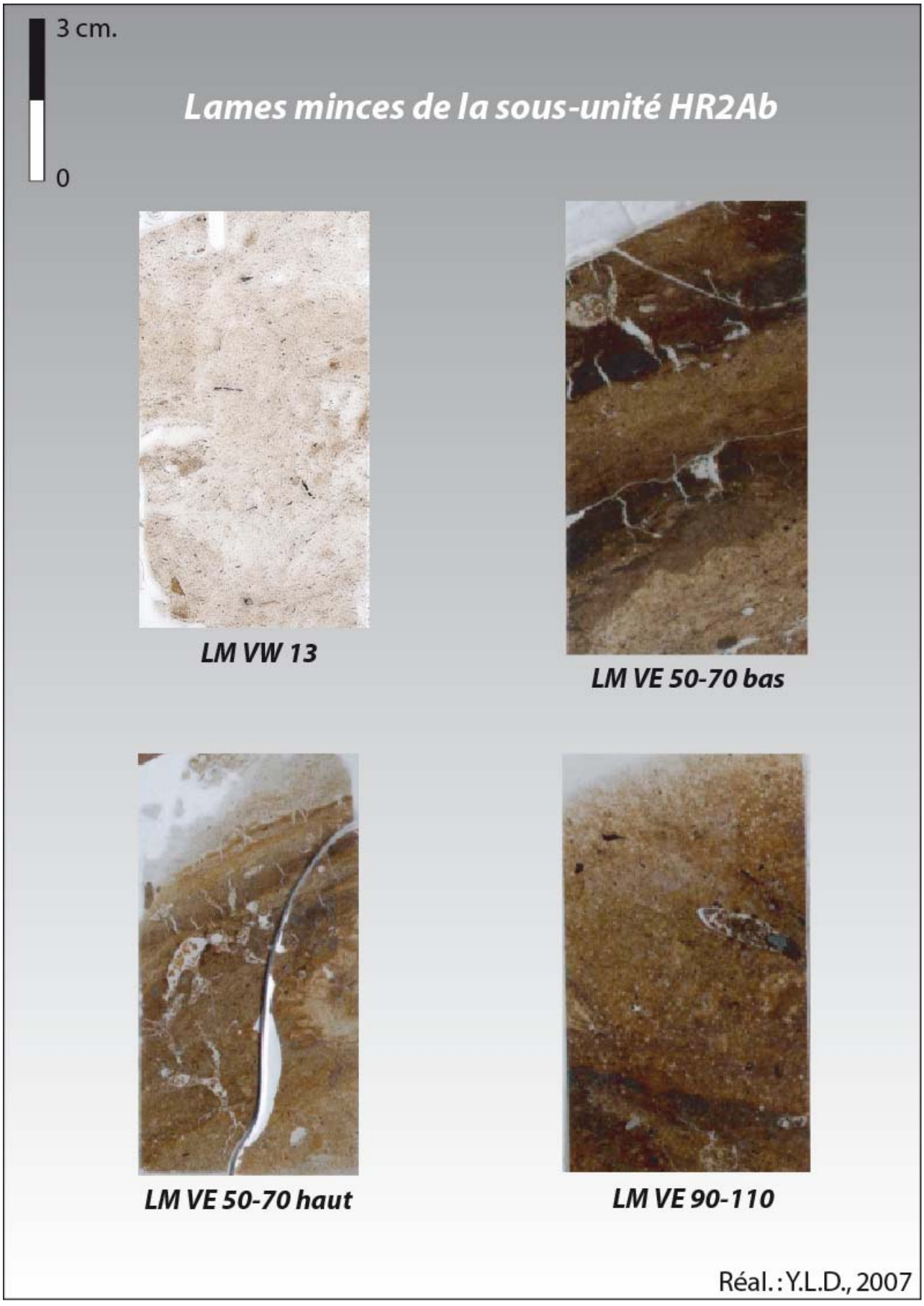


Planche photographique n° 14 : lames minces de la sous-unité HR2Ab

Les lamines plus limoneuses sont de couleur brun à noir, avec des épaisseurs comprises entre 1 et 4 centimètres. Les grains de sable observés sont de petite et moyenne tailles (diamètre compris entre 50 et 100 µm), avec un granoclassement vertical positif. La microstructure générale est très massive, avec des limons noirâtres fins très compactés. Les particules charbonneuses sont allongées en position principalement subhorizontale, avec beaucoup de suie. De nombreux restes alguaires sont observés et de taille assez grande. Les lamines sont assez bioperturbées à leur sommet.

Le sommet des lamines fines est très fissuré. Les fissures de dessiccation sont espacées de 5 millimètres en moyenne avec une profondeur dépassant quelque fois les lamines limoneuses, atteignant les lamines plus grossières et larges (1 à 5 millimètres). L'oxydation n'est pas visible sur toutes les parties sommitales des lamines, à cause de la bioperturbation, mais elle est parfois très épaisse.

Les sédiments apparaissent plus détritiques et compressés sur la coupe 15, tandis que quelques mètres en amont au niveau de la coupe 13, la sous-unité apparaît rythmée avec des alternances de lamines fines et grossières. Cette différence d'enregistrements sédimentaires peut s'expliquer par la localisation de la mare par rapport au chenal et aux rives des mares temporaires. Le système rythmé est ainsi toujours visible, mais l'oxydation et les fissures de dessiccation ont tendance à être moins marquées par comparaison à notre modèle de référence dans cette sous-unité HR2Ab, correspondant à la fin de l'unité HR2A.

4.2.2. L'unité HR2B, entre 2840 +/45 et ante 2510+/-30 B.P., soit 1130 - ante 520 B.C. cal. :

- *La sous-unité HR2Ba, entre 2840 +/45 et 2800+/-60 B.P., soit 1130 - 820 B.C. cal.*

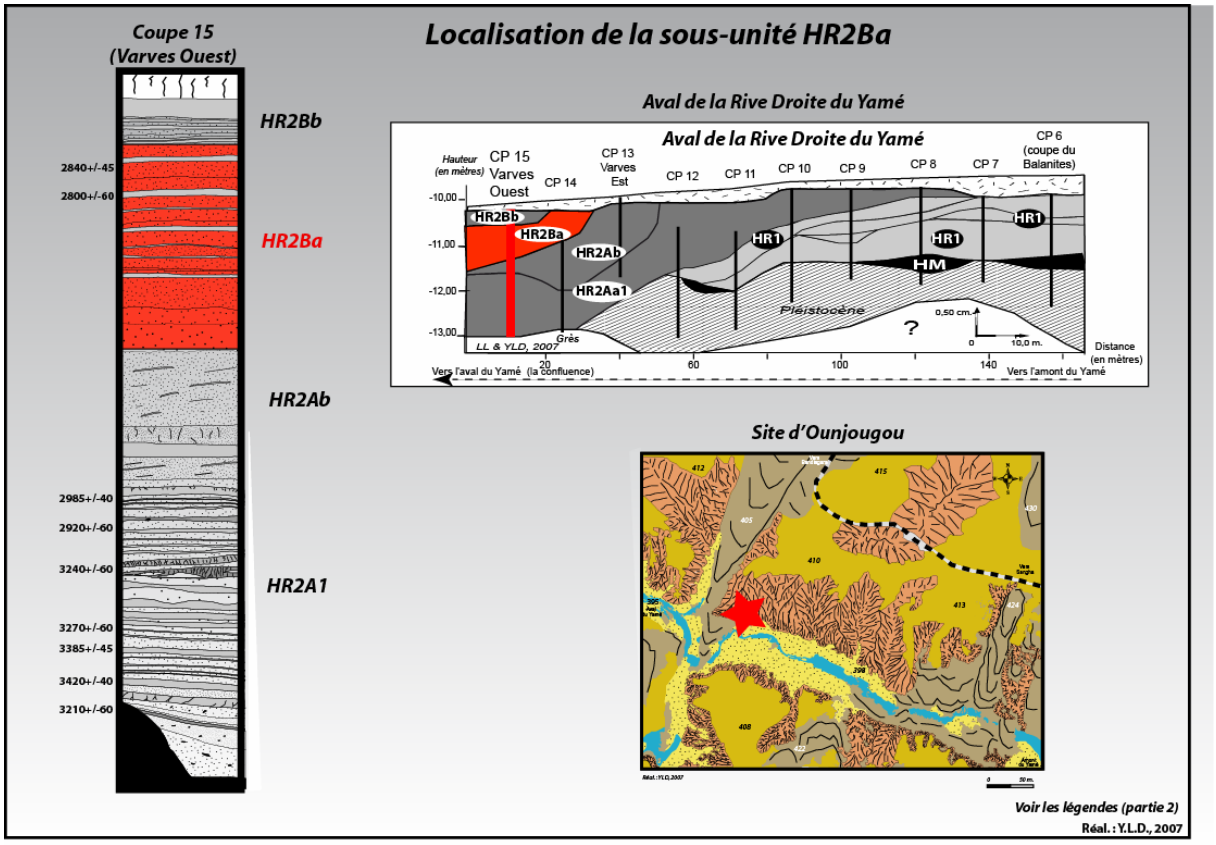


Figure n° 60 : localisation de la sous-unité HR2Ba

La sous-unité HR2Ba a été analysée à partir de sept lames minces (LM VW13 à LM VW19) réalisées sur la coupe 15 de la Rive Droite (Coupe des Varves Ouest ; cf. figure n° 60 et planche n° 15). La sous-unité apparaît très perturbée, avec toutefois de nombreuses traces d'anciennes lamines fines parmi les couches plus détritiques.

Les lamines plus sableuses ne sont pas nettes comme pour la séquence précédente, l'ensemble apparaît très perturbé. Les couleurs sont plus claires (de brun clair à blanches). Les épaisseurs varient entre 1 à 5 centimètres. Les grains de sables sont généralement plus grossiers (200 à 400 µm), avec un granoclassement vertical positif présent mais moins net que précédemment. Les particules charbonneuses sont très nombreuses, arrondies et allongées, de taille diverse.

La transition entre les lamines grossières et fines est moins visible, des traces foliaires apparaissent, mais en moins grande quantité, avec de nombreuses paillettes charbonneuses.

Les lamines plus fines sont grises à brun clair, elles ont des épaisseurs comprises entre 0,5 à 1 centimètre. Les grains de sable observés sont peu nombreux, de petite taille (diamètre moyen de 60 µm) et ont un granoclassement vertical positif. La microstructure générale est très massive, avec des limons gris-bruns fins très compactés. Les particules charbonneuses sont allongées en position principalement subhorizontale et verticale, avec beaucoup de suie. Les lamines sont très bioperturbées, avec de nombreux chenaux et nids de termites.

Le sommet des lamines fines apparaît peu fissuré et peu oxydé, à cause des parties sommitales très dégradées. Les fissures de dessiccation visibles et intactes sont espacées d'environ un centimètre avec peu de profondeur (0,5 millimètre).

La sous-unité apparaît moins bien rythmée que les précédentes ou que sur notre modèle de référence. L'oxydation et les fissures de dessiccation apparaissent plus rares également.

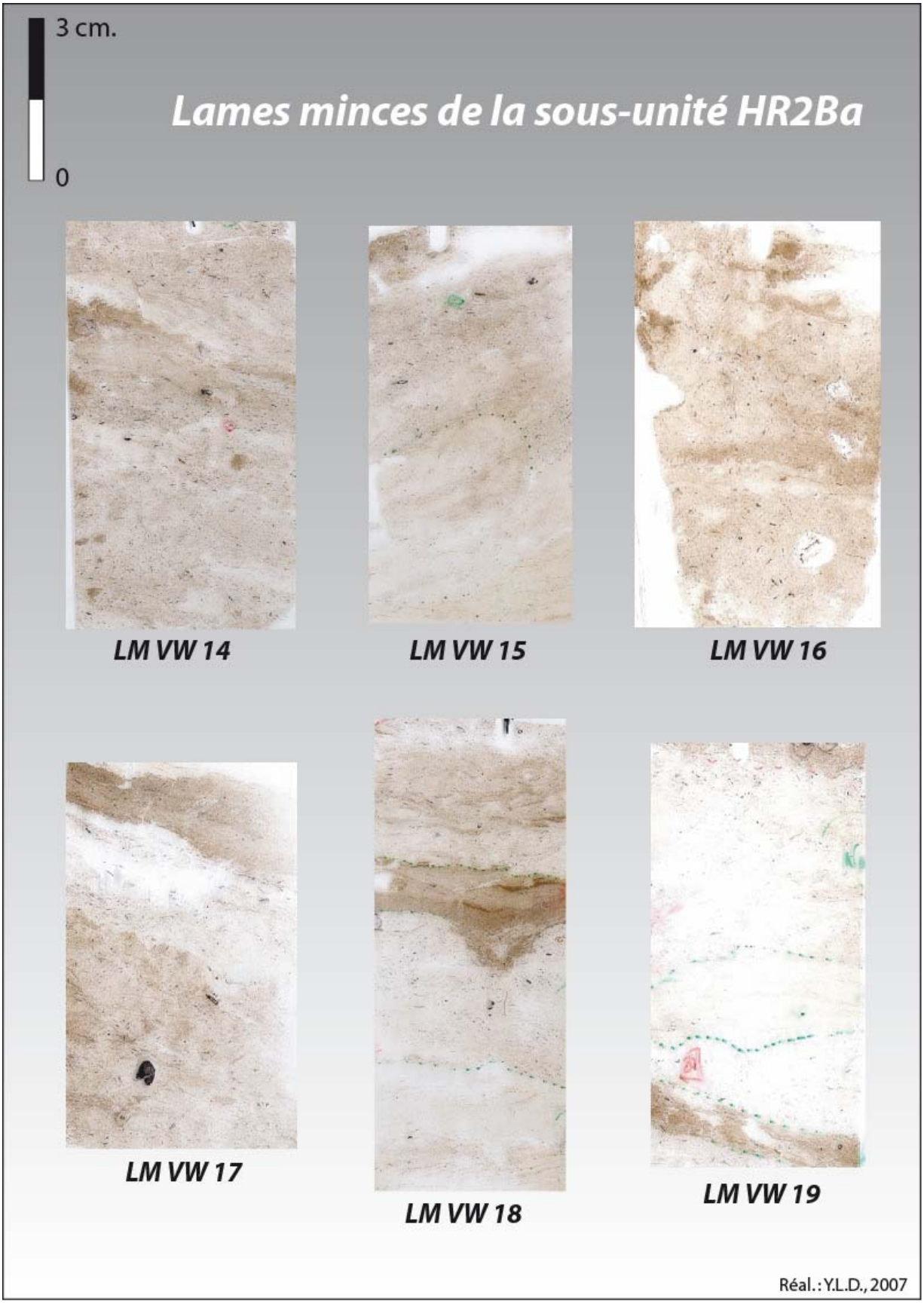


Planche photographique n° 15 : lames minces de la sous-unité HR2Ba

- *La sous-unité HR2Bb, post 2800+/-60 et ante 2510+/-30 B.P., soit post 1120 - ante 520 B.C. cal. :*

La sous-unité HR2Bb est la dernière unité chronostratigraphique de la Rive Droite, elle est postérieure à 2800+/-60 B.P. (soit 1120-820 B.C. cal.). Trois lames minces correspondent à cette unité, toutes réalisées sur la coupe des Varves Ouest (Coupe 15 de la Rive Droite) : LM VW20, LM VW 170-180 et LM VW180-190 (cf. figure n° 61 et planche n° 16).

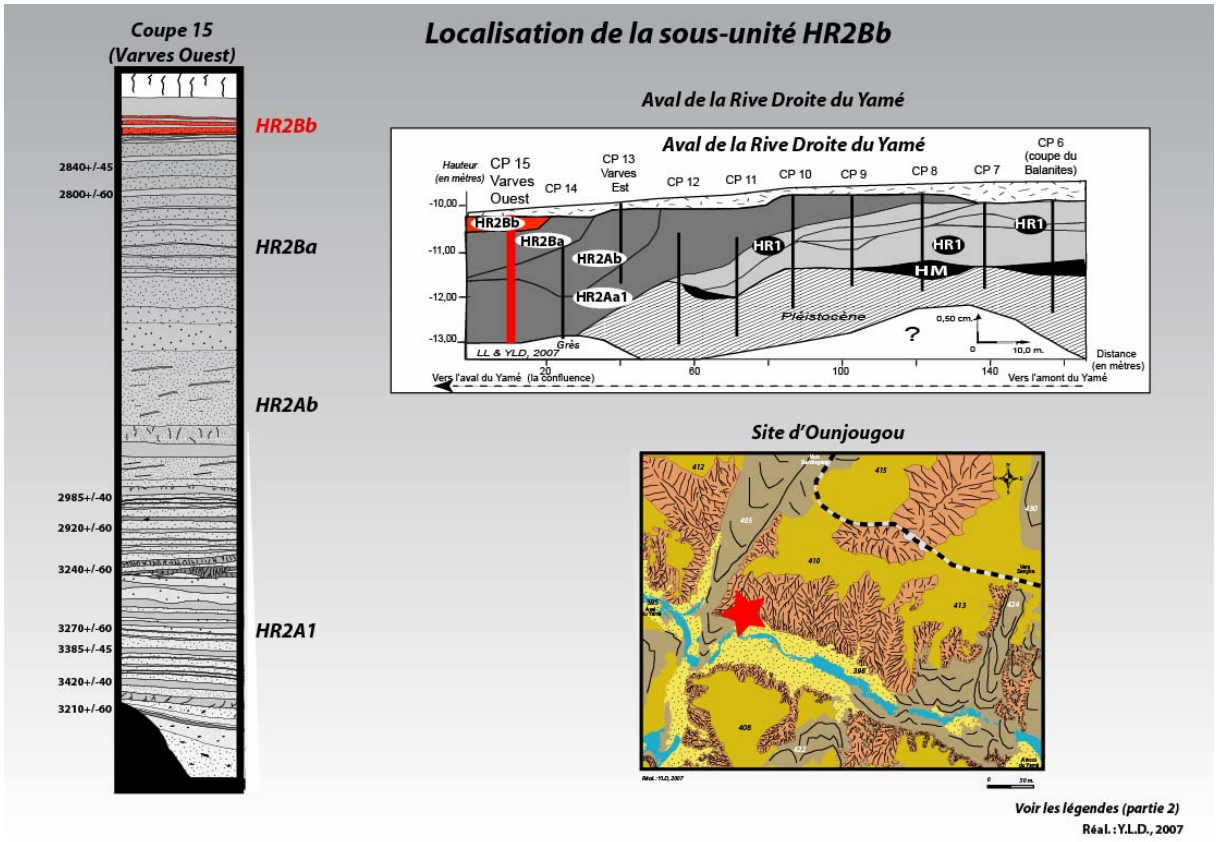


Figure n° 61 : localisation de la sous-unité HR2Bb

Les lamines grossières (sablo-limoneuses) sont blanches à ocre, avec des épaisseurs très différentes entre 0,5 à 5 centimètres. Les grains de quartz sont de taille moyenne (150 µm) avec un granoclassement vertical positif. Les particules charbonneuses sont présentes, de forme allongée et arrondie.

La transition entre les lamines grossières et fines est caractéristique avec quelques traces de feuilles mais moins par comparaison au modèle proposé et avec de nombreuses paillettes charbonneuses.

Les lamines plus fines sont de couleur brun noir, avec des épaisseurs comprises entre 0,5 et 1 centimètre. Des grains de sable sont présents, de petite taille (diamètre entre 50 et 100 µm) et ont un granoclassement vertical et positif. La microstructure générale est moins massive que dans la sous-unité précédente ou que sur le modèle de référence, avec des limons. Les particules charbonneuses sont nombreuses, allongées en position subhorizontale et verticale, avec beaucoup de suie. Les lamines sont un peu bioperturbées.

Le sommet des lamines fines n'est pas fissuré et peu oxydé.

Les analyses du sommet de la coupe 15 correspondant à l'unité HR2B et à la sous-unité HR2Bb indiquent une rythmicité toujours visible, mais moins bien enregistrée qu'à la base de la coupe avec l'unité HR2A. Nous observons également une diminution progressive (HR2Ba) et une absence complète de l'oxydation (HR2Bb) et des fissures de dessiccation au sein de cette unité HR2B.

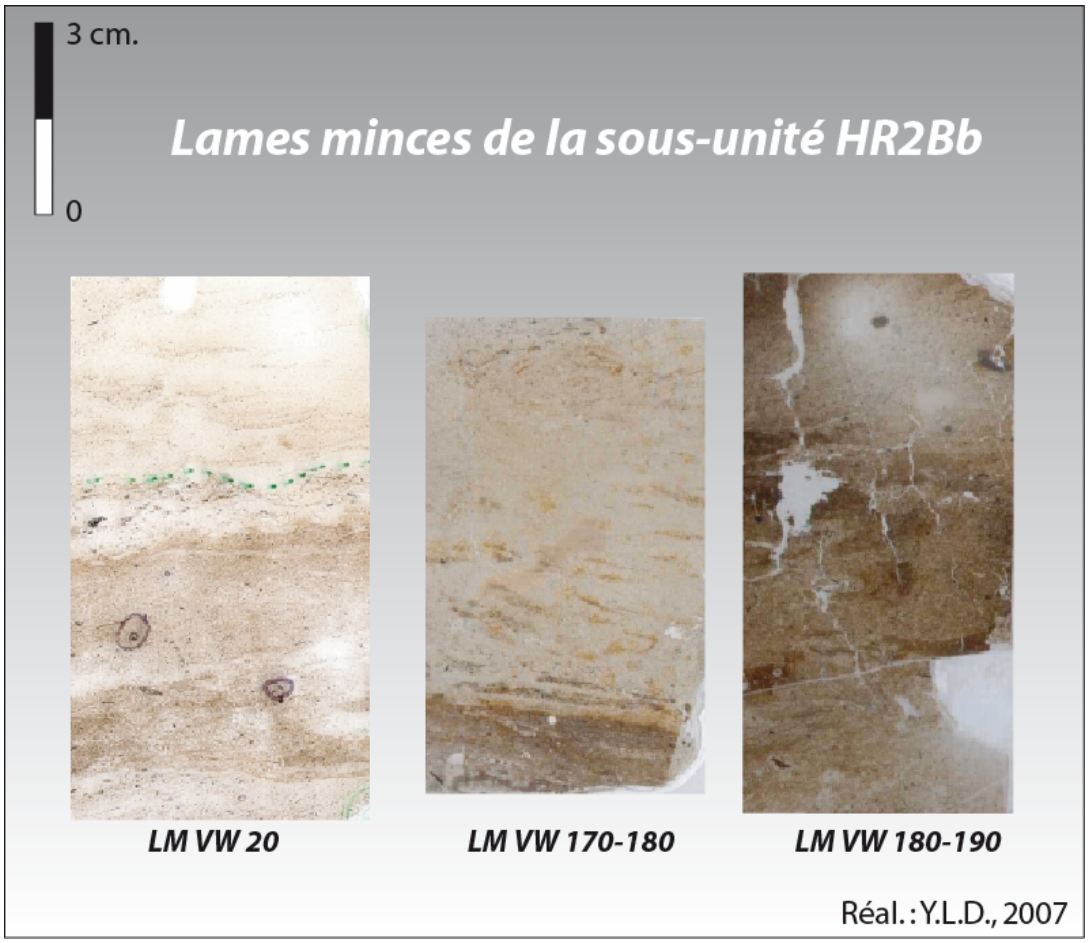


Planche photographique n° 16 : lames minces de la sous-unité HR2Bb

4.2.3. L'unité HR2C, entre 2510+/-30 et post 2400+/-50 B.P., soit 790 - post 390 cal. B.C.:

- *La sous-unité HR2Ca, entre 2510+/-30 et ante 2440+/-44 B.P., soit 790 - ante 400 B.C. cal . :*

La sous-unité HR2Ca est visible en amont de la Rive Gauche du Yamé, 6 lames minces ont été réalisées à partir de blocs de la coupe 13 (Coupe du Rônier) : LM CR47-60bas, LM CR47-60haut, LM CR55-70bas, LM CR55-70haut, LM CR75-100bas et LM CR75-100haut (cf. figure n° 62 et planche n° 17). La base de l'unité (avec un charbon daté de 2473+/-36 B.P., soit 770-410 B.C. cal.) apparaît très perturbée, avec beaucoup de chenaux, de nids de termites, d'excréments. Les sédiments sont donc assez brassés sur les 15 premiers centimètres, mais avec toutefois quelques lamines visibles. Le reste de l'unité est plus clair, avec toutefois des perturbations.

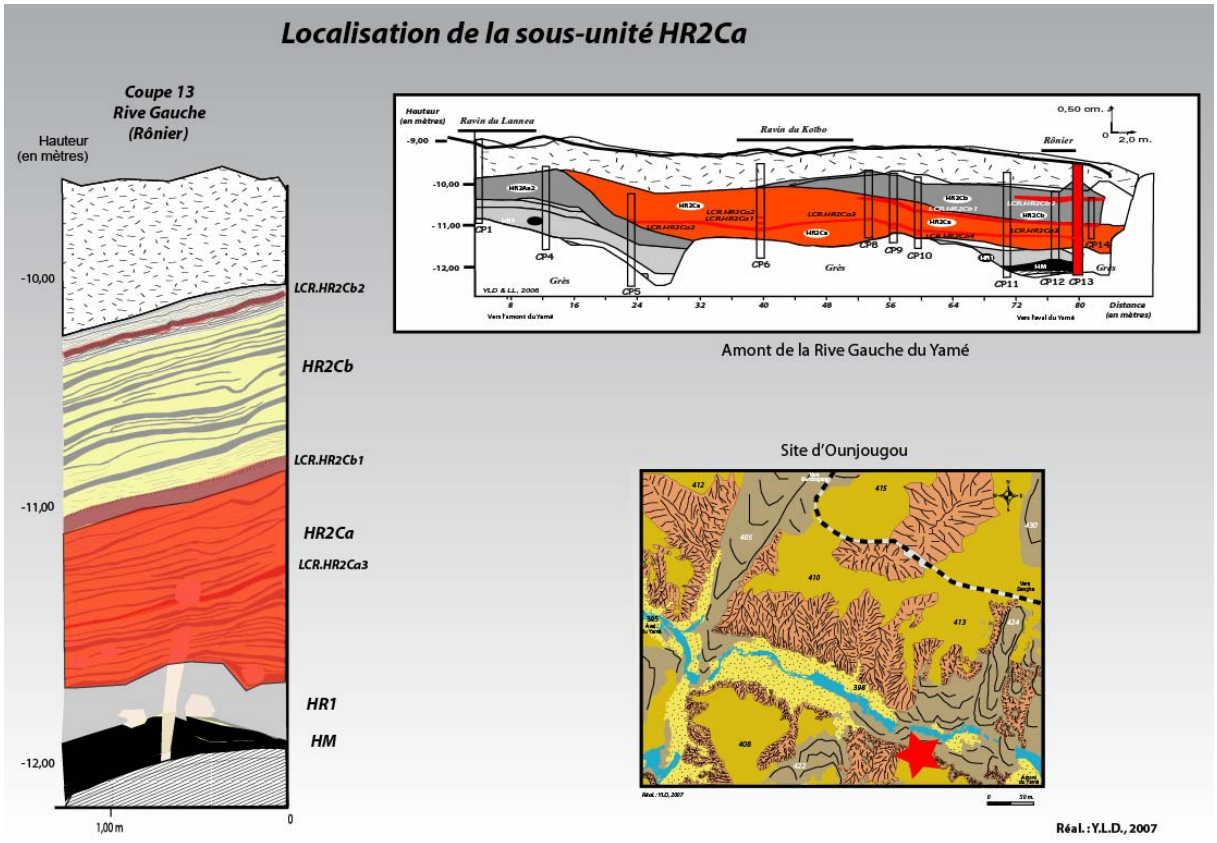


Figure n° 62 : Localisation de la sous-unité HR2Ca

Les lamines sablo-limoneuses sont blanches, avec des épaisseurs d'environ 1 centimètre. Les grains de sable sont assez grossiers (plus de 200-300 µm), très émoussés et ont un granoclassement positif vertical très net. Les particules charbonneuses sont peu nombreuses, très roulées et assez petites en général, avec toutefois quelques grosses particules (> 200 µm) avec des vacuoles très nettes.

La transition entre les lamines sablo-limoneuses et les lamines limono-sableuses correspond au modèle proposé avec de nombreuses feuilles (avec des vaisseaux foliaires), des tiges visibles, au sein d'une matière jaunâtre épaisse, correspondant à la décomposition de la matière organique. Les particules charbonneuses sont nombreuses.

Les lamines limono-sableuses ont des épaisseurs variant de 0,5 à 1 centimètre à la base de l'unité et de 1 à 2 centimètres au sommet. Elles sont de couleur marron clair à noire et très compactes. Les sédiments et particules charbonneuses ont un granoclassement positif vertical. Quelques particules opaques apparaissent assez massives et généralement allongées. Il est possible de constater dans les lamines plus épaisses quelques passées très fines, plus sableuses, traduisant un court événement pluvieux durant la saison sèche.

Les sommets des lamines fines dans cette sous-unité sont oxydés et fissurés. Les fissures sont absentes à la base mais peu à peu régulières vers le sommet (de 1 à 2 centimètres de séparation). Elles sont progressivement plus profondes également, avec 0,5 à 1 centimètre de longueur.

La base de l'unité HR2C, correspondant à la sous-unité HR2Ca a un système nettement rythmé, notamment dans sa partie sommitale comparable à notre modèle référentiel.

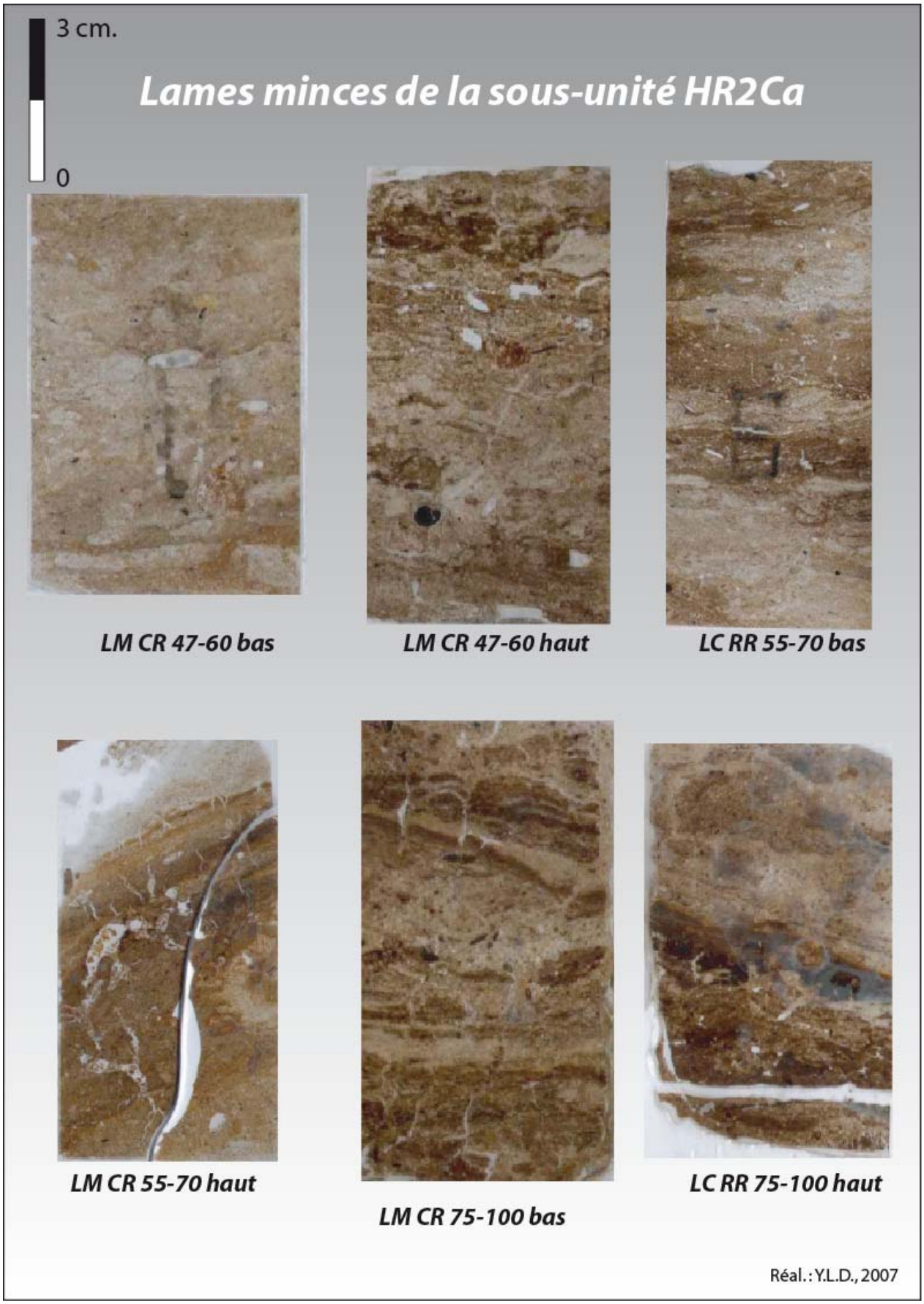


Planche Photographique n° 17 : Lames minces de la sous-unité HR2Ca

- *La sous-unité HR2Cb : 2440+/-44 et post 2400+/-50 B.P.(soit 670 - post 390 cal. B.C.) :*

La sous-unité HR2Cb a été analysée à partir de 6 lames minces issues de blocs de la coupe 13 (Coupe du Rônier) : LM CR105-130, LM CR106-127, LM CR124-143bas, LM CR 124-143haut, LM CR150-160bas et LM CR150-160haut. La base de cette sous-unité a été datée par un charbon à 2440+/-44 B.P., soit 670-400 B.C. cal (cf. figure n° 63 & planche 18).

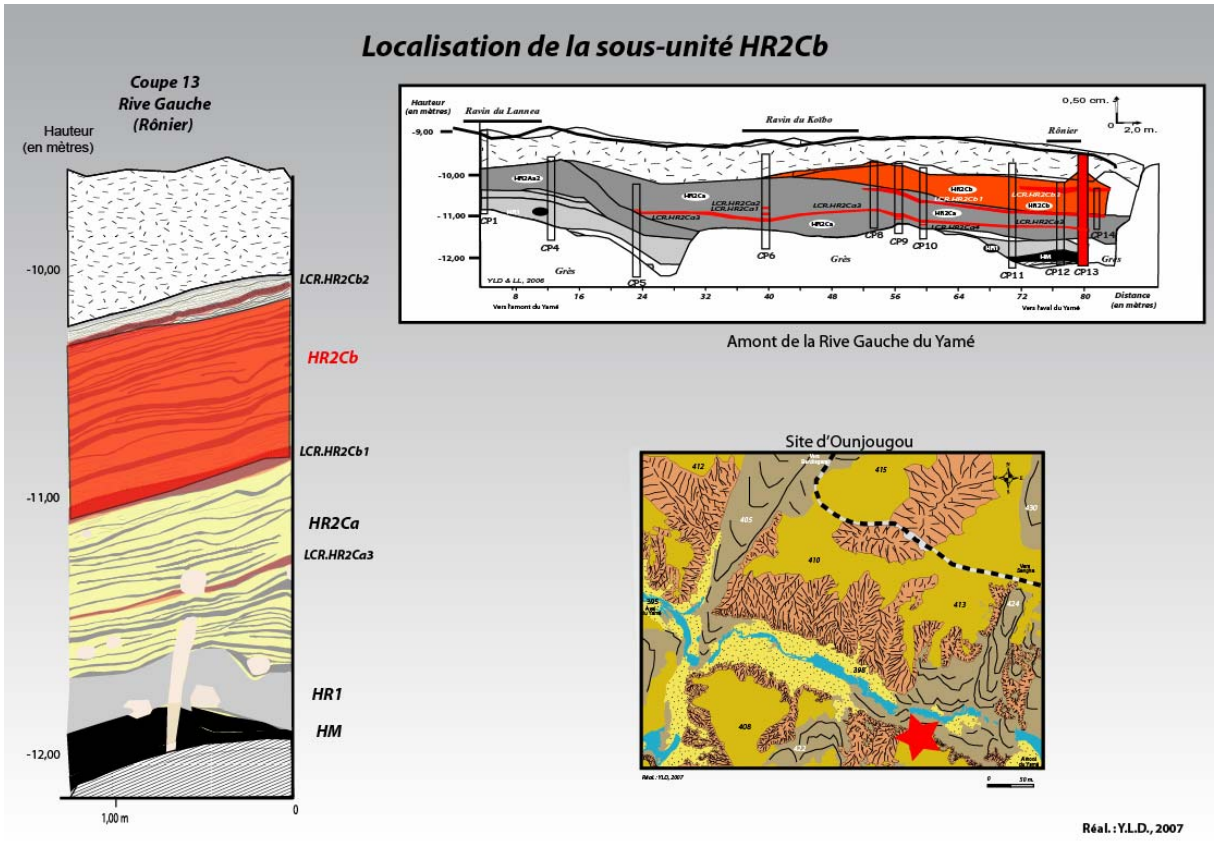


Figure n° 63 : Localisation de la sous-unité HR2Cb

Les lamines plus grossières sont au sein de cette sous-unité de couleur beige clair, avec des épaisseurs de 1,5 à 5 centimètres en général, sauf exception dans la partie sommitale où elles sont très fines (quelques millimètres). Les grains de quartz sont granoclassés verticalement et positivement et sont de tailles moyennes (100-150 µm). Les particules opaques sont assez grosses (>200 µm), arrondies avec quelquefois des vacuoles très nettes. Certaines lamines sont très brassées à cause de la bioperturbation (de nombreux *bow like*, chenaux ou nids sont visibles).

La transition entre les lamines grossières et fines est caractéristique du modèle référentiel, avec de nombreuses feuilles, tiges, restes de graminées, d'algues et de végétaux. Les particules opaques sont nombreuses et de taille diverse.

Les lamines plus fines sont de couleur brun noir avec des épaisseurs moyennes de 3 centimètres. Elles s'affinent au sommet, jusqu'à devenir de moins en moins visibles. Elles sont compactes, riches en matière organique, avec de nombreux restes alguaires et de particules charbonneuses. De nombreux *bow like* sont visibles.

Le sommet des lamines limoneuses est nettement oxydé avec de nombreuses fissures de dessiccation. Les fissures sont espacées de 0,5 à 1 centimètre avec des longueurs proches du centimètre. Les particules opaques sont nombreuses et allongées. Les particules alguaires sont nombreuses. Les sommets des lamines sont souvent perturbés et complètement brassés par la micro-faune.

Le sommet de l'unité HR2C, correspondant à la sous-unité HR2Cb enregistre également un système rythmé, avec des lamines fines grises qui ont tendance dans la partie sommitale à s'amincir. Dans l'ensemble cette sous-unité se calque parfaitement à notre modèle référentiel saisonnier.

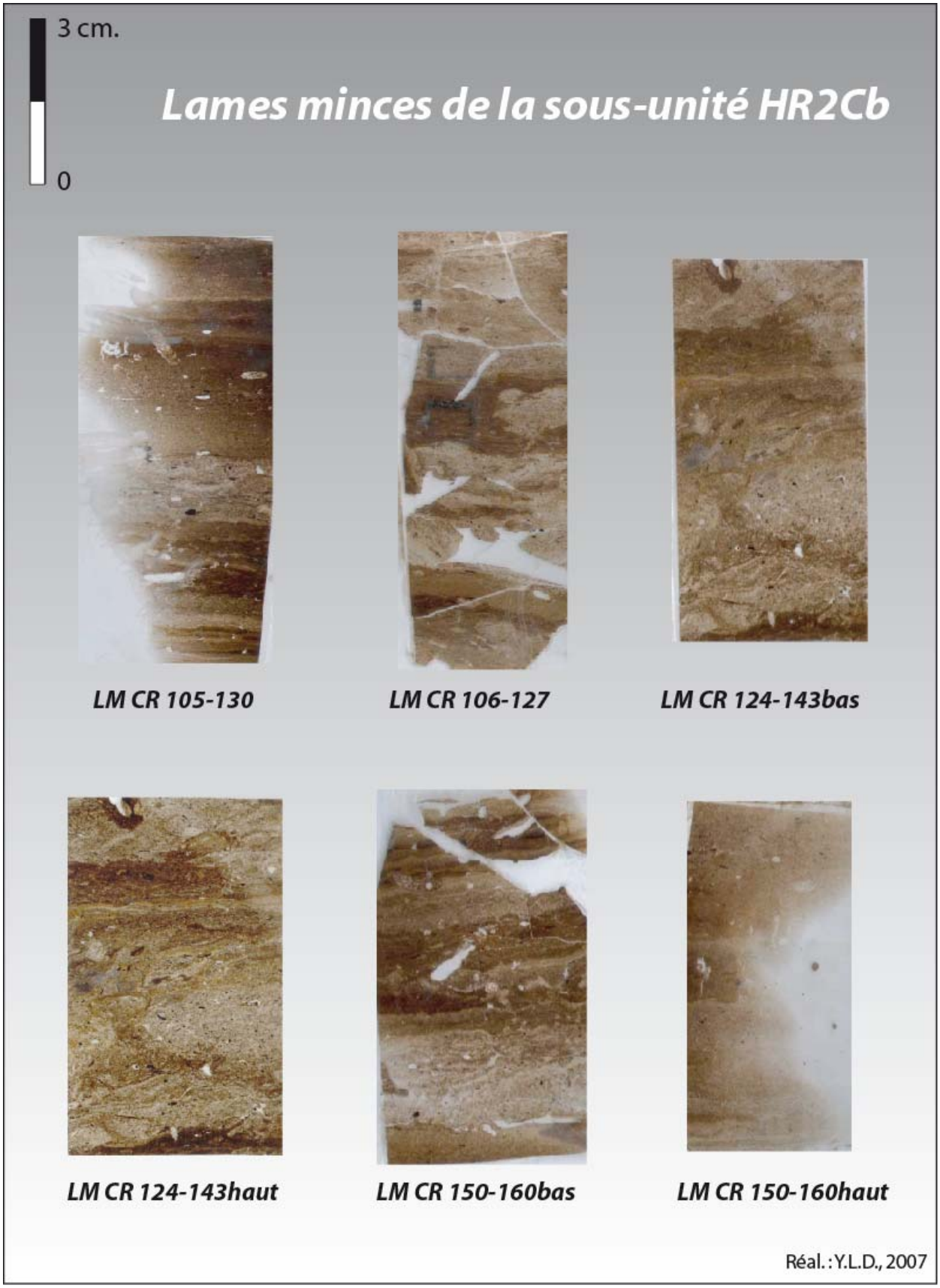


Planche photographique n° 18 : Lames minces de la sous-unité HR2Cb

4.2.4. Synthèse des données micromorphologiques des deux millénaires précédant notre ère : "vers une saisonnalité marquée"

Les sédiments de la deuxième séquence de l'Holocène récent témoignent d'une nouvelle métamorphose de la vallée du Yamé à l'Holocène (cf. figure n° 64 & 65). Les sédiments moins grossiers traduisent une sédimentation à plus faible énergie des chenaux avec la prépondérance d'écoulements plus lents dans une plaine alluviale, caractérisée par un environnement palustre avec une mare résiduelle. Cette évolution est à l'origine de la conservation d'une sédimentation rythmée dont l'interprétation est clairement saisonnière (Le Drézen & Lespez, 2007 ; Le Drézen & al., soumis).

Ces rythmes saisonniers sont nettement plus marqués au cours de cette partie de l'Holocène récent avec une saison humide, caractérisée par des écoulements compétents et une saison sèche entraînant le rétrécissement du chenal, l'assèchement de ses marges et une disparition des mares temporaires (avec la formation d'un sol réticulé).

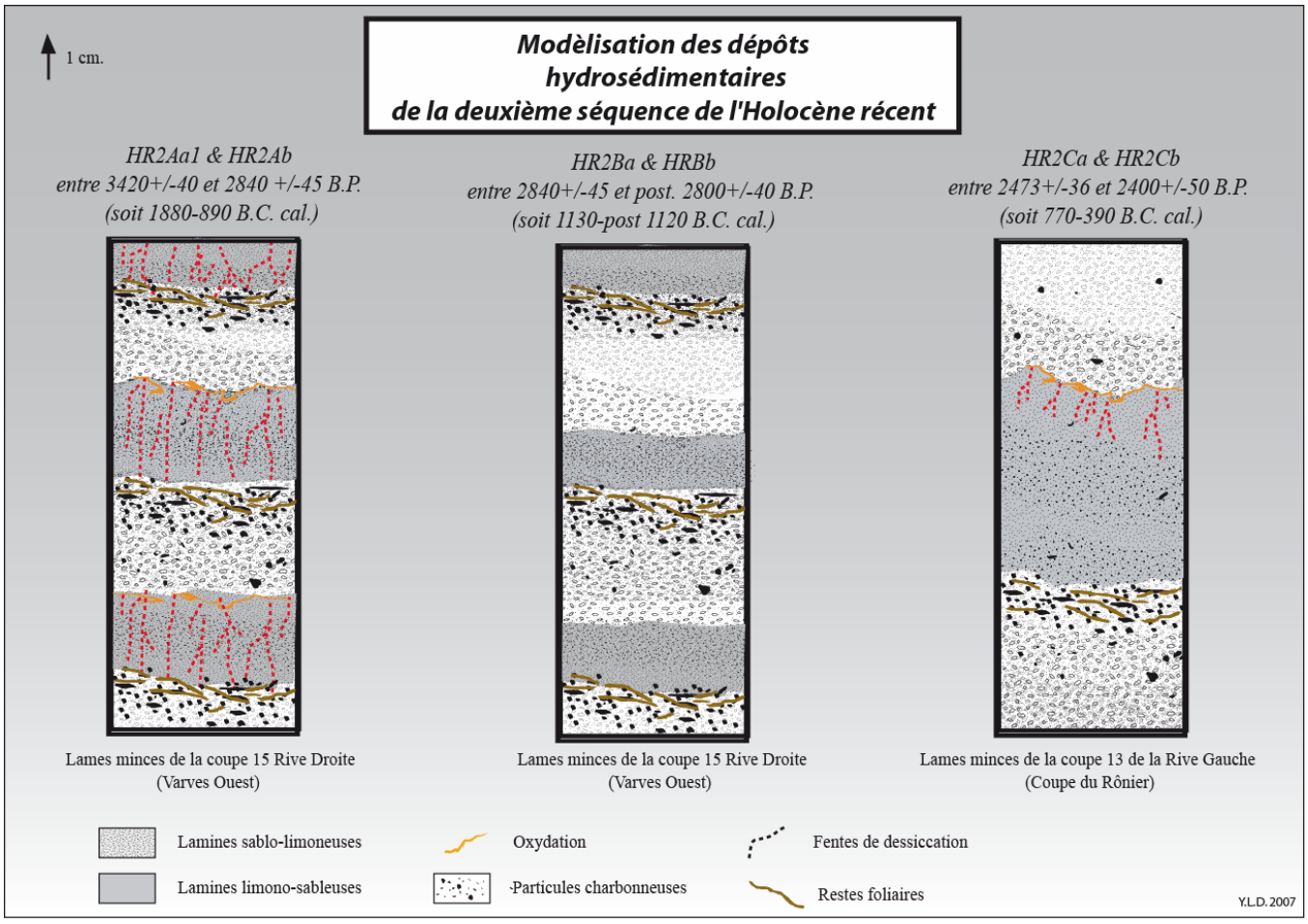


Figure n° 64 : Modélisation des dépôts hydrosédimentaires de la vallée du Yamé durant HR2

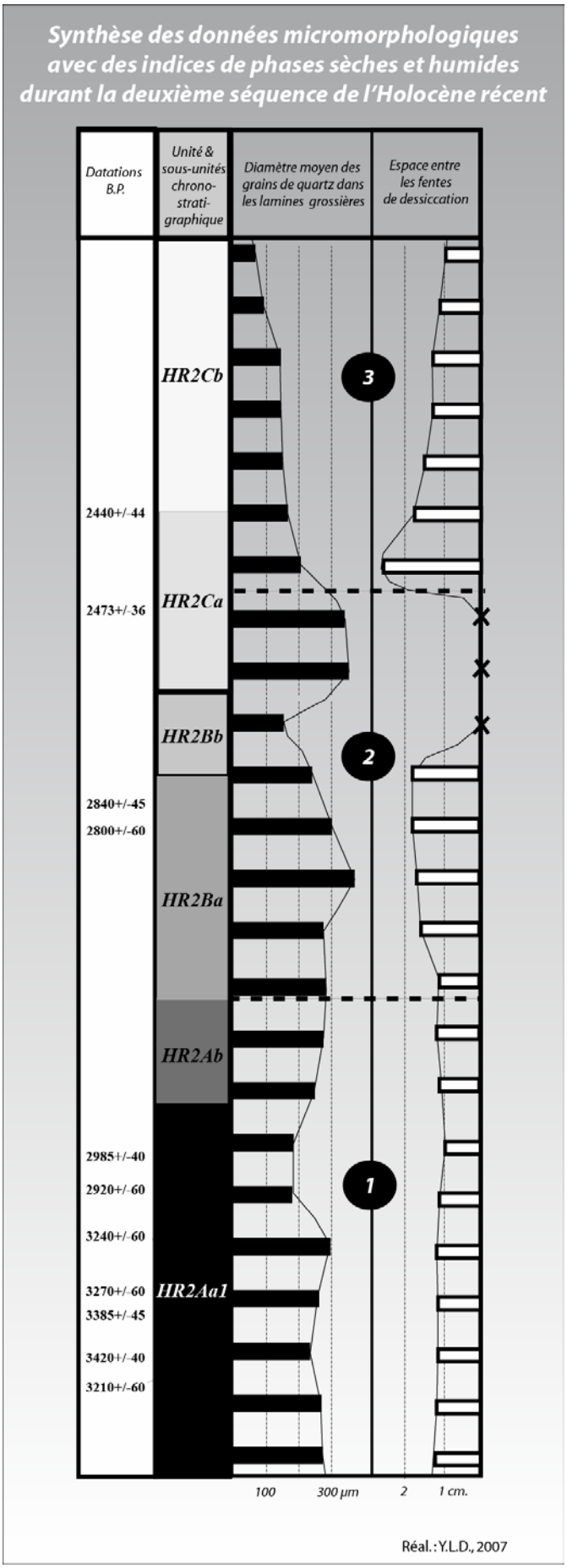


Figure n° 65 : Synthèse des données micromorphologiques avec des indices de phases sèches et humides durant HR2 dans la vallée du Yamé

Dans le détail, les données micromorphologiques nous permettent de définir trois phases dans la deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2), visibles sur la figure n° 65 :

- une première au début de la séquence correspondant à l'unité stratigraphique HR2A, entre 3210 et 2900 B.P. ;
- une deuxième correspondant principalement à l'unité chronostratigraphique HR2B et à la base de HR2C, approximativement entre 2900 et 2500 B.P. ;
- et une troisième qui correspondrait à la majeure partie de l'unité HRC (sommet de HR2Ca et HRCb), pour les formations sédimentaires postérieures à 2500 B.P.

La sédimentation atteste d'une augmentation de la durée et/ou de l'intensité de la saison sèche. En effet le début de l'Holocène récent 2 est touché par une phase de plus en plus sèche entre 3420+/-40 et 2840+/-45 B.P. (soit entre 1880 et 890 B.C. cal., correspondant à l'unité HR2A, et aux sous-unité HR2Aa1 et HR2Ab), où les fissures de dessiccation sont de plus en plus nombreuses et de plus en plus longues, comme l'indique la figure n° 64 & 65.

Une phase beaucoup moins sèche semble s'être développée entre 2840+/-45 B.P. et jusque vers 2500 B.P. (soit entre 1130 et 800 cal B.C.), correspondant à l'unité HR2B (sous-unités HR2Ba et HR2Bb) et à la base de l'unité HR2C (base de la sous-unité HR2Ca). Les diamètres des grains moyens de quartz dans les lamines grossières sont compris entre 200 et 300 µm (cf. figure n° 65). Les fissures de dessiccation s'écartent progressivement et disparaissent comme l'illustre cette figure n° 63. L'oxydation est quant à elle très réduite ou absente (figure n° 64). Le diamètre moyen des grains de quartz dans les lamines grossières (cf. figure n° 65) est compris entre 300 et 400 µm, indiquant une compétence hydrologique plus importante que lors de la première phase (1).

Entre 2473+/-36 et 2400+/-40 B.P. (soit 770-390 cal B.C.), une phase à nouveau plus sèche correspond à l'unité HR2C et au sommet de la sous-unité HR2Ca et à la sous-unité HR2Cb. La durée et l'intensité de la saison sèche se renforcent progressivement, avec des lamines fines de plus en plus épaisses, une oxydation très nette et des fissures qui se multiplient et s'élargissent de plus en plus (cf. figures n° 64 & 65). Dans le même temps en saison des pluies le diamètre des grains moyens de quartz dans les lamines grossières diminue progressivement entre 300 et 70 µm, indiquant une compétence hydrologique de plus en plus réduite. Les fissures de dessiccation sont également de plus en plus resserrées, passant de 2 à 0,5 centimètres. (cf. figure n° 65).

L'étude des lames minces de cette séquence montre clairement une phase plus sèche influant sur le mode de dépôts et la formation fluvio-palustre de la vallée du Yamé. Ces formations alluviales sont commandées au cours de l'Holocène récent par différents types de facteurs internes et externes (Le Drézen & Lespez, 2007 ; Le Drézen & al., soumis).

4.3. Quels sont les enregistrements saisonniers ces deux derniers millénaires ?

La dernière période de l'Holocène débute par une longue phase (de 2400+/-50 à 1645+/-40 B.P., soit 760 B.C. cal. à 320 A.D. cal.) sans sédimentation notable. Seules les sédiments pédogénéisés au sommet des séquences de l'Holocène récent présentés précédemment apportent des informations sur les débuts de l'Holocène terminal.

4.3.1. Les sédiments pédogénéisés postérieurs à la deuxième séquence de l'Holocène récent (non datés) :

Les observations micromorphologiques ont été menées au sommet des unités de la deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2) dans les **sédiments pédogénéisés**, sur la coupe 6 de la Rive Gauche du Yamé, à plus de 3 mètres de hauteur (3,4 mètres) de la base (avec la lame mince LM RG CP6 3,4m., cf. planche n° 19). L'observation en lames minces permet de voir la présence constante de lamines limoneuses et sableuses, mais elles sont moins nettes que dans le modèle référentiel. Le milieu est en général très perturbé, brassé par les termites avec de nombreux *bow likes*, chenaux ou nids.

Dans les sédiments plus grossiers (de 0,5 à 1,5 centimètres d'épaisseur en moyenne), les grains de sable sont fins à moyens (avec un granoclassement vertical et positif) avec des particules charbonneuses moins nombreuses et assez allongées.

La transition entre les lamines grossières et fines est difficilement identifiable. Les restes foliaires sont absents.

Les sédiments plus limoneux ont des épaisseurs de 0,5 centimètre en moyenne. Les limons sont assez compacts et les particules carbonisées sont également allongées et de petites taille. De nombreux restes alguaires sont visibles.

Le sommet des lamines fines n'est ni oxydé, ni fissuré.

S. Coutard (1999) a constaté les mêmes résultats dans l'observation des dépôts gléyifiés au dessus des dépôts rythmés de la couche 15 en Rive Gauche (Varves Ouest).

La couleur générale gris-jaune traduit un engorgement en milieu réducteur, correspondant à une pédogénéisation. Les caractères relatifs au développement de conditions hydromorphes sont visibles dans la microstructure de sols (vides, cavités) saturés en eau, par la redistribution de sesquioxydes dans la matrice du sol (imprégnations de fer dans la masse basale, sous forme de nodules et concrétions, avec des boulettes fécales de termites recouvertes d'une pellicule ferrugineuse). Les cavités fermées et les vésicules indiquent une saturation en eau des sols entraînant un effondrement de la porosité et des structures pré-existantes. L'appauvrissement des oxy-hydroxydes de fer se manifeste en lame mince par un blanchiment de la masse, visible également sur le terrain, entraînant une prise en masse du sédiment (compaction). Cela s'explique sans doute par une circulation importante d'eau, au moins saisonnièrement, favorisant le développement de la pédogénéisation.

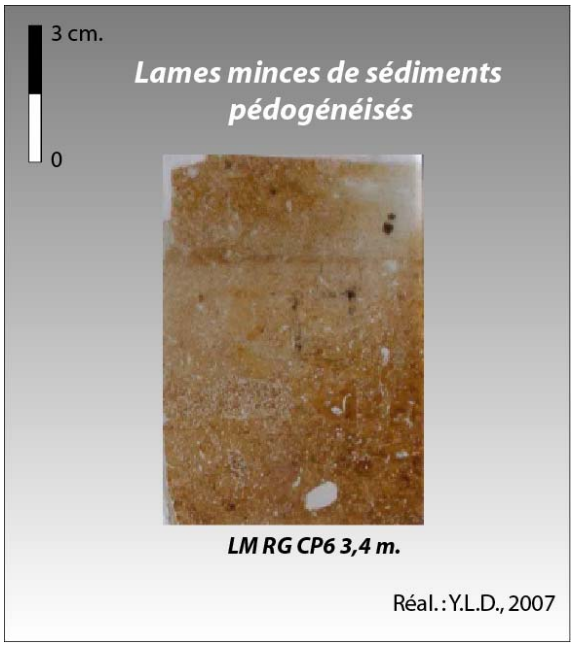


Planche photographique n° 19 : Lame mince de sédiments pédogénéisés

4.3.2. *L'unité HT4, entre 935+/-33 et 870+/-30 B.P., soit 1020-1260 A.D. cal. :*

L'unité **HT4** est visible dans la coupe du chenal du *Detarium* (en Rive Gauche, à l'aval ; cf. figure n° 66 et planche n° 20). Les sédiments de ce chenal ont été déposés entre 932+/-45 et 870+/-30 B.P., soit 1020-1260 A.D. cal.). Six lames minces ont été analysées en micromorphologie : LM-CD-bas1, LM CD-bas2, LM CD-mil1, LM CD-mil2, LM CD-haut1 et LM CD haut2. Cette unité alterne comme au cours de la deuxième séquence de l'Holocène récent, des lamines sableuses et limoneuses. Les passées sableuses sont assez remaniées et brassées par la micro-faune. Toutes les particules charbonneuses observées ont une taille assez grande (> 100 µm) au sein des différentes lamines.

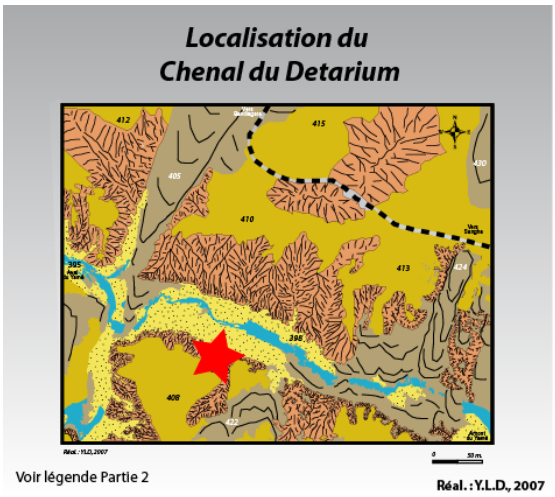


Figure n° 66: Localisation du Chenal du Detarium

Les lamines plus sableuses sont fines (< 1 centimètre d'épaisseur), avec du sable assez grossier de couleur blanchâtre. Les grains de quartz ont un granoclassement positif vertical. Les lamines sont très riches en grosses particules opaques, arrondies et allongées. Elles sont très perturbées, avec des chenaux bien visibles et des *bow like*.

La transition entre les lamines grossières et fines contient de nombreux restes foliaires. Il est possible de repérer une décomposition et de la matière organique caractérisée par une imprégnation jaunâtre de la matière basale.

Les lamines plus fines ont des épaisseurs de 0,5 centimètre en moyenne et sont de couleur brun foncé. Elles sont très compactes, avec de nombreuses particules charbonneuses allongées et de taille assez grande (>150 µm). Quelques particules alguaires sont visibles.

Le sommet de lamines compactes comporte des liserés d'oxydation mais aucune fissure de dessiccation.

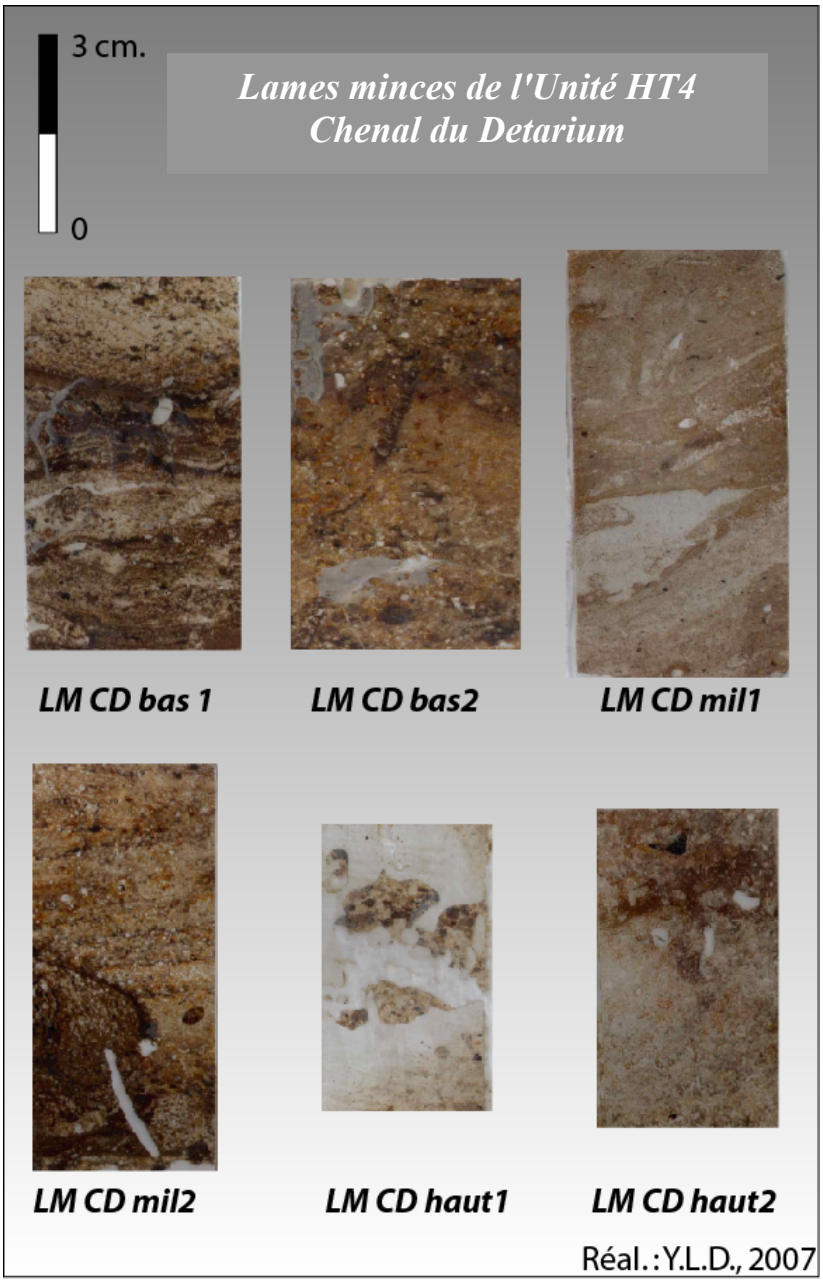


Planche Photographique n° 20: Lames minces de l'Unité HT4 (Chenal du Detarium)

L'unité **HT4** correspond également aux dépôts du site des Unio. Trois lames minces ont été étudiées pour cette unité (LM Unio 15-40a, LM Unio 15-40b et la LM Unio 55-70a ; cf. figure n° 67 et planche n° 21). Ces formations très finement rythmées ont été déposées vers 935+/-33 B.P. (soit 1020-1180 A.D. cal.)

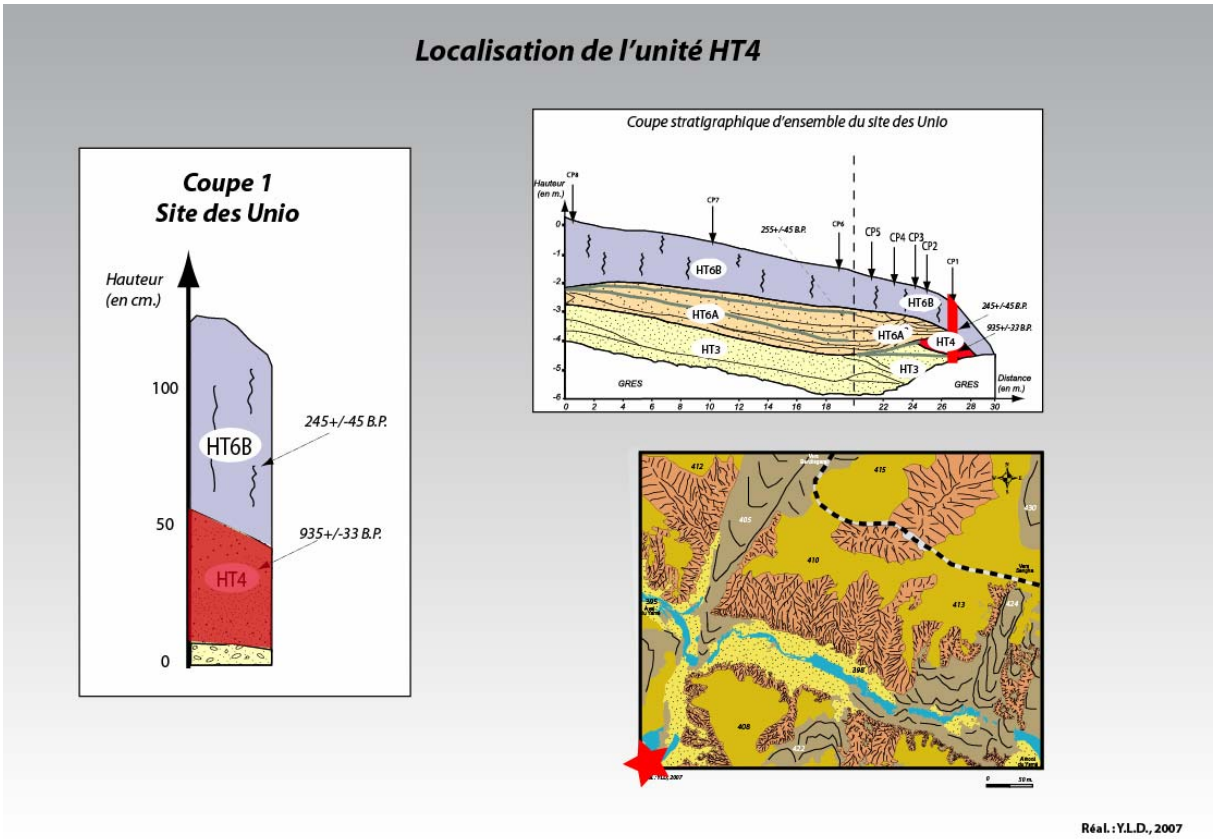


Figure n° 67: Localisation de l'Unité HT4 (Unio)

Les lamines plus sableuses sont très fines (0,5 centimètre d'épaisseur en moyenne), avec du sable moyen à grossier de couleur jaune. Les grains ont un granoclassement positif vertical. Les lamines sont riches en particules opaques, arrondies et grosses. Elles sont assez perturbées, avec des chenaux bien visibles et des *bow like*.

La transition entre les lamines grossières et fines contient quelques restes alguaires et foliaires, mais en moindre quantité par comparaison au modèle.

Les lamines plus fines ont également des épaisseurs de 0,5 centimètre en moyenne et sont de couleur marron-noir. Elles sont très compactes, avec de nombreuses particules charbonneuses allongées et de taille assez grande (>150 µm).

Le sommet de lamines compactes a de rares liserés d'oxydation et les fissures de dessiccation sont très rares.

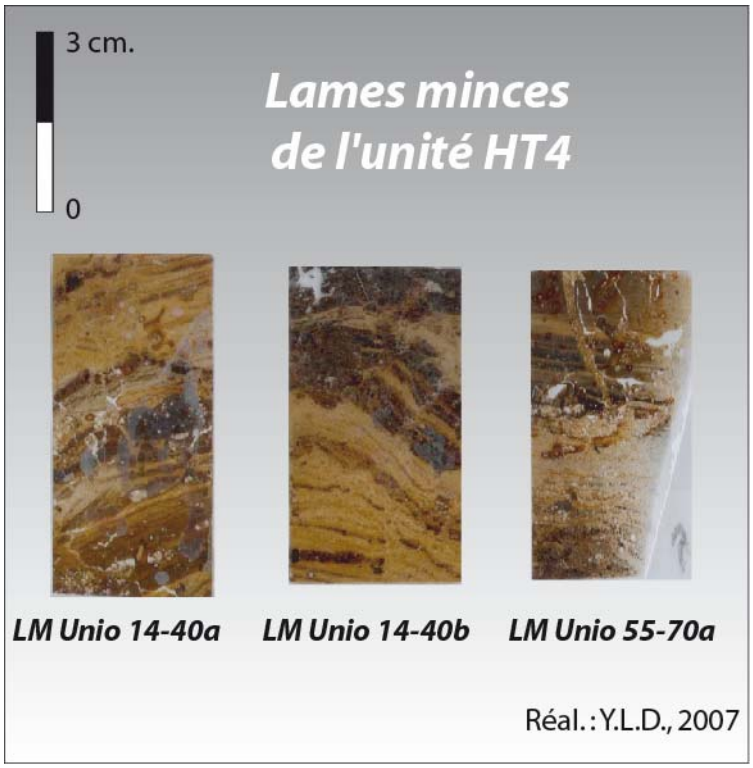


Planche Photographique n° 21 : Lames minces de l'Unité HT4 (Unio)

4.3.3. L'unité HT6, entre 255+/-45 et 155+/-30 B.P., soit 1480-1936 A.D. cal. :

La sous-unité **HT6B** correspond aux dépôts les plus récents du site des Unio (cf. figure n° 68), limoneux très denses datés de 255+/-45 B.P., soit 1480-1690 A.D. cal., étudiés par la lame mince : LM Unio45-70haut (cf. planche n° 22). Dans cette unité sommitale des Unio, la disparition progressive des alternances de lamines limoneuses et sableuses est repérée au profit de limons très denses et riches en restes alguaires, coquillages et particules charbonneuses nombreuses (de forme allongée). Cette sous-unité est très perturbée avec de nombreux *bow like*, chenaux, nids de termites. Les observations micromorphologiques ont montré une certaine décomposition de la matière organique caractérisée par une imprégnation jaunâtre de la matière basale.

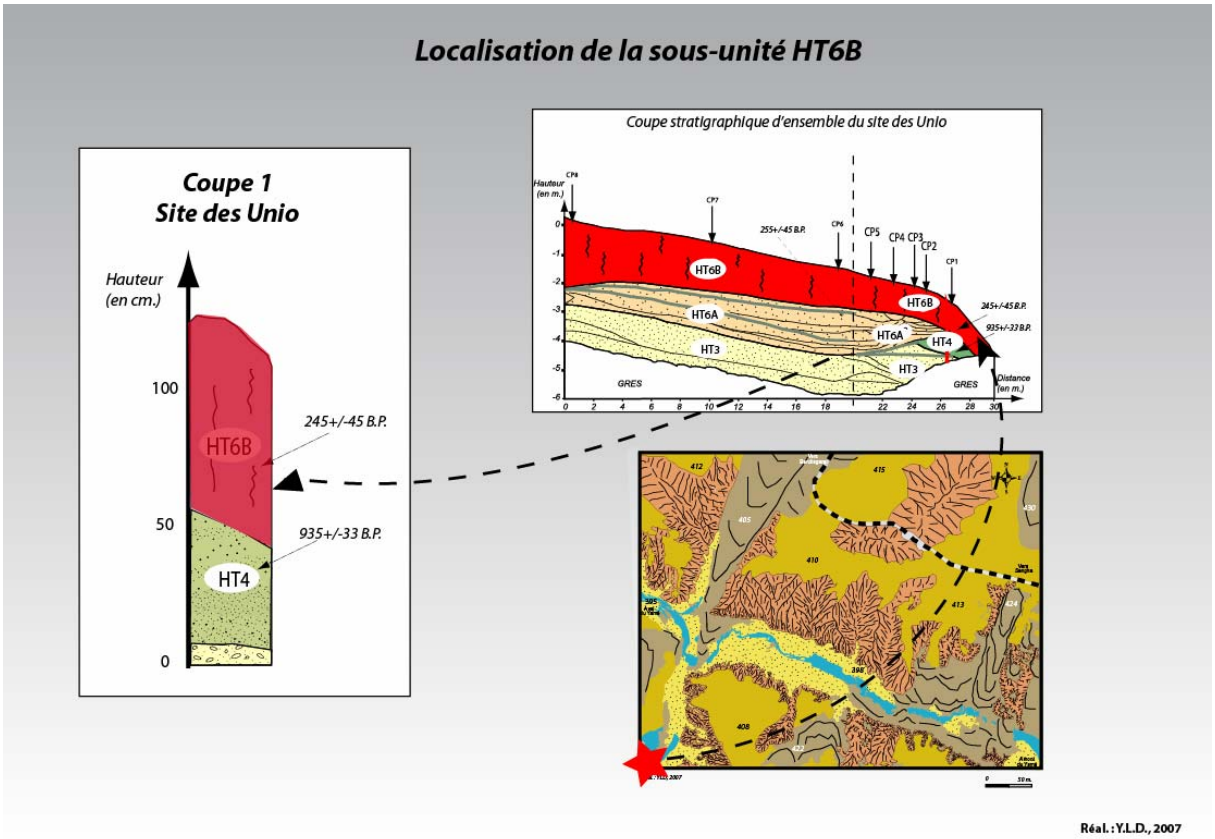


Figure n° 68 : Localisation de la sous-unité HT6B

La couleur générale gris clair traduit un engorgement en milieu réducteur, correspondant à des dépôts marécageux. Les caractères relatifs au développement de conditions hydromorphes sont visibles dans la microstructure de sols (vides, cavités) saturés en eau.

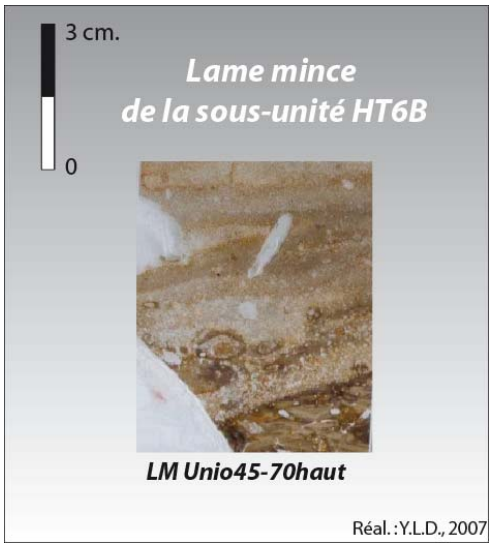


Planche Photographique n° 22: Lame mince de la sous-unité HT6B

4.3.4. Synthèse des données micromorphologiques des deux derniers millénaires :

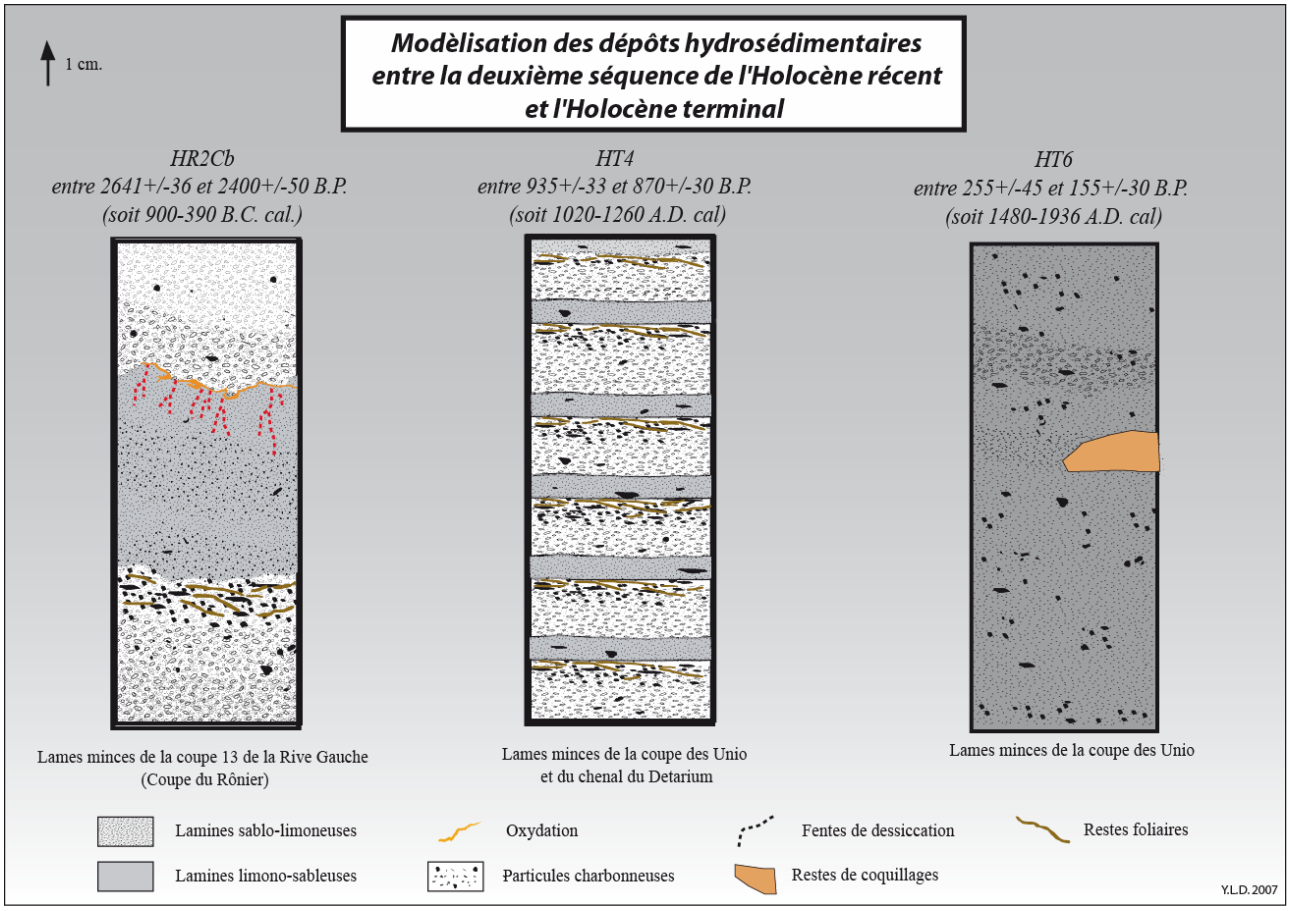


Figure n° 69 : Modélisation des dépôts hydrosédimentaires entre HR2 et HT

Les données micromorphologiques de l'Holocène terminal permettent de caractériser le fonctionnement du bassin versant amont du Yamé au cours des deux derniers millénaires. Les dépôts pédogénéisés observés en Rive Gauche ou en Rive Droite montrent une hydromorphie liée à une nappe sub-affleurante, alimentée par les eaux infiltrées en profondeur dans le bassin-versant, correspondant à des écoulements hypodermiques abondants et à une inondation de la vallée durant la saison des pluies (avec une nappe phréatique haute). Les lamines toujours plus ou moins visibles impliquent des phases d'apports et des périodes plus sèches (Le Drézen & Lespez, 2007 ; Le Drézen & al., soumis). La figure de synthèse des dynamiques hydrosédimentaires des quatre derniers millénaires (Figure n° 69) montre deux phases plus sèches à l'Holocène terminal, correspondant aux unités chronostratigraphiques HT2 et HT4, soit au cinquième siècle et au premier millénaire après notre ère. Le fond de

vallée est alors peu incisé, puis large et humide, avec un assèchement saisonnier. Toutefois cet assèchement est peut être marqué par une baisse de l'engorgement d'origine climatique (aridification) ou liée au changement du niveau de base du fond de vallée et à l'augmentation des apports colluvio-alluviaux. La question d'une origine climatique et/ou anthropique peut être émise.

Au sein de cette période, des phases d'activités fluviales accrues sont enregistrées par les analyses micromorphologiques, géomorphologiques et chronostratigraphiques. Ces phases sont caractérisées par la récurrence des crues débordantes, de dépôts d'alluvions grossiers, d'érosions latérales de berges, … (Le Drézen & al., soumis). Des sédiments rythmés sont plus ou moins visibles dans les unités de l'Holocène terminal (les unités : HT2 et HT4). Les observations micromorphologiques (cf. figures n° 69 & 70) montrent une saisonnalité toutefois moins marquée (peu de fissures de dessiccation et d'oxydation). Les traits texturaux ont tendance à révéler des sols assez nus par comparaison aux périodes précédentes, favorisant des illuviations plus brutales dans les horizons de surface.

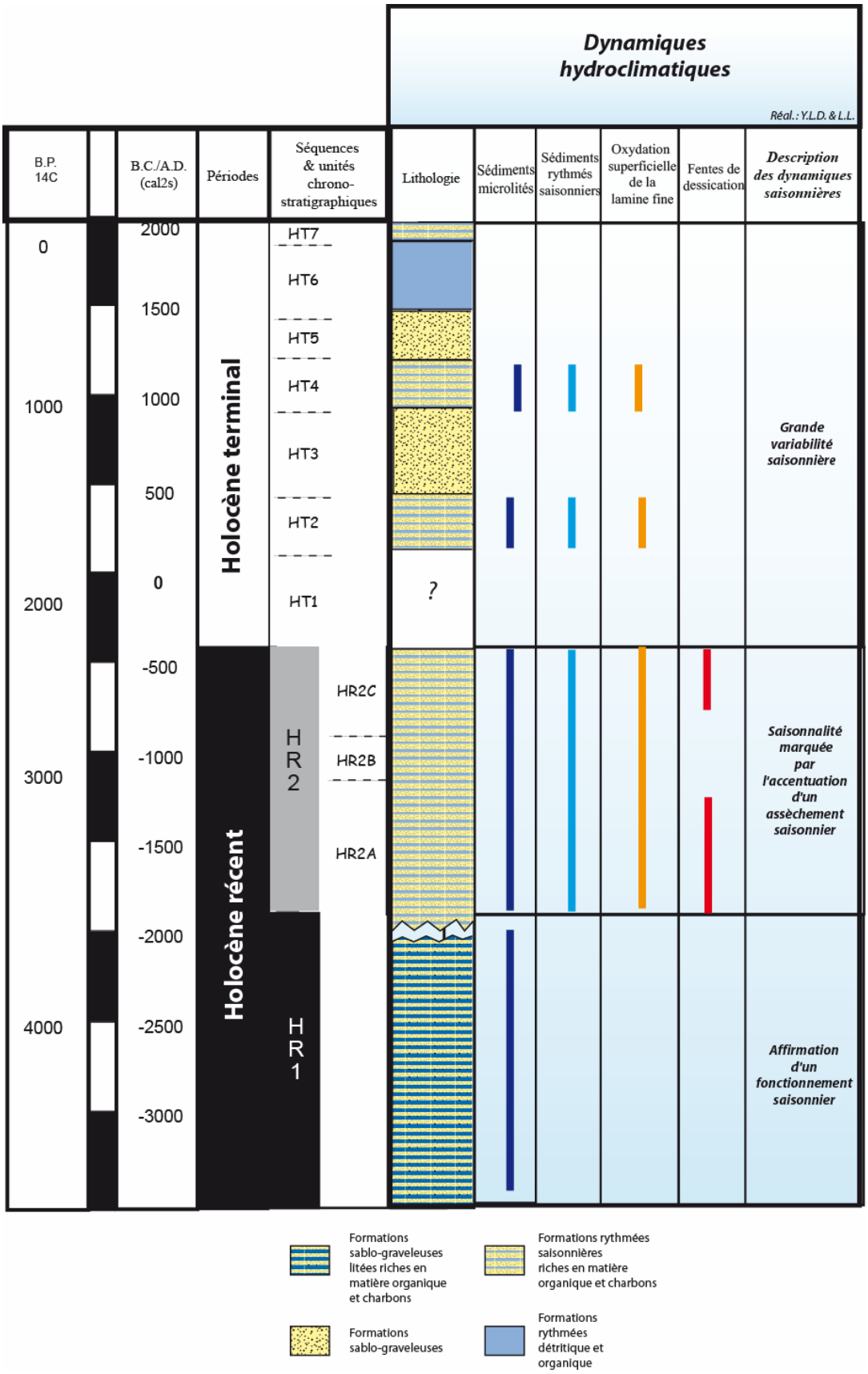


Figure n° 70 : Synthèse des dynamiques hydro-climatiques des quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé

Les études granulométriques et micromorphologiques permettent une approche fine et à haute résolution des formations fluvio-palustres et des dynamiques hydro-sédimentaires des quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé.

Les études granulométriques indiquent des variations de compétences du Yamé et de ses affluents. Les données micromorphologiques apportent des précisions sur l'échelle temporelle, avec des informations fines de l'année (enregistrements saisonniers) à la mise en évidence d'oscillations séculaires (séquences rythmées).

Ces résultats montrent une variabilité de la saisonnalité à la fin de l'Holocène (cf. figure n° 70). Une saison sèche apparaît progressivement plus intense et de plus en plus forte au cours des deux derniers millénaires de l'Holocène récent. Elle s'intensifie et s'allonge progressivement, passant ainsi d'un climat plutôt de type soudanien il y'a quatre mille ans, à un climat plus de type sahélien avec une longue saison sèche.

Dans la logique du fonctionnement systémique que nous avons adopté, les modifications hydrosédimentaires enregistrées sont probablement à mettre en relation avec des changements des paysages végétaux. Le nombre important de particules charbonneuses s''explique par une probable présence de feux sur les rives ou sur le bassin versant du Yamé, qui pourrait diminuer le rôle protecteur des ripisylves et favoriserait les effets des crues sur les berges. L'hypothèse d'une action des sociétés sur les paysages doit être émise, en relation avec les dynamiques climatiques et environnementales. Nous souhaitons ainsi identifier et comprendre les modifications des paysages végétaux ces dernières années et depuis plus quatre mille ans dans la vallée et l'importance des feux dans la savane, à partir de différentes méthodes présentées dans la partie suivante.

Partie 4

Analyses des paysages végétaux & de leurs évolutions

Affirmer que l'environnement a une histoire,
c'est avant tout admettre que
l'homme y joue un rôle prépondérant"

(Walter, 1994)

Dans les conditions particulières des climats secs de l'Afrique soudano-sahélienne, la conservation assez exceptionnelle de la matière organique sur le site d'Ounjougou, et singulièrement des restes végétaux, nous offre l'occasion d'avancer dans notre connaissance du géosystème de la vallée du Yamé. Après avoir bien calé la périodisation de la mise en place du cadre géomorphologique de la vallée et fixé les caractéristiques de son fonctionnement hydro-sédimentaire, nous pouvons donc nous faire une idée solide des éléments abiotiques du système : lithosphère et hydrosphère. Pour compléter cette image, il s'agit maintenant d'en reconstruire la trame biotique, du moins par sa composante végétale.

A travers la reconstitution des paysages végétaux et de leurs évolutions, nous souhaitons comprendre les différentes dynamiques du géosystème sur des échelles de temps longues et courtes, puis décrypter les rôles respectifs du climat et des sociétés depuis quatre mille ans sur le Plateau dogon. Nous présentons dans cette partie, différentes données à partir de méthodes diverses :

- la photo-interprétation et les prospections de terrain, qui permettent de comprendre les changements récents des paysages végétaux,
- la palynologie, l'anthracologie et la carpologie afin de comprendre les évolutions paléobotaniques,
- et l'analyse du signal incendie, afin de percevoir les dynamiques des feux, leur récurrence, leur évolution depuis quatre mille ans.

Dans un premier temps, nous partirons de l'état actuel de la végétation, qui doit nous servir de référence pour comprendre l'enracinement historique des dynamiques de construction des paysages végétaux. Cependant, il ne faut pas aborder ces paysages de façon descriptive statique, mais les inscrire dans une logique dynamique en constante évolution, comme le montre ce qui se passe aujourd'hui sous nos yeux. C'est pour quoi aussi, après avoir identifié, en Afrique de l'Ouest, le feu comme l'un des facteurs de cette dynamique (Dolidon & al., 2006 ; Ballouche & al., 2008), nous proposons d'explorer spécifiquement son rôle dans le temps long, ce qui n'a jamais encore été tenté dans cette région de l'Afrique.

La combinaison de ces méthodes a pour objectif d'obtenir un maximum d'informations que nous souhaitons croiser afin de mettre en évidence les indices précis dans les changements des paysages végétaux, du rôle des sociétés et des influences du climat, depuis plus de quatre mille ans dans la vallée du Yamé.

4

1. L'émergence récente des paysages végétaux de la vallée du Yamé

Analyser l'émergence récente des paysages végétaux de la vallée du Yamé consiste en une approche diachronique à partir de la photo-interprétation appuyée sur un système d'informations géographiques et des observations sur le terrain.

Il est important, avant d'entamer une discussion de l'histoire de la végétation à l'échelle de l'Holocène récent et terminal, de se fixer des références précises dans la situation actuelle. Or celle-ci, dans son état aujourd'hui visible sur le terrain est loin d'être figée et résulte elle-même de changements rapides, qui rendent compte des mutations fortes, qui sous-tendent les systèmes agro-sylvo-pastoraux soudano-sahéliens. La connaissance de ces transformations à l'échelle de quelques décennies peut certes être utile, dans une approche "actualiste", pour comprendre des évolutions anciennes en évitant les schémas simplificateurs, mais elle s'inscrit aussi très naturellement dans notre démarche géographique de va-et-vient permanent entre passé et présent.

Cette étude nous permet aussi de comprendre les liens forts entres dynamique érosive et couvert végétal, comme en témoignent les missions photographiques de l'IGN de 1953 et de 1982, les photos réalisées par ULM (David Gladsteen) en 2004 et l'image Google-Earth de fin 2004, après l'autocapture du Yamé dans les années 30 (cf. partie 1) responsable d'une importante érosion régressive.

1.1. Une approche quantitative de la dynamique des paysages végétaux

La configuration de la vallée du Yamé a considérablement évolué au cours du dernier siècle. Depuis 1936, l'autocapture du Yamé a entraîné un élargissement régulier de la vallée, par une érosion des berges. Entre 1953 et 2006, la largeur du lit du Yamé à l'amont de la Confluence a été multipliée par deux, passant d'une quarantaine de mètre à plus de quatre-vingt. Les affleurements des rives droite et gauche sont en constant recul lors des saisons des pluies, par des ravinements ou éboulements. La topographie de la vallée du Yamé change chaque année et peut évoluer très rapidement lors d'hivernages très pluvieux (exemple de juin à septembre 2007). Les terres cultivables sont régulièrement érodées, arrachées ou emportées

lors des crues ou par les ravinements de plus en plus imposants. Cette érosion régressive a de nombreuses conséquences sur les paysages végétaux de la vallée. Les zones dites de "*bad lands*" constituent des problèmes en termes de perte agricole, en raison des surfaces qui sont en nette diminution ces dernières années à l'amont de la vallée (figure n° 71). Il est possible d'estimer une augmentation des surfaces de *bad-lands* par 2 voire 5 dans certains secteurs de la vallée au cours des cinquante dernières années. Pour pallier un manque de surface cultivable croissant en raison de l'érosion, des sédiments de la vallée sont utilisés pour des cultures maraîchères ou céréalières sur les interfluves gréseux, retenus par des murets en pierres sèches. Cette méthode pour créer de nouvelles surfaces cultivables sur le plateau est relativement ancienne.

Les études de photo-interprétation permettent également de connaître les évolutions du nombre des individus arborés et arbustifs ces cinquante dernières années (Cf. Figure n° 72). En 2006, le nombre d'arbres et d'arbustes s'élève à 992 dans la partie amont de la vallée, sur une surface de 14,5 hectares, soit l'équivalant de 68 individus par hectare. Dans les années 1980, le nombre d'individus est estimé à 669, soit 46 par hectare. Dans les années 1950, il a été répertorié 401 individus arborés ou arbustifs, soit 28 individus à l'hectare. Cette augmentation massive (multiplié par 2,5) est remarquable en l'espace d'une cinquantaine d'années. Ces chiffres peuvent être corrélés avec les études réalisées par le P.I.R.L. (Projet d'Inventaire des Ressources Ligneuses) et le schéma directeur de la région pour la même période. Le P.I.R.L. indique qu'il n'y a pas de "*dépérissement du couvert végétal sensible sur le cercle et ce malgré la sécheresse. Ceci est lié au substratum, mais également à la lame d'eau annuelle qui bien que déficitaire par rapport à la moyenne, reste encore suffisante pour la végétation*". Les résultats du schéma directeur concordent avec les chiffres présentés, avec une augmentation entre les années 1950 et 1990 de 1,5 (de 25 à 40 arbres par hectare en 40 ans). Cette augmentation du nombre d'individus tient compte de plus de la disparition d'un bois sacré (bois du *Undio*, présent au Sud de la carte en 1953). Il est visible sur les photographies aériennes et il reste encore des traces près des champs et des ravinements (comme un petit tas de pierres sèches, correspondant à un petit fétiche, qui indiquait la bordure de l'ancien bois et l'interdiction d'y pénétrer). D'après les enquêtes de terrain, ce bois avait de nombreuses espèces méridionales, comme *Khaya, Prosopis, Vitex, Dalbergia* et *Parinari*. D'après nos enquêtes "*Undio*" désigne en dogon *Parinari*. Cette référence laisserait entendre que cette espèce soudano-guinéenne existait sur le Plateau dogon encore au vingtième siècle. D'après certains agriculteurs, ce bois aurait disparu par un agriculteur dogon qui se serait converti à l'islam, dans les années 1960, afin d'augmenter la surface de ses champs. Ce déboisement a entraîné

une fragilisation du milieu et a favorisé l'accélération de l'érosion dans ce secteur, provoquant le mécontentement des autres paysans dogon.

Depuis quelques décennies, de nombreux écrits relatent une diminution du nombre d'arbres et arbustes en milieu sahélien et soudano-sahélien suite aux grandes sécheresses des années 1970-80 et début des années 1990. Nos observations et calculs effectués montrent à l'inverse une augmentation régulière du nombre de ces individus dans la vallée du Yamé.

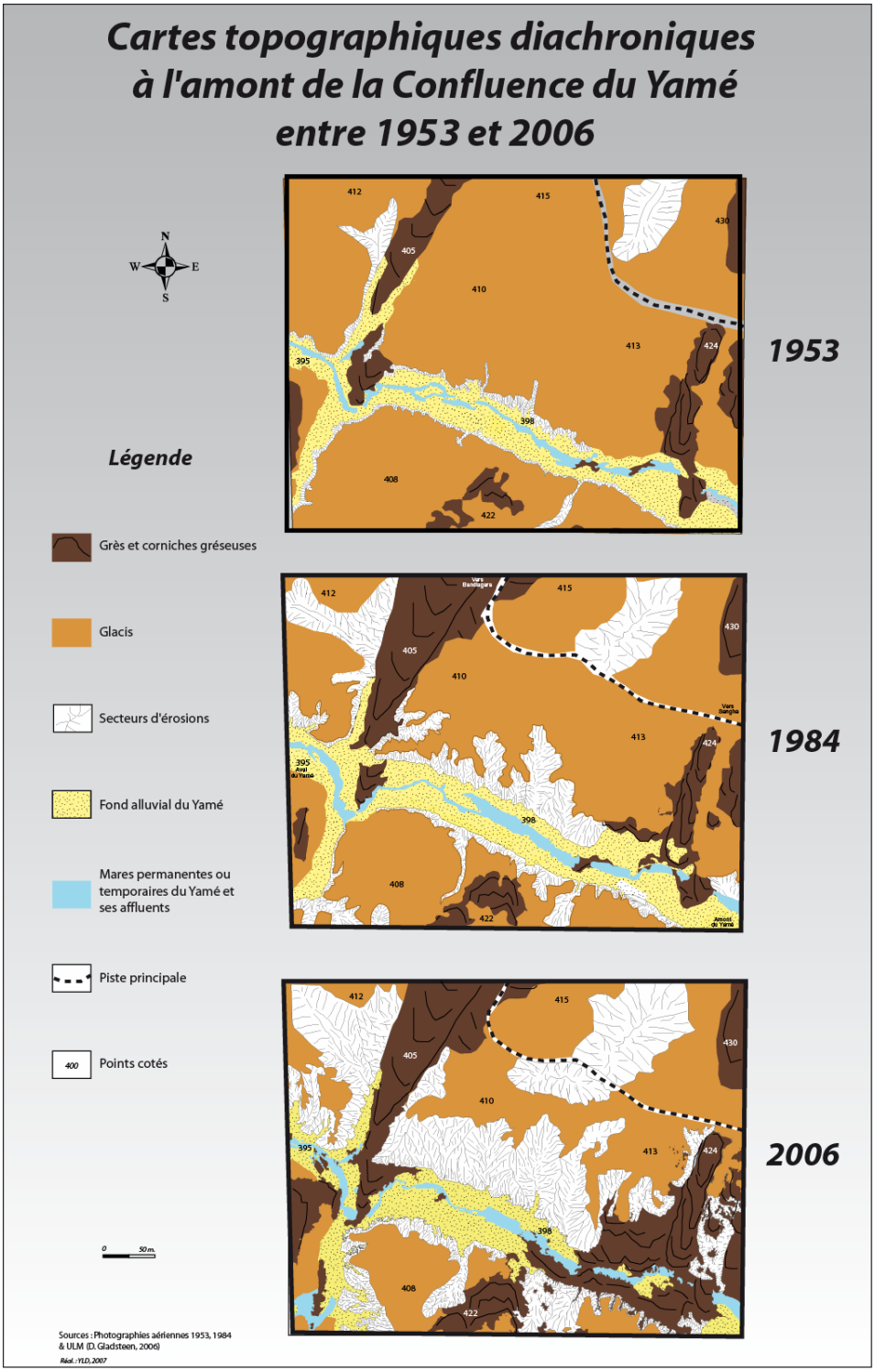


Figure n° 71 : Carte topographique diachroniques à l'amont de la Confluence de la vallée 1953 et 2006

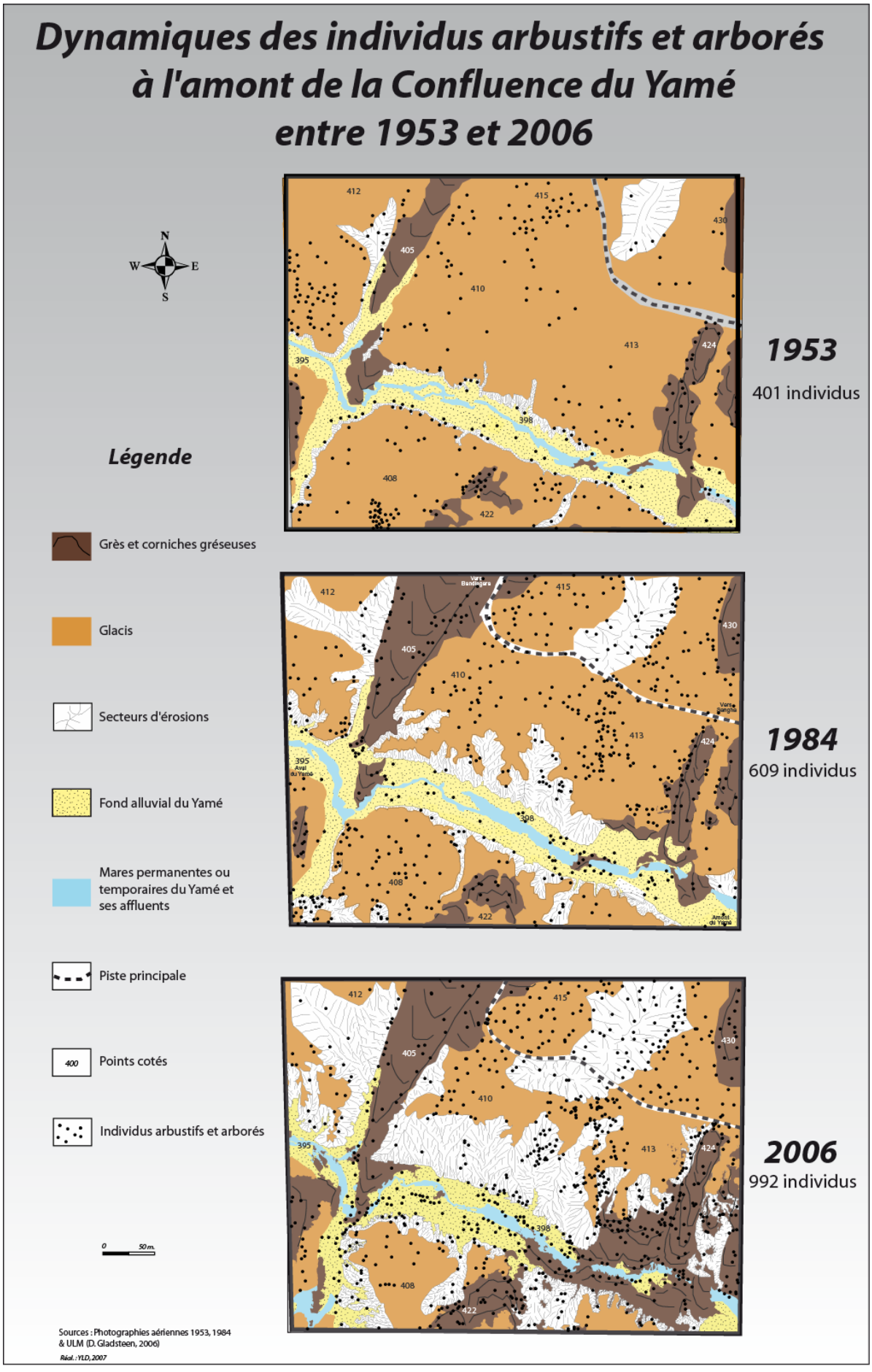


Figure n° 72 : Dynamiques des individus arbustifs et arborés à l'amont de la confluence du Yamé entre 1953 et 2006

1.2. Une approche qualitative de la dynamique des paysages végétaux

Les prospections effectuées entre 2004 et 2007 ont permis d'identifier les individus arborés et arbustifs dans des grands groupes, qui permettent de comprendre leurs répartitions spatiales (figure n° 73). En première approche, tout l'espace étudié est profondément humanisé, s'organisant en zones de cultures (champs et très jeunes jachères), secteurs dégradés liés à la fois à la réactivation de l'érosion depuis 1936 et à la perte en terres, suite à une surexploitation sous conditions agressives de ruissellement, enfin, le fond de vallée lui-même occupé par des jardins maraîchers. Ces trois ensembles sont encadrés par les barres gréseuses dénudées. L'accroissement quantitatif des arbustes et des arbres est visible sur le terrain. Il semble concerner tous ces espaces ; dans les champs avec la multiplication de jeunes acacias, mais également avec la multiplication des arbustes sur les espaces dégradés de "*bad lands*". Les espèces caractéristiques de ces surfaces de sols dégradés, sont *Combretum glutinosum, C. micranthum, Boscia* sp.*, Balanites aegyptiaca, etc.* Les *Combretaceae* sont très nombreux dans les ravinements et l'augmentation des surfaces de "*bad lands*", ces dernières années, favorise la prolifération de ces espèces.

Sur les espaces de cultures, nous avons distingué deux grands ensembles définis par des espèces différentes et qui sont de notre point de vue liés à des agrosystèmes distincts. Un premier agrosystème, que nous qualifions d'ancien, est caractérisé par une grande diversité d'espèces d'arbres, généralement de grande taille. Il s'agit principalement de karités (*Vitellaria paradoxa*), *Detarium microcarpum, Daniellia oliverii, Lannea microcarpa, Sclerocarya birrea,* accompagnés de *Parkia biglobosa*, *Adansonia digitata, Borassus aethiopum, Prosopis africana, Vitex* sp.*, Tamarindus indica,* des acacias, et parfois *Faidherbia albida.* Les arbres les plus anciens sont de très grande taille et de diamètre assez imposant. On les rencontre dans les cultures de mil, mais nous les trouvons aussi assez systématiquement dans les champs voués à la culture du fonio (*Digitaria exilis*). Un agrosystème plus simple, où la plus part de ces arbres ont disparu, semble s'être mis en place en relation avec une intensification agricole et l'association grandissante agriculture/élevage. L'espèce emblématique dominante est *Faidherbia albida* (*Acacia albida, Balanzan* en Bambara). La montée en puissance des parcs à *Faidherbia albida* est très nette dans les espaces cultivés autour de la vallée du Yamé, associés à des cultures multiples (mil, coton, hibiscus, etc.). Comme dans d'autres régions de l'Afrique de l'Ouest, cette espèce présente plusieurs caractéristiques, qui font qu'elle est très appréciée non seulement des cultivateurs mais aussi des éleveurs.

Les espèces de forêts claires et de forêt-galeries sont le *Vitex* sp., *Detarium microcarpum, Ficus* spp., *Piliostigma* sp., *Syzygium guineense, Cassia sieberiana, Acacia ataxacantha, Ziziphus* sp., *Anogeissus leiocarpus, Combretum paniculatum.* Les individus sont plus nombreux dans le fond alluvial de la vallée du Yamé. De nombreuses espèces exotiques sont apparues au cours du vingtième siècle en raison de la colonisation, comme le citronnier introduit à Bandiagara en 1914, ou le manguier (*Mangifera indica*) et *Andira inermis* qui sont très nombreux aujourd'hui dans la vallée du Yamé. Le nombre d'individus d'*Andira inermis* est assez faible dans les ripisylves des années 50, correspondant à de jeunes pieds qui prolifèrent progressivement, suite à l'autocapture de la rivière dans les années 30 (Cf. Partie 1). Le manguier est très apprécié en Afrique de l'Ouest pour ses fruits et son ombrage, il a été introduit très récemment (Rey & al., 2004). Originaire d'Inde, il est signalé pour la première fois en Afrique de l'Ouest au Sénégal, en 1824. C'est à la fin du 19ème siècle qu'il a commencé à connaître une diffusion significative. Son extension deviendra importante pendant la première moitié du 20ème siècle.

1.3. Les facteurs explicatifs

1.3.1. Des "paysages intensément humanisés"

Le Plateau dogon est intensément cultivé, mais seulement 9% des terres sont considérées aptes à l'agriculture autour de Bandiagara (chiffre de la SACLAER, à Bandiagara). Des champs artificiels (en fascines) ont été construits et se sont multipliés depuis plusieurs années. Des blocs alignés de pierres sur les barres gréseuses témoignent d'un passé agricole intensif dans la région. La demande de plus en plus importante nécessite de nombreuses parcelles cultivées et de moins en moins de jachères, d'où la nécessité de planter des espèces fertilisant rapidement les sols comme le *Faidherbia albida* et d'associer agriculture et élevage. Non seulement *Faidherbia albida,* espèce fixatrice d'azote, apporte une grande quantité d'éléments nutritifs aux sols et peut donc pallier la réduction des jachères, mais elle a aussi la particularité de garder ses feuilles, très appréciées par le bétail, pendant toute la saison sèche et de les perdre au début de l'hivernage alimentant la litière des sols. Par ce fait, *Faidherbia albida* cumule plusieurs avantages. Elle constitue une part tout à fait considérable de l'alimentation des animaux pendant la saison sèche, notamment pendant les mauvaises années lorsque la strate herbacée est insuffisante, ou comme en Pays dogon, lorsque les terroirs saturés comportent peu d'espaces pastoraux.

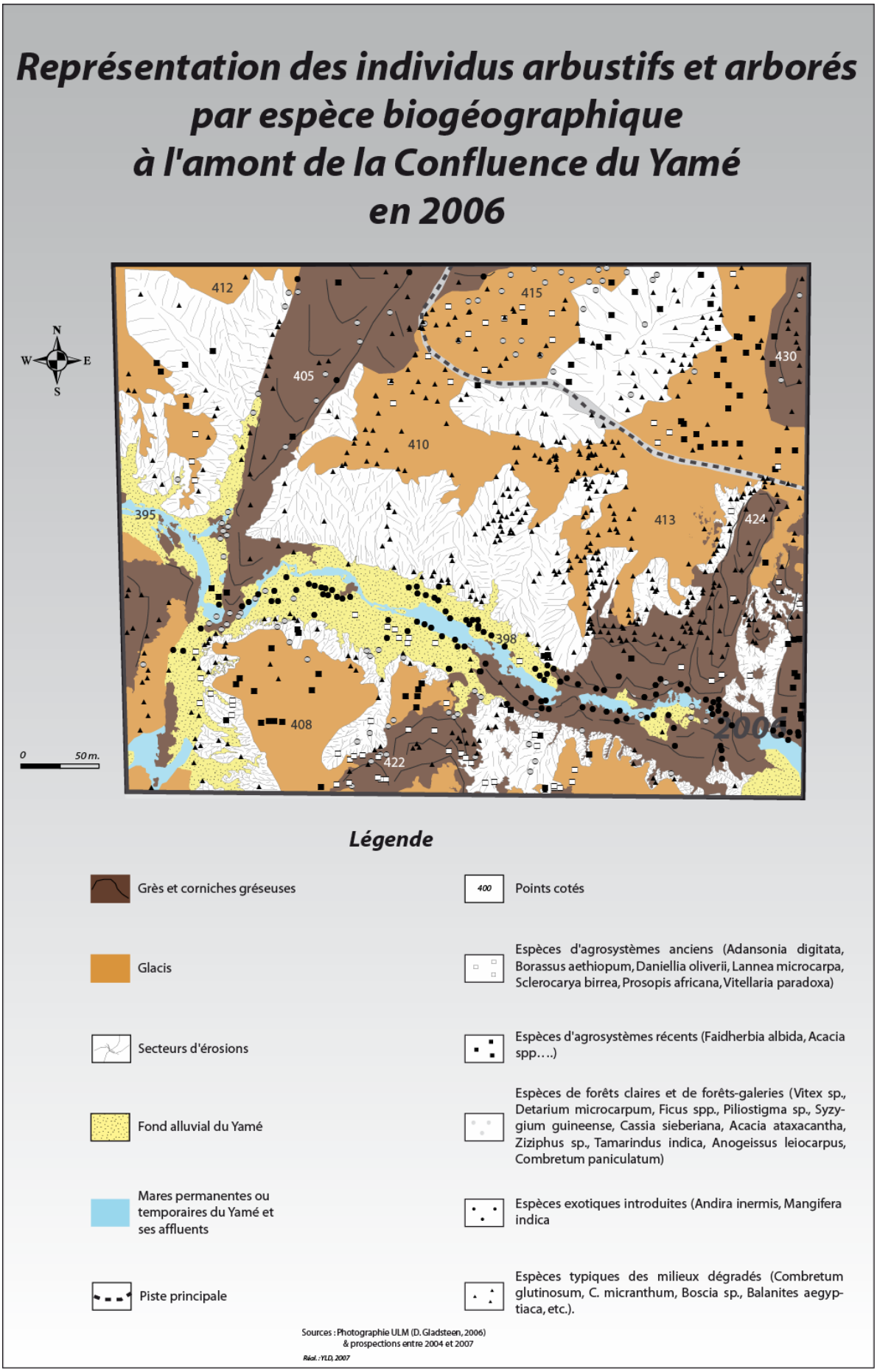


Figure n° 73 : Représentation des individus arborés et arbustifs par espèces biogéographiques à l'amont de la confluence du Yamé en 2006

Cet acacia procure de l'ombrage dans les champs aux animaux pendant la période de chaleur, les cultivateurs bénéficient ainsi d'un apport de fumier naturel. Enfin, comme il perd ses feuilles en début d'hivernage, son ombre ne gêne en aucun cas la pousse du mil (Gallier, 2003).

Les cultures maraîchères sont en nette augmentation au cours du dernier siècle, les surfaces cultivées ont été multipliées entre les années 1988 et 2001 par quasiment trois passant d'environ 750 hectares à plus de 2 000, ces dernières années. La culture maraîchère dominante est l'oignon correspondant à plus de 60 % des surfaces (Planche photo n° 23). Près de 36 000 tonnes par an sont produits dont la majorité est exportée dans les régions et les pays voisins (chiffre de la SACLAER, à Bandiagara). La culture de l'oignon est ancienne dans la région, les premières descriptions remontent à 1903 dans les rapports annuels de Bandiagara (disponibles aux archives coloniales de Bamako). La culture s'est ensuite rapidement intensifiée avec la construction des premiers barrages dans la région comme le confirment les archives coloniales et les villageois lors des enquêtes. Les superficies maraîchères d'oignons sont en augmentation ces vingt dernières années, elles ont été multipliées par sept au Mali et principalement dans le cercle de Mopti entre 1980 et 1999 (Pelletier, 2000). Les rendements sont parmi les plus importants d'Afrique de l'Ouest avec 40 tonnes à l'hectare (contre 25 au Niger, par exemple). Deux périodes de production peuvent être distingués, la "petite période" après l'hivernage et la "grande période" de janvier à avril. La variété cultivée correspond à une échalote (*Allium cepa var. aggregatum*).

Cette stratégie de culture intensive sur le plateau est visible avec des aménagements en terrasses (fascines), une fertilisation des sols désormais réalisée par la fumure animale, par les nouvelles espèces arborées, l'amendement par l'apport artificiel de sols plus fertiles ou de sédiments fossiles riches en matière organique, ainsi que des engrais chimiques... De fait, les jachères deviennent de plus en plus rares dans la région. Les paysages mosaïques de la vallée du Yamé sont marqués par un changement des espèces observées dans les agrosystèmes, en lien avec la saturation des terroirs et l'intensification. Les enquêtes auprès des villageois, des chefs de villages ou des personnes âgées et les recherches dans les archives coloniales, ont permis de connaître les espèces principales dans les champs, au début du vingtième siècle. Les espèces dominantes étaient le karité (Arbre à beurre ou *Vitellaria paradoxa*), le baobab (*Adansonia digitata*), le tamarinier (*Tamarindus indica*), le néré (*Parkia biglobosa*), etc. Ces arbres étaient conservés dans les champs et jachères pour leur utilité, généralement alimentaire. Les parcs à karité, par exemple, sont davantage le fait de cultivateurs des régions où les

graisses animales sont rares. Les quelques parcelles, qui possèdent encore aujourd'hui ces espèces, sont des reliques d'agrosystèmes anciens (Planche photo n° 23) progressivement supplantées par les agrosystèmes plus récents à balanzans *(Faidherbia albida)*. Ce changement de physionomie dans la savane autour de la vallée du Yamé n'est pas uniquement du à des stratégies agraires objectives. Il indique un changement dans les représentations traditionnelles lié, entre autres, au recul de l'animisme et des coutumes en général. Il existait, par exemple, dans les années cinquante de nombreux bois sacrés, qui ont progressivement disparu sur les rives du Yamé (exemple du bois des *Undio*), même si certains ont pu persister à proximité des villages et permettre la préservation de certaines espèces floristiques méridionales. L'influence d'aides financières allouées par l'Etat aux agriculteurs plantant des balanzans a également accentué le phénomène ces dix dernières années.

Dans la même logique d'intensification, la gestion traditionnelle de l'eau a aussi changé, passant d'un système traditionnel manuel, reposant sur l'arrosage à l'aide de calebasses et la réalisation de puisards dans le lit du Yamé en saison sèche, à un système moderne basé sur la construction de digues et de barrages et mécanisé (motopompes). L'utilisation massive de ces engins et l'augmentation des intrants chimiques ont de graves conséquences environnementales (baisse du niveau des nappes, eutrophisation).

Enfin, alors que les feux de brousse sont très nombreux dans la bande soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest, ils sont aujourd'hui inexistants sur le Plateau dogon ; ce qui est assez conforme à la saturation des terroirs avec une intensification croissante de l'agriculture et l'absence de jachère, donc de matériel combustible (Dolidon, 2005). Les villageois évoquent aussi des systèmes coutumiers d'interdits des feux (*Aramodjou*).

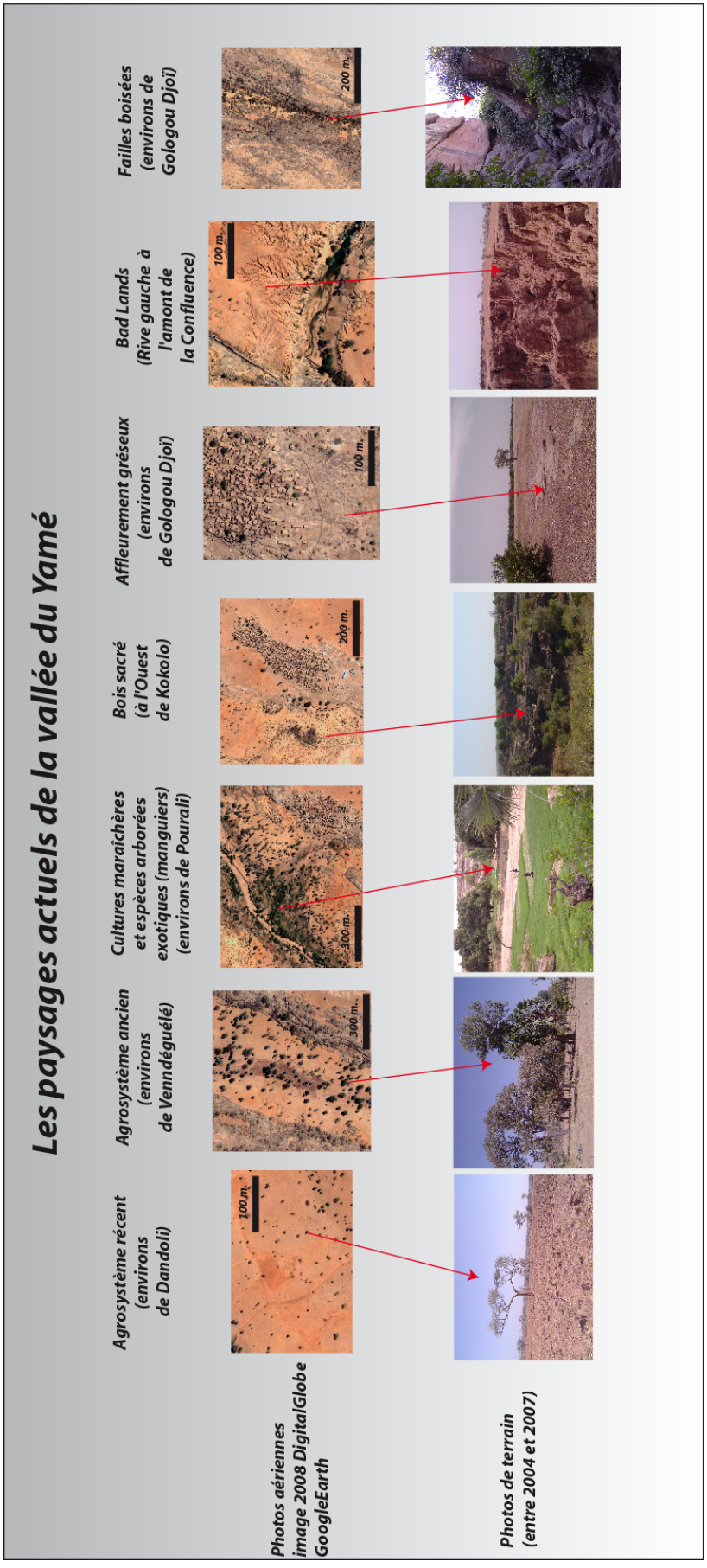


Planche photographique n° 23 : Les paysages actuels de la vallée du Yamé

1.3.2. Des" paysages protégés"

Les espèces sélectionnées deviennent majoritaires dans les parcelles cultivées, même si les bois sacrés ont pu persister à proximité des villages et permettre la préservation de certaines espèces floristiques méridionales (Planche photo n° 23). Celles-ci sont également conservées dans les ravins et les failles, trop profonds et étroits pour être mis en valeur. Ils abritent des espèces remarquables comme *Cola cordifolia, Khaya senegalesis, saba senegalensis, Ceiba pentandra, Diospyros mespiliformis* qui ne sont pas des anomalies écologiques, comme le soulignaient Jaeger et Winkoun (1962), mais correspondent à des vestiges et des potentialités floristiques réduites aux ravins par les actions anthropiques (Planche photo n° 23).

1.3.3. Des "paysages dégradés"

La gestion de l'eau a rapidement été modifiée ces dernières années, passant d'un système traditionnel manuel à un système moderne mécanisé. L'agriculture était basée jusqu'au début du vingtième siècle sur une auto-régulation et une gestion traditionnelle de l'eau, reposant sur la réalisation de puisards profonds dans le lit du Yamé en saison sèche et par un travail fatiguant d'arrosage des cultures maraîchères à l'aide de calebasses. La construction de digues et de barrages s'est multipliée depuis le milieu du vingtième siècle dans la région. Ces constructions nombreuses aujourd'hui dans la vallée ont permis la multiplication des cultures maraîchères et plus précisément des oignons. Ces cultures de saisons sèches sont un moyen de subvenir aux besoins financiers des agriculteurs. Dans cette course à la culture intensive, depuis une dizaine d'années, les agriculteurs ont acquis des motopompes qui facilitent considérablement le travail d'irrigation et permettent de multiplier les surfaces maraîchères dans la vallée. L'utilisation massive de ces engins a de nombreuses conséquences, comme une diminution rapide du niveau de l'eau dans les mares en amont de la vallée, une surexploitation des terres qui doivent supporter deux cycles de cultures : le mil en saison des pluies et l'oignon en saison sèche. Cette agriculture intensive entraîne une diminution de la fertilité des sols. La résultante est le développement d'apport massif et régulier d'engrais azotés dans les jardins et les champs de la vallée qui ont des répercussions sur le plan environnemental et sanitaire. Les eaux du Yamé connaissent une pollution et eutrophisation depuis les années 2000, avec le développement d'algues vertes en saison sèche, rendant l'eau impropre à la consommation et engendrant une diminution de la faune (poissons).

De cette étude, nous pouvons donc conclure que les paysages végétaux actuels de la vallée amont du Yamé sont hérités d'un passé très récent et totalement construits par les mutations socio-économiques, que connaît leur système productif. Ils ne sont en aucun cas relictuels, car ils résultent d'une imbrication étroite entre dynamique naturelle des milieux, en particulier un épisode de sècheresse marquée dans les années 1970-80, et choix des sociétés, elles-mêmes confrontées à des contraintes démographiques et économiques fortes. Les espèces relictuelles, soudano-guinéennes comme *Syzygium*, où les formations forestières denses, sont de moins en moins visibles sur le Plateau dogon et vont se localiser principalement dans les ravins et les failles du plateau. Les paysages végétaux correspondent à la résultante d'une succession d'agrosystèmes historiques, qui ont évolué à différents pas de temps. S'ils témoignent d'une forte anthropisation récente du milieu, la question est posée, des héritages plus anciens que nous pouvons y lire, à la manière d'un paysage palimpseste, où les différentes couches se sont superposées sans se gommer entièrement.

La connaissance des transformations des paysages végétaux à l'échelle de quelques décennies peut être une très bonne grille de lecture, des évolutions à plus long terme, que nous cherchons à comprendre plus loin. Elle permet en particulier de mesurer la très forte sensibilité des paysages végétaux soudano-sahéliens du Pays dogon au changement, mais aussi leur capacité de résilience et parfois même leur évolution apparemment paradoxale, si nous les abordons de façon simplificatrice.

4

2. *Les analyses paléobotaniques de la vallée du Yamé*

L'étude des paléoenvironnements végétaux a pour objectif de reconstituer les végétations holocènes et les modalités de transformation de leur composition floristique et de leur structure, sous l'effet de l'anthropisation à l'échelle locale et du bassin versant, mais aussi du rôle des oscillations climatiques d'échelle régionale. Nous nous appuyons ici sur nos travaux palynologiques réalisés en collaboration avec A. Ballouche, dont nous croisons les résultats aux données anthracologiques et carpologiques acquises parallèlement par K. Neumann et B. Eichhorn (Université de Francfort). Nous souhaitons ensuite intégrer ces informations dans les reconstitutions paysagères pour comprendre leurs dynamiques depuis quatre mille ans. La démarche repose principalement sur une mise en évidence des principales étapes de l'anthropisation, de ses conséquences sur la végétation et de l'évolution des paysages de savanes, parallèlement aux effets probables de l'aridification qu'a pu connaître l'Afrique de l'Ouest, au cours de ces quatre millénaires.

2.1. Les analyses palynologiques

2.1.1. Les méthodes

2.1.1.1. Les intérêts de la palynologie en géographie

A partir de l'analyse du contenu sporo-pollinique des sédiments (spores et grains de pollen), la palynologie permet de reconstituer les spectres polliniques de chaque niveau et d'en déduire ainsi l'évolution des groupements végétaux et la paléo-phytogéographie. Elle permet ensuite des reconstructions mésologiques, une meilleure connaissance du cadre géographique du développement des sociétés préhistoriques et historiques et une caractérisation des modalités de l'action anthropique sur l'environnement. Le croisement de ces informations avec celles des autres proxis contribue à la compréhension des dynamiques des paysages végétaux en faisant ressortir les impacts du climat et des sociétés (défrichements, feux, formes de

domestication … ; Reille, 1990 ; Richard, 1995 ; Galop, 1998 ; Vannière & al., 2001 ; Vannière, 2001 ; Vannière, 2003 ; Vannière & al., 2003)

Les spores des fougères ou le pollen, produit par les étamines des plantes à fleur, correspondent aux gamètes mâles des plantes. Ils gardent leur capacité de fécondation en général pendant quelques jours. La durée de vie dépend des conditions d'humidité, du taux de déshydratation du cytoplasme, des rayonnements ultra-violet (U.V.), des micro-organismes présents dans le milieu. En revanche, la paroi des spores et des grains de pollen (l'exine) composée d'une molécule organique très résistante, la sporo-pollénine peut se conserver très longtemps (plusieurs millions d'années) à l'abri de l'oxygène. L'exine possède un certain nombre de caractères morphologiques (taille, épaisseur; structure, ouvertures, ornementation) permettant l'identification de la plante (de l'espèce à la famille selon les plantes ; Pons, 1970). L'analyse pollinique s'appuie d'abord sur le caractère spécifique de la morphologie pollinique propre à chaque taxon. Elle s'appuie ensuite sur le très grand potentiel de conservation de la paroi sporo-pollinique dans certaines conditions. Ponctuellement, la palynologie peut aussi étudier les autres restes organiques non polliniques conservés dans les sédiments (palynofaciès) pour un complément d'information sur l'origine de la matière organique ou le milieu de dépôt.

Les modes de production, de dissémination, de transport et de dépôt des spores et du pollen déterminent l'utilisation plus ou moins efficace de la méthode. Il est par exemple reconnu que certaines espèces sont grandes productrices de pollen, les pins ou les *Abietaceae* en général, alors que d'autres comme les Fabacées n'ont qu'une très faible production pollinique. De même, les plantes entomophiles, qui pollinisent par le biais des insectes, disséminent peu leur pollen, alors que le pollen des anémophiles dont la dissémination est assurée par le vent est largement dispersé. Au-delà de la pollinisation proprement dite, le mode de transport du matériel sporo-pollinique en détermine aussi la sédimentation. Sédimentation *in situ*, transport par l'eau ou par le vent donne des images polliniques contrastées. Les spores de fougères sédimentent essentiellement *in-situ* ou sont transportées par l'eau comme le pollen de nombreuses plantes aquatiques ou hydrophiles et se déposent ensuite avec les sédiments terrigènes de leur classe granulométrique. En revanche, le pollen de certaines plantes anémophiles, comme le pin peut se retrouver à des milliers de kilomètres de son lieu de production. Ensuite, les conditions de conservation du matériel pollinique dans des milieux de types lacustres, tourbeux, marécageux ou secs sont très différentes. Les milieux les plus

propices à la conservation des pollens sont anoxiques, obscurs et peu acides. D'un point de vue lithologique, les sédiments tourbeux et organiques ou les dépôts argilo-limoneux des zones humides continentales sont les plus favorables, à la différence des sables ou dépôts éoliens. De manière générale, les sédiments organiques de couleur gris sombre ou noir sont les plus pollinifères. Les dépôts de l'Holocène Récent sur le site de la vallée du Yamé sont principalement grisâtres et laissent présager une bonne conservation des pollens. Les couleurs rouge, jaune, blanc et beige, qui sont les couleurs dominantes du Pléistocène sur la zone d'étude sont moins encourageantes.

Toutes ces particularités peuvent constituer des limites pour la palynologie, mais les nombreux développements méthodologiques depuis un demi-siècle ont permis d'en réduire les conséquences sur l'interprétation des données polliniques. Parmi ces développements, ont été entrepris une étude de la pluie pollinique actuelle sur le site d'Ounjougou et sur les différents domaines phytogéographiques au Mali par un transect Nord-Sud.

Si la palynologie a longtemps eu pour objectif l'étude de l'histoire de la végétation quaternaire dans une logique essentiellement paléoclimatique, depuis une trentaine d'années les recherches ont aussi développé une approche plus spécifiquement tournée vers l'étude des impacts anthropiques et des processus de maîtrise des milieux (Richard, 1994 ; Ballouche & Neumann, 1995 ; Neumann & Ballouche, 1995 ; Galop, 1998 ; Ballouche, 1999 ; Barbier, 1999 ; Gauthier, 2004 ; Le Drézen & Ballouche, soumis). Une attention particulière est donc portée à certaines espèces dites "indicatrices" des activités et du rôle des sociétés dans les paysages (agriculture, pastoralisme, déforestation, ouverture des paysages, …). L'introduction d'espèces exotiques, l'augmentation des rudérales ou l'extension des formations végétales secondaires, ainsi que l'apparition d'espèces cultivées, sont ainsi des signes révélateurs d'actions anthropiques.

2.1.1.2. De l'échantillonnage à l'analyse des lames palynologiques

La démarche palynologique sur le terrain nécessite une attention particulière, dans le choix des coupes, dans la méthode de prélèvement et dans le transport des sédiments (cf. figure 74).

Le choix des coupes prélevées est appuyé sur la chronostratigraphie d'ensemble (partie 2) réalisée auparavant, et orienté par l'état de conservation de la matière organique sur la zone

d'étude. En effet, une grande partie des formations holocènes de la vallée du Yamé correspond à des milieux sédimentaires de type marécageux-palustre très riches en matière organique, avec une bonne conservation des macro et micro-restes botaniques (troncs, feuilles, tiges, graines, pollens et palynofaciès …) et donc assez propices aux analyses palynologiques. De plus, les affleurements visibles sur les rives du Yamé sur plusieurs centaines de mètres de long et sur une épaisseur d'un à dix mètres permettent d'assurer la continuité stratigraphique des coupes et d'éviter les zones bioperturbées (par les fourmis ou les termites).

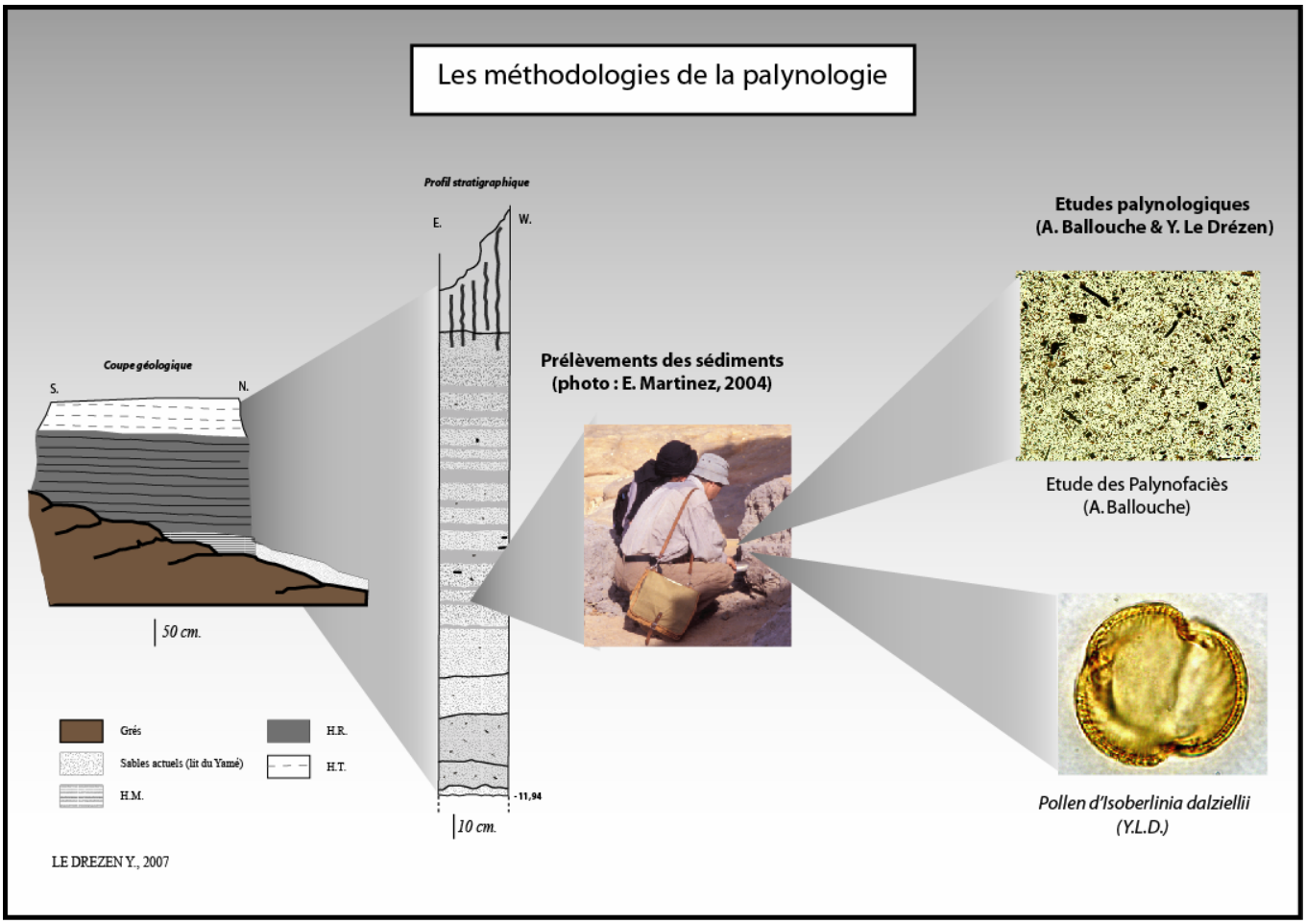


Figure n° 74 : les méthodologies de la palynologie

Les méthodes de prélèvements sur les coupes sont assez simples mais nécessitent des relevés précis et une propreté du matériel d'échantillonnage. En général, quand les dépôts sont homogènes, des prélèvements sont effectués tous les cinq centimètres. Après un rafraîchissement total de la coupe, la colonne de prélèvement est nettoyée de haut en bas, puis les échantillons prélevés de bas en haut, à l'aide d'une truelle en évitant toute pollution par des pollens récents ou par le prélèvement d'échantillons voisins (cf. figure 74). Les échantillons

sont collectés dans des sachets plastiques fermés hermétiquement et numérotés sur le terrain : nom du site, année de prélèvement, nom ou numéro de l'unité stratigraphique et enfin numéro du prélèvement. Au laboratoire, à chaque échantillon est attribué un numéro de série commun au programme de recherche et intégré dans une base de données.

Les échantillons ont été traités chimiquement au laboratoire M2C à l'Université de Caen Basse-Normandie (cf. figure 75) afin d'extraire le contenu sporo-pollinique selon le protocole expérimental classique (voir le protocole en annexe), décrit par Faegri & Iversen (1966), sous la supervision et les conseils de Martine Clet (que nous remercions).

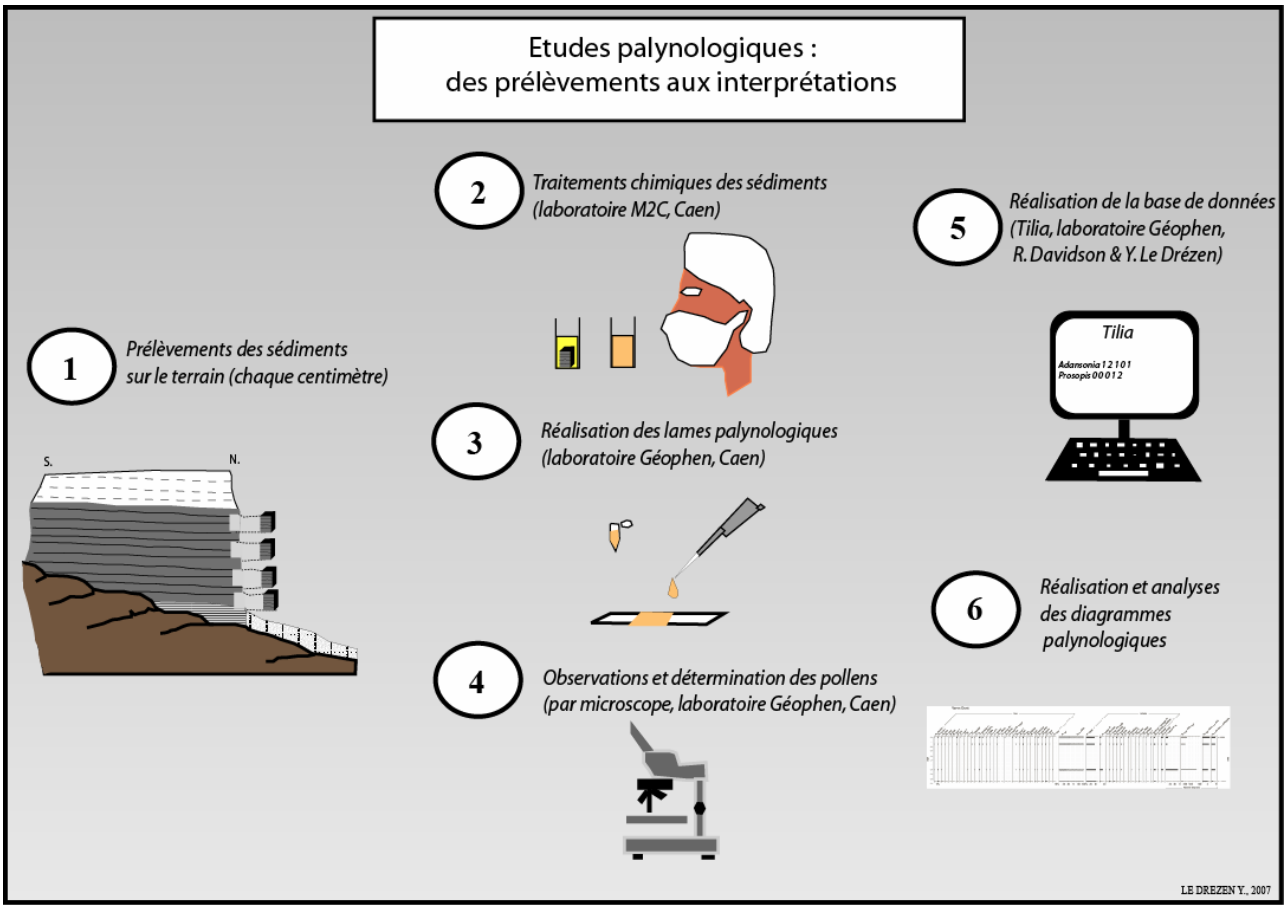


Figure n° 75 : études palynologiques des prélèvements aux interprétations

Le résidu conservé dans l'eau glycérénée est monté entre lame et lamelle (cf. figure 75). L'analyse palynologique a été menée au laboratoire Géophen sur deux microscopes (OLYMPUS CX31 et Olympus BX51) équipés d'objectifs à grossissement 100x, 200x, 400x et 1000x à immersion. La détermination a été effectuée par comparaison avec la collection de référence ouest-africaine du laboratoire et en s'appuyant sur divers atlas photographiques (Van Campo, 1965 ; Ybert, 1975 ; Bonnefille & Riollet, 1980 ; Maley, 1981), ainsi que la collection

de photographies en ligne de l'A.P.D. (African Pollen Database ; Vincens, 2007). Nous nous sommes appuyés aussi sur des atlas de régions subtropicales ou tropicales plus éloignées, comme celui de M. Reille (1995) pour la Méditerranée ou de H. Straka (1991, 1996) pour Madagascar. Le comptage est réalisé par un balayage longitudinal complet de la surface de la lame. Les données brutes sont traitées avec les logiciels GpalWin et Tilia pour la réalisation des diagrammes polliniques (Grimm, 1991 ; Vincens & al., 2007). Les taxa sont répartis en deux groupes, les pollens arborés (P.A.) et les non arborés (P.N.A.). Les résultats des comptages sont présentés sous la forme de diagramme pollinique en fréquence relative (%). Cette dernière est calculée à partir de la somme pollinique totale analysée au sein d'une unité stratigraphique. Pour des commodités de dessin, les taxa arboréens (P.A.) sont placés en haut des figures et sont ordonnés par ordre alphabétique (un choix commun avec A. Ballouche). Les P.N.A. (herbacées) sont en bas des figures. Les *Cyperaceae*, plantes rudérales, plantes aquatiques et les *Concentricystes* (microplanctons, indiquant la présence d'une lame d'eau) sont placées à la droite en bas du diagramme. A l'extrême droite du diagramme figurent les concentrations polliniques absolues, avec les datations disponibles en fonction des sites fouillés. Les noms des séquences, les unités et sous-unités stratigraphiques sont en haut à gauche des figures.

Mis à part l'étude des particules charbonneuses, traitée dans cette recherche doctorale lors de l'analyse du signal incendie (voir chapitre suivant dans cette même partie), l'analyse des palynofaciès (en lumière transmise) a été principalement menée sur la période de l'Holocène ancien et ponctuellement sur l'Holocène récent (Termitière et Ravin Sud) par A. Ballouche. Le palynofaciès est la description et la caractérisation, en microscopie photonique, de l'aspect des constituants organiques du résidu palynologique d'un sédiment, fraction amorphe et en fraction structurée et l'estimation de leurs proportions relatives. La fraction structurée comprend les microfossiles (dont les pollens et spores), les débris à structure observable, animaux ou végétaux, et les débris opaques (dont les charbons). Originellement utilisée en palynologie pétrolière (Combaz, 1964), l'analyse des palynofaciès est une méthode qui a connu des applications multiples dans l'étude des paléoenvironnements marins et lacustres mais reste quelque peu marginale dans les approches géoarchéologiques (Traverse, 1988 ; Batten, 1996 ; Batte, & al., 1999 ; Sebag, 2002).

2.1.2. Les analyses palynologiques

2.1.2.1. L'étude de la pluie pollinique actuelle :

Lors de la campagne de terrain de septembre-octobre 2005, parallèlement à une reconnaissance de la végétation régionale en fin de saison des pluies, il a été procédé à la collecte de matériel de référence pour la pluie pollinique et les phytolithes (cf. figure n° 76). La fin de l'hivernage, au moment du plein développement de la végétation, est la meilleure période pour avoir une bonne représentation. Les échantillons prélevés pour l'analyse pollinique l'ont été systématiquement dans les boues de surface des mares temporaires ou en bordure des zones d'inondations dans les fonds de vallées (Ballouche, 2006). Nous présentons ici, les données de quatre échantillons prélevés sur le Plateau dogon (Ounjougou et Kokolo) et son pourtour (Mare de Telli et Ravin de Ségué), comparés ensuite à un échantillon sahélien au Nord (mare de Gossi) et un échantillon soudanien au Sud (Mansera) (cf. figure n° 76).

- ***Les résultats :***

- L'échantillon d'Ounjougou ("C") :

L'échantillon "C" du site d'Ounjougou est prélevé au niveau du site dit des Unio (cf. figure n° 76), à proximité d'une mare semi-permanente, qui coule vers le Ravin Sud et le site de la Confluence. La végétation immédiate est composée de Cypéracées et autres plantes aquatiques (*Ipomea*). A proximité de la mare, poussent quelques pieds d'*Andira inermis* et à 200 mètres à l'aval quelques-uns des derniers *Syzygium guineense* de la région. Sur les glacis environnants, la savane est soumise à la culture intensive du mil, avec un parc arboré à *Vitellaria paradoxa* (karité), *Detarium microcarpum*, *Lannea microcarpa, Sclerocarya birrea, Daniellia oliverii, Parkia biglobosa, Vites spp., Borassus aethiopium*…

Ce spectre illustre très bien la végétation ouverte d'Ounjougou, avec des graminées à 63,8 % et seulement 11,6 % de pollen arboréen (P.A.), essentiellement des Combrétacées (2,4 %). L'importance des plantes hygrophiles est illustrée par des Cypéracées à 10 %, accompagnées d'*Ipomea* (4,4 %). Un taux d'espèces rudérales (Composées, Acanthacées, *Borreria, Mitracarpus*…) de près de 5 % est à mettre en relation avec l'importante emprise des champs et des espaces fortement anthropisés.

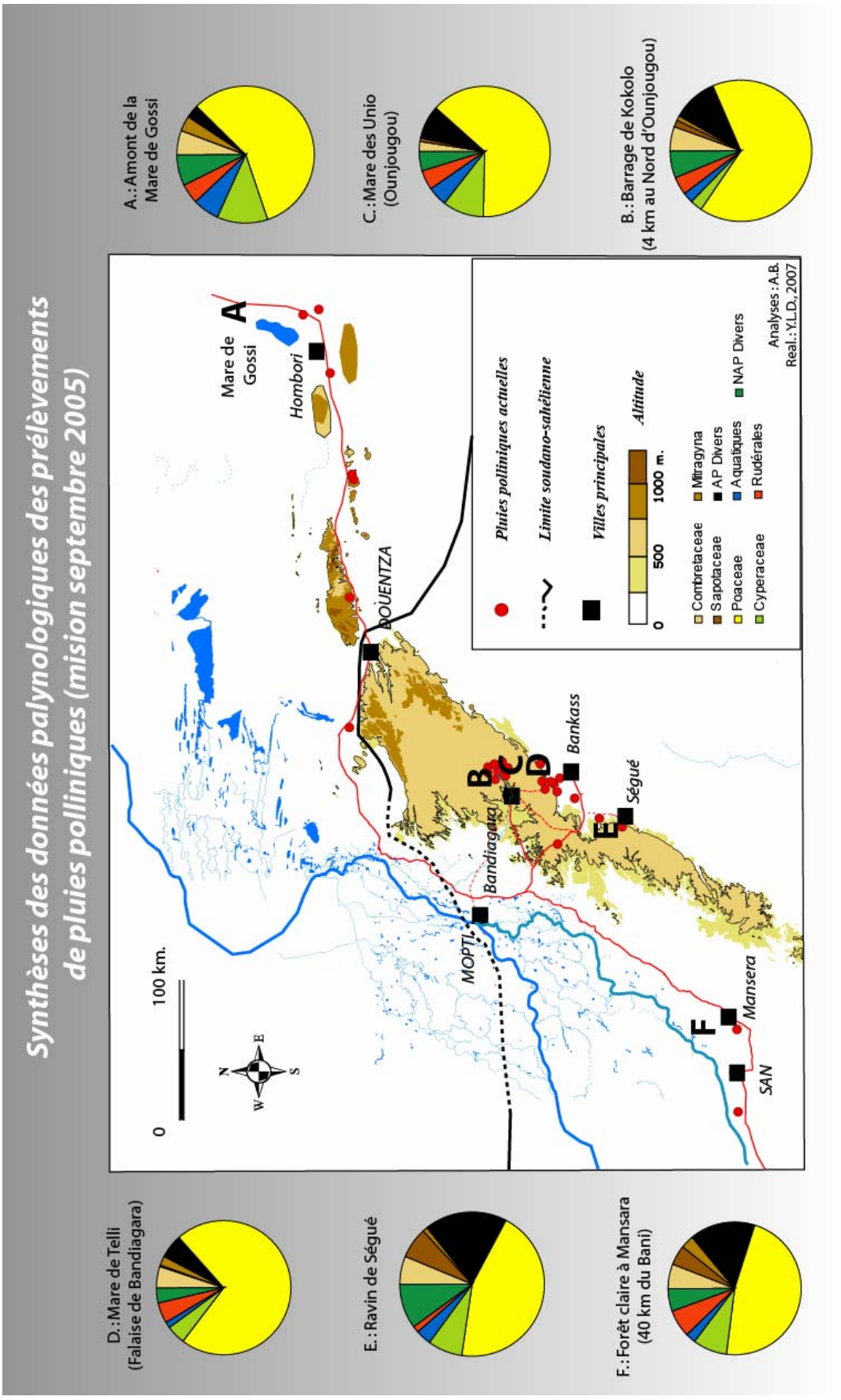


Figure n° 76 : synthèse des données polliniques des prélèvements de pluies polliniques (mission de septembre 2005)

- L'échantillon de Kokolo ("B") :

Le site du barrage de Kokolo est localisé à trois kilomètres à l'Ouest du site d'Ounjougou (cf. figure 76). Il présente localement une végétation hygrophile saisonnière. La végétation environnante est une savane dégradée sur sol squelettique assez proche de la précédente, avec une plus grande fréquence de *Faidherbia albida* et *Adansonia digitata*, aux dépens de *Vitellaria*. Les surfaces dégradées de type "*bad-lands*" sont envahies par de nombreuses Combrétacées (*Combretum glutinosum* et *C. micranthum*).

Avec un spectre comparable au précédent pour les grands groupes (Graminées : 66 %, P.A.: 18,5 %), se site se distingue par une moindre importance des plantes aquatiques et un plus fort taux de Combrétacées (5,7 %).

- L'échantillon de Telli ("D") :

Le site de Telli correspond à une mare saisonnière alimentée par une cascade au pied de la falaise (cf. figure n° 76 ; à une vingtaine de kilomètres au Sud-Est du site de la Confluence du Yamé). La mare est à proximité de champs de mil qui s'étendent jusqu'à la limite des éboulis avec de grands arbres (*Faidherbia albida, Adansonia digitata, Celtis integrifolia, Sclerocarya birrea*, *Parkia biglobosa*) et dans la plaine plus éloignée de nombreux *Terminalia* et *Prosopis africana*. La végétation de la falaise est très dense avec des *Lannea microcarpa, Diospyros mespiliormis, Anogeissus leiocarpus, Ficus spp*. *Khaya senegalensis, Cola laurifolia, Saba senegalensis* et une espèce endémique rare *Acridocarpus monodii*. Le taux des P.A. est de 13,5 %.

La prédominance des graminées (71,7 %) illustre la végétation très ouverte de la Plaine du Séno, malgré une relative proximité de la végétation très arborée de la falaise. Outre les Combrétacées (5,2 %), le principal arbre représenté est *Mitragyna* à sédimentation pollinique très locale en bord de mare. Les rudérales sont bien enregistrées également (5,2 %). En revanche, malgré la grande proximité des champs de mil, le taux de pollens de graminées de type céréale reste très faible (1,7 %).

- L'échantillon de Ségué ("E") :

Ce site du ravin de Ségué (cf. figure n° 76) est situé dans un petit massif en périphérie du plateau (à une soixantaine de kilomètre au Sud-Est d'Ounjougou). Il est remarquable par sa végétation boisée préservée des défrichements et des incendies. Elle appartient au groupement des forêts sèches soudaniennes. Les espèces les plus remarquables sont *Diospyros*

mespiliformis, Cola laurifolia, Malacantha alnifolia, Khaya senegalensis, Celtis integrifolia, Manilkara multinervis, Spondias mombin, Ceiba pentandra, Saba senegalensis et de nombreuses autres lianes.

Le taux de P.A. à 32 % avec des graminées à seulement 44,6 %, est révélateur du caractère relativement boisé du site. Les taxa arboréens ont une plus grande diversité : Sapotacées (6,9 %), Combrétacées (6,3 %), *Celtis* (2,5 %), *Bombax*, *Khaya*, *Diospyros*, *Sterculia*, *Ceiba*…

- L'échantillon de Gossi ("A") :

Un prélèvement a été effectué dans un marigot à l'amont de la Mare de Gossi, en domaine Nord sahélien par 15°46' N. (cf. figure n° 76). L'échantillon est prélevé dans les boues de surface, en bord de marigot parmi les Cypéracées avec des pieds d'*Acacia nilotica* dans l'eau et un peuplement dense de *Ziziphus sp*. La savane est dominée par *A. raddiana* et *Balanites aegyptiaca* accompagnés de *Maerua crassifolia* et *Boscia senegalensis* et localement *Calotropis procera* et *Leptadenia pyrotechnica*. La strate graminéenne est composée de *Cenchrus biflorus*, *Stipagrostis sp*. en couverture discontinue.

La végétation sahélienne très ouverte est bien rendue par 13 % de P.A. Mais dans la végétation herbacée les graminées bien que dominantes sont à 57,1 %, soit bien moins présentes que dans les savanes soudano-sahéliennes du Pays dogon.

- L'échantillon de Mansara ("F") :

La végétation correspond à une mosaïque de forêt claire et savane boisée soudanienne, composée en fait de jachères plus ou moins anciennes (cf. figure n° 76). Les arbres soudaniens sont très diversifiés : outre les grands arbres conservés (*Vitellaria paradoxa Parkia biglobosa, Adansonia digitata*) on peut signaler *Bombax costatum, Anogeissus leiocarpus, Detarium microcarpum*, *Pterocarpus erinaceus*, *Daniellia oliveri, Khaya senegalensis, Vitex doniana,* …). La strate herbacée, localement dense, associe des graminées et de nombreuses autres hérbacées non-graminéennes (Acanthacées, Fabacées…).

Le caractère boisé de la végétation peut se lire à travers le taux de P. A. à 30 % et des graminées à 46,9 %. La végétation zonale soudanienne est surtout illustrée par les Sapotacées (4,5 %) et une grande diversité d'arbres et arbustes : Combrétacées (6 %), *Bombax, Lannea/Sclerocarya, Parkia, Securinega,* … C'est dans ce spectre que le taux de rudérales est le plus élevé (6,5 %).

- ***Commentaires :***

Outre la prédominance des herbacées (87 à 68 %), la caractéristique majeure de la sédimentation pollinique actuelle sur les six sites étudiés est la prédominance du signal pollinique de la végétation locale. Cela est autant valable à l'échelle des grandes régions phytogéographiques, qu'en terme de milieu environnant.

En raison du niveau de détermination de certains taxons (familles des Graminées, des Acanthacées, des Combrétacées, etc…), il est bien sûr difficile de reconnaître des assemblages aux affinités phytogéographiques précises ou des indicateurs totalement discriminants. Ainsi, les taxa identifiés gardent de vastes aires de distribution et une grande plasticité écologique. En première analyse, un groupe comme les Sapotacées est bien mieux représenté dans le spectre soudanien de Mansara qu'à Gossi en domaine sahélien (cf. figure n° 76).

En revanche, en Pays dogon, la présence et la place occupée par les Sapotacées dépendra plus de l'environnement du site étudié : forêt sèche de ravin (*Vitellaria paradoxa*, *Manilkara multinervis*), agrosystème à Karité (*Vitellaria*). Pour un taxon comme les Combrétacées que certains auteurs utilisent comme caractéristique de la végétation sahélienne (Lézine & Edorh, 1991 ; Dupont & Hooghiemstra, 1989) et d'autres de la végétation soudanienne (Salzmann, 2000), il est présent dans tous les spectres mais probablement avec une composition spécifique différente. Des taux compris entre 5 et 7 % peuvent couvrir des réalités différentes (cf. figure n° 76).

En domaine sahélien, la dominance des Combrétacées dans le pollen arboréen est surtout liée au caractère faiblement pollinisateur des autres arbres, comme les Acacias. Ailleurs, elle peut être en revanche significative d'une place réelle dans la végétation (*Anogeissus leiocarpus* dans la forêt de Ségué ou *Terminalia spp*. et *Combretum spp.* dans les différentes savanes du Séno ou du plateau). Il s'agit donc bien plus de mettre en évidence des rapports relatifs entre taxa que de véritables indicateurs stricts. Un tel constat doit amener à être très prudent dans l'interprétation paléo-phytogéographique des spectres fossiles (cf. figure n° 76).

Toutefois, la pluie pollinique actuelle rend très bien compte des variations de la végétation autour des sites étudiés. En premier lieu, la dominance des graminées confirme toujours le caractère ouvert de la végétation et est ainsi un bon marqueur des savanes. Des taux inférieurs à 50 % ne sont enregistrés qu'à Ségué dans une végétation forestière de ravin ou dans la forêt claire soudanienne de Mansara. Dans le spectre sahélien de Gossi où les graminées n'atteignent que 57 %, ce sont d'autres herbacées non-graminéennes qui reflètent le caractère ouvert de la savane (cf. figure n° 76). Les taux de Cypéracées et d'espèces aquatiques (*Ipomea*, *Nymphea*), avec une tendance à la sédimentation *in situ*, sont eux particulièrement significatifs des conditions de zones humides. Ensuite, c'est la diversité de la composition taxonomique des spectres qui peut informer sur le type de formation végétale. Comme la diversité de la composante herbacée semble caractéristique des savanes sahéliennes, celle des arbres et arbustes révèle bien la richesse de la couverture arborée.

2.1.2.2. Quels sont les paysages végétaux avant le deuxième millénaire avant notre ère ?

- ***Les analyses palynologiques du site de la Termitière (première séquence de l'Holocène récent : HR1) :***

Les analyses polliniques du site de la Termitière (site localisé à l'aval de la Confluence du Yamé, en Rive Gauche, en face du site du Ravin de la Mouche ; cf. figure n° 77) ont été menées sur quatre spectres (Ballouche, 2004), avec des sommes polliniques comprises entre 531 et 245. Les spectres analysés correspondent aux profondeurs entre 40, 35, 30 et 15 centimètres (du sommet de la coupe). Ces sédiments rythmés ont été prélevés il y a une dizaine d'années par l'équipe du Musée Royal d'Afrique central (Belgique), sur une coupe qui a aujourd'hui disparu. Il existe une date obtenue par un charbon de bois : 4526+/-50 B.P. (soit entre 3370-3080 B.C. cal.).

Trente-six taxa arboréens ont été observés et trente et un taxa non arboréen. Les taxa dominants sont les herbacées, dont les graminées.

Les espèces arborées dominantes sur ces quatre spectres sont *Alchornea*, *Combretaceae, Sapotaceae, Uapaca* et *Combretaceae.* Les espèces arborées secondaires sont *Parinari, Celtis, Vitex, Bombax* et *Meliaceae.* La majorité des espèces arborées correspondent au début de la première séquence de l'Holocène récent, au groupement phytogéographique soudano-guinéen. Il est remarqué un recul progressif de certaines de ces espèces (comme *Alchornea*, où le taux diminue de 15 à 5 % entre la base et le sommet) au profit des *Combretaceae* et *Sapotaceae*.

Les groupements des P.N.A. (pollens non arborés) sont supérieurs à 60-70% des pollens observés. La majorité des P.N.A. est dominée par les *Poaceae* (entre 40-55 %), avec des *Cyperaceae* et *Canthium*.

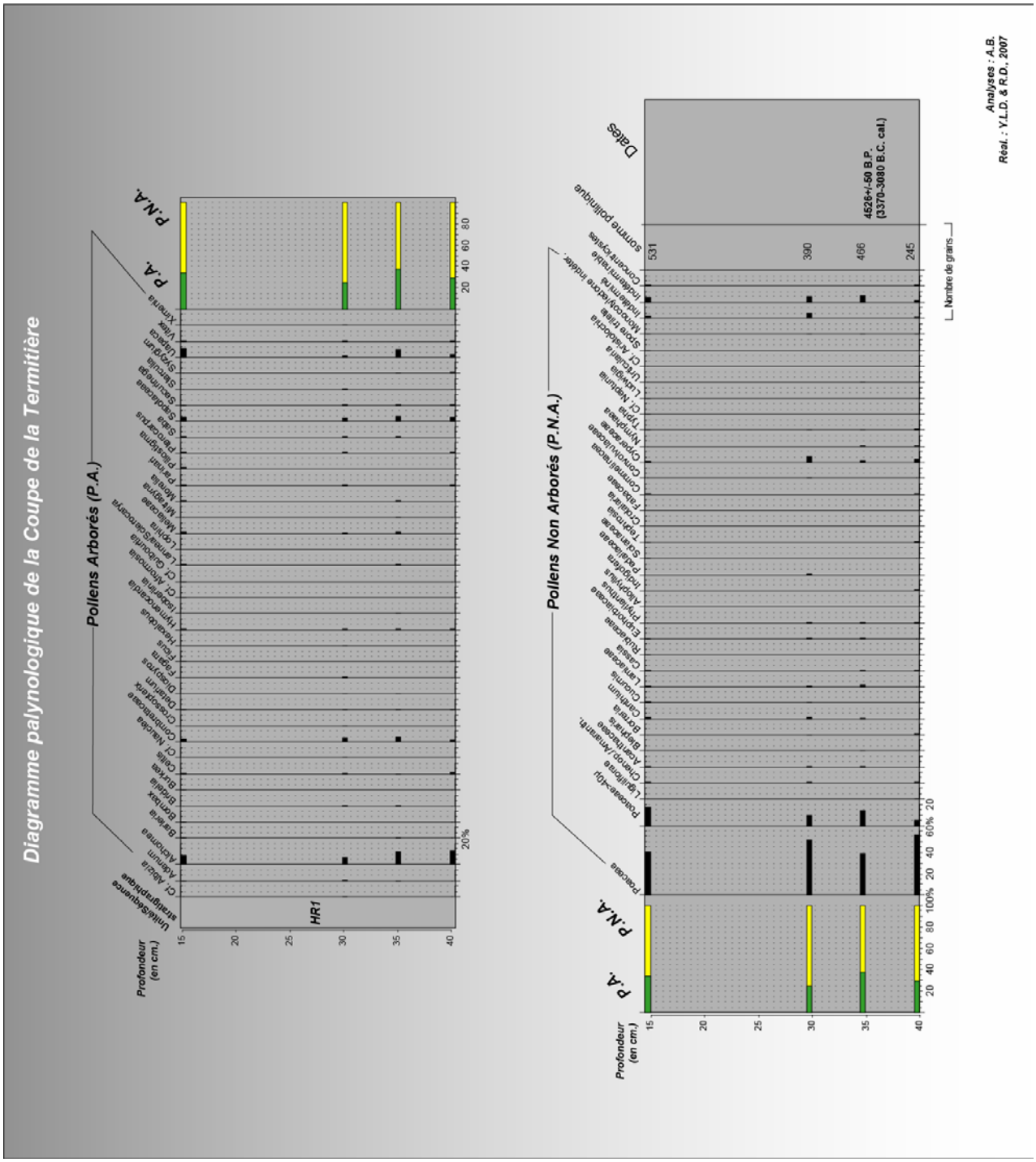


Figure n° 77 : diagramme pollinique de la coupe de la Termitière (HR1)

• ***Les analyses palynologiques du site du Ravin Sud (première séquence de l'Holocène récent : HR1) :***

Les analyses polliniques du site du Ravin Sud (localisé au Nord de la Confluence, à proximité du site des Unio, cf. figure n° 78), ont été menées sur sept spectres, avec des sommes polliniques comprises entre 407 et 107 (Ballouche, in : Huysecom & al., 2004). Les spectres analysés correspondent aux profondeurs 675, 655, 585, 570, 540, 520 et 510 centimètres (du sommet de la coupe). Ces sédiments rythmés, en partie disparus aujourd'hui (en raison de l'érosion régressive) ont obtenu trois dates par des charbons de bois :

- la base (675) : 3798+/-51 B.P. (soit entre 2350-2120 B.C. cal.),
- le milieu de la coupe (570) : 3756+/-34 B.P. (soit entre 2290-2210 B.C. cal.)
- et le sommet (510) : 3697+/-51 B.P. (soit entre 2210-1940 B.C. cal.).

Trente cinq taxa arboréens ont été observés et vingt huit taxa non arboréens. Les taxa dominants sont les herbacées, dont les graminées.

Les espèces arborées dominantes sont *Combretaceae* et *Sapotaceae*. Les espèces secondaires sont majoritairement soudaniennes comme *Lannea/Sclerocarya, Detarium, Pterocarpus, Celtis* ou *Acacia sp*. Les espèces soudano-guinéennes diminuent progressivement au cours de la fin de la première séquence de l'Holocène récent. Les *Alchornea* vers 3798+/-51 B.P. (soit entre 2350-2120 B.C. cal.) sont majoritaires (10 %), ils sont ensuite en nette diminution jusque vers 3697+/-51 B.P. (soit entre 2210-1940 B.C. cal.) où ils ne représentent plus que 2 % du spectre pollinique. A l'inverse les espèces soudaniennes augmentent sensiblement comme les *Detarium*.

Près de 70 à 80 %, des pollens observés, correspondent au groupement des P.N.A., dont la majorité sont des *Poaceae* (60-80%), avec des *Cyperaceae*.

Les données palynologiques de la Termitière et du Ravin Sud permettent de supposer l'existence de paysages végétaux de type soudano-guinéen, au début de la première séquence de l'Holocène récent (vers 4526+/-50 B.P., soit entre 3370-3080 B.C. cal.). Un début d'ouverture des paysages est enregistré, ensuite avec le recul des arbres et des espèces de plus en plus pyrophiles, comme les *Sapotaceae* et *Combretaceae*. Ce processus se poursuit ensuite par le renforcement du caractère soudanien de la flore pollinique.

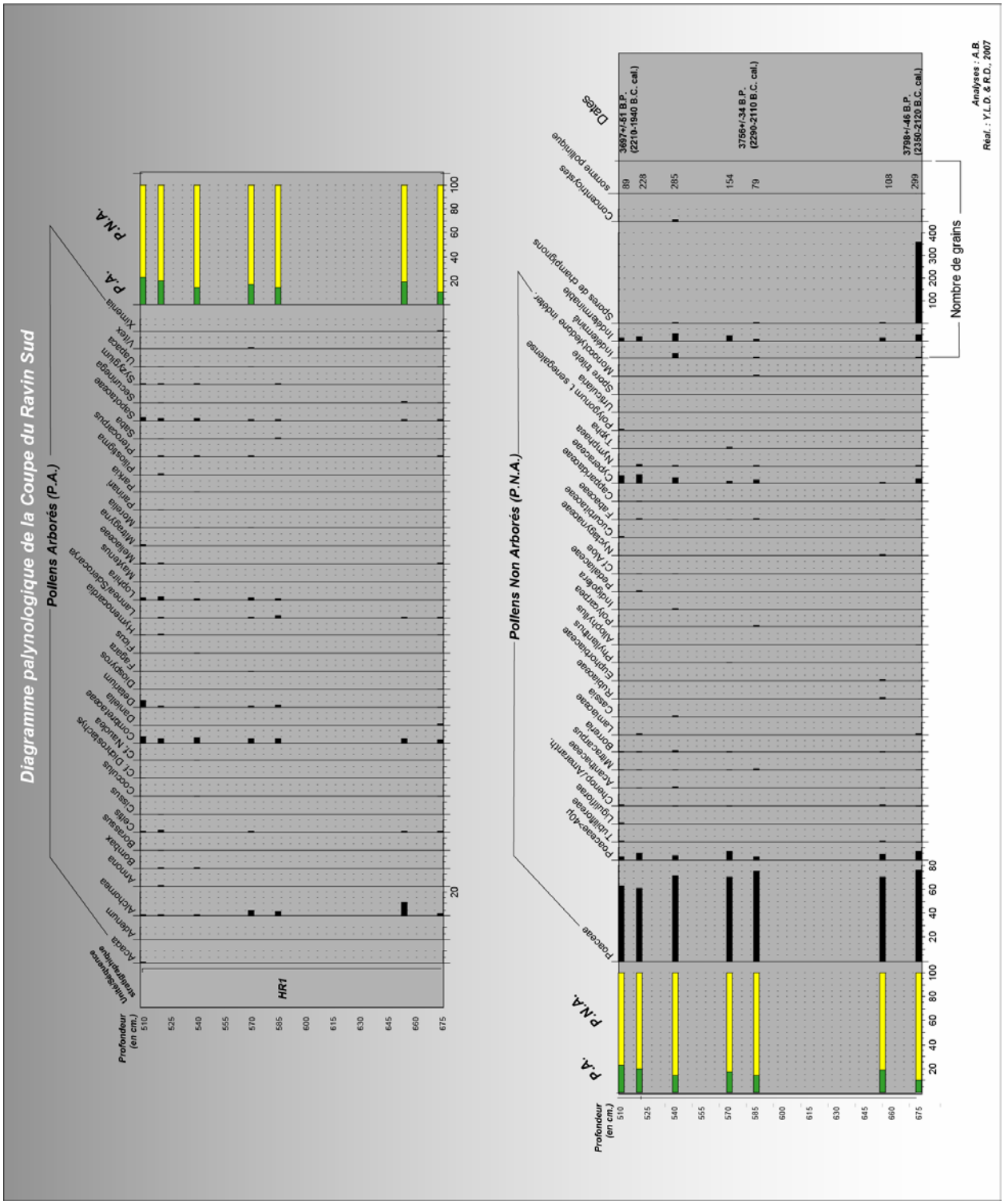


Figure n° 78 : diagramme pollinique de la coupe du ravin Sud (HR1)

2.1.2.3. Quels sont les paysages végétaux au deuxième millénaire avant notre ère ?

- ***Les analyses palynologiques de la coupe des Varves Ouest***

Les analyses polliniques sur le site des Varves Ouest (Coupe 15 de la Rive Droite du Yamé, cf. figure n° 79) ont été menées sur quatre spectres, avec des sommes polliniques comprises entre 842 et 109. Les spectres analysés correspondent aux sous-unités chronostratigraphiques : HR2Aa1 (pour la profondeur -12,1 ; soit entre 3420+/-40 B.P., soit 1880-1620 B.C. cal.) ; HR2Ab (pour la profondeur -11,6) ; HR2Ba (pour la profondeur -10,5) et HR2Bb (pour la profondeur -10,2 ; soit 2800+/-60 B.P., soit 1120-820 B.C. cal). Trente-quatre taxa arboréens ont été observés et seize taxa non arboréens. Les taxa dominants sont les herbacées, dont les graminées.

Vers 3420+/-40 B.P. (soit 1880-1620 B.C. cal.), les espèces arborées dominantes sont principalement méridionales, comme *Alchornea, Annona, Parinari, Syzygium* et *Uapaca. V*ers 2800+/-60 B.P. (soit 1120-820 B.C. cal), se sont les espèces à affinités soudaniennes qui deviennent majoritaires avec *Combretaceae* en majorité, puis *Cissus,* cf. *Nauclea, Commiphora, Meliaceae, Uapaca, Lannea/Sclerocarya, Alchornea, Boscia, Lophira.* Les espèces arborées secondaires en augmentation sont *Adansonia, Commiphora, Parkia* et le groupe des *Sapotaceae*.

Le groupement des P.N.A. représente 55 à 75 % des pollens observés. L'espèce dominante est *Poaceae* (30 à 40 %), avec *Mitracarpus, Borreria* et la famille des *Acanthaceae*.

Les paysages ont tendance à se fermer, au sein de la sous-unité HR2Ba, avec plus de taxa arboréens et des taux de P.A. plus importants. Les savanes sont soudaniennes avec des espèces soudano-guinéennes plus variées et plus nombreuses. Quelques espèces soudano-sahéliennes commencent à apparaître.

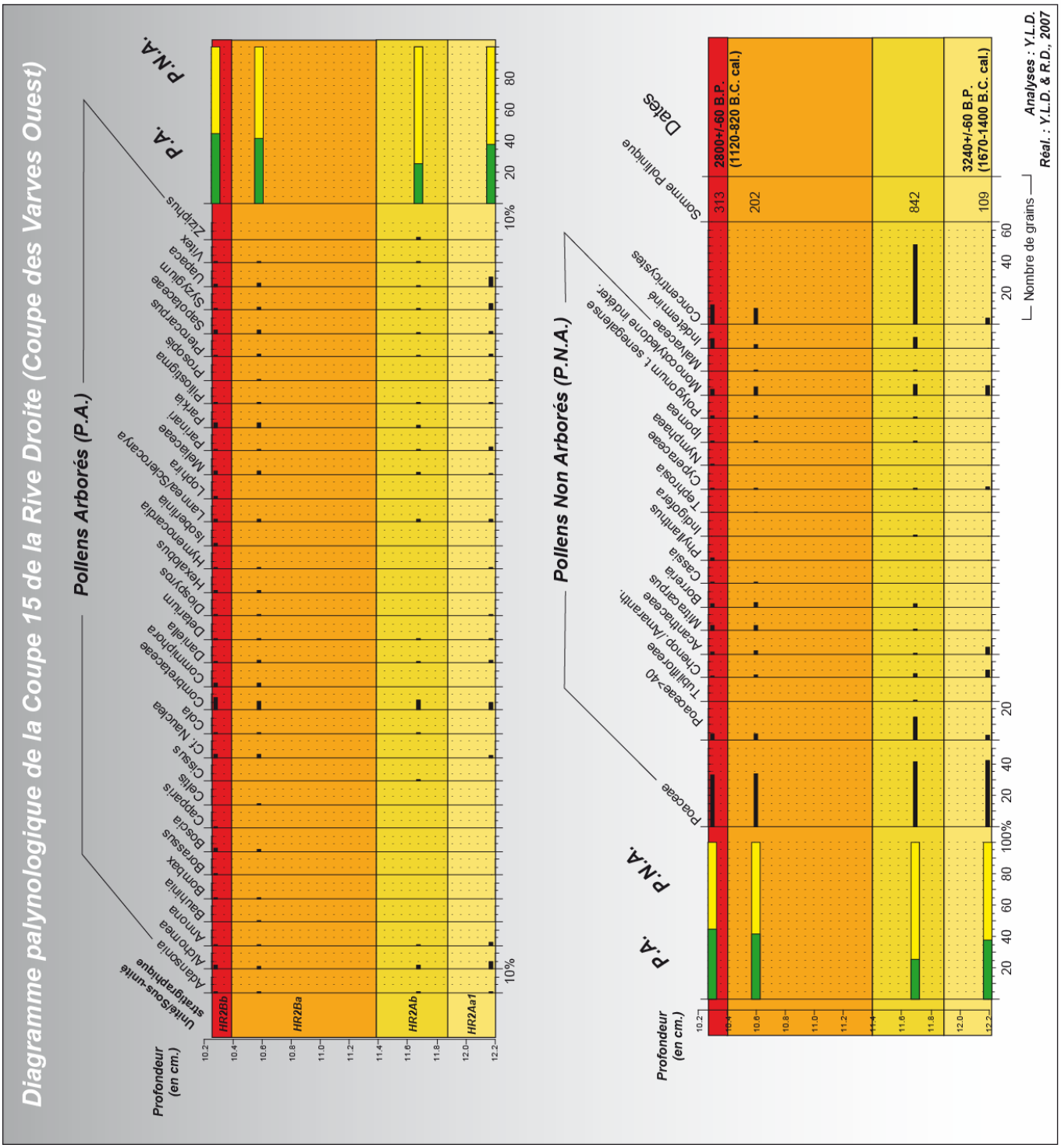


Figure n° 79: diagramme palynologique de la coupe 15 de la rive Droite (Coupe des varves ouest) (HR2)

- ***Les analyses palynologiques de la coupe du Rônier***

Les analyses polliniques sur la coupe 13 de la Rive Gauche (Coupe du Rônier) ont été menées sur six spectres (cf. figure n° 80) avec des sommes polliniques comprises entre 667 et 133. Les spectres analysés correspondent aux unités et sous-unités chronostratigraphiques suivantes : HR1 (pour la profondeur 0-3 centimètres de la base) ; HR2Ca (pour les profondeurs 63-64 et 78-80 centimètres) et HR2Cb (pour les profondeurs entre 110 et 158 centimètres). L'unité observée HR1 est estimée antérieure à 3385 +/-35 B.P. (soit 1770-1530 B.C. cal.), correspondant ainsi à la transition de la première et de la seconde séquence de l'Holocène récent. Les dépôts de la sous-unité HR2Ca de la coupe du Rônier correspondent à la phase comprise entre 2473+/-36 et 2440+/-40 B.P. (soit 710-400 B.C. cal.), ceux de la sous-unité HR2Cb sont postérieurs à 2440+/-40 B.P. (soit post. 670-400 B.C. cal.). Trente-quatre taxa arboréens ont été observés et 19 taxa non arboréens.

Les taxa dominants sont les herbacées, dont les graminées. Les espèces dominantes à la base de la coupe du Rônier (correspondant à la première séquence de l'Holocène récent) sont *Parinari, Detarium, Syzygium* et *Piliostigma*. Au sommet, les espèces arborées dominantes sont *Alchornea, Daniellia, Parkia, Detarium* et le groupe des *Combretaceae*. Les espèces arborées secondaires correspondent aux *Commiphora, Adansonia, Boscia, Acacia* et *Prosopis*.

Les espèces arborées en augmentation sont *Acacia, Adansonia, Commiphora, Parkia,* les *Sapotaceae, Pterocarpus, Prosopis, Daniellia* et *Lannea/Sclerocarya*. Les espèces qui diminuent sont *Lophira, Vitex, Uapaca, Alchornea, Syzygium, Hexalobus, Diospyros* et *Parinari*.

Le groupement des P.N.A. représente 80 % (à la base) à 60 % (au sommet) des pollens observés. Les Poaceae sont majoritaires (entre 30 et 40 %), avec *Cyperaceae, Mitracarpus, Monocotyledone* et *Acanthaceae*. Les espèces méridionales dominantes à la première séquence de l'Holocène récent sont en nette diminution voire disparaissent à la fin de la deuxième séquence de l'Holocène récent, tandis que les espèces soudaniennes deviennent progressivement dominantes.

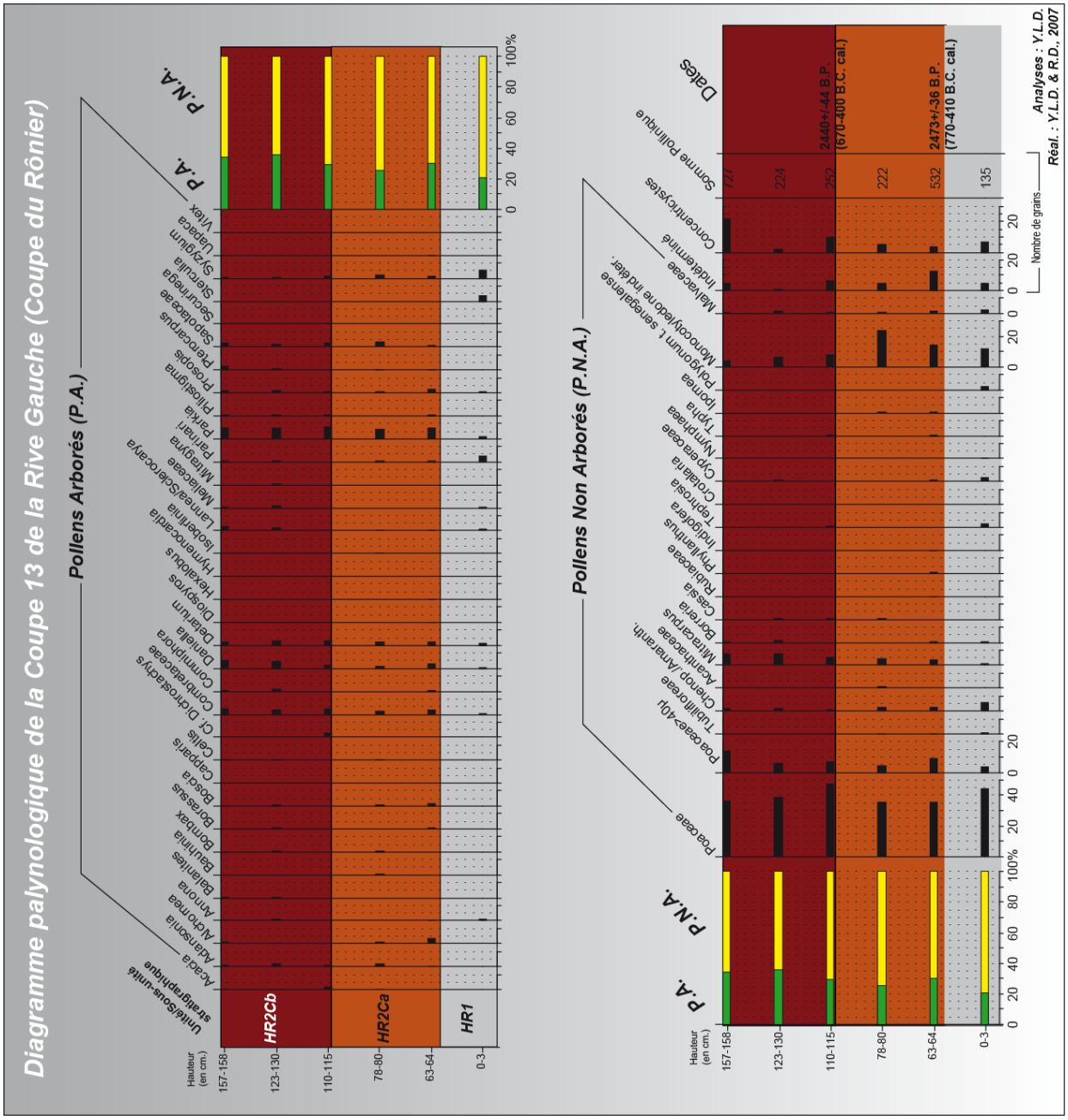


Figure n° 80 : diagramme palynologique de la coupe 13 de la rive Gauche (Coupe du Rônier) (HR2)

Une toute première lecture des données polliniques, avant de les confronter à celles des macrorestes, permet de dire que tout au long de l'Holocène récent, elles montrent le maintien d'une végétation ouverte de savanes dominantes. Comme nous le constatons dans la pluie pollinique actuelle, il faut souligner que ces données rendent surtout compte d'une végétation locale, d'où parfois l'importance de l'enregistrement des formations ripicoles et de forêt galerie. En termes d'évolution, le fait remarquable est la nette diminution voire la disparition, à la fin de la deuxième séquence de l'Holocène récent, des espèces méridionales dominantes dans la première séquence. Parallèlement les espèces soudaniennes deviennent progressivement dominantes et note même l'émergence progressive de taxa sahéliens.

2.2. Les analyses paléo-anthracologiques et carpologiques (résultats des analyses par B. Eichhorn & K. Neumann)

2.2.1. Les méthodes

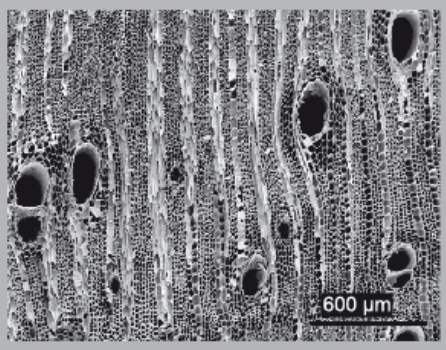
2.2.1.1. Les intérêts de l'anthracologie et de la carpologie

Les analyses anthracologique et carpologique pour l'Holocène dans la vallée du Yamé sont effectuées au laboratoire "*Archäologie und Archäobotanik Afrikas*" à Francfort, par Barbara Eichhorn et Katharina Neumann (Eichhorn & Neumann, sous presse).

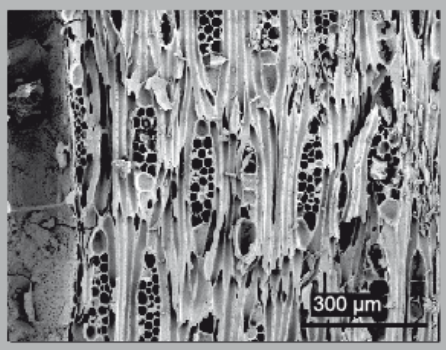
L'anthracologie est l'analyse des charbons de bois trouvés dans des sites archéologiques ou dans les dépôts alluviaux ou colluviaux. Pour analyser les charbons, l'utilisation de la microscopie incidente et la microscopie électronique de balayage sont nécessaires. Dans la zone soudano-sahélienne, la détermination d'un ensemble de charbons de 150 à 400 pièces avec un même âge caractérise suffisamment la composition de la paléovégétation ligneuse (Neumann, 1999). La comparaison des ensembles anthracologiques de différents âges est utilisée pour détecter des changements paléoenvironnementaux. L'emploi et l'interprétation conjointe des méthodes de l'anthracologie et de la palynologie augmentent nettement la signifiance des résultats (Neumann, 1999 ; Eichhorn & Le Drézen, 2007).

La carpologie a pour objectif la détermination des fruits et des graines trouvés dans des échantillons archéobotaniques après tamisage et flottaison. La morphologie des matériaux est analysée avec une forte loupe stéréoscopique et une collection de référence des plantes récentes est utilisée (Kahlheber, 2004). La carpologie donne des informations sur la composition de la strate herbeuse et graminéenne de la paléovégétation et la preuve de la présence de plantes domestiquées comme le petit mil dans la vallée du Yamé qui est le seul indice sans équivoque de l'agriculture ancienne (Huysecom & al., 2007 ; Eichhorn & Le Drézen, 2007).

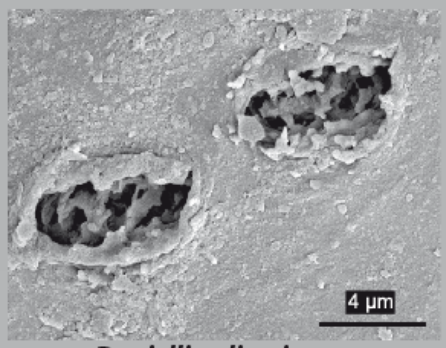
Photographies S.E.M. des charbons de bois d'Ounjougou



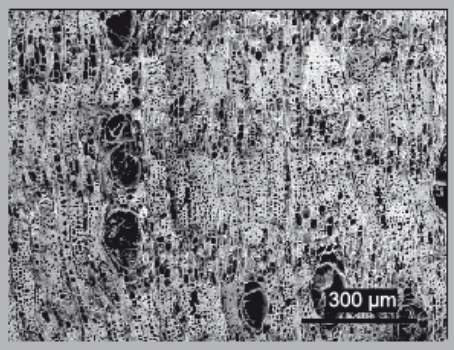
Daniellia oliveri
(Fabaceae-Caesalpinioideae)
vue transversale
Parenchymes paratrachéal, en manchon



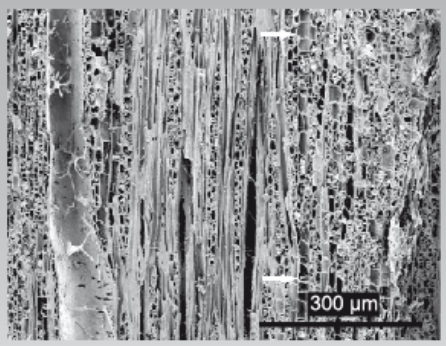
Daniellia oliveri
(Fabaceae-Caesalpinioideae)
vue tangentielle
Rayons hétérocelullaires, structure étagée



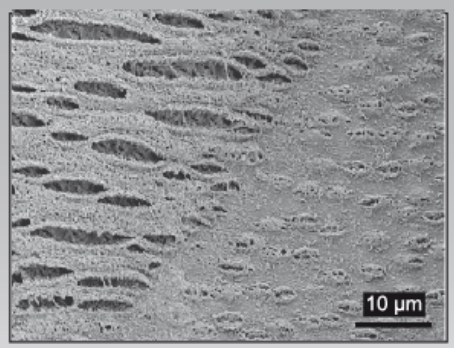
Daniellia oliveri
(Fabaceae-Caesalpinioideae)
vue tangentielle
Ponctuations ornées entre les vaisseaux



Lophira lanceolata (Ochnaceae)
vue transversale
Parenchymes en bandes



Lophira lanceolata (Ochnaceae)
vue tangentielle
Parenchyme axial en files multicellulaires



Lophira lanceolata (Ochnaceae)
vue radiale
Petites ponctuations ornées avec apertures coalescentes

Analyses : B. Eichhorn (Eichhorn & Neumann, sous presse)

Planche photographique n°24 : photographies S.E.M. des charbons de bois d'Ounjougou

2.2.1.2. De l'échantillonnage aux différentes analyses :

La majorité des échantillons botaniques a été prélevée par Hugues Doutrelepont (du Musée Royal d'Afrique Central, le M.R.A.C., à Tervuren, en Belgique), durant les campagnes de 1998 à 2001 ou par B. Eichhorn et K. Neumann lors des récentes missions de terrain (2005 et 2007). Les fragments de charbons supérieurs à deux millimètres, les graines et les fruits ont été sélectionnés à la main ou à l'aide d'une pince à épiler ou par tamisage durant les fouilles archéologiques. Les échantillons de fruits et de graines étaient récupérés par un tamisage à sec des sédiments avec des mailles large de deux, un et un-demi millimètres et ultérieurement par flottaison au laboratoire de Francfort (Eichhorn & Le Drézen, 2007 ; Eichhorn & Neumann, sous presse).

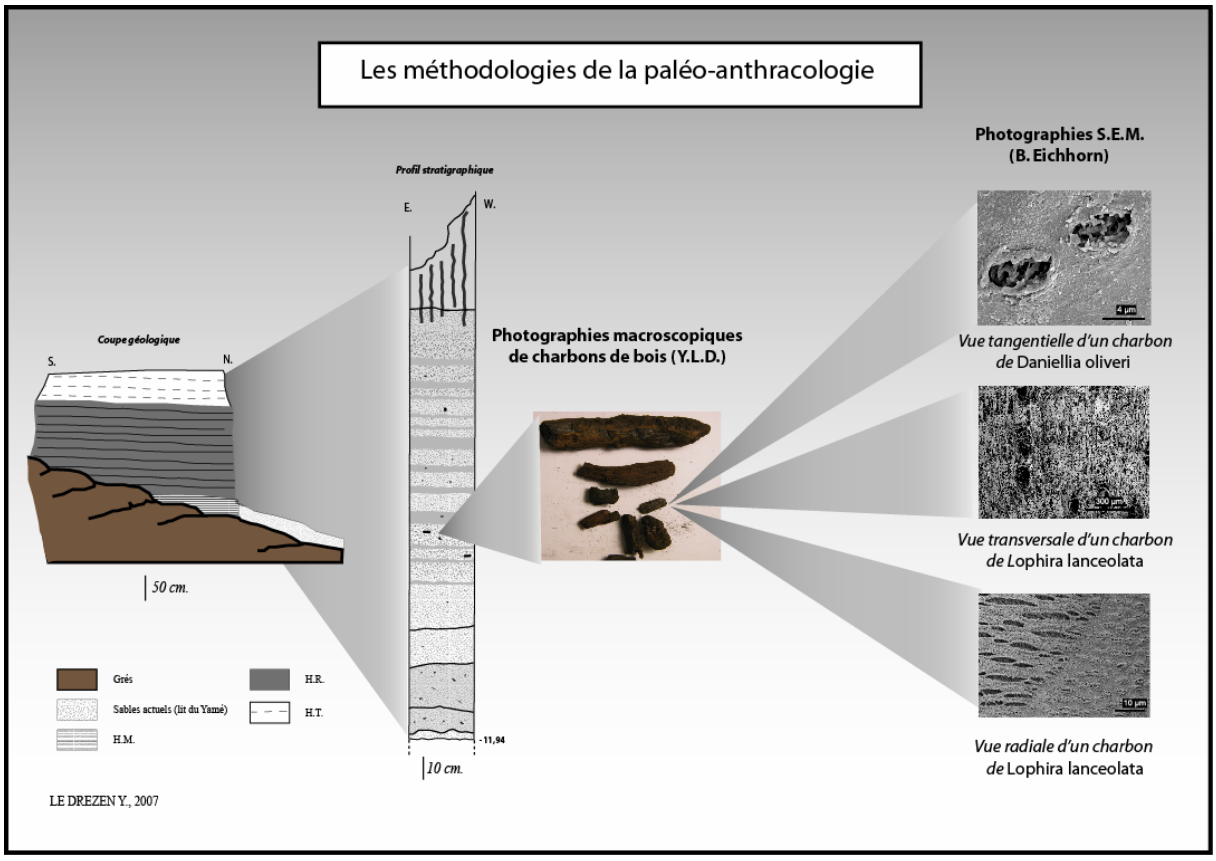


Figure n° 81: méthodologies de la paléo-anthracologie

La comparaison des caractères anatomiques (cf. figure n° 81) perceptibles d'une pièce de charbon dans les trois faces significatives (transversale, tangentielle et radiale) avec une collection de références de bois récent permet l'identification des plantes ligneuses brûlées (Eichhorn & Neumann, sous presse). Un Scannage Electronique Microscopique (S.E.M. :

Scanning Electron Microscopy ; cf. planche photographique n° 24) était appliqué aux échantillons incertains et pour la documentation (série de grossissement : x 50 à x 500).

Les identifications ont respecté les normes standard IAWA (Wheeler & al., 1989). Les types de charbons étaient identifiés avec une collection de référence des bois actuels d'Afrique du laboratoire archéobotanique de Francfort, par la base de données anatomique de Francfort DELTA/Intkey (Neumann & al., 2001), par les atlas anatomiques de bois et les catalogues anthracologiques (Normand 1950-1960 ; Neumann & al., 2001 ; Eichhorn, 2002 ; Höhn, 2005).

2.2.2. Les analyses anthracologiques et carpologiques

2.2.2.1. Quelles sont les données anthracologiques et carpologiques avant le deuxième millénaire avant notre ère ?

Au cours de la transition entre l'Holocène moyen et récent, les taxa dominants provenant probablement de la forêt-galerie sont *Syzygium guineense*, *Khaya cf. senegalensis, Uapaca togoensis et Alchornea cordifolia*. La végétation sur les sols bien-drainés est principalement caractérisée par le *Terminalia sp.*, le *Prosopis africana* et le *Detarium cf. microcarpum*. Le *Vitex sp.* et le *Vitellaria/Manilkara* ont pu se développer dans la savane ou la forêt-galerie, avec le *Lophira lanceolata*, le *Parinari cf. curatellifolia*, le *Tamarindus indica*, *Swartzia cf. madagascariensis* et *Flueggea virosa (Securinega)/Hymenocardia acida*. Les arbres et arbustes des savanes soudano-guinéennes et soudaniennes sont présents à la fin de l'Holocène moyen, ils n'avaient pas été identifiés dans les sédiments précédents. Au début de l'Holocène récent, le *Daniellia oliverii*, le *Bombax costatum/Ceiba pentandra* et le *Cola sp.* apparaissent pour la première fois dans le Ravin du Hibou (Eichhorn & Neumann, sous presse).

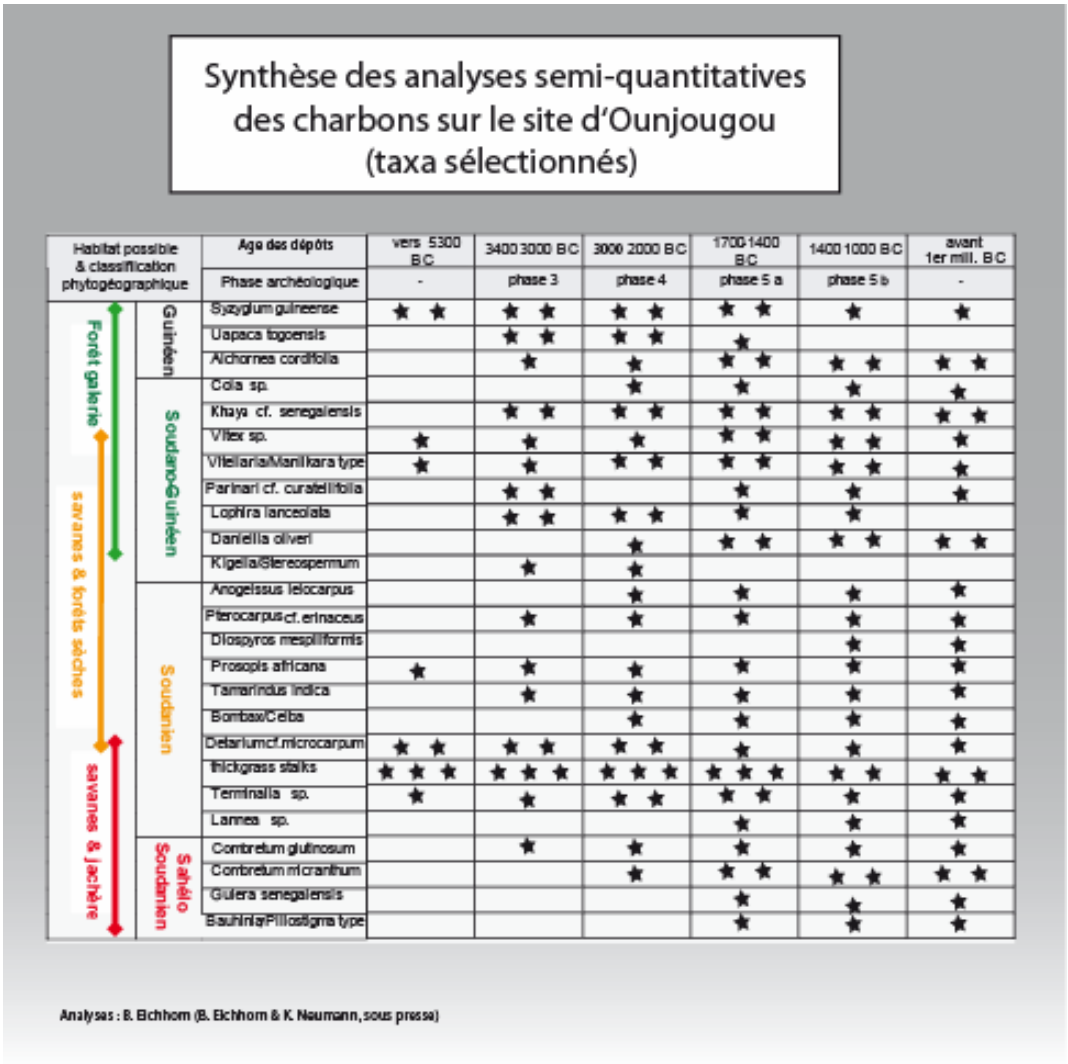


Figure n° 82 : synthèse des analyses semi-quantitatives des charbons sur le site d'Ounjougou (taxa sélectionnés)

Parallèlement à l'anthracologie, la carpologie apporte ici, la preuve déterminante de la domestication du petit mil (*Pennisetum glaucum*) dans la vallée du Yamé (Eichhorn & Neumann, sous presse).

2.2.2.2. Quelles sont les données anthracologiques et carpologiques au deuxième millénaire avant notre ère ?

Les analyses de cette période ont été réalisées sur la coupe 15 de la Rive Droite (le site des Varves Ouest) et la coupe 13 de la Rive Gauche (Coupe du Rônier). La collection de charbons de bois du site des Varves Ouest est différente de celle des phases précédentes. Le *Daniellia*

oliveri (cf. figure n° 82 & planche photographique n° 24) devient plus important et les taxa à affinités sahélo-soudaniennes, comme le *Guiera senegalensis*, le *Bauhinia/Piliostigma sp.*, le *Lannea sp.* et le *Combretum micranthum* apparaissent distinctement et abondamment. L'espèce guinéenne, le *Uapaca togoensis* diminue et disparaît finalement avec le début de la sous-unité HR2Ab. Le *Lophira lanceolata* (cf. figure n° 82 & planche photographique n° 24) est toujours présent pendant la sous-unité HR2Ab et est absent dans les sédiments les plus récents des Varves Ouest (HR2Ba et HR2Bb) et sur la Coupe du Rônier (HR2Ca et HR2Cb). Les résultats préliminaires de la Coupe du Rônier n'indiquent pas de changement principal par rapport aux sous-unités précédentes des Varves Ouest (Eichhorn & Neumann, sous presse).

2.2.2.3. Quels enregistrements anthracologiques et carpologiques au cours des deux derniers millénaires ?

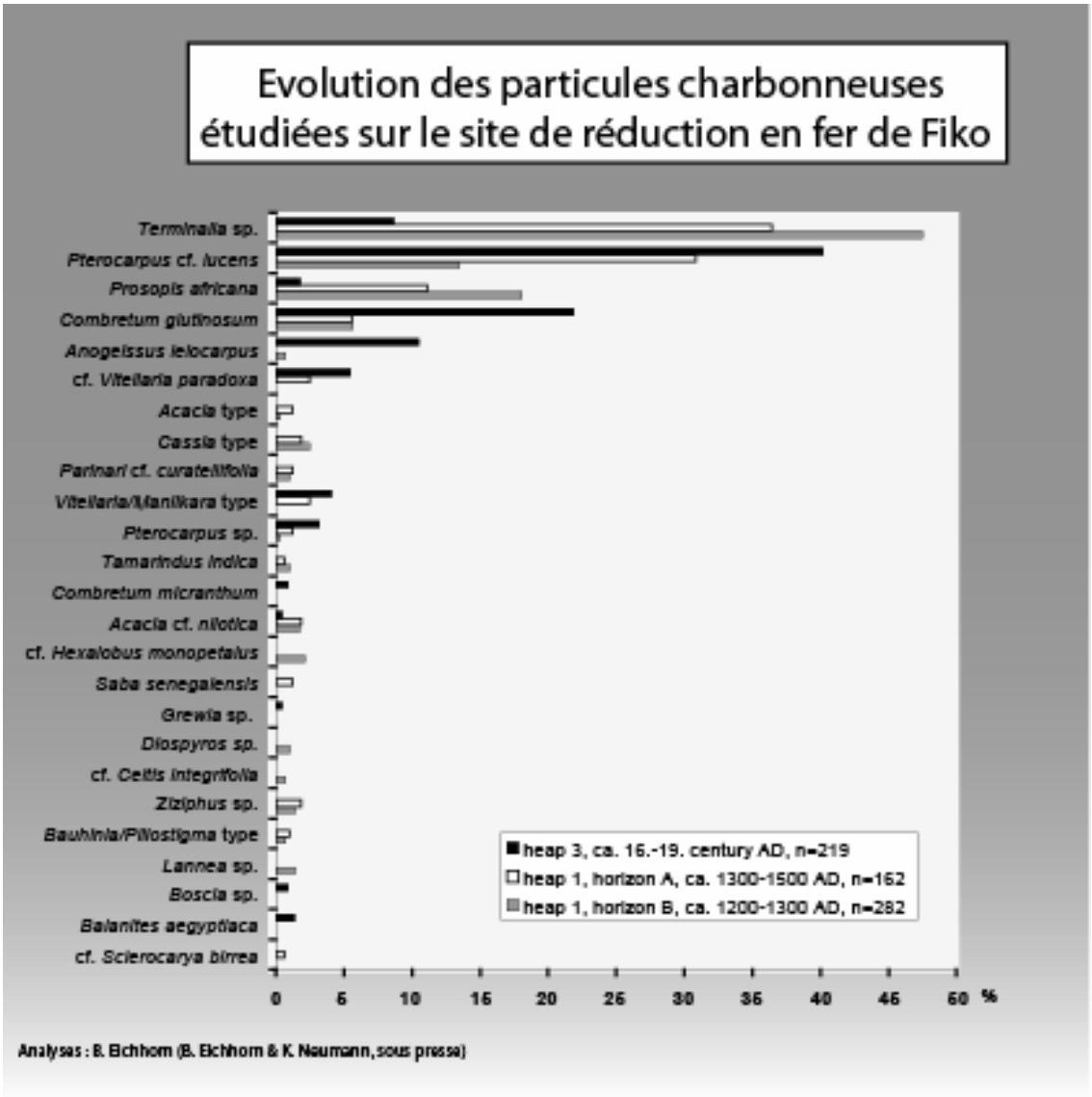


Figure n° 83 : évolution des particules charbonneuses étudiées sur le site de Ficko

4

La séquence de l'Holocène terminal a été analysée par anthracologie à partir de charbons prélevés sur le site de réduction de fer de Ficko (fouillé par S. Perret) daté entre le 13ème et le 19ème siècle A.D. Ce site est localisé à proximité du Yamé (300-500 mètres) et à une cinquantaine de kilomètres en aval du site de la Confluence de la vallée du Yamé (du site d'Ounjougou) soit à une vingtaine de kilomètres à l'aval de Bandiagara. Le *Terminalia sp., Pterocarpus cf. lucens, Prosopis africana et Combretum glutinosum* dominent dans les collections de charbons de bois (cf. figure n° 83). Plusieurs autres espèces boisées ont été utilisées dans de plus petites proportions pour la production du fer. La séquence se compose de trois échantillons en blocs représentatifs de différents âges, qui montrent les changements distincts de l'abondance des taxa dominants. Au cours de l'occupation humaine, le *Terminalia sp.* et le *Prosopis africana* diminuent, tandis que le *Combretum glutinosum* et le *Pterocarpus cf. lucens* augmentent de manière significative. Parmi les autres taxa, quelques changements sont évidents. Le karité (*Vitellaria paradoxa*) est de plus en plus utilisé. Les espèces soudaniennes sont peu à peu remplacées par des arbres et des arbustes sahéliens, dont le *Balanites aegyptiaca*. Ces espèces n'ont été trouvées ni à Ounjougou, ni dans les échantillons liés aux phases précédant la production du fer à Ficko (Eichhorn & Neumann, sous presse).

Les résultats complémentaires de la palynologie et de l'archéobotanique montrent une évolution constante au cours des quatre derniers millénaires vers une aridification des paysages végétaux. Dans une mosaïque grand format savane/forêt-claire/forêt-sèche, traversée par des forêts-galeries aux affinités nettement soudano-guinéennes, au début de l'Holocène récent, nous constatons progressivement se mettre en place des structures de végétation plus ouverte où les éléments soudaniens deviennent dominants. Ce n'est qu'à la fin de l'Holocène récent et dans l'Holocène terminal, qu'émergent les éléments sahéliens caractéristiques de la végétation actuelle. Cette logique phytogéographique, qui peut révéler un assèchement progressif du climat, est cependant à tempérer par l'enregistrement de plus en plus évident d'indices d'anthropisation, dont le plus déterminant est la domestication du mil, mise en évidence par Barbara Eichhorn, au début du II^{ème} millénaire B.C.

Les paysages végétaux de la vallée du Yamé évoluent donc progressivement au cours de ces quatre derniers millénaires, vers les savanes-parcs, liées à des pratiques agraires alternant cultures et jachères, dont nous avons reconnu les dernières manifestations dans notre étude diachronique sur le vingtième siècle.

Un aspect semble pourtant remarquable par sa permanence tout au long de cette histoire, c'est le caractère pyrophile de la végétation qui est remarquable avec de nombreux éléments liés aux incendies, eux-mêmes toujours lisibles dans nos analyses à travers les palynofaciès.

Mais quelles sont véritablement les récurrences de ces feux sur le bassin versant du Yamé au cours des quatre derniers millénaires ?

Comment et quand ces feux sont-ils présents dans la savane ?

L'étude des particules charbonneuses par l'analyse du signal incendie va permettre de comprendre ces phénomènes et d'en déduire leur régularité ainsi que les protagonistes.

4

3. *Les études du signal incendie*

3.1. Les intérêts du signal incendie

Les études du signal incendie correspondent à une méthode de recherche récente, s'appuyant sur une analyse des feux passés, à partir de l'archivage des résidus carbonisés. L'objectif est d'établir l'histoire et le mécanisme des incendies (les différents modes de dépôts, les périodes de mise à feu et l'évolution des incendies au cours de l'Holocène). Un des premiers scientifiques à observer les micro-charbons fut J. Iversen (1941) dans le cadre de travaux sur l'occupation humaine au Néolithique (au Danemark). Il quantifia le nombre de particules de charbons au sein des lames palynologiques. Il cumula les données polliniques avec celles des charbons et démontra des tendances assez nettes entre la diminution de la couverture arborée et l'augmentation du nombre de micro-charbons. Il a ainsi mis en évidence des dynamiques de paysages en relation avec des impacts anthropiques au Néolithique (les "*landnams*").

L'histoire des feux depuis les premières recherches sur le signal incendie a été liée à la fois aux dynamiques environnementales et à l'histoire des sociétés. La méthodologie est ensuite développée par d'autres chercheurs, qui interprètent leurs résultats en privilégiant les facteurs climatiques et/ou anthropiques :

- dans les années soixante (Davis, 1967 ; Mehringer & al., 1977 ; Patterson, Edwards & Maguire**,** 1987 ; …) ;
- et ces vingt dernières années (Tolonen, 1986 ; Vernet & Thiébault, 1987 ; Jones, 1991 ; Bird, 1995 ; Berger, 1995 ; Carcaillet & Vannière, 1995 ; Clark & Hussell, 1996 ; Berger & al., 1997 ; Bird & Cali, 1998, 2002 ; Millspaugh, Whitlock & Bartlein, 2000 ; Moore, 2000 ; Vannière, 2001 ; Scott, 2002 ; Whitlock & al., 2007 ; Minckley & al., in press).

Certains travaux de recherches privilégient des feux d'origines climatiques (Clark, 1990 ; Clark & al. 1996 ; Bird & Cali, 1998 ; Berger & Brochier, 2000 ; Carcaillet & Richard, 2000 ; Berger & Thiebault, 2002), d'autres des feux en relations avec l'histoire des sociétés à l'Holocène, voire dès le Paléolithique (Steward, 1956 ; Berger, 1995 ; Simmons & Innes, 1996 ; Bird, 1995 ; Moore, 2000 ; Vanniere, 2001 ; Le Drézen, 2007).

Au cours de l'Holocène il a souvent été démontré que les phases d'anthropisation comportent des processus impliquant des pratiques agropastorales ou des défrichements utilisant les brûlis (Mazoyer & Roudart, 1997 ; Courty & al., 1994, Métaillé, 1981 ; Galop, 1998 ; Ballouche, 1999, Vannière & Martineau, 2005). Ces essartages et ces transformations de paysages sont repérés sur de nombreux sites archéologiques et paléoenvironnementaux. L'importance des incendies pratiqués par les sociétés préhistoriques, protohistoriques et historiques est désormais reconnue dans le but d'ouvrir les paysages fermés, de pratiquer l'agriculture, puis l'élevage (Schulz & Pomel, 1992 ; Pomel & Schulz, 1994 ; Berger, 1995 ; Ballouche, 1999 ; Courty, & al. 1999 ; Vannière, 2001).

Les études de signal incendies sont ainsi nombreuses ces dernières années dans l'hémisphère nord, mais demeurent encore limitées dans les régions tropicales, comme en Afrique de l'Ouest (Power & al., 2007). Les données sont très rares, seules celles d'U. Salzmann (1998, 1999 ; Salzmann & al., 2002) concernant le lac Tilla (au Nigeria) figurent dans la base de données du programme international "Geosphere-Biosphere Programme" (I.G.B.P.) - "Fast Track Initiative on Fire" (F.T.I.)"(*Power & al., 2007).* U. Salzmann a réalisé un décompte des particules charbonneuses à partir de lames palynologiques. Il montre une présence régulière des incendies dans cette région depuis 11 000 ans avec quelques fluctuations. Dans ces conditions, où nos recherches sont pratiquement les premières sur ce sujet et avec des méthodes croisées en Afrique de l'Ouest, il nous est difficile de procéder à des comparaisons fiables pour valider nos données au-delà du Plateau dogon.

3.2. Une approche multi-méthodologique

L'histoire des feux est en général abordée selon différentes approches de caractérisation et de quantification des résidus carbonisés. Premièrement, une quantification des particules est menée à l'aide de techniques courantes de la pétrographie de la matière organique. Deuxièmement, une observation de la morphologie (forme) et de la réflectance des micro et macro-charbons est conduite, afin de cerner les périodes d'occurrence des feux. Ces analyses du signal incendie permettent ainsi d'aborder la nature et la fréquence des feux par le passé. Dans cette recherche, nous avons souhaité croiser cette double approche par différentes méthodes complémentaires, qui sont aujourd'hui rarement utilisées ensemble. Notre étude est réalisée à partir des sédiments et des particules charbonneuses, contenus dans les remplissages fluvio-palustres.

Ces différentes méthodes complémentaires (cf. figure n° 84) sont : l'analyse de lames minces, de lames palynologiques ou par tamisage.

L'étude microscopique en lames minces est tentée par deux approches, l'observation des résidus opaques, par lumière transmise puis l'observation des particules carbonisées par lumière réfléchie. Ces deux méthodes s'appuient sur un comptage et sur une analyse de surface des particules. Ces méthodologies permettent d'observer et de caractériser les différentes tailles de particules. En revanche, la méthode par tamisage permet d'étudier les particules carbonisées de taille supérieure à 100 µm. Les particules les plus petites (< à 200 µm) sont examinées sur les lames palynologiques. Les méthodes par lame mince, avec lumière transmise ou réfléchie ont l'avantage d'étudier toutes les particules, dans leurs positions initiales et sans traitement chimique, pouvant fragiliser et éclater les particules.

Les analyses en lumière transmise (sur les lames micromorphologiques) ont été réalisées au laboratoire Géophen, celles effectuées en lumière réfléchie ont été réalisées au laboratoire Chrono-Environnement de l'UMR 6565_CNRS de l'Université de Franche Comté à Besançon. Les recherches dans ce laboratoire ont été possibles grâce à l'invitation de Boris Vannière et à ses nombreux conseils.

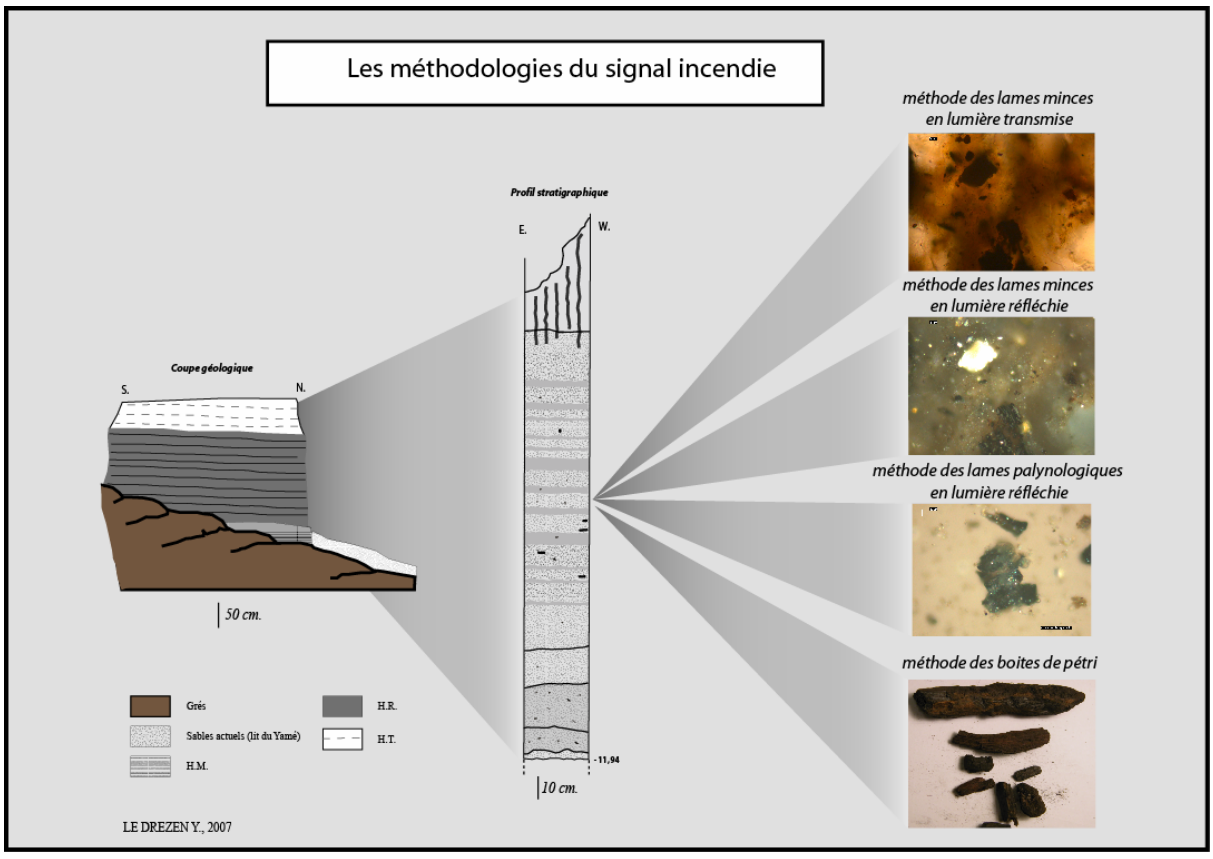


Figure n° 84 : les méthodologies du signal incendie

3.2.1. Une étude des particules opaques en micromorphologie par lumière transmise

Les premières observations du signal incendie correspondent à l'étude de lames minces par microscope en lumière transmise. Ces analyses des particules opaques ont été réalisées au cours de la caractérisation minutieuse des dépôts sédimentaires et pédologiques de l'Holocène récent (cf. partie 3). Les faciès rythmés définis comme saisonniers (cf. partie 3, chapitre 1) sont très riches en particules opaques. Toutefois, il est apparu que cette méthode possède des limites imparables, notamment avec les dépôts saisonniers étudiés. Il est difficile de différencier la matière organique (tels que les restes foliaires ou les graines), des particules carbonisées car elles sont toutes plus ou moins opaques. Néanmoins, cette méthode préliminaire a permis de faire des analyses précises de faciès sur la matière organique humifère (plus de 5 000 particules opaques ont été observées et caractérisées) en étudiant les tailles (comprises en moyenne entre 50 et 1 500 µm), les surfaces (comprises entre 0,1 à 0,3 mm²), puis les morphologies (allongée, arrondie, … ; cf. planche n° 25). Ainsi une première classification des tailles et des surfaces a été possible au sein des différentes unités chronostratigraphiques de l'Holocène récent.

3.2.2. La méthode par tamisage ("*sieving method*") :

La méthode par tamisage (ou "*sieving method",* selon Whitloch & al., 2007) correspond à une quantification des particules charbonneuses supérieure à 100 µm par la loupe binoculaire (avec lumière réfléchie), avec un grossissement de quarante à soixante fois (Mehringer & al., 1977 ; MacDonald & al., 1991 ; Long & al., 1996 ; Clark & al., 1998 ; Millspaugh & al., 2000 ; Duffin, Gillson & Willis, 2008). A partir de 100 grammes de sédiments et après des attaques chimiques à l'acide chlorhydrique et potasse (Tinner & al., 1998 ; Vannière, 2001), les particules sont tamisées. Cette méthode (dite aussi des boîtes de pétri) a un gros inconvénient : celui de n'observer que les particules supérieures à 100 µm, or les particules plus fines sont très nombreuses dans les différents dépôts anciens de la vallée du Yamé.

3.2.3. La méthode des lames palynologiques par lumière réfléchie :

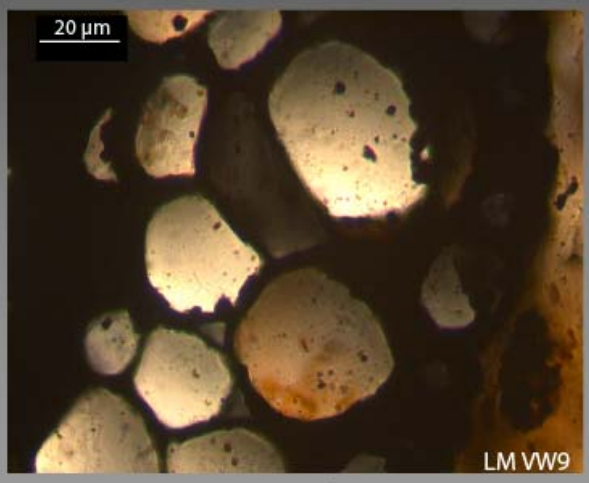
Cette autre méthode d'analyse du signal incendie est très proche de la palynologie et de l'étude des palynofaciès. Les observations sont faites à partir des lames palynologiques (après traitements chimiques, cf. chapitre 2 de cette même partie), avec l'utilisation d'un microscope à

réflexion. Cette méthode appelée également "*pollen slide method*" est régulièrement utilisée par R.-L. Clarck (1982), J.-S. Clark & al. (1996), B. Vannière (2001), H. Noël (2001) et D. Sebag (2002). Pour comparaison, quelques observations des palynofaciès (en lumière transmise) ont été réalisées par Aziz Ballouche, sur la période de l'Holocène ancien de la vallée du Yamé, dans les sédiments du Ravin de la Mouche.

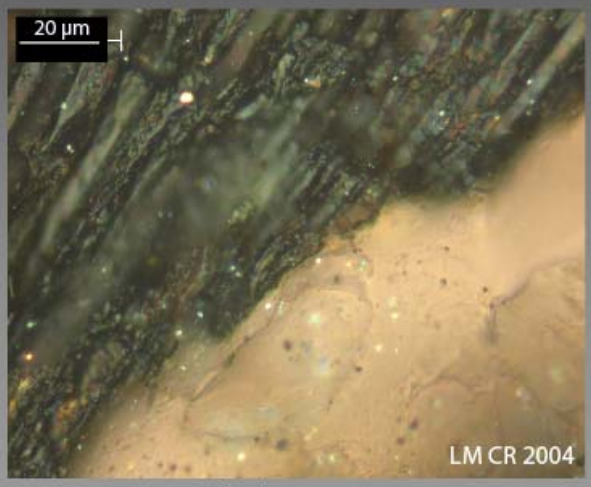
L'intérêt de cette méthode est d'analyser les particules carbonisées inférieures à 200 µm. Les principaux inconvénients sont le fractionnement lors de la centrifugation et du tamisage en laboratoire et la perte d'informations sur la position des particules dans les lamines. Cette méthode est toutefois très courante dans les études de signal incendie. Elle est utilisée dans plus de 70 % des recherches paléoenvironnementales d'après A.-N. Rhodes (1998), cité par Sebag (2002) et Vannière (2001).

Les analyses sur les lames palynologiques effectuées à Besançon ont été peu nombreuses, mais réalisées dans deux buts : vérifier les résultats précédents et comprendre les formes et les réflectances des micro-charbons (< 100 µm), peu visibles lors des observations sur lames micromorphologiques.

Morphologie des particules charbonneuses

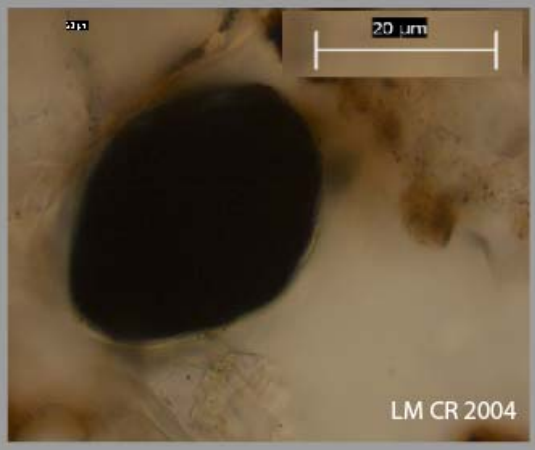


Vacuoles très nettes et bien conservées (L.T.)

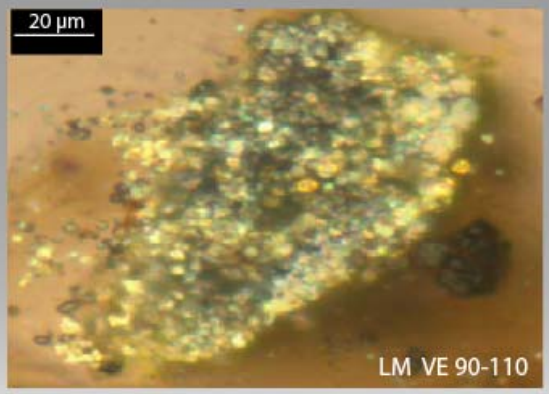


Particule à structure ligno-cellulosique visible (L.R.)

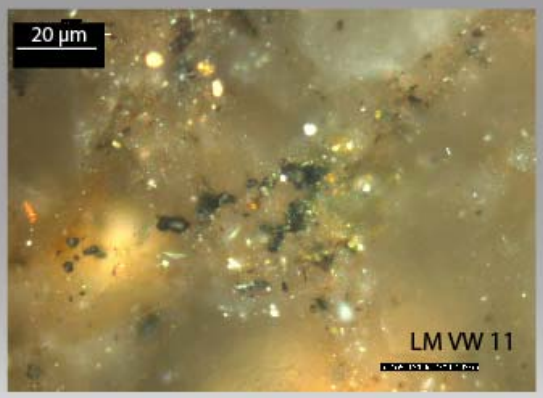
Particule allongée (L.T.)



Particule compacte et arrondie (L.T.)



Particule oxydée (L.R.) avec pyrites



Particules éclatées (L.R.)

Réal. : Y.L.D., 2007

Planche photographique n° 25 : morphologie des particules charbonneuses

3.2.4. La méthode des lames minces par lumière réfléchie :

L'utilisation de la microscopie à réflexion sur des lames minces permet de faire la différence entre la matière organique oxydée des minéraux opaques et des particules carbonisées.

Les recherches en laboratoire avaient plusieurs objectifs :

- de vérifier les résultats effectués précédemment en lumière transmise en décomptant le nombre de particules au sein de chaque lamine ;
- de constater les différences de degrés de réflectance (pouvoir réflecteur) au sein des lamines, entre les différentes lamines et entre les différentes sous-unité, unités et séquences chronostratigraphiques.

Ces recherches permettent de comparer la variabilité des résidus carbonisés en relation avec les différents rythmes sédimentaires (saison, année, périodes pluriannuelle ou plurimillénaire) observés sur le terrain et lors des études micromorphologiques.

L'observation des différentes morphologies (cf. planche n° 25) des résidus carbonisés apporte de nombreuses informations sur les divers modes de dépôts. Les formes arrondies correspondent à des particules remaniées souvent contenues dans les dépôts grossiers. Celles allongées correspondent à des particules déposées *in-situ* et généralement localisées dans les lamines plus fines de décantation. Les études montrent également des différences entre des particules bien compactes (avec des vacuoles très nettes ou avec des structures ligno-cellulosiques bien visibles) et des résidus éclatés, correspondant soit à des feux de fortes températures, soit à des particules remaniées. Ces différentes informations sont toutes enregistrées dans la base de données réalisée sur le signal incendie.

Les différences de réflectance des particules carbonisées traduisent un degré de combustion. Quand la combustion est très intense, l'enrichissement en carbone donne une grande réflectance aux particules, avec un aspect de "miroir" (Scott, 1989). A.-C. Scott (*ibidem*) et T.-P. Jones (1991) montrent une relation entre la réflectance des charbons et la température. Cependant, par manque d'informations et de recherches actuelles sur les systèmes de mises à feu et les températures des incendies en Afrique de l'Ouest ou dans les savanes africaines, il n'est pas possible de quantifier les niveaux de température des incendies. Les recherches se sont concentrées sur des familles de niveau de teinte de réflectance : marron-noir, gris métallique, gris-blanc et effet miroir.

La caractérisation des teintes a permis d'identifier des groupes de nuances par microscopie à réflexion, avec quatre types de réflectance à partir de critères visuels et subjectifs :

- les P.T.F.R. (Particules de Très Forte Réflectance) sont caractéristiques par leur aspect "miroir" ;
- les P.F.R. (Particules de Forte Réflectance) ont des couleurs très blanchâtres ;
- les P.M.R. (Particules de Moyenne Réflectance) ont quant à elles des couleurs gris-métalliques ;
- puis les P.P.R. (Particules avec Peu de Réflectance) ont des teintes proches du marron noir (cf. planche photographique n° 26).

Les pourcentages et les nombres de particules charbonneuses décrits dans les résultats du signal incendie de la vallée du Yamé correspondent au nombre de particules carbonisées calculées en fonction de leurs réflectances sur une surface rectangulaire d'un centimètre de long sur 0,6 centimètre de large, au sein de différentes lamines limono-sableuses.

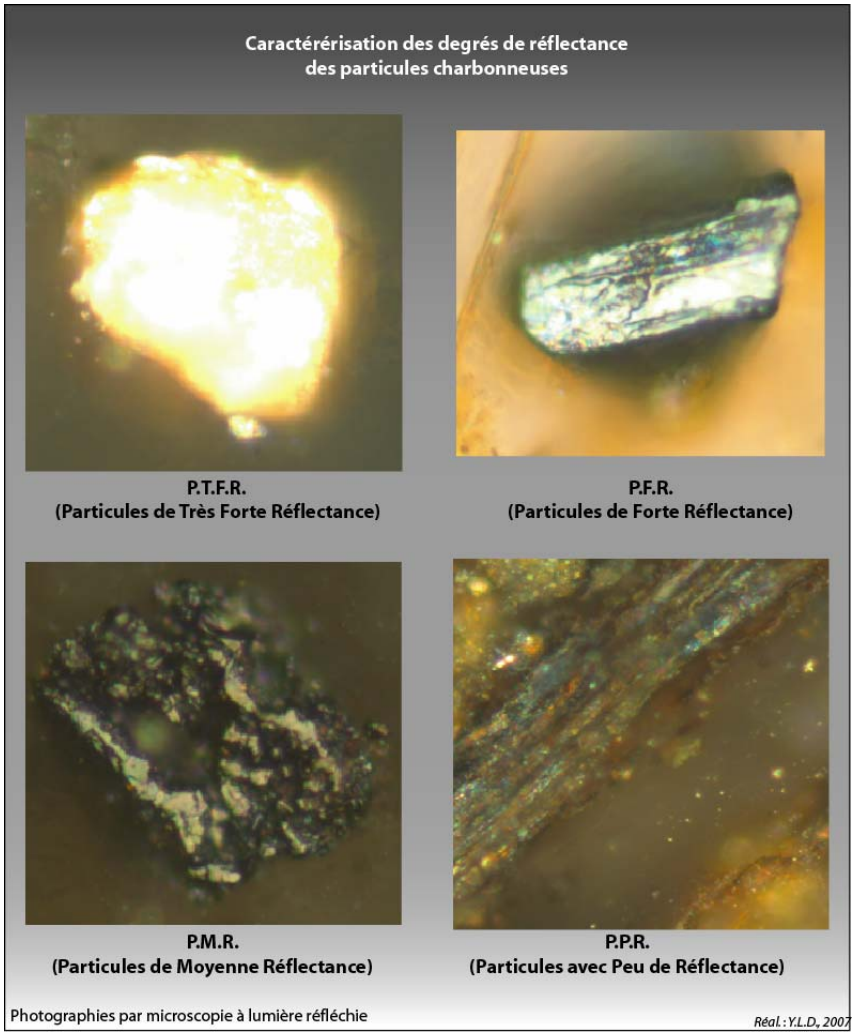


Planche photographique n° 26: caractérisation des degrés de réflectance des particules charbonneuses

3.2.5. Les intérêts de croiser les différentes méthodes

L'intérêt de diversifier les méthodes permet de connaître les fluctuations, les concentrations, les différents degrés de réflectance, les modes de dépôts, des différentes particules avec des pas de temps différents, très courts (avec les informations saisonnières voire mensuelles) à longs (de centennales pour les unités chronostratigraphiques à plurimillénaires pour les périodes de temps analysés, comme l'Holocène terminal ou récent).

Les observations effectuées en microscopie à lumière réfléchie sont importantes. Elles permettent de différencier les particules carbonisées, des différents débris végétaux ou de la matière organique. Les différentes méthodes et approches du signal ont donc été mobilisées afin de vérifier le nombre, la forme, la taille et le degré de réflectance des particules carbonisées.

Cette approche multi-méthodologique est nouvelle dans les recherches du signal incendie, qui généralement consiste en l'utilisation d'une des quatre méthodes mais rarement au croisement de ces multiples approches. L'intérêt de croiser ces quatre méthodes très différentes dans cette recherche doctorale est d'obtenir de nombreuses données sur les feux dans la vallée du Yamé, afin d'acquérir des données du signal incendie à haute résolution depuis quatre mille ans.

3.3. Vers l'établissement d'un modèle saisonnier des feux ?

3.3.1. L'apport initial des études micromorphologiques

Les analyses du signal incendie s'appuient sur les résultats des différentes recherches menées initialement par la granulométrie et la micromorphologie (cf. partie 3) qui ont permis de caractériser les faciès sédimentaires et pédologiques, comme des dépôts saisonniers.

Afin de comprendre avec précision le signal incendie, nous avons effectué des recherches sur différentes lamines caractéristiques de référence (les L.C.R.) afin de réaliser un modèle saisonnier du signal incendie au cours de l'Holocène récent.

Les observations pour le modèle de référence ont été menées principalement sur les lames minces de la Coupe 13 de la Rive Gauche (Coupe du Rônier) et de la Coupe 15 de la Rive Droite (Coupe des Varves Ouest). Les observations ont été pratiquées sur les lamines limono-sableuses, les lamines sablo-limoneuses et au sein même de ces lamines, afin de constater les dynamiques des particules et des feux au cours d'une année et au sein d'une saison sèche et d'une saison des pluies.

Les résultats présentés sont bruts et en pourcentage. Ils représentent les données établies à partir de calculs sur les lames minces.

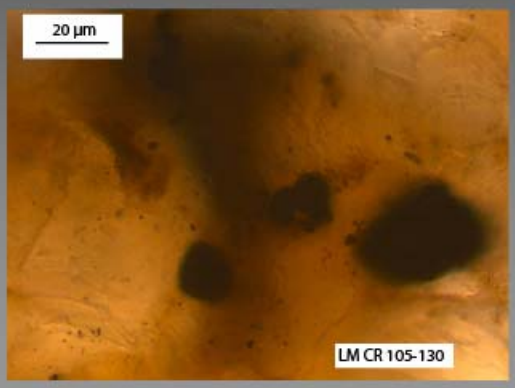
L'observation et la réalisation d'un référentiel sont importantes dans la compréhension du fonctionnement des incendies dans la vallée du Yamé et des périodes de mise à feu. L'étude fine du signal va permettre de mieux comprendre et de définir correctement le signal incendie depuis quatre mille ans et son évolution.

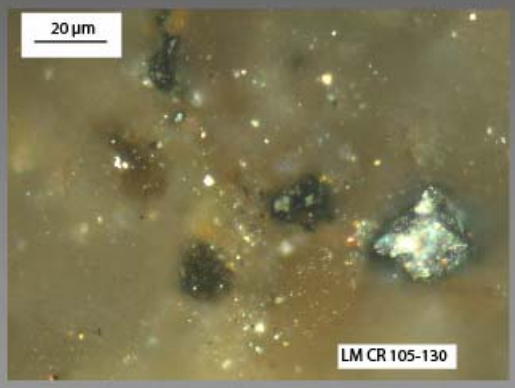
3.3.2. Les lamines sablo-limoneuses

Dans les lamines sablo-limoneuses, 500 à 700 particules charbonneuses de taille supérieure à 100 µm ont pu être observées (pour 100 grammes de sédiments tamisés). Leurs tailles sont assez grandes en général (en majorité entre 100 et 500 µm, avec quelques particules supérieure à 1 000 µm). Leurs surfaces varient entre 2 000 et 11 000 µm² (sur une surface totale de 7 mm², soit 7 millions de µm² ou 6 % de la surface des lamines grossières correspondant à des particules carbonisées). La forme des grosses particules (supérieures à 100 µm) est arrondie et massive. Les rares particules ayant une forme allongée sont en position horizontale et sont de plus petites tailles (entre 10 et 100 µm).

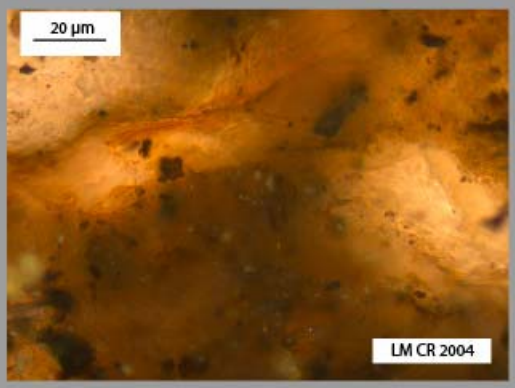
Les réflectances (cf. planche n° 27) apparaissent plus élevées à la base qu'au sommet des lamines grossières où sont déposées les feuilles (P.P.R. + P.M.R. + P.F.R.). Les particules possèdent des nuances de réflectance en majorité dans la catégorie des P.F.R. (entre 30 à 50 %) et P.T.F.R. (11 à 20 %). Les rares particules moyennes, petites et allongées ont des degrés de réflectance typiques des groupes P.M.R. (30 à 35 %). Le groupe des P.P.R. représente 9 à 15 % des particules, celles-ci correspondent à de très fines particules carbonisées (entre 10 à 50 µm).

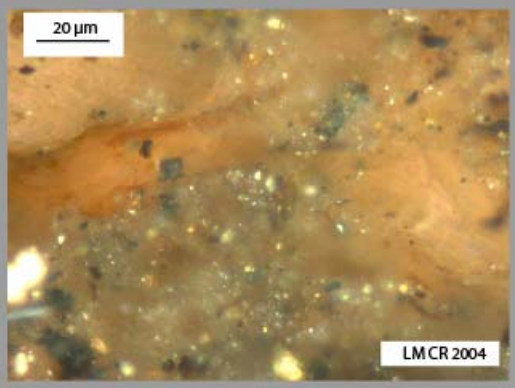
Caractérisation de la morphologie et des degrés de réflectance des particules charbonneuses (en L.T. & L.R.) durant la séquence du HR2



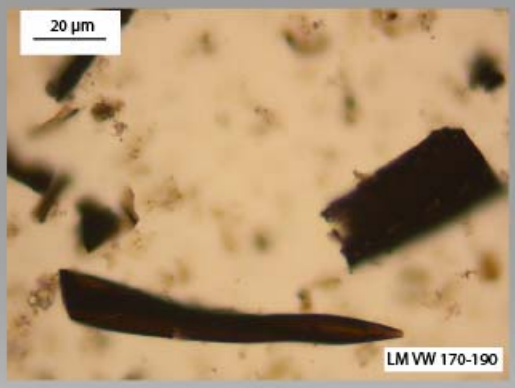


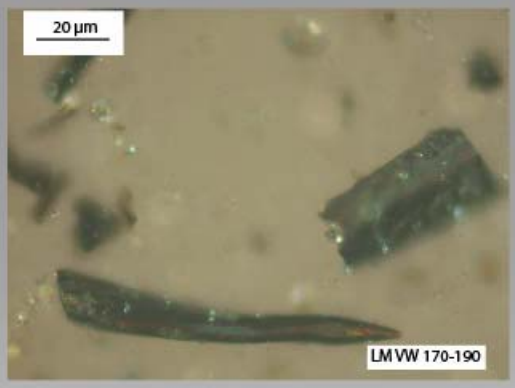
Particules charbonneuses dans les dépôts sablo-limoneux (en L.T. & L.R.)
(de taille petite et moyenne ; de réflectance P.F.R et P.T.F.R. et de forme arrondie)





Particules charbonneuses au niveau de la transition des dépôts
sablo-limoneux et limono-sableux, avec les restes foliaires (en L.T. & L.R.)
(de taille diverse ; de réflectance P.M.R et P.P.R. et de forme diverse)





Particules charbonneuses dans les dépôts limono-sableux (en L.T. & L.R.)
(de taille moyenne à grande ; de réflectance P.M.R à P.F.R et de forme allongée)

L.T. : Lumière Transmise (photographies de gauche)
L.R. : Lumière Réfléchie (photographies de droite)

Réal. : Y.L.D., 2007

Planche photographique n° 27 : caractérisation des degrés de réflectance et de la morphologie des particules charbonneuses durant le HR2

3.3.3. La transition entre les lamines sablo-limoneuses et limono-sableuses

La transition entre le sommet des lamines sablo-limoneuses et la base des lamines limono-sableuses est caractérisée par de nombreux dépôts organiques (feuilles, graines, …) et de nombreuses particules charbonneuses. Celles-ci sont tassées dans la matière organique, ce qui ne facilite pas le comptage précis par microscopie. Deux types de particules charbonneuses peuvent être distingués, des grosses allongées (supérieures à 100 µm) et des particules plus petites (inférieures à 40 µm).

La réflectance des grosses particules charbonneuses correspond aux groupes des P.P.R. et P.M.R. (plus de 50 %).

3.3.4. Les lamines limono-sableuses

Plusieurs décomptes de particules charbonneuses en fonction de leurs degrés de réflectance ont été menés au sein des lamines limoneuses. Entre 900 et 3 000 particules supérieures à 100 µm ont pu être analysées en moyenne. Les particules carbonisées à la base des lamines sont moins grosses (entre 1 à 50 µm). Les résidus carbonisés sont allongés (paillettes). Un nombre important de particules apparaît en position verticale. Certaines ont encore des vacuoles très bien conservées. Elles apparaissent en général comme éclatées, dans les lamines limoneuses et souvent arrondies, remaniées. Au sommet des lamines, les particules sont de tailles variées (entre 1 à 100 µm). Elles ont toujours une forme allongée, mais sont touchées de plus en plus par des tâches d'oxydation vers le sommet. Les surfaces varient entre 400 et 1 500 µm² en général (sur une surface totale de 7 mm², soit 7 millions de µm², soit environ 10 % de la surface des lamines fines, correspondant à des particules carbonisées).

Les particules (cf. planche n° 27) sont en majorité comprises dans les deux groupes suivants : les P.M.R. (entre 54 et 65 %) et les P.F.R. (entre 17 et 27 %). Il existe moins de P.P.R (entre 10 et 14 %) et très peu de P.T.F.R. (entre 4 et 9 %). Au sommet les degrés de réflectance sont également différents, les P.P.R. disparaissent, au profit des P.M.R. (45 à 50 %), P.F.R. (30 à 40 %) et des P.T.F.R. (15 à 25 %).

3.3.5. Un modèle saisonnier des feux

Les observations permettent de proposer un scénario d'organisation annuelle du signal incendie. (cf. figure n° 85 et planche n° 24).

Les nuances de réflectance peuvent (dans la majorité des cas étudiés) être assimilées à des estimations de températures des feux. Les particules proches du groupe des P.P.R. correspondent à des particules charbonneuses d'arbres ou de graminées en marge des espaces brûlés ou alors à des feux peu forts assimilables à des incendies de fin de saison des pluies, lorsque la végétation n'est pas encore complètement sèche. Les particules de type P.M.R. correspondent en règle générale à des feux moyens (Jones & al., 1991, Vannière, 2001) et sont des particules qui ont la meilleure capacité de flottaison (Vaughan & Nichols, 1995 ; Vannière, 2001). Les P.F.R. et P.T.F.R. correspondraient à des particules ayant été contraintes à de fortes, voire très fortes températures. Toutefois, il est nécessaire de prendre en compte que certaines particules carbonisées qui ont une réflectance très forte (P.T.F.R.) peuvent avoir très peu de rapport avec un degré de combustion. Les P.T.F.R. sont généralement arrondies et leur pouvoir réflecteur peut provenir de la pédogenèse ou du remaniement lors de crues pendant la saison des pluies.

Les lamines grossières (sablo-limoneuses) se déposent au début de la saison des pluies, avec des apports grossiers de minéraux et de matière organique par ruissellement. Ces apports proviennent du bassin versant amont du Yamé (500 km²), dont la végétation environnante sèche et/ou brûlée lors de la saison sèche précédente permet la mobilisation de ce matériel grossier lors des premières pluies. La taille et la surface importantes des particules observées et leurs formes plus arrondies viennent renforcer cette hypothèse (Berger, 1996). Lors de la saison des pluies, les ruissellements transportent des particules moyennement brûlées (P.M.R.). Elles sont remaniées lors des transports compétents du Yamé avec les sédiments plus sableux. J.-F. Berger (1996), observe également des formes très arrondies sur de nombreuses particules charbonneuses dans les sols, correspondant à des particules remaniées. Toutefois, ces enregistrements secondaires ne sont visibles, d'après des recherches effectuées dans diverses régions du globe (Amérique du Nord, Méditerranée, Europe du Nord, …), que pendant quelques années après les incendies (Whitlock & Millspaugh, 1995, 1996 ; Cosandey & Robinson, 2000). Dans la vallée du Yamé, l'abondance des charbons de bois et la quasi absence

d'inversion de dates ^{14}C pour l'Holocène récent, confirment la régularité et la rapidité du "turn-over" des particules charbonneuses, y compris dans les lamines les plus grossières qui témoignent d'approvisionnement sédimentaire plus lointain. Ainsi, ces particules remaniées ne doivent pas être écartées de notre recherche. En effet leur étude est indispensable pour comprendre les dynamiques du système dans sa globalité et de faire le point des apports locaux et plus lointains dans les enregistrements fluvio-palustres étudiés.

Dans les lamines fines (limono-sableuses), les particules charbonneuses sont moins nombreuses et de taille plus petite. Elles se déposent par décantation au cours de la saison sèche aux abords des rives du Yamé et leur origine est soit fluviatile soit éolienne (Le Drézen, 2005, 2007 ; Le Drézen & Ballouche, soumis). Entre la saison des pluies et le début de la saison sèche (cf. figure n° 86), des feux précoces sont décelés par la forte concentration de particules non remaniées au sein des dépôts foliaires. Elles possèdent une réflectance moyenne, correspondant à des feux dans une savane où la végétation n'était pas totalement sèche. Le nombre plus important de particules avec une réflectance plus forte à la base des lamines fines peut être interprété comme le témoignage d'incendies de saison sèche. Les particules sont nombreuses au sommet des lamines plus fines, indiquant des feux de fin de saison sèche (cf. figure n° 85), elles possèdent d'ailleurs une réflectance importante, caractéristique de feux en fin de saison sèche, lorsque une végétation est très sèche.

Ces observations confirmées par des recherches menées par Scott & al. (2000) ; Vaughan & Nichols (1995) et Vannière (2003), démontrent que les particules de faible réflectance et de haute réflectance (P.P.R. & P.T.F.R.) sont régulièrement sédimentées à proximité de surface brûlée, par comparaison avec les particules de moyenne réflectance (P.M.R.).

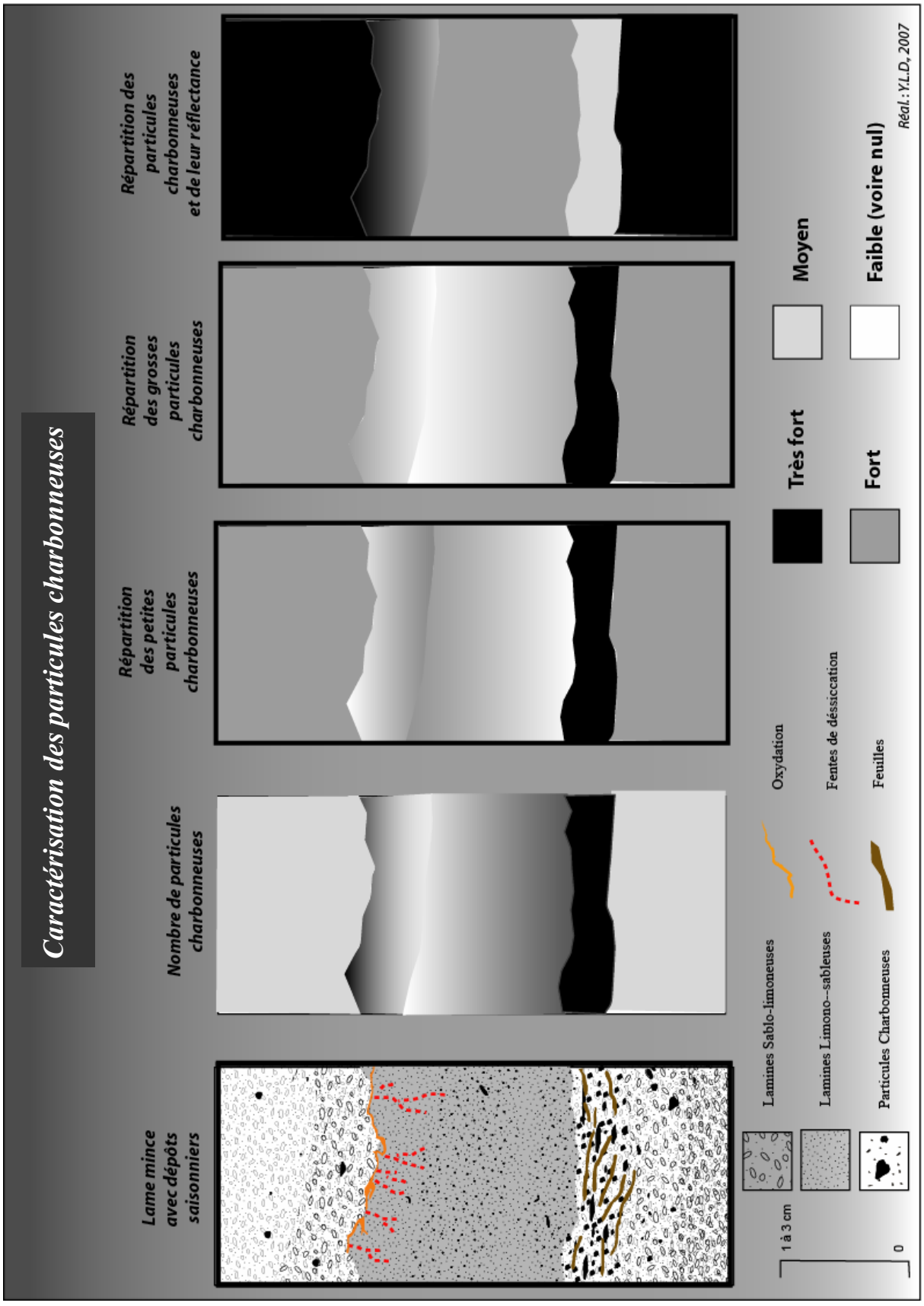


Figure n° 85: caractérisation des particules charbonneuses

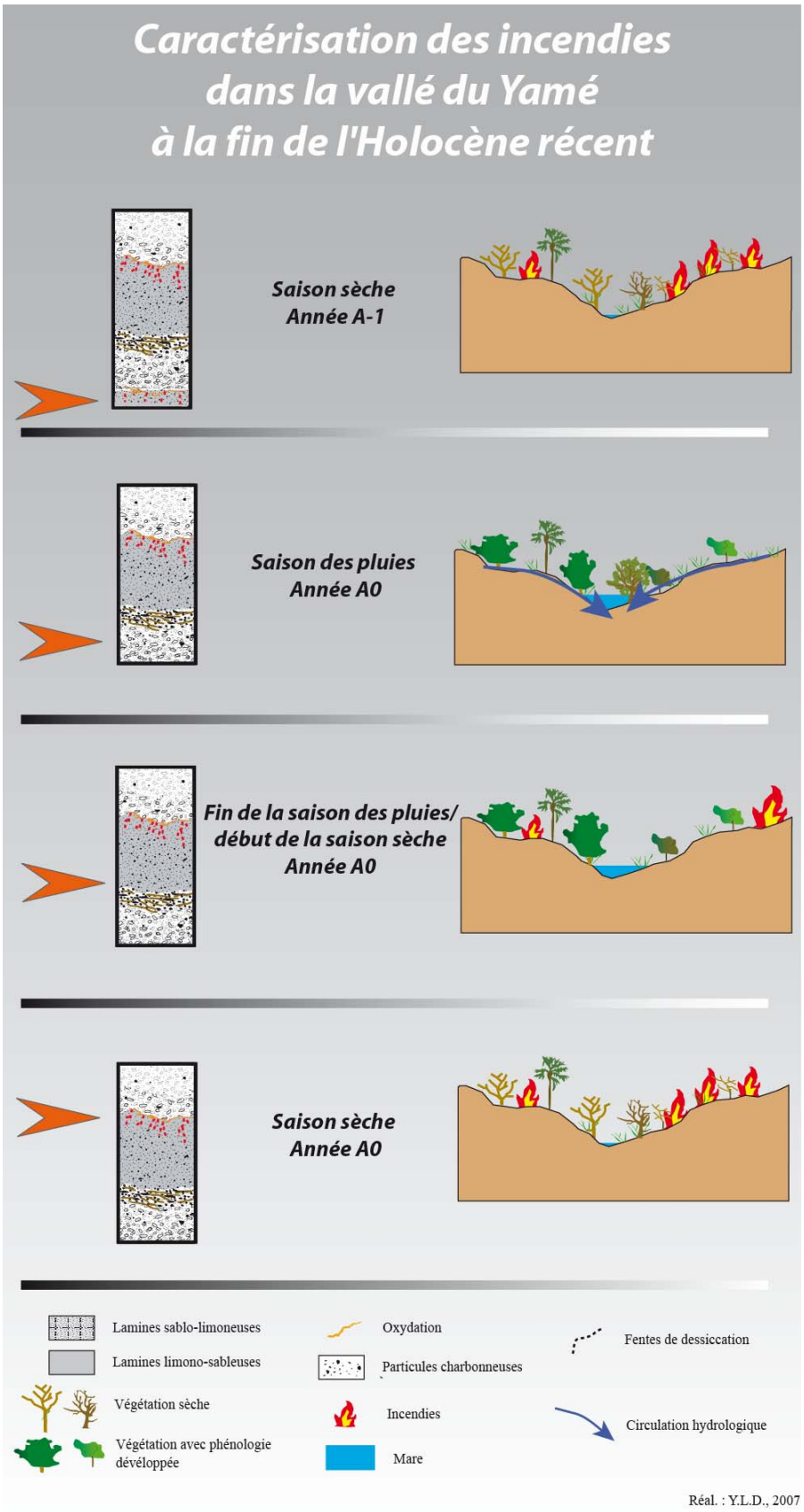


Figure n° 86 : caractérisation des incendies dans la vallée du Yamé à la fin de l'Holocène récent

3.4. Quels sont les enregistrements saisonniers des feux depuis 4 000 ans ?

3.4.1.1. Quels sont les enregistrements des incendies avant le deuxième millénaire avant notre ère ?

Connaître les dynamiques du signal incendie depuis quatre mille nécessitent d'avoir une compréhension globale des feux sur le site de la vallée du Yamé, afin de comprendre les débuts et les évolutions des incendies sur le bassin versant et du rôle ou non des sociétés. Le modèle obtenu du signal incendie pour l'Holocène récent a donc été testé sur les périodes antérieures au deuxième millénaire avant notre ère, afin de tenter une caractérisation plus fine et plus précise de ces quatre derniers millénaires.

L'Holocène ancien a été étudié principalement par microscopie à réflexion à partir de quelques lames minces disponibles suite aux travaux menées en micromorphologie par L. Lespez. Les feux au cours de l'Holocène ancien (HA) étaient probablement rares, au sein de paysages peu végétalisés, avec un ruissellement érosif au début de la période. Les particules charbonneuses observées sont remaniées des berges à partir du matériel limoneux du Pléistocène (Le Drézen & Ballouche, soumis). La fin de l'Holocène ancien est marquée par des rythmes saisonniers rares dans la sédimentation du fond de vallée. Des particules un peu plus nombreuses et massives sont conservées dans les sédiments de décantation attestant d'une présence d'incendies un peu plus marquée durant les saisons plus sèches, en bordure des mares résiduelles. Cependant, la majorité des particules de cette période apparaît avec une très forte réflectance (P.T.F.R.) et est arrondie, caractéristique de matériels remaniés par l'eau du bassin versant amont du Yamé ou par le vent.

L'Holocène moyen et la première séquence de l'Holocène récent ont été étudiés par diverses méthodes, l'observation par lames minces (prêtées par L. Lespez), par lames palynologiques puis par tamisage. Durant ces millénaires nous observons de nombreux feux de combustion moyenne, probablement à la charnière de la saison des pluies et de la saison sèche. Les particules charbonneuses sont extrêmement nombreuses dans chaque séquence chronostratigraphique (plus de 1 364 particules supérieures à 100 µm, pour 100 g de sédiments tamisés), en majorité de forme allongée et toutes de réflectance moyenne (P.M.R.). Cette

grande quantité de charbons dans des sédiments très noirâtres montre l'importance des incendies au cours de cette période en comparaison à l'Holocène ancien (Le Drézen & Ballouche, soumis). Nous trouvons d'ailleurs des troncs d'arbres entiers calcinés dans de nombreuses séquences. Nous pouvons nous poser la question de l'origine anthropique des feux (même si il existe très peu de témoignages archéologiques). Même si le nombre important de particules carbonisées s'explique probablement par la quantité de biomasse combustible à cette période.

Ainsi, par comparaison au modèle réalisé pour la deuxième séquence de l'Holocène récent, le signal incendie apparaît complètement différent dans les séquences antérieures. Au cours de l'Holocène moyen, les feux sont nombreux, semblent récurrents et apparaissent probablement dès la fin de saison des pluies, ce qui pose le problème de leur origine.

3.4.1.2. Quelle est la régularité des feux durant les deux millénaires avant notre ère ?

Les particules charbonneuses observées dans la deuxième séquence de l'Holocène récent (**HR2)** proviennent :

- de trois lames palynologiques : une de la Rive Droite sur la coupe 15 (Varves Ouest, de la sous-unité **HR2Ba,** à 190 cm de la base), puis deux de la Rive Gauche (sur la coupe 13, soit du Rônier, des sous-unités **HR2Ca**, entre 78 et 80 cm de la base et de **HR2Cb,** entre 110 et 115 cm de la base) ;
- de 24 lames minces : 14 sur la Rive Droite (les lames mines de LM VW9 à LM VW20 et LM VE 50-70bas et LM VE 50-70haut, correspondant aux sous-unités **HR2Aa1**, **HR2Ab** et **HR2Ba)** et 8 de la Rive Gauche (de la base de la coupe du Rônier au sommet, soit les sous-unités **HR2Ca** et **HR2Cb)**
- et de sédiments tamisés correspondant à des lamines fines et grossières sur différentes sous-unités de cette deuxième séquence de l'Holocène récent.

- ***La sous-unité HR2Aa1, entre 3420 +/-40 et 2920+/-60 B.P., soit 1880-930 B.C. cal.***

La première sous-unité de la deuxième séquence de l'Holocène récent correspond à **HR2Aa1.**

Dans les lamines sablo-limoneuses, les particules carbonisées supérieures à 100 µm à la base de la coupe des Varves Ouest sont au nombre de 340 (pour 100 grammes de sédiments tamisés). Les particules sont de petites tailles (< 50 µm) et roulées. Beaucoup de particules sont oxydées, principalement les plus grosses, avec près de 25 % d'encroûtement. Elles apparaissent cellulosiques et arrondies. Les réflectances sont moyennes à fortes (P.M.R. et P.F.R.). Près de 20 % des particules apparaissent d'une réflectance assez forte (P.F.R. à P.T.F.R.) et sont toutes plus ou moins encroûtées par de l'oxyde de fer. Il existe deux types d'individus carbonisés, ceux très encroûtés (souvent de couleurs métalliques, donc de réflectance moyenne) et ceux non encroûtés.

Dans les lamines limoneuses, le nombre de particules supérieures à 100 µm est compris entre 645 et 732. Les tailles sont petites (environ 50 µm) en général et fines, peu oxydées et allongées, avec des vacuoles assez nettes. La grosse concentration de particules de 10 à 20 µm est importante avec de nombreuses paillettes. Certaines particules ont une position verticale dans les lamines limoneuses, ce qui n'est pas le cas au sein des lamines plus sableuses. Elles apparaissent moins oxydées, de taille très importante même si quelques unes sont assez petites, de granulométrie assez homogène et d'une réflectance moindre (P.M.R., à près de 40 %).

Le signal dans cette unité apparaît clairement saisonnier avec des feux peu marqués en fin de saison des pluies comme dans le modèle saisonnier.

- ***La sous-unité HR2Ab, post 2920+/-60 et ante 2840+/-45 B.P., soit post 1310 - ante 890 B.C. cal :***

Les particules (supérieures à 100 µm) au sein de la grosse lamine limoneuse servant de transition entre les sous-unités HR2Aa1 et HR2Ab sont au nombre de 732. Elles sont en général de petites tailles (< 100 µm) et assez fines, avec toutefois quelques unes moyennes à grandes, assez massives. Quelques particules sont très bien conservées du genre ligneux, avec des épines apparentes, d'autres sont très fines de types graminéennes. La sous-unité **HR2Ab** a des particules de taille moyenne (< 100 µm), toujours aussi nombreuses que dans HR2Aa1 et

toutes d'une réflectance assez forte (comprise entre les groupes P.M.R et P.F.R.) dans les lamines sablo-limoneuses et limono-sableuses et souvent en position subhorizontale. Il est toutefois difficile de caractériser le signal au sein de chaque lamine, au vu de la bioperturbation.

Le signal incendie apparaît comme saisonnier dans cette séquence, car les particules sont généralement déposées *in situ* (vu leur conservation, forme, disposition, …), avec quelques unes probablement remaniées (arrondies, forte réflectance).

- ***La sous-unité HR2Ba, entre 2840 +/45 et 2800+/-60 B.P., soit 1130 - 820 B.C. cal.***

Dans les lamines plus sableuses, les particules sont moins nombreuses (entre 300 et 500 de tailles supérieures à 100 µm), de tailles moyennes (50 à 100 µm) et de réflectance toujours équivalente au groupe des P.F.R.

Au sein des lamines plus fines, les particules sont assez nombreuses (environ 800, supérieures à 100 µm), de forme allongée et de taille généralement petite (10 à 50 µm) avec quelques grandes (>100 µm). Les particules ont une réflectance moindre (P.M.R.).

Les feux de cette sous-unité sont saisonniers, mais sans signe attesté d'incendie précoce ou tardif, comme cela a pu être défini pour le modèle.

- ***La sous-unité HR2Ca, entre 2510+/-30 et ante 2440+/-44 B.P., soit 790 - ante 400 B.C. cal . :***

Dans la sous-unité **HR2Ca**, au sein des **lamines plus sableuses**, les particules charbonneuses de taille supérieure à 100 µm sont assez peu nombreuses (688 comptabilisées pour 100 grammes de sédiments tamisés). Leurs tailles sont généralement plus grandes (> 100 µm), souvent allongées. Celles qui sont supérieures à 200 µm sont assez rares, en majorité assez fines et allongées accompagnées de beaucoup de particules cendreuses. Quelques particules encore plus massives et plus grosses (supérieures à 400 µm de longueur et entre 50 et 100 µm de large) sont repérables macroscopiquement, avec des vacuoles très nettes et séparées entre elles (correspondant à des feux de températures moyennes). Les particules plus petites (<100 µm) ont des formes massives et généralement roulées. Les grosses particules sont d'une faible réflexion (P.P.R. ou P.M.R.), sauf celles qui sont roulées (P.T.F.R.). Les plus

petites ont une réflectance très forte (P.T.F.R.), alors que les plus grosses sont comprises entre les nuances de type P.M.R. et P.T.F.R.

Entre le sommet des lamines plus grossières et la base des lamines plus fines, où les restes foliaires sont importants, les particules ont une forme de paillettes avec beaucoup de cendres et de suie (< à 0,2 µm) et très brillantes (P.T.F.R.).

Au sein des lamines limoneuses, le nombre de particules (supérieures à 100 µm) est très nettement différent, nous avons pu comptabiliser près du double (1 267 particules pour 100 grammes de sédiments tamisés) par rapport aux lamines grossières. Les paillettes sont en général plus fines. Les plus grosses (environ 100 µm) sont allongées et quelquefois en position verticale. Il est possible de percevoir un granoclassement vertical positif des particules charbonneuses au sein des lamines limono-sableuses. Les particules sont de couleur gris métallisé (P.M.R. : 58 à 64 %) et les plus grosses sont très carbonisées (P.T.F.R.). Cependant, dans la partie sommitale, des particules plus massives sont à nouveau repérées et un nombre plus important de particules est repérable de forte ou moyenne réflectance (P.M.R. et P.F.R.). Il existe en majorité des petits fragments de réflectance moyenne (P.M.R.). Quelques très rares particules apparaissent avec une très faible réflectance avec des couleurs proche du marron noir. Les particules de forte et de très forte réflectance (P.F.R. et P.T.F.R.) sont visibles dans les lamines limoneuses principalement à leur base puis à leur sommet (entre 48 et 52 %).

Dans cette sous-unité, les feux sont saisonniers. Ils sont présents tout au long de la saison sèche, du début (feux précoces) à la fin (feux tardifs). Le signal correspond de nouveau au modèle proposé, avec toutefois un nombre de particules légèrement inférieur.

- ***La sous-unité HR2Cb, 2440+/-44 et post 2400 B.P., soit 670 - post 390 B.C. cal. :***

Les lamines plus sableuses ont environ 700 à 800 particules charbonneuses (de taille supérieure à 100 µm pour 100 grammes de sédiments tamisés), elles sont souvent assez grosses (> 150 µm) et massives. Quelques unes apparaissent oxydées, elles sont généralement peu allongées. La réflectance correspond au groupe des P.F.R.

Les lamines plus limoneuses ont entre 1 800 et 2 800 particules carbonisées (taille supérieure à 100 µm). Elles sont en général grosses (> 200 µm), les petites ou grandes sont le

plus souvent allongées, quelques unes de tailles moyennes (100 µm) sont arrondies. Les vacuoles apparaissent très bien conservées. Quelques particules sont oxydées. Les réflectances correspondent au groupe des P.M.R. et P.F.R. Les paillettes (très fines) sont d'une réflectance importante (probablement des graminées carbonisées, entre P.F.R. et P.T.F.R.).

Dans la partie sommitale, les particules sont toujours assez bien conservées, dans des lamines plus perturbées à leur sommet par la micro-faune (termites). Les lamines plus sableuses ont toujours des particules arrondies avec une réflectance assez forte (P.F.R.). Les particules charbonneuses sont en majorité toutes allongées et paraissent avoir moins de réflectance au sein des lamines plus limoneuses (P.M.R.).

Dans cette dernière sous-unité stratigraphique de l'Holocène récent, les feux sont toujours saisonniers. Ils sont présents tout au long de la saison sèche, du début (feux précoces) à la fin (feux tardifs). Le signal correspond au modèle proposé, avec une augmentation régulière des particules charbonneuses.

3.4.1.3. Quelles sont les dynamiques des feux au cours des deux derniers millénaires ?

- ***L'unité HT4, entre 935+/-33 et 870+/-30 B.P., soit 1020-1260 A.D. cal. :***

L'unité **HT4** correspond à des dépôts sédimentaires rythmés du site des Unio déposés vers 935+/-33 B.P., soit 1020-1180 A.D. cal. L'unité est très riche en particules charbonneuses (plus de 800 particules de plus de 100 µm pour cent grammes de sédiments tamisés), qui sont assez grosses. Les particules sont plus nombreuses dans les lamines limoneuses (plus de 1 200). Elles possèdent toutes des formes très allongées et des tailles assez grandes (> 150 µm). Elles ont une couleur gris métallisé donc une réflectance moyenne (P.M.R.) que ce soit au sein des lamines sableuses ou limoneuses. Dans les lamines plus sableuses, quelques particules sont de type P.F.R., correspondant à quelques rares particules remaniées.

Le signal incendie a été analysé également dans des chenaux affluents du Yamé correspondant toujours à l'unité **HT4** (chenal du *Detarium* localisé un peu plus en aval sur la Rive Gauche). Les sédiments ont été déposés entre 932+/-45 et 870+/-30 B.P., soit 1020-1260 A.D. cal.). Cette unité alterne des lamines sableuses et limoneuses comme au cours de la deuxième phase de l'Holocène récent, mais moins développées. Les passées sableuses sont

assez remaniées et brassées par la micro-faune. Toutes les particules charbonneuses observées ont une taille assez grande (> 100 µm) et une réflectance moyenne (P.M.R.), au sein des différentes lamines.

L'unité HT4 montre une homogénéité de la réflectance des particules charbonneuses (en majorité P.M.R.) et en général une taille plus grande, à la différence du modèle de référence proposé.

- ***L'unité HT6, entre 255+/-45 et 155+/-30 B.P., soit 1480-1936 A.D. cal. :***

La sous-unité **HT6B** correspond à des dépôts limoneux très denses du site des Unio, datés de 255+/-45 B.P., soit 1480-1690 A.D. cal. Ils possèdent également de nombreuses particules carbonisées (près de 520 particules de plus de 100 µm pour cent grammes de sédiments tamisés), généralement de petites tailles entre 10 et 30 µm. Quelques particules ont des réflectances très fortes (P.T.F.R.) ou moyennes (P.M.R.). Les charbons de tailles grossières ont en majorité une réflectance moyenne. Il faut remarquer quelques particules roulées, remaniées, de très forte réflectance (P.T.F.R.). Au sommet, de cette unité, les particules sont moins nombreuses, mais généralement assez allongées et de réflectance moyenne (P.M.R.).

La réflectance apparaît ainsi très homogène au sein de ces dépôts sédimentaires de l'Holocène terminal, ce qui est caractéristique des charbons déposés *in situ*, non remaniés et non transportés. Le signal incendie apparaît différent du modèle proposé.

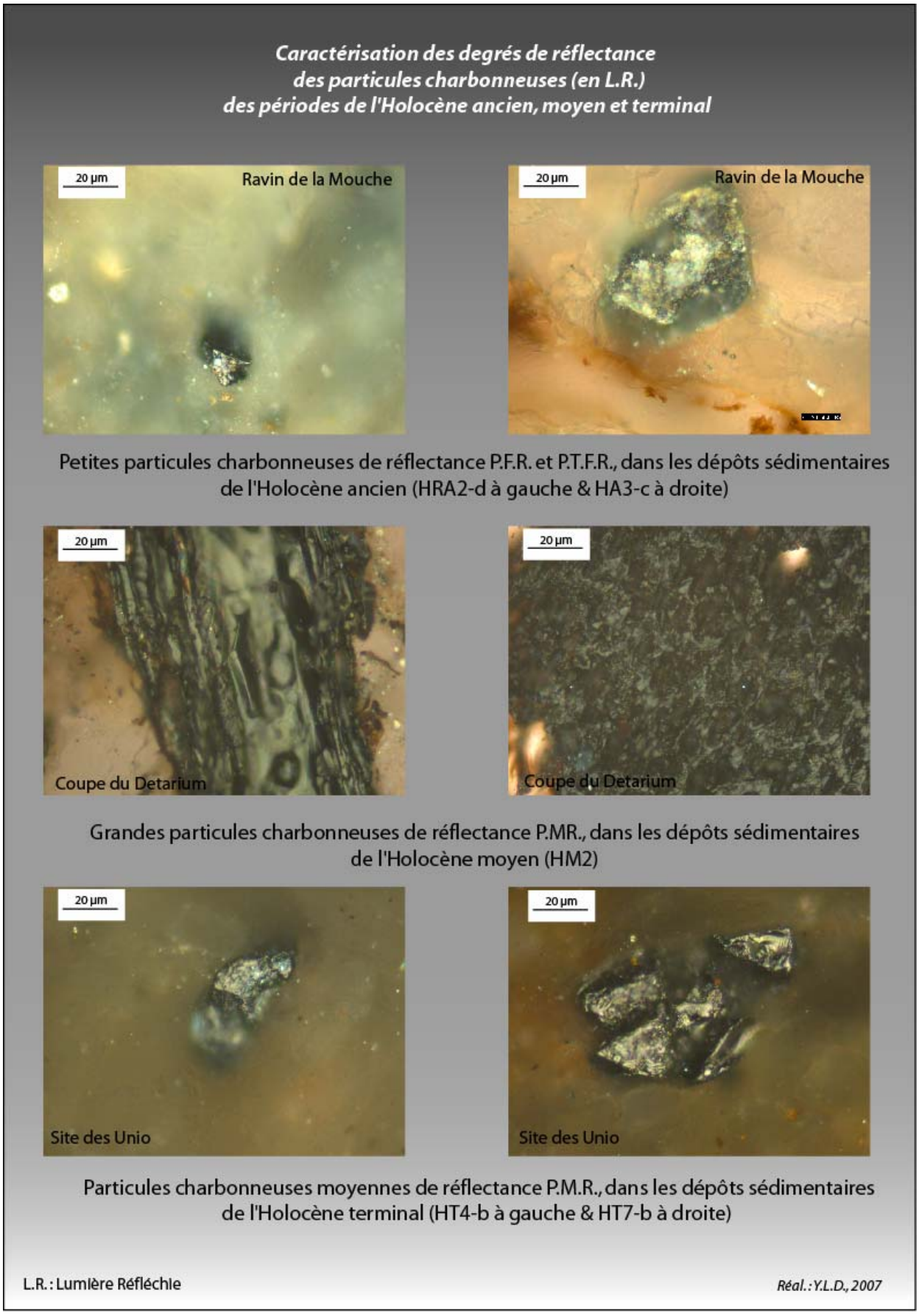


Planche photographique n° 28 : caractérisation des degrés de réflectance des particules charbonneuses à l'Holocène ancien, moyen et terminal

3.5. Interprétations du signal incendie dans la vallée du Yamé

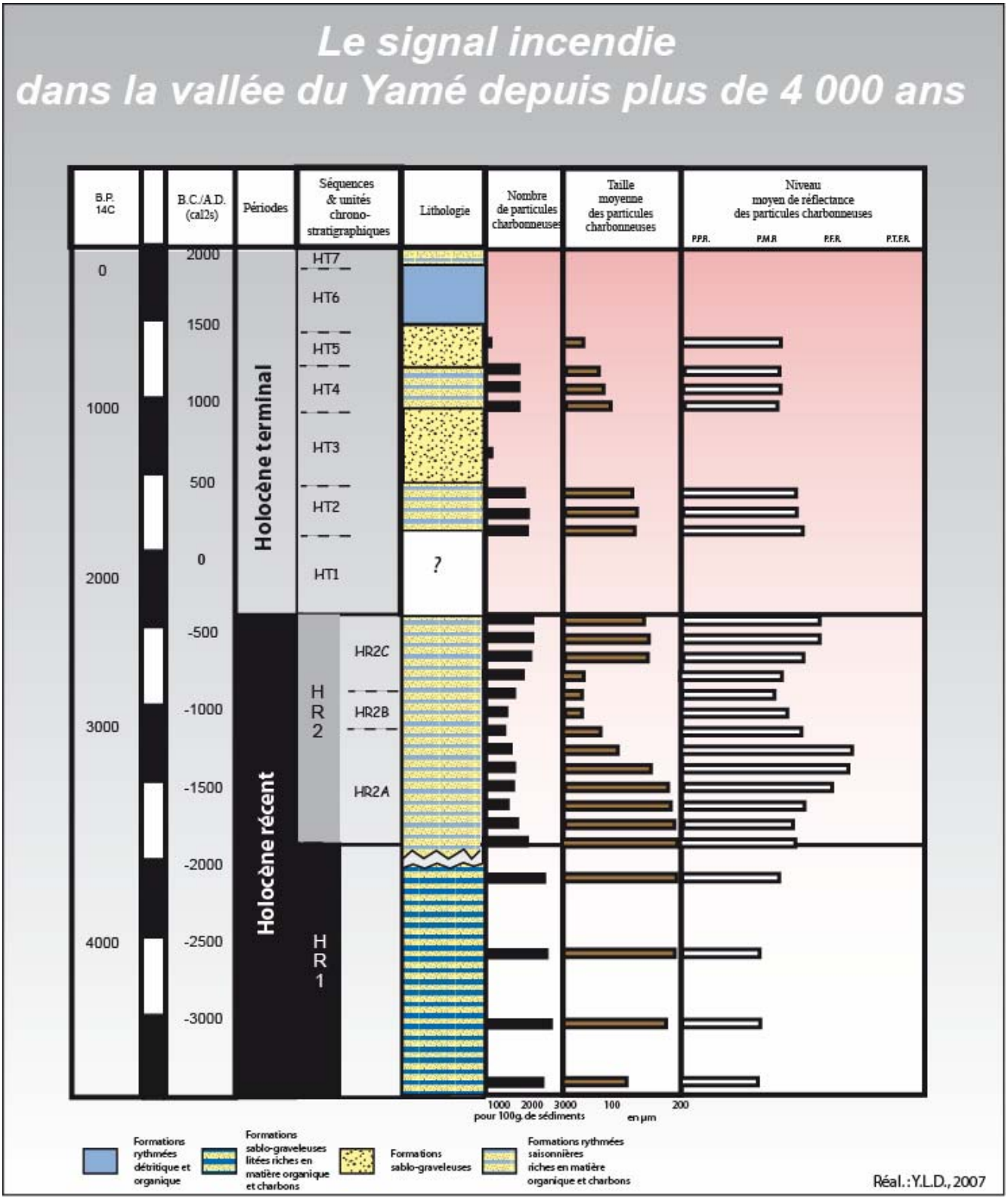


Figure n°87: le signal incendie dans la vallée du Yamé depuis plus de 4 000 ans

Outre la fréquence annuelle ou pluri-annuelle, le moment d'occurrence des feux, précoces ou tardifs dans la saison sèche est l'un des éléments permettant de caractériser leur régime. Celui-ci peut être déterminé par des facteurs naturels et/ou anthropiques.

En résumant l'ensemble de nos données, **la deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2,** entre 3420+/-40 et 2400+/-50 B.P., soit 1880-400 B.C. cal.), est caractérisée par des feux réguliers et à fréquence généralement annuelle (cf figure n° 87).

Les incendies devaient débuter dès la fin de la saison des pluies, mais peuvent être aussi enregistrés jusqu'à la fin de la saison sèche. Cela témoigne de l'existence à la fois de feux précoces et de feux tardifs, qui méritent une discussion sur leur origine anthropique ou non. Pendant cette période, des feux annuels et précoces, qui apparaissent dès la fin des pluies dans une biomasse pas toujours entièrement sèche, peuvent être rapporter à une origine anthropique. En effet, nous observons au sommet des différentes lamines grossières et à la base des lamines plus fines (au niveau des restes foliaires) des particules charbonneuses en nombre élevé, de taille diverse, de morphologie majoritairement allongée et d'une réflectance faible à moyenne. Autant d'indices qui montrent une régularité, une intensité et une fréquence des feux (morphologie et nombre de particules) en fin de saison des pluies au sein d'une biomasse brûlée partiellement humide (réflectance faible à moyenne). Or une végétation qui n'est pas entièrement sèche ne peut pas brûler naturellement (Monnier, 1981), ce qui permet d'affirmer une origine anthropique de ces incendies.

Nous pouvons également montrer que le nombre important de particules charbonneuses déposés in-situ (morphologie allongée) avec une fréquence annuelle de retour n'est pas compatible avec un régime naturel de feux (Monnier, 1968, 1981, 1990). Cela est un argument de plus pour confirmer le rôle des sociétés.

Le nombre de particules charbonneuses apparaît moins important au cours de la deuxième séquence de l'Holocène récent par rapport à l'Holocène moyen et la première séquence de l'Holocène récent, probablement en raison d'une quantité de biomasse combustible moins importante.

Au cours de la phase plus humide durant la deuxième séquence de l'Holocène récent (correspondant à l'unité HR2B) (cf. partie 3 ; entre 2840+/-45 B.P. et *ante* 2510+/-30 B.P., soit entre 1130 et 520 B.C. cal.), nous observons un signal moins régulier, avec un nombre moins important de particules charbonneuses, de taille plus réduite et d'une réflectance moyenne peu élevée par comparaison au reste de la séquence (cf figure n° 87).

4

Durant **l'Holocène terminal (HT)**, entre 1645+/-40 et 30+/-85 B.P. (soit 400 B.C.-1960 A.D. cal.), les feux étaient réguliers et présents sur les berges du Yamé en saison sèche. Les particules charbonneuses sont observées en nombre important jusqu'en 235+/-30 B.P. (soit 1520-1936 A.D. cal. ; cf figure n° 87). Les feux sont complètement absents du Plateau dogon ces dernières années, à la différence de nombreuses régions d'Afrique de l'Ouest (Dolidon, 2005). Ils auraient disparu assez récemment des berges du Yamé et du Plateau dogon, probablement en raison de l'intensification humaine et d'une agriculture progressivement intensive (Mayor & al., 2005 ; Huysecom & al, 2004).

4. Construction d'une histoire des paysages végétaux de la vallée du Yamé

Dans le cadre du programme "Paléoenvironnement et Peuplement en Afrique de l'Ouest", l'équipe travaillant sur les paléoenvironnements végétaux (A. Ballouche, B. Eichhorn, Y. Le Drézen et K. Neumann) est chargée de croiser différentes méthodes pour reconstruire l'histoire des paysages végétaux sur tout l'Holocène. L'Holocène récent sur lequel porte plus spécifiquement notre recherche doctorale est la période clé pour comprendre l'émergence des paysages actuels et leur enracinement historique car s'y conjuguent parfaitement des facteurs dynamiques d'origine climatique et anthropique. De notre point de vue, ce processus a son point de départ dans la première de l'Holocène récent (HR1), il y a environ 4 500 ans. C'est pour cela, que nous faisons démarrer notre histoire à cette période, afin de bien mesurer la part respective de chacun de ces deux forçages.

- ***Les paysages végétaux au début de l'Holocène récent dans la vallée du Yamé.***

Dès la première séquence de l'Holocène récent (HR1) la végétation est marquée par une dynamique d'ouverture des paysages de la vallée du Yamé (cf. figure n° 88).

Au début de l'Holocène récent, les taxa dominantes ont des affinités soudano-guinéennes comme *Lophira*, *Parinari*, *Uapaca, Alchornea* ou *Syzygium*. Au début de cette séquence, **les paysages de la vallée du Yamé se présentent comme une mosaïque de "grand format"** (Birot, 1974), associant une savane ouverte et différents types de forêt claire ou sèche, avec des forêts-galeries près des zones humides.

Entre 4526+/-50 B.P. (soit entre 3370-3080 B.C. cal.) et 3697+/-51 B.P. (soit entre 2210-1940 B.C. cal.), les espèces soudano-guinéennes diminuent progressivement à l'inverse

des espèces soudaniennes, comme *Detarium, Sapotaceae, Pterocarpus, Piliostigma*, etc. Les espèces arborées méridionales (soudano-guinéennes) connaissent un début de régression vers les espaces boisées de bordure de mares et des cours d'eau. Les *Uapaca* qui supportent mal les longues saisons sèches, vont se limiter en bordure de mares et à proximité des talwegs, alors que les *Syzygium,* relevé dans tout l'Holocène et présent encore aujourd'hui le long du Yamé, constituent un élément structurant des forêts galeries. Les *Alchornea* sont localisés géographiquement en lisière des zones boisées. Les données anthracologiques (B. Eichhorn & K. Neumann, sous presse) et palynologiques documentent ensuite la mise en place d'une **mosaïque typiquement soudanienne**, avec un bon développement des herbacées dans les savanes où prédominent les *Sapotaceae* et *Combretaceae*, sur les glacis et interfluves. D'autres espèces apparaissent pendant cette période, comme *Tamarindus indica*, traduisant une saison sèche plus marquée (Arbonnier, 2002).

Les paysages sont touchés par de **nombreux feux de brousse**, comme en témoignent les nombreuses espèces plus ou moins pyrophiles (*Lophira, Sapotaceae*, *Combretaceae* et *Alchornea p.p.*) et les études de signal incendie (Figure n° 89). La grande quantité de charbons dans des sédiments très noirâtres de la première séquence de l'Holocène montre l'importance des incendies généralisés sur le bassin versant au cours de cette période. Les taux sont les plus élevés de l'ensemble de l'Holocène. Cette abondance de particules charbonneuses est à mettre en relation avec la grande quantité de biomasse combustible à cette période dans les formations de la mosaïque de végétation mise en évidence par la palynologie. Des **feux réguliers** ont favorisé une diversification par l'ouverture progressive de la végétation (Le Drézen & Ballouche, soumis). Ainsi, même dans les savanes à affinité soudano-guinéenne *Lophira lanceolata* et *Parinari curatellifolia*, au comportement grégaire, sont résistants au feu (Burkill, 1985-2000 ; Granier, 2001 ; Ballouche, 2002 ; Höhn, 2002 ; Ballouche & Dolidon 2005) et ont été favorisés par la nette augmentation de la fréquence des incendies (Huysecom et al., 2004, 2006). Les autres espèces végétales, qui peuvent être liées au feu dans ces paysages, sont *Alchornea* (présent tout au long de l'Holocène récent), le groupe des S*apotaceae* (dont le *Vitellaria* ou karité) et le *Daniellia oliveri* (Aubréville, 1950 ; Arbonnier, 2002) ou avec le *Bombax costatum* qui a pu proliférer grâce à son écorce épaisse résistante au feu (Ballouche & Dolidon 2005). L'importance de ces espèces pyrophiles est certainement significative du rôle des sociétés.

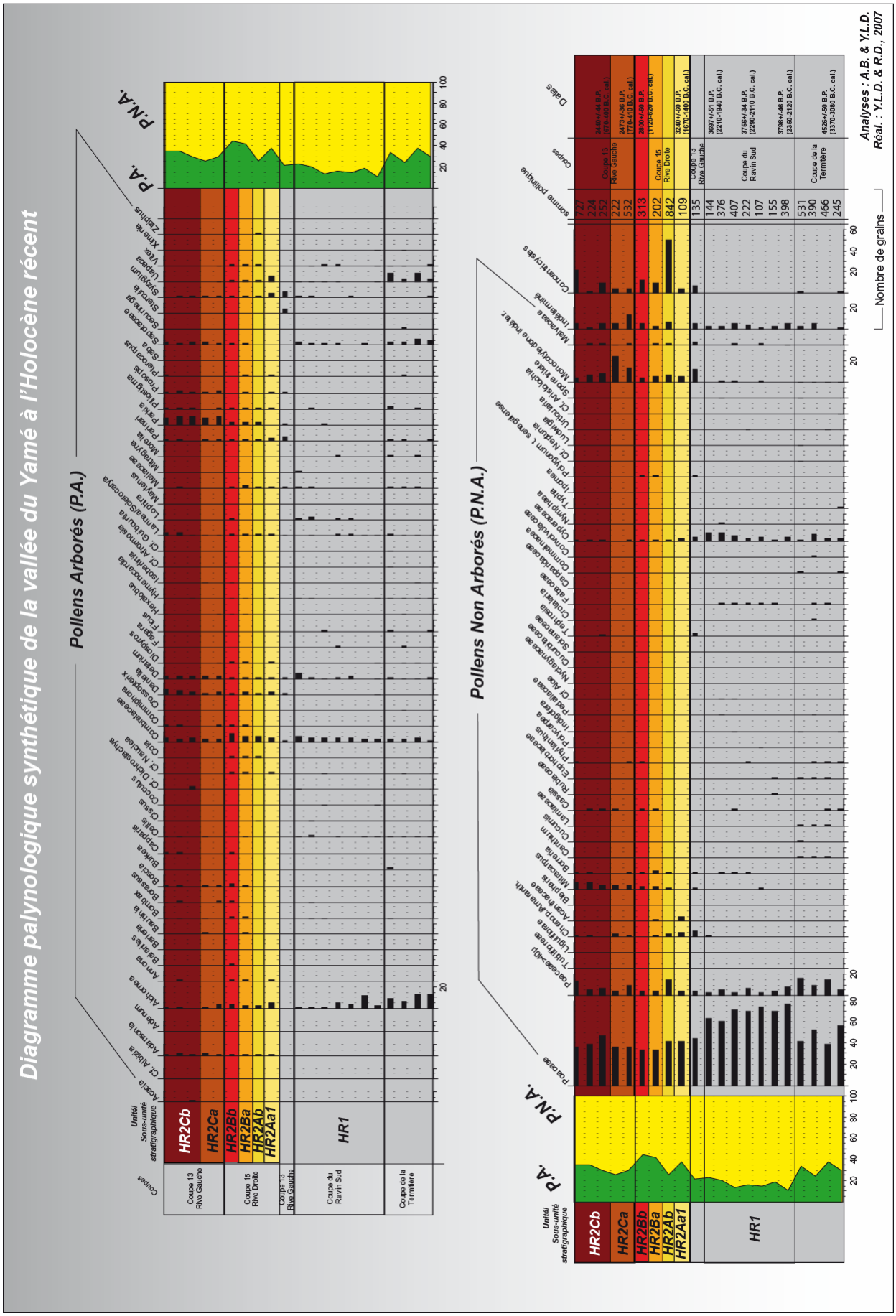


Figure n° 88 : Diagramme palynologique de la vallée du Yamé à l'Holocène récent

- ***Les paysages végétaux des quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé.***

Au début de la deuxième séquence de l'Holocène récent (HR2A), les espèces soudano-guinéennes sont encore bien représentées, comme *Uapaca, Alchornea, Syzygium* dans la galerie forestière ou *Parinari* en savane (cf. figures n° 88 & 89). Les paysages de savanes denses à faciès soudano-guinéen (*Lophira*, *Parinari*) vont progressivement changer de physionomie au profit de formations plus soudaniennes et plus ouvertes.

Au cours de l'unité HR2B qu'il est possible de corréler aux données micromorphologiques, relatant une phase plus humide (soit entre 2800 et 2500 B.P.), les paysages ont tendance à se refermer légèrement, avec plus de taxa arboréens et des taux de P.A. plus importants. Les savanes gardent un fond soudanien avec, de nouveau, des espèces soudano-guinéennes plus variées, plus nombreuses et alors qu'apparaissent des espèces soudano-sahéliennes (cf. figures n° 88 & 89).

La fin de la deuxième séquence de l'Holocène récent est importante dans la transformation de la physionomie des savanes. Les espèces soudano-guinéennes disparaissent progressivement, tandis que les soudaniennes se développent largement accompagnées par des soudano-sahéliennes. Progressivement, les espèces indicatrices d'humidité diminuent et se replient de plus en plus sur les rives des mares, dans une forêt galerie toujours assez riche taxonomiquement. Les mares se tarissant régulièrement, plus fréquemment et plus longuement en saison sèche, certaines espèces comme *Uapaca* vont disparaître (cf. figures n° 88 & 89).

Les évolutions du paysage végétal expriment la **combinaison des facteurs climatiques et anthropiques**.

Pendant la deuxième séquence de l'Holocène récent, le milieu est caractérisé par une accentuation de la saisonnalité, avec une durée et une intensité plus importante de la saison sèche et ces évolutions climatiques ont des répercussions sur les paysages végétaux, avec le fort recul ou la disparition de quelques espèces peu nombreuses comme *Lophira*, *Parinari, Uapaca* ou *Alchornea* mais surtout beaucoup qui sont en nette diminution (*Vitex, Sygyzium,*

Hexalobus, Diospyros). On assiste alors à une véritable aridification d'ensemble des milieux avec des taxas caractéristiques des espaces ouverts et généralement xérophiles, comme les *Chenopodiaceae/Amaranthaceae*, les Composées, *Mitracarpus* etc. Parmi les P.A., les espèces qui apparaissent et qui sont en nette augmentation, sont *Acacia, Adansonia, Commiphora, Daniellia, Detarium, Lannea/Sclerocarya, Parkia, Prosopis, Pterocarpus* et les *Sapotaceae*. La persistance de milieux forestiers en forêt-galerie (cf. figures n° 88 & 89), ou localement quelques forêts sèches éparses, est indiquée par l'occurrence de rares lianes comme *Allophylus africanus* ou le *Saba senegalensis*. L'aridification généralisée en Afrique de l'Ouest et la saisonnalité très marquée au cours de cette séquence sont en partie responsable de ces changements physionomiques, tout comme la phase plus humide correspondant à l'unité HR2B a pu engendrer une fermeture passagère mais assez notable dans le paysage.

De nombreux taxa indiquent **des actions anthropiques** s'ajoutant aux variations climatiques.

En l'état actuel de nos connaissances, **la palynologie ne fournit pas de témoignage décisif direct d'une pratique de l'agriculture,** car les critères polliniques de détermination ne permettent pas de discriminer les céréales. La domestication de *Pennisetum* est, par contre, documentée dès le début du II^{ème} millénaire B.C. par l'archéobotanique. Les nombreux taxa polliniques de milieux ouverts comme *Mitracarpus, Borreria*, *Indigofera,* les *Chenopodiaceae/Amaranthaceae*, les Composées, les *Lamiaceae, Acanthaceae* peuvent être aussi considérées comme des rudérales ou des espèces de jachères (Neumann & Ballouche, 1992 ; Neumann, 2002). La présence toujours accrue des *Combretaceae* montre aussi ces changements majeurs d'origine anthropique dans les savanes. Mais, par comparaison avec la pluie pollinique actuelle, l'un des aspects majeurs de l'évolution de la végétation des savanes, au cours de l'Holocène récent, est le recul dans les spectres polliniques des taux des graminées avec une diversification de leur composante herbacée.

On peut donc voir dans cet ensemble d'arguments **un faisceau de preuves de l'émergence de véritables agrosystèmes** construits sur une gestion de la fertilité des sols par la rotation des champs et des jachères. Les sociétés néolithiques devaient avoir dès cette période de l'Holocène des impacts notables sur leur environnement avec des défrichements fréquents, des jachères et une pratique régulière du feu…

Le caractère pyrophile de la végétation (cf. figures n° 88 & 89) est remarquable avec de très nombreux éléments liés au feu dont les groupes des *Combretaceae* et des S*apotaceae* (dont le *Vitellaria* ou karité), *Parkia*, *Pterocarpus*, *Prosopis* voire *Alchornea* en marge de la galerie forestière, qui sont présents tout au long de l'Holocène récent. Si la quantité de charbons dans des sédiments est moins impressionnante, que dans la première séquence de l'Holocène les incendies semblent toujours généralisés dans le bassin versant, réguliers et fréquents chaque année, ce qui indique sans aucun doute **leur origine en grande partie anthropique**. La pratique des feux permet d'ouvrir la végétation, d'entretenir des savanes-parcs, de détruire une partie de la forêt-galerie, pour accéder à l'eau. Elle est également un outil de base dans les pratiques culturales. L'évolution climatique intervient sur des périodes d'occurrence des feux, mais ce sont les choix des sociétés qui déterminent leur régime régulier, à fréquence annuelle. Les incendies débutaient dès la fin de la saison des pluies jusqu'à la fin de la saison sèche. Cela témoigne de feux précoces et de feux tardifs, ce qui renforce leur caractère anthropique. Les feux sont de bons indicateurs des dynamiques environnementales, à l'interface nature/sociétés et leur passage régulier depuis plus de quatre mille ans permet de mieux comprendre le rôle non négligeable joué par les différentes sociétés dans la construction des paysages de savanes à l'échelle de l'Ouest de l'Afrique.

Au cours des derniers millénaires, **les espèces soudano-guinéennes diminuent puis disparaissent**. Quelques unes (*Vitex, Syzygium, Hexalobus, Diospyros, Cola, Saba*) se cantonnent encore dans les forêts reliques ou forêts-galeries en bordure des mares et cours d'eau, mais sont absentes des savanes ouvertes (figures n° 88 & 89). A l'inverse, certaines espèces vont se multiplier et d'autres apparaître. Le *Lannea microcarpa* se développe et se multiplie rapidement dans le dernier millénaire B.C. Il est caractéristique des espèces de jachère dans la zone soudanienne (Neumann & al., 2004) mais il se rencontre également dans les forêts-galeries ou les bas de versants (Küppers, 1996 ; Wittig & al., 2000 ; Arbonnier, 2002). Le *Bauhinia/Piliostigma,* autre taxon de jachère, apparaît également vers 3420+/-40 B.P. Le *Parkia* est une espèce qui pollinise très mal ; le fait d'observer son pollen en nombre important montre que ce taxon devait être très bien représenté au cours de l'Holocène récent sur les bords du Yamé.

Dynamiques des paysages végétaux de la vallée du Yamé depuis 4 000 ans

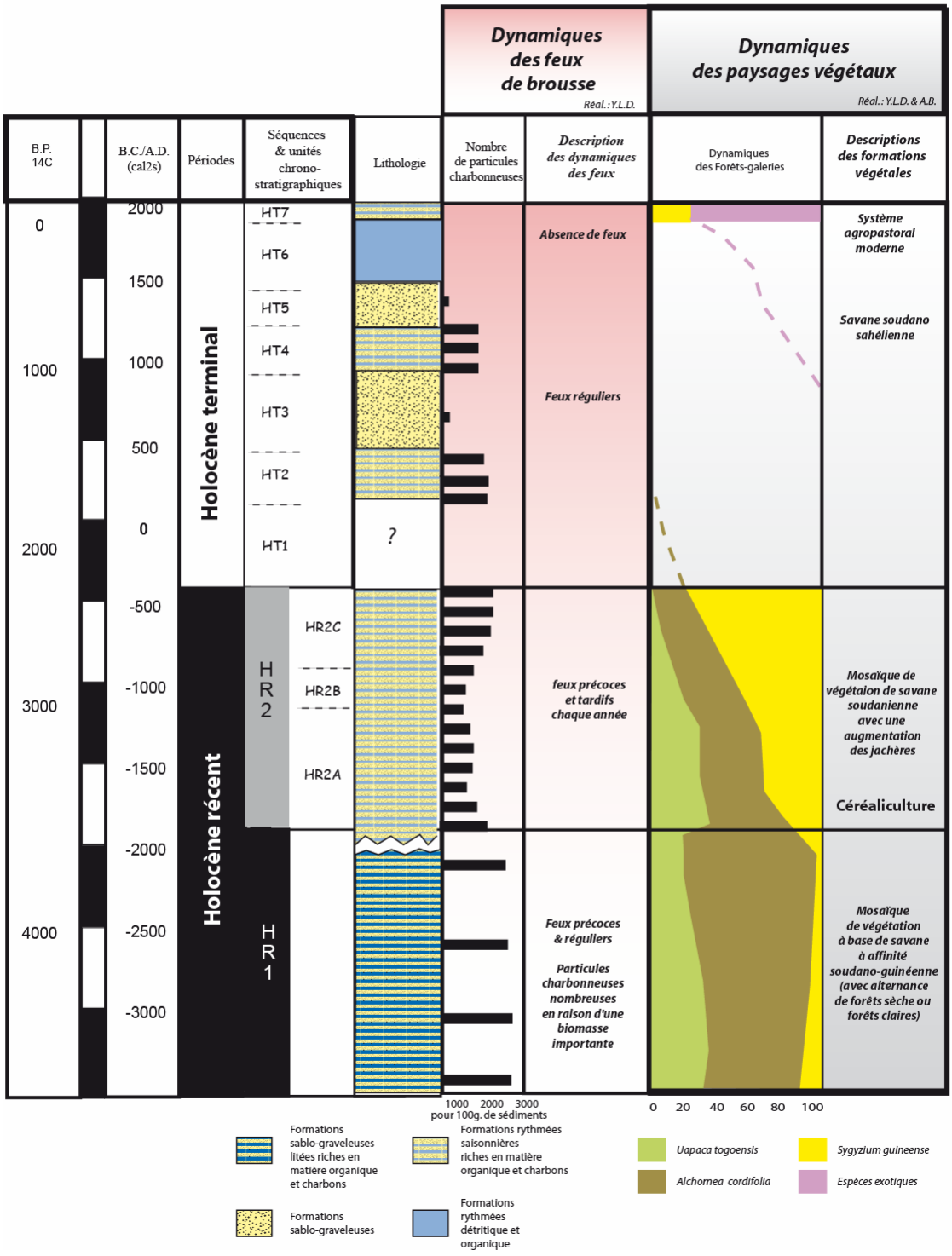


Figure n° 89: Dynamiques des paysages végétaux de la vallée du Yamé depuis 4 000 ans

Les arbustes d'une capacité élevée de régénération, comme *Guiera senegalensis* et *Bauhinia* sont en nette augmentation. Le *Combretum micranthum*, en nombre élevé de charbons de bois à Ounjougou a également cette capacité, mais est assimilé dans les régions soudaniennes aux sols pauvres et peu profonds (Aubréville, 1950 ; Keay, 1959 ; Arbonnier, 2002). A. Ballouche (2002) le considère comme une espèce très résistante au feu. Dans la zone sahélienne du Burkina Faso, Höhn & al. (2004) interprètent l'augmentation du *C. micranthum* ainsi que du *Guiera senegalensis* (par des spectres de charbon de bois de l'Age du Fer) comme indicateur des secteurs dégradés. A Pentènga dans le Sud-Est du Burkina Faso, l'augmentation du charbon de bois de *C. micranthum* commence au début de l'Holocène récent et continue progressivement jusqu'à l'abandon du site (Frank & al., 2001).

Au cours du dernier millénaire **les paysages végétaux évoluent progressivement vers des savanes-parcs** caractéristiques à *Vitellaria*, *Parkia* ou *Adansonia*. Avec une occupation humaine plus dense, le développement de la métallurgie et une agriculture plus intensive, le *Terminalia sp.* et *Prosopis africana* par exemple diminuent, tandis que *Combretum glutinosum* et *Pterocarpus cf. lucens* augmentent de manière significative. Les espèces soudaniennes qui constituent toujours la trame de la végétation sont de plus en plus accompagnées par des **arbres et des arbustes sahéliens,** dont le *Balanites aegyptiaca*. Mais parallèlement le rôle des feux de végétation, jusque là déterminant, semble s'estomper pour disparaître complètement depuis au moins le 20ème siècle.

Ce sont des paysages végétaux que les populations dogon ont continué à gérer au cours des tous derniers siècles jusqu'à produire l'image que nous connaissons aujourd'hui. Celle-ci s'inscrit certes dans une continuité historique mais, comme nous l'avons vu au tout début de cette partie, résulte surtout de changements très rapides des systèmes socio-économiques contemporains.

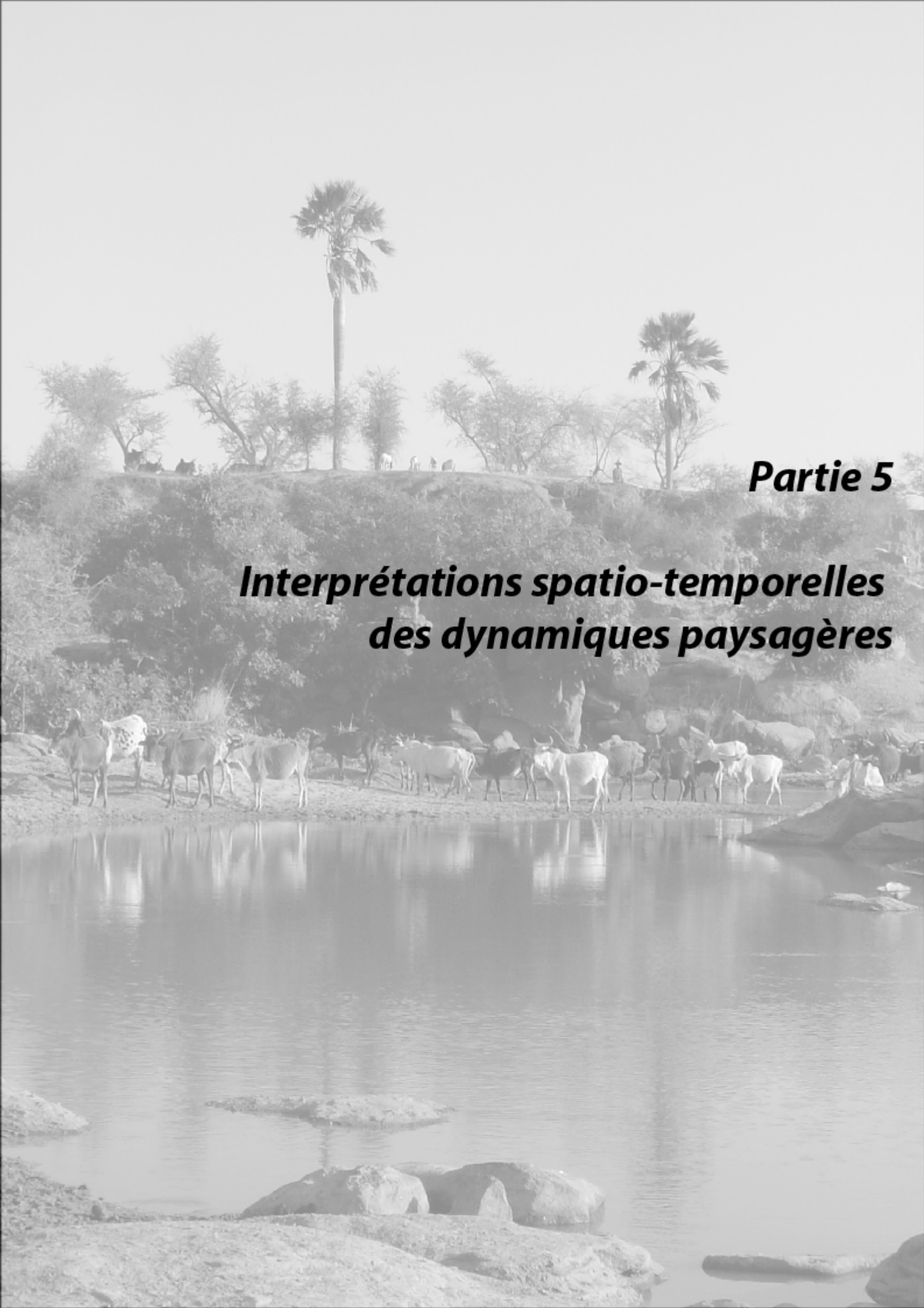
Analyser l'histoire de la végétation de la vallée du Yamé et ses évolutions permet de mieux approcher les dynamiques d'ensemble des paysages et de comprendre le rôle qui joue la **combinaison des facteurs climatiques et anthropiques** depuis plus de quatre mille ans**.** Nos différentes méthodes et approches pour étudier ces évolutions font appel à différentes échelles temporelles :

- courtes avec les études des paysages végétaux des dernières décennies par une approche de terrain et de photo-interprétation ;
- et plus longue par la palynologie, l'anthracologie, la carpologie et le signal incendie.

Au cours de ces quatre millénaires, l'évolution climatique globale qui tend vers l'assèchement a des conséquences notables sur la végétation. Elle explique en particulier l'évolution floristique, les espèces méridionales soudano-guinéennes se repliant progressivement vers les zones humides et certaines d'entre elles (comme *Uapaca togoensis Alchornea cordifolia, Lophira lanceolata* et *Parinari curatellifolia)* vont totalement disparaître de la vallée du Yamé. La diminution des précipitations mais surtout l'accentuation de la sècheresse par l'allongement de la saison sèche, entraînent aussi une aridification générale de la végétation. Ainsi, alors qu'une galerie forestière se maintient, avec une composition floristique qui s'appauvri, les mosaïques de végétation, dont les savanes denses à faciès soudano-guinéen du début de l'Holocène récent, vont progressivement changer physionomiquement et écologiquement au profit de formations de type soudanien puis soudano-sahélien plus ouvertes.

Mais nous avons surtout démontré l'importance des facteurs anthropiques dans cette histoire. Parallèlement à la domestication du mil, qui témoigne d'une pratique de l'agriculture dès le début du deuxième millénaire avant notre ère, nous voyons se construire des paysages végétaux liés à l'émergence de véritables agrosystèmes construits sur une gestion de la fertilité des sols par la rotation des champs, des jachères et des feux saisonniers. Nous montrons ici clairement le rôle primordial des incendies réguliers et annuels dans ces dynamiques paysagères. Les feux sont certainement utilisés par les sociétés comme un outil de maîtrise de la nature, pour orienter l'évolution de leur environnement.

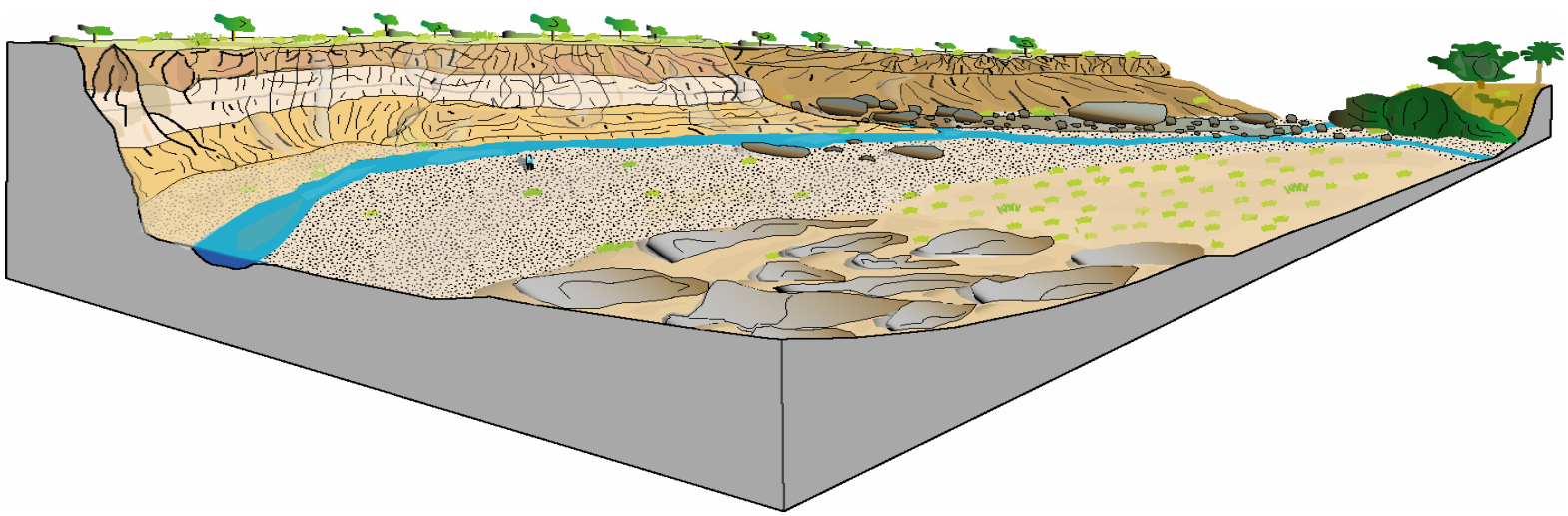
En revanche, dans ces tendances sur le temps long, qui imprime leur marque dans les paysages végétaux, il est remarquable de constater qu'une grande part des évolutions très récentes s'inscrit plutôt en rupture. La diminution puis la disparition des feux datent de quelques siècles seulement et, surtout depuis moins d'un siècle, les agrosystèmes traditionnels se transforment produisant de nouveaux paysages végétaux. Il devient alors essentiel de se préoccuper de la valeur patrimoniale de ces paysages et de leur signification pour les sociétés, en tant que mémoire des milieux et des hommes (Ballouche, 2002), afin d'envisager leur gestion et leur aménagement.



Partie 5

Interprétations spatio-temporelles des dynamiques paysagères

Bloc diagramme de l'aval d'Ounjougou (Vallée du Yamé, en 2004). Réal. : Y.L.D., 2005



Les différentes approches menées dans ce travail de recherches ont permis d'obtenir de nombreux résultats analytiques. Dans une logique systémique, il est cependant nécessaire de les croiser et de les interpréter en interrelation afin de comprendre dans toute leur complexité les dynamiques environnementales de la vallée du Yamé et, au-delà, la construction de ses paysages en tant que production combinée de processus naturels et anthropiques, au cours des quatre derniers millénaires.

Il s'agit ici de présenter ces évolutions en s'intéressant aux interactions entre les différents éléments, abiotiques, biotiques et anthropiques, qui composent le géosystème sahélo-soudanien de cette région et tout particulièrement celles que connait l'interface Nature/Société. La présentation, dans un premier temps, des forçages hydro-climatiques et anthropiques et ensuite la mise en perspective de nos propres résultats à différentes échelles spatiales, permettent de comparer les évolutions connues à Ounjougou avec celles du reste de l'Afrique de l'Ouest. Arrivés au terme de ce travail, nous proposerons ici une reconstitution sous forme de scenarii paysagers.

Le site et les périodes que nous avons étudiés permettent d'appliquer une telle approche. Il s'agira pour nous de faire ressortir aussi bien leur originalité à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest à l'Holocène, que leur valeur de référence en raison de conditions exceptionnelles d'enregistrement. L'objectif final est de bâtir une esquisse scénique synthétique de l'évolution et des dynamiques des paysages de la vallée du Yamé au cours de l'Holocène récent et terminal. Cela non seulement pour illustrer visuellement leur histoire, mais surtout pour proposer des scénarii qui permettent de comprendre les logiques en œuvre.

5

1. *Du local au global :*

La vallée du Yamé, un site de référence en Afrique de l'Ouest

Les études chronostratigraphiques, sédimentologiques, micromorphologiques et paléobiologiques de la vallée du Yamé ont permis d'obtenir de nombreuses données, qu'il nous est possible d'interpréter en termes de dynamiques environnementales et de forçages hydro-climatiques et/ou anthropiques. L'étude intégrée de cette masse d'informations et leur croisement ont pour but de mettre en évidence les processus complexes agissant dans les paysages à l'interface de la Nature et des Sociétés.

1.1. Apports de nos analyses à la connaissance des dynamiques et forçages hydro-climatiques

1.1.1. L'Holocène récent : Vers une aridification du milieu

1.1.1.1. Que nous apprennent les recherches paléoenvironnementales de la vallée du Yamé ?

Alors qu'au début de l'Holocène récent, les formations alluviales sont litées mais essentiellement détritiques (Lespez & al., accepté), lors de la deuxième séquence, à partir de 3420+/-40 B.P. (soit 1880-1620 B.C. cal.), la caractéristique principale des dépôts est qu'ils apparaissent comme franchement rythmés par des alternances de lamines sablo-limoneuses et limono-sableuses, avec des traces d'oxydation et des fissures de dessiccation.

En quoi cette manifestation sédimentaire est-elle significative des changements climatiques régionaux ?

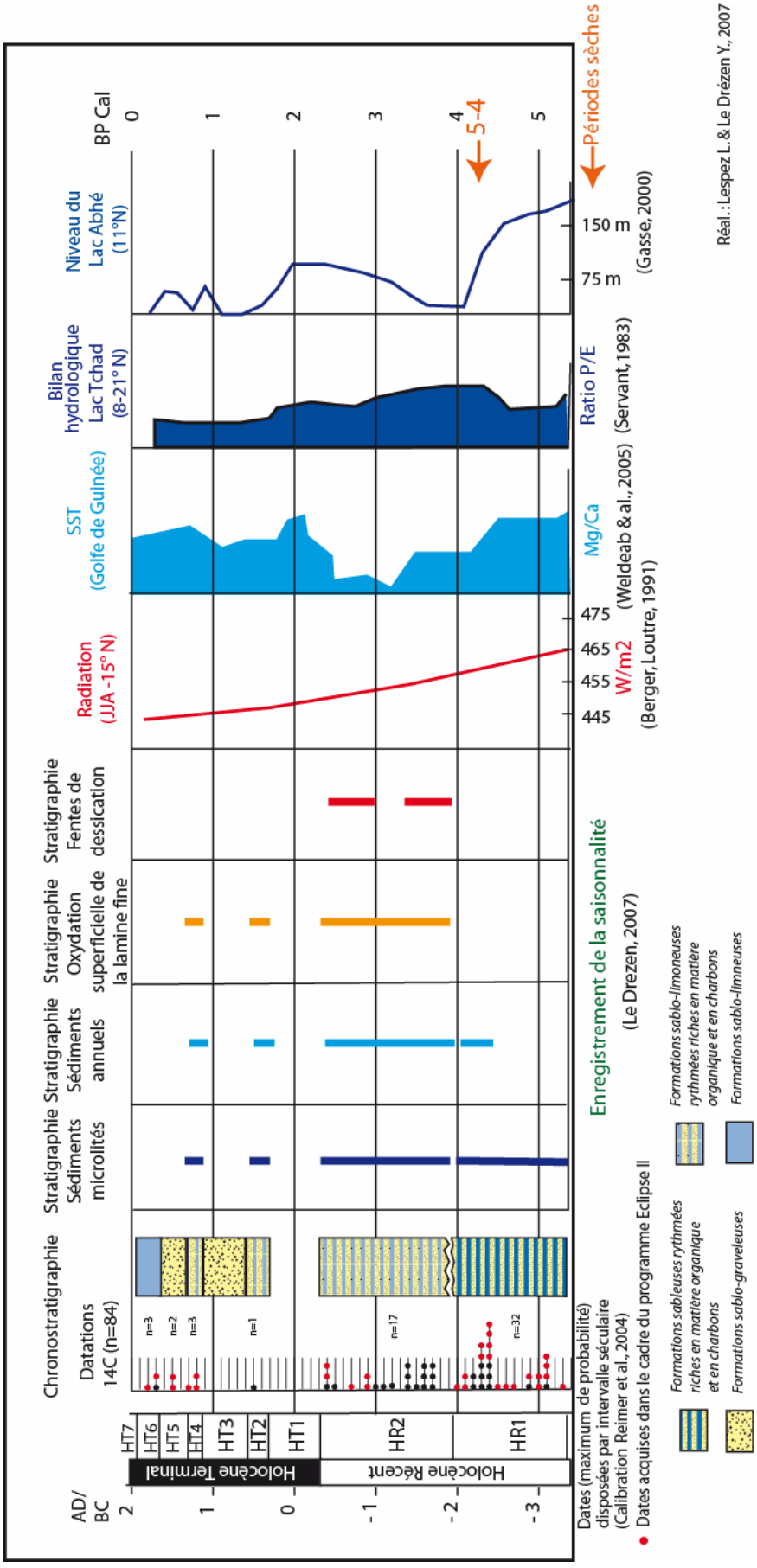


Figure n° 90 : Etudes comparatives des données stratigraphiques de la vallée du Yamé avec celles de sites ouest africains

Le deuxième millénaire et la première moitié du premier millénaire avant notre ère (HR2 : entre 3420+/-30 et 2840+/-45 B.P., soit 1880-390 B.C. cal.) sont caractérisés par des dépôts annuels à deux saisons alternées, très bien enregistrées (cf. figure n° 90). Les dépôts sédimentaires de la vallée sont rythmés et alternent donc régulièrement des dépôts fins limono-sableux avec des dépôts sablo-limoneux plus grossiers ; ces binômes laminés étant en plus bien régulièrement soulignés par une oxydation et des fissures de dessiccation au sommet des lamines fines. C'est cette caractéristique d'un sol polygonal qui tranche par rapport à la phase précédente.

En effet, dans la **période antérieure au deuxième millénaire avant notre ère,** malgré le caractère lité des dépôts, révélateur d'un rythme saisonnier du fonctionnement hydro-sédimentaire (avec des sédiments grossiers transportés en saison des pluies et des sédiments plus fins déposés dans un milieu à faible énergie pendant la saison sèche), l'absence des marques régulières de l'oxydation ou des fissures de dessiccation indique des plans d'eau occupant le fond de vallée qui restaient en eau toute l'année. Ainsi à la fin de l'Holocène récent, le fonctionnement hydrologique est nettement plus rythmé et les dépôts fins de décantation terminent systématiquement par une dessiccation (Lespez & al, accepté ; Le Drézen & al, soumis).

L'étude de ces dépôts alternés montre une affirmation progressive de la saisonnalité dans la région. Ainsi, au cours de ce deuxième millénaire avant notre ère, la saison humide, bien arrosée, provoque un écoulement compétent transportant du matériel sédimentaire et organique de l'ensemble du bassin versant amont du Yamé. En fin de saison des pluies et en début de saison sèche, l'écoulement devient de moins en moins compétent, des mares se forment progressivement dans le fond de vallée. Au cours de la saison sèche, ces zones humides s'assèchent progressivement et les micro-organismes présents dans l'eau (bactéries, algues, etc.) développent une organisation pelliculaire de surface oxydée. En fin de saison sèche, les mares disparaissent totalement laissant des sols qui se fissurent en surface, avec des fentes de dessiccation typiques. A partir de 2510+/-30 et au moins jusqu'après 2400+/-50 B.P. (soit entre 790 et 390 B.C. cal.), la saison sèche devient encore plus intense et longue. Non seulement, les mares s'assèchent saisonnièrement, mais les ruissellements de la saison des pluies semblent de moins en mois compétents, les crues moins fréquentes et des périodes d'écoulements plus réduites dans le temps.

Dans ce contexte général, marqué par une nette sécheresse saisonnière, quelques fluctuations vers des conditions plus humides sont toutefois repérées. C'est le cas entre 2840+/-45 et *ante* 2510+/-30 B.P. (soit entre 1130-520 B.C. cal.). Lors de cette période, les

sédiments révèlent, certes, toujours un rythme saisonnier, mais les traces d'oxydation et les fissures de dessiccation disparaissent sur une période courte.

Ainsi, on peut donc dire que les deux derniers millénaires avant notre ère enregistrent un processus d'aridification dans la vallée du Yamé, avec une saisonnalité de plus en plus affirmée, marquée par un allongement et un renforcement de la saison sèche. A la fin de l'Holocène récent, une saison sèche longue et intense, caractéristique d'un type climatique sahélien est donc bien installée. Son enregistrement hydro-sédimentaire est tout à fait manifeste. Parallèlement, les paléoenvironnements végétaux répondent à ce changement climatique par une transformation tant de la savane régionale qui prend un faciès sahélien plus net, mais surtout par la composition floristique de la forêt-galerie où les espèces inféodées aux écoulements permanents, comme *Uapaca*, disparaissent.

1.1.1.2. Comment s'insèrent ces recherches paléoenvironnementales dans le contexte ouest africain ?

A l'échelle sous-continentale, il y a 5 000 ans environ, une nouvelle phase d'aridification générale va progressivement entraîner le glissement des grandes zones écoclimatiques vers leurs limites actuelles (deMenocal & al., 2000 ; Lézine *et al*., 2005 ; Gasse, 2000). A proximité de notre zone d'étude, dans le Delta Intérieur du Niger et sur ses marges, cette tendance à l'assèchement va entraîner une augmentation de l'activité éolienne (Makaske, 1998). Cette tendance ne se fait pas partout en même temps ni de façon linéaire (Talbot & al., 1984 ; Lézine, 1989 ; Maley & al., 1990 ; Ballouche & Neumann, 1995 ; Salzmann & al., 2002 ; Ballouche, 2002).

Certains auteurs parlent d'un "événement 4 000", changement climatique global abrupt, tendant vers la sécheresse, il y a 4 000 ans (Lézine, 1989 ; Pachur & Hoelzmann, 1991 ; Hassan, 1997 ; deMenocal & al., 2000 ; Salzmann & Hoelzmann, 2004 ; Marchant & Hooghiemstra, 2004). Il est pourtant assez difficile de reconnaître de façon absolue une réalité paléoenvironnementale en relation avec cet événement en Afrique de l'Ouest (Ballouche & Rasse, 2007). D'après deMenocal *& al.* (2000), une rupture climatique abrupte serait notée dès 4 800 ans au large du Sahara (Geyh & Jäkel, 1974) ; mais sur le continent elle se manifeste surtout 1 000 à 1 700 ans plus tard (Elenga & al., 1992 ; Alexandre & al., 1997 ; Hassan, 1997 ; Vincens & al., 1998 ; Maley & Brenac, 1998 ; Stager & Anfang-Sutter, 1999 ; Vincens & al., 1999 ; Guo & al., 2000 ; Vernet & Faure, 2000 ; Marchant & Hooghmiestra,

2004 ; Shanahan & al., 2006). Le lac Tilla au Nigeria enregistre une baisse de niveau il y a 3 800 ans (Salzmann & al., 2002), alors que le lac Bosumtwi au Ghana voit un changement sédimentaire autour de 3 000-3 200 ans (Russel & al, 2003). D'autres indices climatiques sont issus des mares et lacs sahéliens (les mares d'Oursi, Kissi au Burkina Faso) où le fonctionnement hydrologique montre une plus grande tendance à l'assèchement entre 3 300 et 3 000 ans (Ballouche & Neumann, 1995 ; Salzmann & Waller, 1998 ; Gasse, 2000 ; Marchant & Hooghiemstra, 2004). Plus à l'Est, nous observons également la même évolution à travers le niveau du lac Abhé et le bilan hydrologique du lac Tchad (figure n° 90 ; Gasse, 2000 ; Servant, 1983).

Plus loin, on peut noter qu'une évolution symétrique semble être observée au Nord du Sahara et au Maghreb. En effet, sur de nombreux cours d'eau, on enregistre à partir de 5-4 ka cal BP une augmentation de la torrentialité et des crises alluviales associées à une aridification du climat (Faust *& al.,* 2004 ; Weisrock & *al.,* 2006).

Une façon de mettre en cohérence tous ces faits serait de considérer, qu'il y aurait une évolution décalée dans le temps du Nord vers le Sud, qui se manifeste peut-être par paliers : vers 5000-4800 ans, 4000-3500 ans et 2800-2500 ans (Talbot & al., 1984 ; Richards, 1986 ; Street-Perot & Perrot, 1988 ; Lézine, 1989 ; Maley, 1977, 1991, 1996, 2003, 2004 ; Elenga 1992 ; Elenga & al., 1992 ; 1994, 1996 ; Vincens & al., 1994 ; Reynaud-Farrera 1995, 1997 ; Reynaud-Ferrera & al., 1996 ; McIntosch, 1998 ; Bonnefille & Chalié, 2000 ; Salzmann & al., 2002 ; Marchant & Hooghmiestra, 2004 ; Servant & Servant-Vildary, 2004 ; Salzmann & Hoelzmann, 2005 ; Shanahan & al., 2006).

Pour certains auteurs, le rôle du forçage solaire est primordial et la baisse de l'insolation estivale serait à l'origine de ce changement ; même si la réponse du système bioclimatique n'aurait pas été linéaire. C'est, entre autre, ce qui permettrait d'expliquer l'hétérogénéité spatiale des réponses paléoenvironnementales (deMenocal & al., 2000). Pour d'autres, en revanche, la clé se situe dans les changements de la circulation atmosphérique et marine dans la zone tropicale, induits par les événements E.N.S.O. (Marchant & Hooghiemstra, 2004). En fait, en raison même de la complexité des interactions océan-atmosphère-biosphère, il semble bien que les données aujourd'hui disponibles en mer comme sur terre ne permettent pas de comprendre avec précision les causes et les effets de la migration durable vers le sud de la Z.I.T.C. restreignant la durée et l'intensité de la mousson sur le continent.

Cependant, même si les mécanismes déterminants demeurent encore mal connus, tout comme dans la vallée du Yamé, de nombreux autres sites d'Afrique de l'Ouest enregistrent la même tendance à l'aridification au cours des trois derniers millénaires avant notre ère. En plus d'inscrire les changements hydro-climatiques locaux dans un contexte régional, le site d'Ounjougou montre toutefois comment cette évolution fait ici essentiellement appel au rôle et à la durée de la saison sèche, qui s'intensifie et s'allonge dans l'année. Celle-ci entraîne des mutations des systèmes hydrosédimentaires et une réelle aridification des paysages végétaux (Le Drézen & *al*., soumis).

Parallèlement, cette période connait aussi une intensification des actions anthropiques et, à partir du deuxième millénaire avant notre ère, le développement de l'agriculture (Ballouche, 2002 ; Huysecom & al., 2004). Dès lors, dans la vallée du Yamé, mais plus généralement en Afrique de l'Ouest, comme au Sahara et au Maghreb, la discussion du rôle des oscillations climatiques dans les dynamiques hydrosédimentaire devient plus complexe et doit être articulée avec les forçages d'origine anthropique (Schulz & Pomel, 1992 ; Ballais, 1995 ; Ballouche, 2002 ; Weisrock & al., 2006 ; Le Drézen & al., 2007 ; Ballouche & Rasse, 2007 ; Le Drézen & al., soumis).

1.1.2. L'Holocène terminal : vers une instabilité hydro-climatique

1.1.2.1. Les recherches paléoenvironnementales de la vallée du Yamé

L'Holocène terminal a été subdivisé, dans la vallée de Yamé, en sept séquences chronostratigraphiques (cf. figure n° 90). Si cinq parmi ces sept séquences fournissent de nombreuses données paléoenvironnementales, même si la conservation de la matière organique y est moins bonne que dans l'Holocène récent, il est remarquable que deux autres (la première et la cinquième) correspondent à des hiatus d'enregistrement.

Dès le début de l'Holocène terminal, entre le IV^{ème} siècle avant notre ère et le III^{ème} après où aucune sédimentation notable n'a pu être observée ou ni d'ailleurs aucun reste archéologique, le mode de fonctionnement de l'hydrosystème fluvial change de style. Cette

phase semble correspondre à un probable tarissement des écoulements réguliers, lui-même lié à une accentuation de l'aridification, dans la continuité des observations présentées à la fin de l'Holocène récent.

On a ensuite une courte période, entre 320 et 540 après notre ère, de retour à des conditions comparables à celles de la fin de l'Holocène récent : alternance d'un écoulement compétent du Yamé en saison humide et d'un milieu de décantation, donc la présence de mares, en début de saison sèche. Cette phase est très mal enregistrée dans les sédiments de la vallée car il n'existe aucune donnée archéologique et qu'une seule date obtenue sur des sédiments rythmés au niveau de la confluence de 1645+/-40 B.P. (Huysecom & al., 1998).

La deuxième moitié du premier millénaire de notre ère, correspondant à la troisième séquence (HT3), est essentiellement marquée par une sédimentation détritique n'ayant fourni que très peu de matériel datable (cf. figure n° 90). Les enregistrements sédimentaires de cette période ne sont d'ailleurs plus localisés dans la vallée actuelle du Yamé, à l'amont de la confluence, mais sur ses marges dans le Ravin Sud, sur le site des *Unio*. Les sédiments sablo-graveleux de la base des coupes sont riches en tessons de céramique, considérés comme pré-dogon. Selon Sylvain Ozainne (communication orale) leurs décors caractéristiques, au scoubidou fin, seraient apparus vers 600 A.D., à Ounjougou. Ces sédiments très grossiers avec de rares lamines grises fines et compactes traduisent une compétence élevée des affluents de rive gauche du Yamé, ponctuellement interrompue par quelques phases où se développent des milieux marécageux. A l'aval de la confluence, la vallée connaît une tendance à l'accumulation rapide de colluvions limoneux (Rasse & al., 2006 ; Le Drézen & al., soumis). Ce colmatage important annonce la construction de la future terrasse dite protohistorique, mais n'exclut pas pour autant un écoulement par inféroflux dans les sédiments, en raison d'un niveau assez haut de la nappe d'eau dans les grès. Mais le comblement progressif du lit du Yamé ne traduit pas forcément un climat ou une phase plus humide à l'échelle régionale. En effet, il peut aussi avoir diverses origines, comme témoigner de conditions hydrologiques locales sous forme d'une érosion plus intense sur le basin versant en raison d'une activité anthropique croissante.

La quatrième séquence (HT4), entre le XI^{ème} siècle et la première moitié du XIII^{ème} siècle, correspond à de nouveaux dépôts rythmés fins (cf. figure n° 90) sur le site des Unio (cf. parties 2 & 3). Dans le contexte d'une vallée en phase de comblement avancée, les affluents du Yamé avaient alors un écoulement peu dynamique en saison des pluies, entraînant la formation d'une zone humide de type marécageux ne s'asséchant pas complètement en saison sèche. Au cours de cette séquence, des chenaux principaux (et/ou

secondaires) du Yamé sont comblés progressivement par des sédiments saisonniers, comme l'indiquent les études effectuées sur les dépôts du Chenal du *Detarium*. L'interprétation paléoclimatique de ces enregistrements est délicate. La faible énergie des écoulements montre un caractère torrentiel mais affirmé du Yamé en saison des pluies, alors que la saison sèche semble mois intense et moins longue qu'au cours de la fin de l'Holocène récent (en raison de l'absence d'oxydation et de fissure de dessiccation au sommet des lamines fines). A l'aval de la confluence, le comblement du lit du Yamé se poursuit par des apports colluviaux, comme l'indiquent les fouilles archéologiques sur le site du Promontoire avec des sédiments datés de 885+/-50 B.P. (soit entre 1020 et 1260 A.D. cal.), localisés 8 à 9 mètres au dessus du talweg actuel.

Vient ensuite une nouvelle phase de détritisme grossier, entre la deuxième moitié du XIII^{ème} et le XVI^{ème} siècle, qui laisse supposer une érosion accrue des berges en relation avec une oscillation vers des précipitations plus marquées et/ou un impact anthropique important sur le bassin versant (correspondant à l'arrivée des Dogon sur le plateau).

L'avant-dernière séquence (HT6), entre le XV^{ème} siècle et le début du XX^{ème} siècle, correspond à des dépôts très détritiques, sur les sites du Ravin Sud et des Unio, qui remanient du matériel pléistocène (cf. figure n° 90). Le système général dénote un fonctionnement hydrologique compétent, sans doute dans un lit mobile à chenaux divagants. Les dépôts latéraux proviennent des affluents du Yamé et indiquent des écoulements torrentiels de saisons des pluies. Dans la plaine d'inondation, les espaces palustres pendant la saison sèche, sont plus affirmés que durant HT4. A partir des XVI-XVII^{ème} siècles jusqu'en 1936, une zone humide va progressivement se former entre le site de la Confluence et le site des *Unio*. Ces marécages avec de nombreuses moules d'eau douce correspondent au comblement de l'aval de la vallée du Yamé, avec une capture en direction du site des *Unio*, vers le lieu dit de la "paléocascade" (à environ deux cent mètres au nord-ouest du site des *Unio)*. En saison des pluies, le Yamé coulait à travers des rapides, avec un ruissellement probablement compétent (sables moyens à grossiers, dans le talweg de ce paléocours). En saison sèche, il formait une zone marécageuse, d'une surface relativement importante, derrière les affleurements de grès entre le site des *Unio* et la Confluence. Du fait du haut niveau des nappes d'eau dans l'aquifère des grès, ce fonctionnement s'explique essentiellement par des conditions locales liées au comblement de la vallée et n'a plus forcément de liens avec des oscillations climatiques globales ou régionales. Même si l'abondance hydrologique au cours de la période est indéniable.

L'évènement "catastropique" de 1936 et l'autocapture du Yamé qui en résulte, provoquent un fort encaissement et un élargissement de la vallée toujours en œuvre, correspondant à la dernière séquence de l'Holocène terminal toujours d'actualité : HT7. Nous observons ainsi un retour à un fonctionnement saisonnier marqué. Les dynamiques hydrosédimentaires témoignent d'un écoulement compétent, avec des dépôts grossiers lors de la saison des pluies et à des dépôts plus fins de décantation ou de ruissellement de moindre compétence en saison sèche. Ce système est régulièrement perturbé par la récurrence de crues avec une périodicité d'ordre séculaire. La forte érosion régressive des versants, depuis 1936, entraîne un élargissement régulier de la vallée aux dépens des dépôts antérieurs, avec d'importantes pertes en terre et le développement de nombreuses zones de badlands.

1.1.2.2. Quel contexte ouest africain au cours des derniers millénaires ?

Paradoxalement, les données paléoenvironnementales pour la période protohistorique et historique de l'Afrique de l'Ouest sont relativement moins nombreuses et surtout moins précises que pour des périodes plus anciennes. Les principales données sont celles issues de l'étude des niveaux du lac Tchad ou de la synthèse des textes historiques, par J. Maley (1981) ; des mares d'Oursi et de Kissi, dans le Nord du Burkina Faso par A. Ballouche et K. Neumann (1995, 1998, 2001) ; du lac Bosumtwi au Ghana, par Russel & al. (2003) ; de Manga Plains, au Nigeria par Salzmann et Waller (1998) et les études menées sur les massifs dunaires dans le Gourma malien, par S. Stokes et Fedoroff (2004). Les principales interprétations paléoclimatiques qui en découlent ont été réalisées par J. Maley (1981), Reichelt & al. (1992), puis dans deux synthèses régionales, suite aux fouilles menées par McIntosh (1998 et 2000) sur le Delta Intérieur du Niger et par A. Mayor (2005), sur le Pays dogon.

La transition entre l'Holocène récent et terminal est régulièrement décrite comme le passage d'une période plutôt humide à une phase nettement plus sèche (McIntosh, 1998 ; Gasse 2000), ce que confirme nos travaux sur le site d'Ounjougou. Pour l'essentiel, le premier millénaire avant notre ère et le début du premier millénaire de notre ère, le climat est décrit comme instable, sec ou très sec en Afrique de l'Ouest, aussi bien en région sahélienne (Maley, 1981 ; Lézine, 1989 ; Lézine & Casanova, 1989 ; McIntosh & al., 1995 ; Holmes & al. 1997 ; Salzmann & Waller, 1998 ; Street-Perrot & al., 2000 ; Breunig & Neumann, 2002), qu'en

zone soudanienne (Salzmann, 2000) et en domaine guinéen (Talbot & al., 1984). Cette phase très aride et généralisée dans la région, aurait entraîné d'après certains archéologues un abandon généralisé des sites d'occupation, correspondant dans la vallée du Yamé à un fonctionnement hydrologique très limité pendant une durée d'environ 700 ans.

Par contraste, la période suivante du VI^{ème} et XI^{ème} siècle de notre ère considérée comme un "optimum humide" pour McIntosh & al. (1998) ou Mayor & al. (2005), correspondant à de hauts niveaux du lac Tchad (Maley, 1991 et 1997) ou dans le Delta Intérieur du Niger (De Vriers & al., 2005). En l'état de nos connaissances, cette période n'est guère documentée dans la vallée du Yamé qu'entre les X^{ème} et XII^{ème} siècles, indiquant une installation sans doute lente et progressive de cette phase humide.

La phase instable, généralement plus aride avec des oscillations très rapides et multiples du dernier millénaire est bien attestée en Afrique de l'Ouest (Reichelt, 1982 ; McIntosh & al., 1998). Cette phase est plus ou moins longue selon les régions, avec de nombreuses modifications climatiques. Certains lacs ont des niveaux très bas, comme le décrit J. Maley (1981) pour le lac Tchad au milieu du XV^{ème} siècle et jusqu'au début du XVII^{ème} siècle. McIntosh et al. (1998) décrivent également de nombreuses sécheresses entre 1200 et 1400 A.D. En zone sahélienne du Burkina Faso, les mares d'Oursi et de Kissi s'assèchent, les savanes autour régressent (Ballouche & Neumann, 1995 ; Ballouche, 2001) et le niveau du lac Tchad diminue (Maley, 1981). Cette phase sèche correspondrait à une période chaude du Moyen Age, enregistrée dans toute l'Afrique de l'Ouest (Broecker, 2001 ; Ngomanda & al., 2007) et l'Afrique de l'Est (Kiage & Liu, 2006). Elle est également associée à un début d'activité éolienne au XII^{ème} siècle (Maley, 1981) ou au XV-XVI^{ème} siècle (Stockes & al., 2004). Cependant, l'instabilité des conditions climatiques peut aussi être documentée par des périodes de fortes précipitations ou de nombreuses inondations (Péfontan, 1922 ; Cissoko, 1968 ; Seignobos, 1981 ; Maley, 1981 ; Gado, 1993 ; Nicholson, 1996 ; Mayor & al., 2005).

Les traditions orales et les légendes témoignent aussi de ces phénomènes climatiques contrastés, comme celle du "Wagadou-Bida", qui est le génie protecteur de l'Empire du Ghana. Les témoignages présentent des grandes sécheresses, où les récoltes sont impossibles, les troupeaux décimés, provoquant la migration des Sarakollés. Ces conditions sont en plus documentées, au XVI^{ème} et XVII^{ème} siècles par des écrits comme le célèbre Tarik (le "*Tarik es-Soudan*"), sur Tombouctou et du Soudan Occidental d'Abdelrahaman es-Saadi ou celui écrit par Mahmoud al-Kati, le "*Tarik es-Fattah*" (Maley, 1981 ; Mayor & al., 2005).

Le début du 19ème siècle est caractérisé par de fortes sécheresses en Afrique de l'Ouest, avec de nombreux lacs et fleuves se tarissant, jusqu'en 1830 (lac Tchad ou le Nil, en Egypte). La deuxième moitié du 19ème siècle est décrite comme très humide avec de nombreuses inondations du fleuve Niger, Sénégal. Les lacs ont également des niveaux très hauts et des cultures de blé sont mêmes décrites dans les archives de Tombouctou en 1890.

L'accentuation de l'aridité au début de l'Holocène terminal (HT1) est sans doute responsable d'un nouveau tarissement prolongé des cours d'eau, qui aurait entraîné la fin des dépôts saisonniers dans la vallée du Yamé et de ses affluents. Aux alentours du quatrième siècle après notre ère, nos données montrent ensuite une forte instabilité rythmée, enregistrant la saisonnalité (cf Figure n° 90) avec des formations sablo-graveleuses, montrant des écoulements torrentiels de saisons des pluies. L'extension en HT6 de nouvelles zones palustres peut, quant à elle, être liée à un bilan hydrologique à nouveau excédentaire pour des raisons autant climatiques, que liée aux nouvelles conditions géomorphologiques locales.

1.1.3. Des facteurs explicatifs aux différentes échelles.

Pour comprendre les changements climatiques aux échelles globales et continentales, ainsi que leur impact sur les paléoenvironnements, il faut distinguer les différentes échelles de temps, où agissent des facteurs déterminants différents (Gasse, 2005, 2006).

Premièrement, **le temps très long** est celui des grands cycles climatiques, essentiellement sous forçage astronomique. Il s'agit comme l'avait démontré M. Milankowitch de l'effet des variations des paramètres orbitaux de la Terre (excentricité de l'orbite, inclinaison de l'axe de rotation, précession des équinoxes) qui ont eu ensuite des conséquences sur le bilan énergétique planétaire (Berger, 1981). On sait par exemple que les changements dans l'inclinaison de l'axe de rotation ont eu des conséquences importantes sur l'énergie incidente en domaine intertropical et donc sur les moussons (Talbot, 1984 ; Brooks, 2006 ; Claussen & al., 2003). Cependant, à l'échelle de cette recherche doctorale, les cycles sur lesquels agissent ces facteurs ne sont guère visibles dans les enregistrements de la vallée du Yamé. On peut surtout y rapporter les grandes ruptures mises en évidence entre le Pléistocène et l'Holocène (Lespez & al., accepté).

A **l'échelle du millénaire**, au forçage astronomique viennent se superposer diverses interactions entre les composantes du système climatique (atmosphère, océan, surfaces continentales, biosphère). Par exemple, le changement climatique rapide (R.C.C.), de grande ampleur avec un caractère global selon Van Geel & al (1998), qui débute vers 2500 B.P. (700 B.C.) est associé par Majewsky & al. (2004) à une baisse globale de l'activité solaire (Berger & Loutre, 1991). D'autre part, la circulation océanique dite thermo-haline et plus généralement, les circulations des courants marins et les températures des surfaces océaniques (SST) déterminent les transferts zonaux ou régionaux d'énergie (cf. Figure n° 90 ; Weldeab & al., 2005). Ils conditionnent ainsi le comportement des grands centres d'action du système climatique de l'Afrique intertropicale et entre autres les déplacements de la Z.I.T.C. (Zone Intertropicale de Convergence), facteur essentiel des changements climatiques dans notre zone d'étude (Follan & al., 1986 ; Fontaine & Bigot, 1993 ; Morley & Dworetzky, 1993 ; Maley, 1997). Par exemple, un dipôle thermique dans l'Atlantique tropical Nord/Sud, avec des variations annuelles, séculaires ou millénaires, a joué un rôle essentiel dans la répartition des pluies de moussons tout au long de l'Holocène (Wotling & al., 1995 ; Maley, 1997 ; Janicot & al., 1998 ; Maley & al., 2000). Ainsi, dans le Golfe de Guinée, les T.M.S. nettement "chaudes" durant l'Holocène ancien et moyen, plus "fraîches" entre 4000 et 2800 B.P. et à nouveau "chaudes" entre 2800 et 2000 B.P. cal. (Morley & Dworetzky, 1993 ; Maley, 1997), contrastent avec une tendance opposée au large de l'Afrique de l'Ouest, dans le secteur du Cap Blanc, dans la reconstitution proposée par DeMenocal & al. (2000). Malheureusement, si ce fonctionnement climatique est maintenant assez bien connu en Afrique centrale, on a très peu d'éléments sur son impact en Afrique de l'Ouest continentale. Ce sont pourtant de tels facteurs qui peuvent expliquer les changements climatiques rapides (R.C.C.) comme l'ont démontré Mayewski & al. (2004) ou Hodell & al. (2004) ou les anomalies climatiques au sens de J. Maley (2003). Nous avons décrit lors de nos analyses une saison sèche moins longue et moins intense dans la vallée du Yamé, entre 2800 et 2400 B.P. (correspondant à la séquence HR2B). Cette période plus humide peut correspondre au R.C.C. décrit par Majewsky & al. (2004) et aux T.M.S. plus "chaudes" présentées par J. Maley (1997).

Enfin des phénomènes de télé-connexion ont également été évoqués. L'oscillation australe d'El Niño (ENSO) aurait eu des effets et des conséquences importantes sur diverses régions du globe, selon Riedinger & al. (2002) et Sandweiss & al. (1999), avec trois phases, une calme entre 5900 et 4600 B.P. (4900-3400 B.C.), active entre 4600-3100 B.P. (3400-1500 B.C.) et calme entre 1900-900 B.P. (soit 2000-1000 B.C. ; Riedinger & al, 2002 ; Sandweiss & al, 1999).

Dans la vallée du Yamé, le remplissage sédimentaire holocène s'organise en grandes périodes assez homogènes quant au fonctionnement du système fluvial et en particulier les principaux hiatus de sédimentation qui se calent très bien par rapport à ces forçages (Lespez & al., accepté ; Le Drézen & al., 2007). C'est en particulier le cas des évènements enregistrés pendant plus d'un millénaire (4000 cal. B.P. et 2000 cal. BP.). Vers 4000 B.P. (2500 B.C.), les causes semblent complexes, car les témoignages africains sont très étalés dans le temps. Gasse et Van Campo (1994) ont noté que les épisodes faibles de mousson coïncident avec des diminutions de la salinité et des T.M.S. dans l'Atlantique Nord. J. Maley (2001) explique que ces changements ne sont pas dus à une simple baisse des précipitations mais à de nouvelles dynamiques climatiques annuelles avec des changements dans les répartitions des précipitations. Plutôt que de caractériser cette phase aride, J. Maley (2003), préfère parler d'une "péjoration climatique" avec une saisonnalité de plus en plus marquée en domaine forestier, associée à une dynamique de ligne de grains, au détriment des nuages stratiformes de type pluie de mousson. Les manifestations hydrosédimentaires de ses évènements dans la vallée du Yamé, sont visibles à l'Holocène récent mais leur interprétation doit autant faire appel à des forçages climatiques globaux qu'à des réponses propres au fonctionnement du bassin versant du Yamé.

A des échelles plus fines encore : **séculaires**, les changements climatiques rapides sont associés à des déséquilibres des systèmes climatiques globaux (activité solaire, T.M.S.) et locaux dont les causes sont encore débattues. Dans la vallée du Yamé, des indices de fonctionnements saisonniers existent aux différentes époques de l'Holocène, mais les fluctuations à faibles pas de temps sont surtout manifestes dans l'Holocène récent et terminal. Les changements marqués dans la saisonnalité par les précipitations ou la durée et l'intensité de la saison sèche, en sont une bonne illustration. Cependant, à cette échelle de temps, les dynamiques locales des géosystèmes prennent sûrement le dessus dans les évolutions enregistrées par les méthodes présentées précédemment, rendant difficile la mise en évidence du signal strictement climatique. Y interviennent aussi, par exemple, les états de surface des bassins versants, l'hétérogénéité du couvert végétal, les bilans hydrologiques en fonction des surfaces boisées, défrichées ou cultivées ou encore régulièrement parcourues par les feux, etc… Les évènements paroxysmiques des hivernages 1936 ou 2007 sont significatifs d'aspects climatiques avec des fonctionnements torrentiels depuis l'Holocène terminal, avec des retours périodiques de crues tous les 50 à 100 ans. Le rôle des sociétés, aux périodes où leur présence peut être documentée, devient alors déterminant, justifiant la nécessité d'une approche

systémique qui intègre le rôle des différents facteurs, dont le "forçage anthropique" sur lequel nous reviendrons plus loin.

Les dernières inondations de l'hivernage 2007 permettent de mieux percevoir les conséquences de l'évènement de 1936, qui ne nous est connu que par ses expressions érosives spectaculaires et de comparer ces évènements récents aux "crises érosives" enregistrées au cours de l'Holocène dans la vallée du Yamé. Ces évènements brutaux aux conséquences géomorphologiques majeures sont très illustratifs des dynamiques de l'Holocène terminal. Il apparaît que la vallée du Yamé depuis le début de notre ère est sensible à des événements de type morphogène, avec des périodes de retour demi séculaire. En effet, ces phénomènes sont responsables de la discontinuité de la stratigraphie et de la disparition d'une partie des enregistrements sédimentaires saisonniers de mares (détruits lors de crues). Ces phénomènes sont sans doute à relier à l'irrégularité climatique qui caractérise l'Holocène terminal et qui s'oppose à la régularité relative de la fin de l'Holocène récent. Mais nous ne pouvons pas exclure que d'autres facteurs ont également un rôle conséquent. Les modifications suite à une emprise humaine de plus en plus importante n'ont-elles pas jouées un rôle important dans la succession des évènements ?

Globalement les données de la vallée du Yamé s'inscrivent assez bien dans le cadre hydroclimatique de l'Afrique de l'Ouest, qu'elles complètent par un nouveau jalon continental. Elles montrent d'ailleurs la capacité d'un système fluvial à décrire les évolutions climatiques de durée séculaire et d'offrir ainsi de nouvelles informations pour les reconstitutions des évolutions des milieux continentaux. Les systèmes fluvio-palustres étudiés permettent d'apporter de nouvelles données en montrant que les périodes d'assèchement enregistrées correspondent le plus souvent à une augmentation de la durée de la saison sèche perceptible par l'étude des sédiments rythmés annuels.

Pour autant, le lien entre dynamiques locales et forçages climatiques globaux est loin d'être aisé. Les enregistrements que nous étudions sont révélateurs de l'interaction de facteurs multiples. Nous ne pouvons ignorer que le fonctionnement hydrologique qu'ils traduisent est la résultante d'un bilan pluvio-évapotranspiratoire dont tous les compartiments ne nous sont pas connus. Outre les notions d'humidité et de sécheresse, que nous avons ici essentiellement abordées dans leur acception climatique et leurs manifestations morphogéniques, il faut faire appel plus largement aux différents états d'occupation du sol dans le bassin versant. Or cette entité spatiale et fonctionnelle ne peut être embrassée de façon pertinente qu'en faisant largement appel aux autres éléments du géosystème, tant par sa trame biologique que par l'appropriation et l'exploitation qu'ont pu en faire les sociétés humaines.

1.2. Apports de nos analyses à la connaissance des dynamiques et forçages anthropiques

Si les forçages climatiques rythment pour une grande part les enregistrements hydro-sédimentaires, l'évolution des paysages de la vallée du Yamé s'expliquent aussi par la présence de sociétés humaines au cours de l'Holocène et par leur rôle dans la dynamique des géosystèmes, en tant qu'espace-temps anthropisé, selon l'expression de C. et G. Bertrand (2000). Face au caractère profondément humanisé des milieux actuels, l'Afrique de l'Ouest est paradoxalement une région où l'histoire des processus d'anthropisation est assez mal connue (Ballouche, 2002). Cela tient d'abord à une relative indigence des données fiables et aux choix méthodologiques de nombreux travaux antérieurs privilégiant les investigations sur les déterminants paléoclimatiques. La mauvaise conservation de la matière organique dans les contextes sédimentaires soudano-sahéliens y a fortement contribué. Dans l'approche des nombreux archéologues, l'environnement, souvent simplifié, est réduit à un simple cadre dans lequel se développaient des civilisations passées ou à un milieu pourvoyeur de ressources et source de contraintes déterminant le développement des civilisations. Les présupposés épistémologiques, et donc idéologiques, des communautés scientifiques concernées semblent aussi avoir joué un rôle non négligeable dans le traitement de cette question (Rossi, 2000 ; Ballouche & Rasse, 2007 ; Huysecom, 2007). A quelques exceptions près, les relations des sociétés anciennes à leur environnement ont souvent été conçues dans la seule logique de la dégradation, d'une action "négative" ou "néfaste" des activités humaines. Dans ce type d'approches s'appuyant trop souvent sur des analyses mono-factorielles, une partie de la complexité des interactions Nature-Sociétés est évacuée, alors que c'est justement dans l'histoire des milieux de savane, "systèmes complexes à l'interface Nature-Société", que s'impose un raisonnement systémique (Ballouche & Dolidon, 2005).

C'est pour quoi, nous avons posé dès l'introduction à notre recherche l'hypothèse de l'anthropisation "*a priori*" des systèmes de savane qu'il s'agit de caractériser comme facteur dynamique des paysages, sans la réduire à un rôle de perturbation et/ou de dégradation. Si la collaboration et le dialogue avec les archéologues sont fondamentaux pour traiter cette problématique, notre contribution s'est essentiellement faite par l'entrée des paysages végétaux. Sans adopter une démarche trop réductrice, nous pensons que nous pouvons y lire une bonne part des processus d'interface nature/sociétés : maîtrise de l'espace, gestion des

ressources et des contraintes environnementales, domestication de certains éléments de la nature... L'importance que nous avons accordée dans notre recherche au rôle des feux de végétation s'appuie sur une connaissance des systèmes actuels où ils représentent, comme dans le passé, un facteur majeur de construction des paysages végétaux ouest-africains (physionomie, composition floristique) et l'un des meilleurs révélateurs de l'étroite interrelation entre la nature tropicale et les sociétés africaines traditionnelles (Ballouche & Dolidon, 2005 ; Dolidon & al. 2006 ; Ballouche & al. 2008).

1.2.1. Quelles sont les dynamiques anthropiques du milieu depuis quatre mille ans dans la vallée du Yamé ?

Les résultats, que nous avons obtenus sur les dynamiques des paysages végétaux par les approches sédimentologiques, palynologiques, l'analyse du signal incendie, ainsi que les données anthracologiques et carpologiques, permettent de mettre en évidence le rôle déterminant des changements climatiques sur les dynamiques écologiques et de croiser ce rôle avec la présence et l'impact des sociétés humaines au cours des quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé.

Du point de vue de l'anthropisation, les travaux du programme "Peuplement et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest" (cf. Partie 1) montre bien une emprise grandissante des sociétés sur leur environnement tout au long de l'Holocène (Huysecom & al., 2004). Cependant, l'Holocène récent se distingue réellement de toutes les périodes précédentes. Comme nous l'avons montré dans la première partie, il correspond essentiellement à la phase 5 de l'occupation holocène, qui se caractérise par une nette rupture culturelle par rapport aux phases précédentes, avec de nombreux vestiges d'habitat sédentaire (Varves Ouest, Kelisogou), qui ont livré une grande richesse de types céramiques, une abondance de blocs de grès aménagés et du matériel de broyage et de polissage (meules, molettes, pierres à rainures). Ainsi, la période du début de l'Holocène récent correspond nettement à une nouvelle phase de peuplement de la vallée. Pour la première fois, nous avons dans la vallée du Yamé des indices francs et objectifs de la domestication d'éléments de la nature par les hommes, en l'occurrence le mil, identifié par B. Eichhorn (sur le site des Varves Ouest, coupe 15 de la Rive Droite ; Cf. Partie 4) au deuxième millénaire avant notre ère (Eichhorn & Neumann, 2006). C'est cet argument qui nous permet de considérer cette

période, comme celle de l'émergence de pratiques nouvelles parmi les sociétés néolithiques, qui désormais outre leur action plus ou moins volontaire sur leur environnement, vont devenir de réels manipulateurs de cet environnement. Dans cette logique de maîtrise humaine de l'espace naturel, la pratique de l'agriculture va d'abord s'exprimer par la manipulation de certains éléments de la nature comme les espèces domestiquées, mais nécessiter progressivement une modification de l'environnement végétal, pour aboutir *in fine* à la construction de réels agrosystèmes avec les nouveaux paysages qui leur sont associés. C'est dans ce processus que le feu va jouer un rôle déterminant.

Dans un premier temps, il faut considérer que les surfaces cultivées ont nécessité un défrichement et donc une ouverture grandissante des savanes, avec une nette diminution des espèces soudano-guinéennes probablement fragilisées par l'aridification climatique contemporaine. Les espèces aux affinités les plus méridionales ne se localisent plus que dans les galeries forestières de bord de mares ou dans les zones boisées des ravins. Cela donne des paysages végétaux correspondant à **une savane mosaïque** (Cf. Partie 4), avec des affinités majoritairement soudaniennes et une sélection d'espèces de plus en plus protégées par les hommes pour leur utilité : *Sapotaceae* (dont le karité, *Vitellaria*), néré (*Parkia),* baobab (*Adansonia*), *Sclerocarya/Lannea*. Parallèlement, la multiplication dans la végétation d'espèces arborées comme les *Combretum* et *Piliostigma* ou parmi les herbacées, *Mitracarpus*, *Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Indigofera*, *Borreria*, qui sont aujourd'hui caractéristiques des jachères, est à mettre en relation avec des pratiques de gestion de la fertilité des sols.

Les données palynologiques et anthracologiques indiquent en outre que dans cette construction de l'agrosystème des savanes autour du site d'Ounjougou, le feu a dû jouer un rôle non négligeable, comme le montre le développement des nombreux taxa pyrophiles : les *Combretaceae* et les *Sapotaceae*, bien sûr, mais aussi les espèces grégaires que sont les *Parinari* ou même dans leurs conditions locales *Lophira*, *Alchornea*, *Isoberlinia*. Les dépôts cendreux et les grosses quantités de particules charbonneuses observées dans les sédiments rythmés de la vallée permettent d'**affirmer l'ancienneté des feux dans les savanes du bassin versant du Yamé et surtout leur régularité saisonnière au cours des quatre derniers millénaires**. Une étude comparative sur l'ensemble de l'Holocène montre que les feux étaient très rares à l'Holocène ancien et ils sont devenus progressivement plus importants, il y a un peu plus de cinq mille ans. Ils ont alors pu être favorisés par une aridification croissante du

milieu mais aussi en raison d'une utilisation croissante par les sociétés néolithiques. Les particules charbonneuses sont abondantes et enregistrées régulièrement au début des saisons sèches, ce qui permet de confirmer l'**origine anthropique des feux sur le Plateau dogon**. En effet, le retour avec une fréquence annuelle des feux est une de leurs caractéristiques anthropiques (Cf. Partie 4). Il est, en outre, connu aujourd'hui que les feux précoces sont généralement provoqués en rapport étroit avec les techniques agricoles traditionnelles, alors que plus tardivement dans la saison sèche la qualité inflammable de la végétation herbacée augmente, permettant plus facilement le départ d'incendies plus ou moins "naturels".

L'utilisation du feu par le biais de l'essartage est, en plus, vraisemblable à Ounjougou à cause des nombreux troncs calcinés observés dans les sédiments, dès le début de l'Holocène récent. En plus des feux de savanes dans un agrosystème alternant culture/jachère, ces feux permettent aussi aux hommes d'agir sur la végétation forestière des rives du Yamé. Cette pratique peut avoir comme but d'ouvrir, à travers une végétation ripicole dense, un accès à l'eau ou d'éliminer les conditions insalubres de ce milieu humide. Des usages du feu à des fins de chasse, de protection ou même rituelles peuvent aussi être évoquées sans que l'on puisse réellement les documenter dans cette vallée du Plateau dogon.

S'il s'avère donc qu'entre le quatrième et le deuxième millénaire avant notre ère, les sociétés néolithiques d'Ounjougou étaient composées d'agriculteurs, il existe très peu d'indices permettant de confirmer une pratique de l'élevage sur la zone d'étude, en raison d'une mauvaise conservation des ossements dans les sols de la région. Les dernières recherches effectuées par Néma Guindo, dans le Séno, laissent espérer des informations plus précises sur la faune à cette époque (communication orale). Il est donc impossible de parler aujourd'hui d'un impact possible de pratiques pastorales.

Au cours de l'Holocène terminal, les données paléoenvironnementales de la vallée du Yamé apportent des renseignements moins précis sur le rôle des sociétés sur le milieu environnant. En revanche, le lien entre peuplement du Pays dogon et les variations paléoclimatiques régionales sahéliennes, étudié par Mayor & al. (2005), a plutôt démontré, contre toute attente, que le Plateau a été occupé préférentiellement lors des périodes plutôt humides et déserté lors des sécheresses importantes. En effet, lors des deux premières phases arides, datées de 1 000 avant notre ère à 300/400 après notre ère, cette région ne présente pratiquement aucune trace d'occupation humaine. Ceci permet d'affirmer que malgré des efforts importants pour la maîtrise de leur environnement, les contraintes climatiques demeuraient fortes pour les populations proto-historiques.

Même si nous n'avons pas encore connaissance des systèmes économiques du début de cette période, pendant les deux derniers millénaires, le recours à des feux réguliers s'est poursuivi jusqu'à une époque très récente. Les analyses montrent toujours des feux *in situ* à proximité des zones humides, favorisant la multiplication des espèces pyrophiles après la fin de l'Holocène récent. Les sociétés ont du aussi progressivement augmenté leur emprise sur le milieu, entraînant une disparition relative de certaines espèces végétales dans les galeries forestières de la vallée entre la fin de l'Holocène récent et l'Holocène terminal, comme *Uapaca togoensis* et *Alchornea cordifolia* en nette diminution.

L'ouverture des paysages par l'essartage et les feux à des fins agricoles a fragilisé le milieu et favorisé **une érosion avec des ravinements** sur le bassin versant du Yamé au cours des deux derniers millénaires. Le colluvionnement généralisé et l'engorgement de la vallée dénotent cette importance de l'érosion et les pertes de terres sur le bassin versant fortement anthropisé (cf. Parties 2 & 3). Sur le site d'Ounjougou, les multiples phases d'érosion et de comblement, les hiatus de sédimentation enregistrés dans le l'Holocène récent deviennent la règle au cours de ces deux derniers millénaires, dans l'Holocène terminal. Toutefois, les ravinements et les zones de "bad-lands" ne sont pas uniquement une conséquence du rôle des sociétés, comme nous l'avons illustré avec les crues récentes du Yamé (cf. partie 4). En fait, les activités humaines ont surtout pour conséquence d'exacerber l'impact d'événements hydroclimatiques exceptionnels en favorisant des phénomènes de crues torrentielles en raison de leurs transformations de l'état de surface du bassin versant.

1.2.2. Quelles sont les dynamiques anthropiques depuis quatre mille ans en Afrique de l'Ouest ?

- **Les débuts de l'agriculture :**

La production vivrière est bien un des déterminants des différentes formes de maîtrise de la nature par les hommes.

S'il est admis que le Sahara a connu très tôt, dès l'Holocène moyen, des civilisations préhistoriques de pasteurs, les zones de savanes plus méridionales ne semblent pas avoir été favorables à ce genre d'activités, entre autres pour des raisons sanitaires et leurs traces zooarchéologiques sont en tout cas mal conservées. On ne connaît d'ailleurs pas beaucoup

mieux l'histoire des faunes sauvages anciennes dans ces régions (Jousse, 2005 ; Jebali, 2008). En domaine de savane, les méthodes paléoenvironnementales sont peu efficaces pour mettre en évidence les effets des activités pastorales, tant que le stade de la déstabilisation des milieux par surpâturage n'est pas atteint. Plusieurs auteurs ont pourtant souligné leur impact sur les milieux, en particulier au Sud-Sahara : ouverture de la végétation autour des points d'abreuvement, organisation pelliculaire de surface des sols compactée par le piétinement, sélection puis embuissonnement des espèces non-appétées, etc... (Schulz & Pomel, 1992 ; Pomel & Schulz, 1994 ; Pomel, 2002).

Le rôle déterminant des **pratiques agraires** en Afrique de l'Ouest commence, en revanche, à être bien connu durant la première moitié du 2ème millénaire avant notre ère (cf. Partie 1 ; Neumann, 1999 ; Ballouche, 2002). Mais bien avant la domestication des céréales, la période précédente a du correspondre à une exploitation intensive des graminées sauvages, comme au Soudan avec l'exploitation de *Setaria sp*. dès les 9-8ème millénaires avant notre ère et le sorgho sauvage au 6ème millénaire avant notre ère (Haaland, 1995). En Mauritanie (Dhar Tichitt, Oualata), *Cenchrus biflorus* (cram-cram) est collecté dès le 3ème millénaire avant notre ère et *Brachiaria deflexa* (le millet de Guinée) au 2ème millénaire avant notre ère (Munson, 1976). Sur de nombreux autres sites au Nigeria, Burkina Faso les graminées sauvages sont largement représentées dans les couches d'occupation (Neumann, 1999 ; Neumann & al., 2000). Ce stade de la cueillette sélective intensive de certaines plantes sauvages comestibles est d'ailleurs inséré par E. Huysecom (2007) dans un processus plus large de "néolithisation" qui associe la production de céramique. Au Sahara méridional, E. Schulz (1987, 1992) a démontré, à partir de reconstitutions de la paléovégétation de l'Holocène moyen, que la productivité en graines comestibles de certaines savanes passées pouvait égaler celle de certaines cultures de mil actuelles, permettant sans contrainte la survie de groupes humains sur la seule base de la cueillette.

La domestication du mil (*Pennisetum glaucum*) est elle, avérée au début du 2ème millénaire avant notre ère dans le Sud-Est de la Mauritanie, dans l'espace de distribution de ses variétés encore actuellement sauvages au Nord-Sahel. Outre Ounjougou depuis peu, la culture du mil est maintenant reconnue à cette époque dans des sites de plus en plus nombreux, surtout sahariens et sahéliens (Mauritanie, Burkina Faso, Nigeria), mais aussi en domaine soudanien, dans le nord du Ghana (D'Andrea *& al*., 2001). La question posée est de savoir si la domestication se fait de façon concomitante dans plusieurs endroits ou s'il s'agit d'une diffusion très rapide d'une pratique, comme cela pourrait être le cas au nord du Ghana où les souches sauvages ne devaient pas exister.

Dans les régions soudano-sahéliennes, cette période de l'Holocène récent est donc une phase importante dans le processus de "domestication" des milieux par l'agriculture avec la manifestation d'agrosystèmes fondés sur la culture du mil, nécessitant des défrichements et alternant champs et jachères sur les sols drainés, et probablement aussi une diversification progressivement dans des zones de bas-fonds ou de décrue avec les cultures du riz et du sorgho (Harlan & al., 1976 ; Harris, 1989, 1996 ; Smith, 2001 ; Hoelzmann & al., 2001 ; Hather, 1994 ; Price & Gebauer, 1995 ; Breunig & Neumann, 1999, 2002, 2004 ; Ballouche, 2002 ; Neumann, 2005).

- **Quelle histoire des feux en Afrique de l'Ouest ?**

L'histoire des feux en Afrique de l'Ouest est encore mal connue (Powell & al., 2007). La présence de feux à l'Holocène est reconnue dans la région par de nombreux auteurs (Neumann & Schulz, 1989 ; Fedoroff & Courty, 1989 ; Schulz & Pomel, 1992 ; Ballouche, 1998 ; Salzmann, 2000 ; Höhn, 2002 ; Power & al., 2008), mais la question de leur origine naturelle ou anthropique demeure toujours posée. L'histoire plus ancienne des feux sur un million d'années a également été étudiée par Bird & Cali (1998, 2002) à partir d'un carottage profond dans l'océan Atlantique au large du Sierra Leone. Elle peut se paralléliser à cette échelle de temps avec l'histoire climatique. Les particules charbonneuses montrent des pics durant les périodes arides et fraîches, favorables à l'extension des formations ouvertes, et durant les périodes de transitions climatiques et diminuent avec les reconquêtes forestières, pendant les interglaciaires humides, sauf à l'Holocène où ce signal des incendies reste très fort. Au lac Tilla (sur le Biu Plateau, au Nigeria), U. Salzmann (2000) constate de nombreux incendies dont la présence est quasi continue au cours de l'Holocène sans rapporter d'indices anthropiques. Par contre, il montre une persistance des formations de savanes durant tout l'Holocène, qui elle est due à la fréquence des feux. Enfin, dans les sédiments de paléolacs sahariens, des dépôts noirs très riches en charbons et en cendres ont été souvent observés mais leurs origines ne sont pas toujours expliquées (Callot, 1987). N. Fedoroff et M.-A. Courty (1989), les ont interprétés comme des témoins d'incendie *in situ* de la végétation riveraine à l'Holocène, lors de la baisse du niveau des zones humides.

En revanche, l'origine anthropique des feux à l'Holocène a également été argumentée par Schulz & Pomel (1992), Neumann & Ballouche (1992, 1995), Ballouche (2002), Höhn (2002) dans les savanes soudaniennes ou sahéliennes. Les données recueillies à Ounjougou

indiquent sans aucun doute une origine anthropique et viennent pour ce site confirmer le point de vue de ces auteurs. Nous inscrivant dans la continuité de cette argumentation, nous considérons donc que le feu est l'un des outils majeurs de l'anthropisation des paysages en Afrique de l'Ouest. Au Sahel, E. Schulz et S. Pomel (1992) en font le facteur déterminant dans ce qu'ils appellent "la genèse anthropogène" de cette zone. A Oursi et Kissi au nord du Burkina Faso les analyses anthracologiques d'A. Höhn (2002) montrent une ouverture des paysages et une augmentation nette des espèces pyrophiles à la fin de l'Holocène récent. Dans la chaîne de Gobnangou au sud-est du Burkina Faso, pendant les premiers millénaires avant et après notre ère, c'est aussi la fréquence de feux qui serait à l'origine de formations mixtes comparables aux actuelles forêts claires à *Isoberlinia*. La présence d'espèces très résistantes au feu, comme *Lonchocarpus laxiflorus* et des marques typiques d'attaque de l'arbre par le feu, visibles sur les charbons déterminés par K. Neumann, confirment leur passage répété (Neumann & Ballouche 1992, Ballouche & al., 1993, Frank *&* al*.,* 2001).

Pour comprendre ces processus passés, nous pouvons nous référer aux nombreuses expériences réalisées en Afrique intertropicale. Dans une démarche écologique appuyée sur la télédétection à petite échelle, Eva & Lambin (2000) généralisent le rôle du feu dans les paysages aux différentes régions tropicales, aussi bien forestières que de savanes, où son impact sur la végétation est essentiellement lié aux types d'utilisation du sol. C'est un type d'utilisation donné, qui génère un régime de feu caractéristique et donc un type d'impact. Localement, de très nombreux travaux qu'il serait fastidieux de citer indiquent que le feu sélectionne la composition floristique de la savane en favorisant les espèces pyrophiles ou pyrotolérantes, construisant pour une grande part les savanes guinéo-soudano-sahéliennes (Monnier, 1981 ; Fournier *& al*., 2001 ; Laris 2002). La floraison et la germination de nombreuses espèces sont également influencées par le passage du feu qui, non seulement les favorise mais peut aussi les déclencher. Par ailleurs, le passage du feu influence le port des arbres car il a pour effet de provoquer une repousse des rameaux et des rejets de souche, parfois en pleine saison sèche.

Or l'utilisation du feu est d'abord une des techniques des systèmes agricoles extensifs traditionnels : défrichement, entretien des jachères, pour l'amélioration des rendements en l'absence de fertilisants (Fournier & al., 2001 ; Dolidon, 2005). C'est aussi un outil d'aménagement de l'espace qui sert à nettoyer, à supprimer les parasites indésirables, à éradiquer la trypanosomiase et à dégager les chemins à la fin de la saison des pluies. Le feu est aussi utile dans les activités pastorales traditionnelles, afin d'obtenir une repousse d'herbe en fin de saison sèche et à faire reculer certaines maladies fatales du bétail. Les feux

préventifs pour protéger les villages ou les champs des dommages que pourraient provoquer des feux sauvages sont aussi très fréquents. A ceux-là, on peut ajouter les rôles de la chasse, pour rabattre le gibier ou d'une multitude d'usages culturels ou rituels.

- **Vers une anthropisation grandissante et une fragilisation des systèmes**

Pendant l'Holocène terminal, les recherches archéologiques dans la vallée du Yamé ont mis en évidence des occupations régulières mais discontinues, à l'image de ce que l'on connaît ailleurs en Afrique de l'Ouest. Les dernières découvertes au Pays dogon montrent un peuplement pré-dogon régulier durant plus d'un millénaire au début de l'Holocène terminal sur le Plateau, mais également à proximité de la falaise. Pourtant, les deux derniers millénaires sont loin de fournir une lecture claire des processus d'anthropisation au moment même où la périodisation des différentes phases du peuplement s'affine et où la connaissance historique se précise.

En l'état actuel de nos connaissances, il semblerait bien qu'au moins pour une grande partie de l'Afrique de l'Ouest, le millénaire qui est à cheval sur le début de notre ère corresponde à un changement des modes d'occupation et donc une plus grande mobilité des populations. Contrairement à la situation des sociétés sédentaires précédentes, la pression localisée sur les ressources aurait donc été moindre. C'est ce qui est très bien mis en évidence au Nord du Burkina Faso où malgré la mise en évidence de l'agriculture vers 1 000 B.C., le millénaire suivant correspond plutôt à un retour à un mode de vie de chasse et de cueillette (Neumann & al. 2000).

Si l'Holocène récent a connu l'apparition de l'agriculture céréalière, la grande innovation de cette période est l'apparition et le développement de la métallurgie et particulièrement celle du fer, considérée comme grande consommatrice en combustible et en combustible de qualité. Le prélèvement de bois se faisait donc non seulement en quantité considérable, mais peut-être aussi de façon sélective. Il faut du bois qui donne un charbon à pouvoir calorifique élevé et à combustion lente. La plupart des auteurs s'accordent à désigner *Prosopis africana* comme l'essence la plus recherchée par les forgerons ; c'est aussi l'espèce préférée des charbonniers métallurgistes. Ses qualités lui ont valu le nom de *kilè - nà* (mère du charbon) chez les Dogon. La métallurgie aurait donc un impact certain sur le paysage. J.-B. Kiethéga (1997) pense par exemple qu'elle est à l'origine de la disparition de l'espèce dans

les savanes sahéliennes du Burkina-Faso. Le recul, puis la disparition des traditions métallurgiques en Afrique de l'Ouest en seraient la conséquence.

Cependant, bien souvent, les observations relativisent beaucoup cette vision. D'après J.-B. Kiéthéga (1997), le karité, *Burkea africana, Prosopis africana* ainsi que des *Terminalia* et des *Combretum* sont dominants, parmi 45 autres essences sur les sites de réduction du fer du Burkina-Faso ; dans d'autres régions *Anogeissus leiocarpus* est également utilisé. On est donc loin du choix exclusif d'une essence conduisant inéluctablement à sa disparition. C'est aussi ce que révèlent les travaux de Barbara Eichhorn sur les sites de métallurgie du Pays dogon. Aujourd'hui, l'impact n'est pas exclusivement destructeur, puisque nous avons observé dans le Séno malien vers Ségué, au Sud de la falaise de Bandiagara, une savane parc à *Prosopis africana* en très bon état suite à la protection d'une puissante caste de forgerons, en pays de tradition métallurgique.

Sans revenir sur toute l'histoire des empires ouest-africains, nous pouvons dire que le dernier millénaire correspond à une densification des populations rurales et au développement des systèmes agro-sylvo-pastoraux typiques de l'Afrique soudano-sahélienne, malgré des fluctuations et des vicissitudes multiples, dont certaines sont conditionnées par les changements climatiques mais beaucoup d'autres par des circonstances historiques socio-économiques ou religieuses.

Quelques recherches paléoenvironnementales montrent le lien entre feu et érosion (Fernandez & al., 1999 ; Cerda & al., 1995 ; Dubar & al., 1995 ; Shakesby & Doerr, 2006). C. Cosandey & M. Robinson (2000) décrivent les impacts d'ouverture des paysages sur les écoulements. L'ouverture par les feux peut influer sur une augmentation des crues mais cela reste un phénomène valable une à trois années (Cosandey, 2003). Une intensification de l'agriculture associée à des feux récurrents avec une réduction des périodes de jachères sont favorables à la **morphogenèse des crues torrentielles**. Les recherches de Bird & al. (2000) dans les savanes tropicales ont montré que l'augmentation et la fréquence des feux diminuent la teneur en carbone organique dans les sols. Ils considèrent que les réponses de la dynamique des sols sont très rapides aux différents régimes de feux. Les effets exacerbés de ces changements d'état des couverts végétaux se manifestent particulièrement dans les processus morphogéniques et pédologiques, ces processus ont été observés dans le Nord du Bénin et au Nigeria, ces dernières années, par Heinrich & Modelhauer (2002). La diminution, voire la disparition locale de la couverture végétale (herbacée et arborée) entraîne une mise à nu du

sol, favorisant une **érosion des versants** et sans doute en partie l'instablité constatée dans le fonctionnement hydrosédimentaire de la vallée.

A l'instar de ce qui s'est passé ailleurs en Afrique de l'Ouest, le peuplement humain du Plateau dogon apparaît de plus en plus important au cours de ces quatre derniers millénaires. Sans être linéaire, son rôle dans l'anthropisation des milieux par la mise en valeur agropastorale a été considérable. Il est donc nécessaire à ce stade du travail de présenter une synthèse des grands systèmes des paysages et de leurs dynamiques dans la vallée du Yamé.

2. Quatre mille ans de trajectoire des paysages de la vallée du Yamé

Il n'est pas question de reprendre ici une discussion sur le concept de paysage que nous avons déjà entamée en première partie. Pourtant, il est important de rappeler la place de cette notion très difficile à cerner dans notre démarche de compréhension des "systèmes complexes" que constituent en Pays dogon les formes qui marquent l'espace (plateau, falaise, plaine, mais aussi vallées), leur trame biologique résumée en différents types de savanes, et l'aménagement plurimillénaire qu'en ont fait des sociétés aux caractéristiques économiques, sociales et culturelles variables dans le temps et l'espace. Il est vrai que nos méthodes d'observations et d'analyses nous donnent surtout accès au versant biophysique, certes anthropisé, de ce complexe géosystémique. Dans leur modèle "G.T.P." ("Géosystème, Territoire, Paysage"), G. et C. Bertrand (2002) y combinent en plus un volet socio-économique et un volet culturel (cf. Partie 1). Les paysages du Pays dogon hérités d'une longue histoire résument bien cette triple entrée.

Pour compléter les représentations cartographiques classiques auxquelles nous avons fait appel jusque là, nous proposons ici d'explorer un nouveau regard sur les paysages de la vallée du Yamé, à travers des blocs-diagrammes qui facilitent la visualisation du territoire abordée dans toutes ses dimensions. Nous avons choisi ce type de représentation, en partie stylisée, pour synthétiser de façon pédagogique l'ensemble des informations acquises et les mettre en scène au sens propre comme au figuré. Cela nous permet de restituer les composants du paysage et d'analyser leurs agencements spatiaux, leurs fonctionnements et leurs dynamiques d'évolution, et enfin fournir une typologie de ces paysages en quatre actes. Il s'agit ainsi de dégager les caractères marquants de chaque phase de cette histoire avec une relative permanence dans le temps sans pour autant les figer dans une stabilité contradictoire avec la notion de trajectoire paysagère. Certes appuyée sur des faits objectifs, cette approche nous autorise une part d'imagination totalement assumée.

En effet, la réalité matérielle de ces paysages est lisible à travers nos démarches analytiques naturalistes et leur dimension socio-économique peut être cernée grâce à la collaboration avec les archéologues et ethnoarchéologues, qui nous fournissent de précieux éclairages sur les sociétés et leur appropriation de l'espace et des ressources. Mais dans le

passé, la complexité des interactions entre les sociétés et leur environnement est parfois difficile à cerner. De plus, l'appréhension de la part subjective de perception et de représentation qu'implique la dimension culturelle des paysages est encore plus malaisée. Elle a pourtant toujours été présente, comme nous le verrons pour les paysages actuels, paysages culturels aboutis à valeur patrimoniale forte.

2.1. Vers une vallée du Yamé anthropisée …

2.1.1. L'aboutissement d'une histoire ou les débuts d'un nouveau paysage ?

Le point de départ de notre trajectoire paysagère se situe au début de l'Holocène récent, il y a 5 000 à 4 000 ans.

Bien enserré par le cadre du plateau gréseux qui impose sa structure au réseau hydrographique, dans la région d'Ounjougou, le cours du Yamé se présentait alors avec des écoulements permanents (cf. Partie 2 & 3), dans une vallée alluviale assez large et régulièrement inondée, lors de crues débordantes de saison des pluies. En saison sèche, le Yamé se limite à des chenaux alimentant localement des mares persistantes, parfois de surface importante (cf. Partie 2 ; figures n° 91 & 92). Au cours de la saison des pluies, les écoulements de forte compétence développent une sédimentation sableuse qui s'accumule ensuite en bancs, tandis qu'en saison sèche, la compétence des écoulements diminue permettant des dépôts de décantation plus fins dans les mares (cf. Partie 3).

Le long de la rivière se développait une forêt ripicole, d'espèces strictement liées à l'eau. Plus largement, le fond de la vallée et certainement une partie des versants étaient caractérisés par une forêt-galerie dense. Il s'agit de formations forestières que nous pouvons rapprocher des forêts denses sèches actuelles, qui devaient occuper une partie du bassin versant, en se localisant dans les ravins encaissés entre les barres gréseuses. Au-delà, si les surfaces sommitales de ces barres de grès, aux sols squelettiques devaient être assez dénudées en saison sèche, portant essentiellement une végétation herbacée ; le reste de la végétation du Plateau dogon dans ce secteur était une mosaïque de savanes et de forêts claires aux affinités soudano-guinéennes marquées, dont les *Lophira* et les *Parinari* peuvent les rapprocher de certaines formations actuelles du centre de la Côte-d'Ivoire ou du Bénin. Mais il est probable en fait, que pour de nombreuses raisons, ces paysages végétaux n'aient pas de véritables homologues actuels.

Tout d'abord, pour des raisons anthropiques, les espèces dominantes dans la végétation sont souvent aujourd'hui cantonnées en-deçà de ce que serait leur aire biogéographique réelle. Il est donc difficile d'en déduire directement des conditions éco-climatiques. L'alternance saison sèche/saison des pluies qui a toujours existé dans notre zone d'étude, tout comme les quantités de précipitations, a connu dans les millénaires précédents des fluctuations, qui s'inscrivent à cette époque dans une logique de tendance à l'assèchement. Cette tendance, si elle a joué un rôle important n'est pas le seul facteur de la mise en place des paysages. En effet, depuis l'Holocène moyen, la végétation est régulièrement parcourue par des feux qui impriment leur marque et contribuent à un processus d'"aridification des paysages", qui va en s'accentuant.

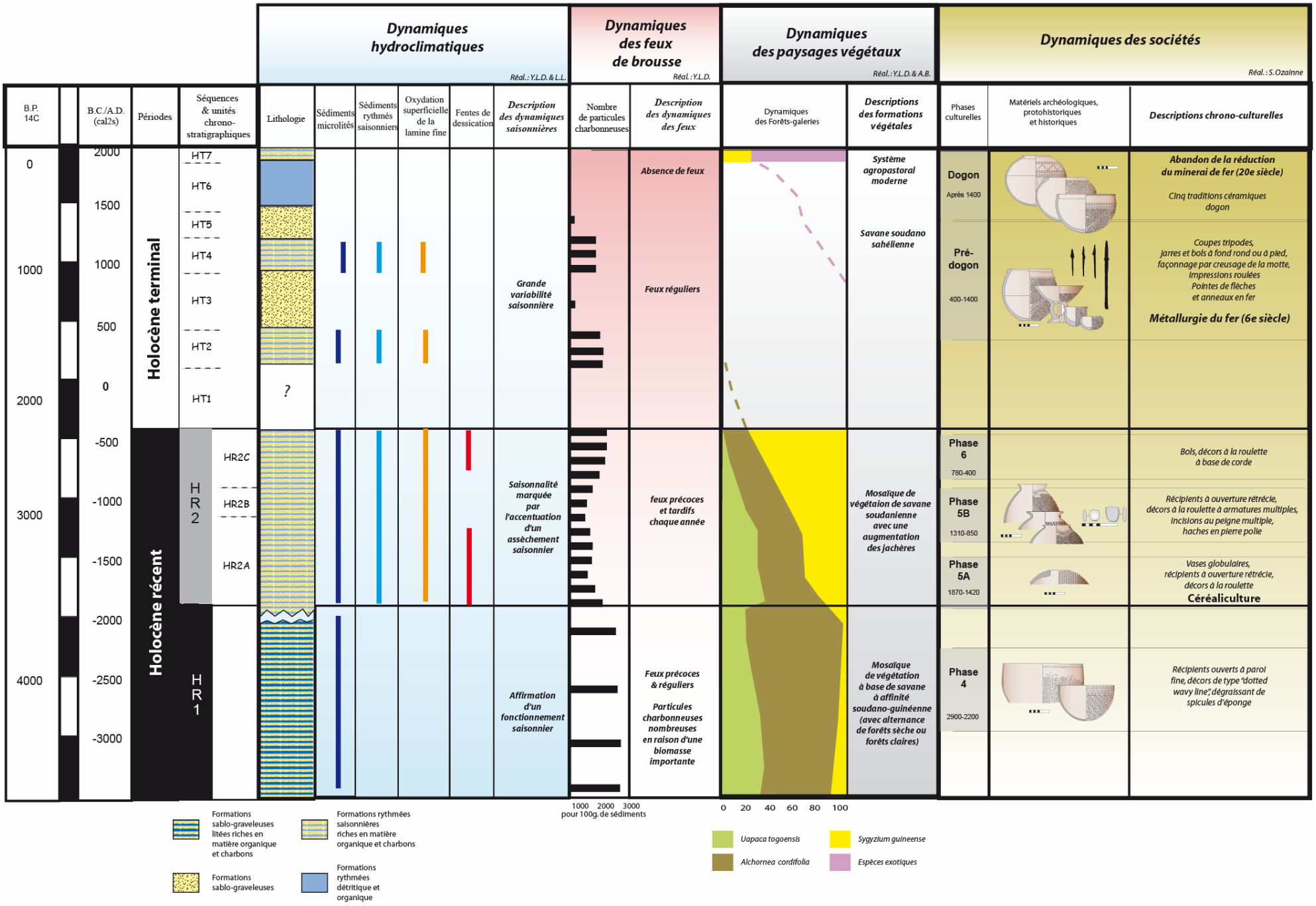
Au début de l'Holocène récent, les hommes ont été présents dans la vallée, à la fois avec des campements saisonniers à proximité des zones humides, sur les interfluves et les glacis. Mais les conditions environnementales liées aux nombreuses mares permanentes et à la végétation des galeries forestières ont probablement favorisé des maladies endémiques parasitaires et d'autres fléaux, transmis par les mollusques ou les insectes (malaria, bilharziose, filarioses, maladie du sommeil, etc.), créant de fortes contraintes pour des installations permanentes. La mouche tsé-tsé, vecteur de la trypanosomiase, a pu notamment empêcher la diffusion de l'élevage dans la vallée du Yamé, comme le montrent certaines recherches au Sahara malien, où les maladies ont limité l'établissement des hommes autour des zones humides (Petit-Maire, 1999).

Un changement progressif du couvert végétal est enregistré avec **des paysages plus ouverts et une diminution des espèces à affinités soudano-guinéennes**, au début du deuxième millénaire avant notre ère (transition HR1-HR2), traduisant une saison sèche progressivement plus marquée. Les feux se développent également au cours de cette période. Mais par rapport aux périodes précédentes, leur grande régularité avec une fréquence très resserrée, quasi-annuelle et un régime avec de feux précoces indiquent une origine anthropique dominante, avec quelques indices archéologiques permettant de le confirmer. Ces feux devaient avoir de multiples fonctions dont celle de faciliter la repousse des graminées sauvages, pour la cueillette et probablement pour faciliter la chasse dans la savane. Ils servaient aussi à ouvrir la végétation autour des zones humides pour accéder à l'eau ou éliminer la prolifération des parasites.

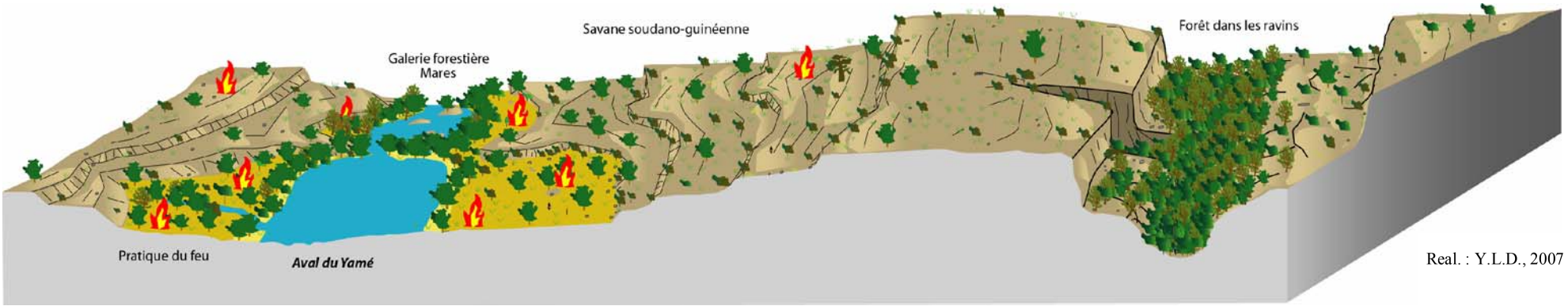
Ainsi, dans les processus de fond qui ont structuré les paysages de la vallée, on voit progressivement monter en puissance les hommes, qui cherchent de plus en plus à maîtriser leur environnement naturel et à en orienter l'évolution.

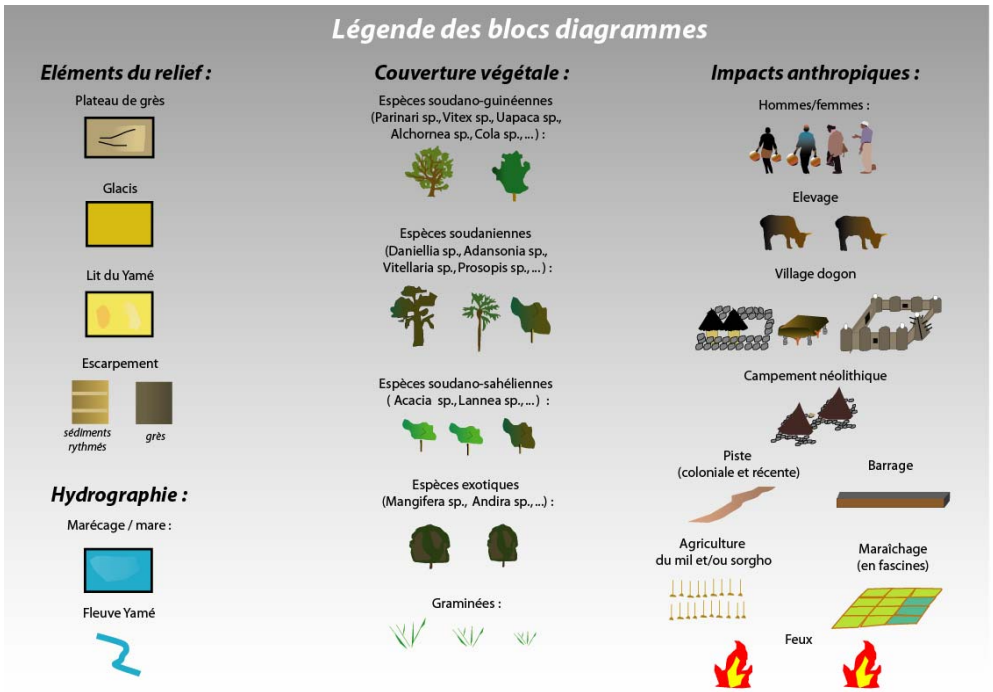
Figure n° 91 : synthèse des dynamiques paysagères de la vallée du Yamé depuis 4 000 ans

Synthèse des dynamiques paysagères de la vallée du Yamé



Les paysages de la vallée du Yamé avant le 2ème millénaire B.C.





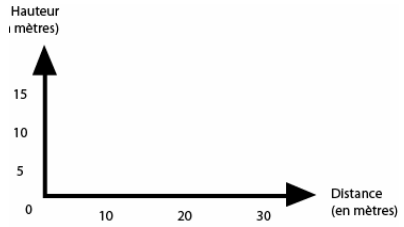


Figure n° 92 : les paysages de la vallée du Yamé avant le 2ème millénaire B.C.

2.1.2. Vers une anthropisation des paysages de la vallée du Yamé …

Au cours de l'Holocène récent, il y a 4 000 ans, certainement en relation avec une rupture climatique assez bien reconnue à l'échelle globale, un climat de type soudano-sahélien avec une longue saison sèche s'est installé. Le **processus d'aridification croissant** est très bien enregistré dans la vallée du Yamé au cours des deux millénaires précédant notre ère, avec toutefois des fluctuations dont quelques retours temporaires à des conditions humides (cf. Partie 3). Ces changements climatiques ont ainsi pu engendrer à l'échelle régionale des migrations de populations qui amènent de nouveaux groupes culturels à Ounjougou. La fixation de l'habitat en bord du Yamé et sur les interfluves implique une recherche de maîtrise de la ressource en eau et une innovation majeure, qui correspond à la pratique de l'agriculture. Ces changements impriment de plus en plus leur marque dans le paysage (figure n° 93). On assiste ainsi à **l'émergence d'agrosystèmes caractéristiques de régions soudano-sahéliennes** (cf. Partie 4).

- **Au rythme de l'eau :**

Il y a 4 000 ans, avec le changement climatique, nous abordons une nouvelle étape dans la trajectoire des paysages. Ce changement se manifeste d'abord par une métamorphose de la vallée du Yamé et de fonctionnement fluvial, qui deviennent fortement marqués par la saisonnalité. Un écoulement compétent existe toujours en saison des pluies, mais en fin de saison le ruissellement diminue et des mares de plus ou moins grandes surfaces occupent le fond de vallée. Le plus remarquable pendant cette période est le contraste saisonnier, qui se marque en fin de saison sèche, dans la plaine alluviale, par des mares résiduelles qui s'assèchent progressivement, jusqu'à se réduire par un chenal étroit et à des surfaces craquelées, par des fentes de dessiccation et des processus d'oxydation typiques des sols hydromorphes sahéliens (cf. Partie 3).

Parallèlement, la vallée est progressivement comblée par des dépôts que nous avons parfois qualifiés de "varves", car ils enregistrent parfaitement le rythme saisonnier (cf. Partie 3 ; figures n° 91 & 93).

- **Des paysages mosaïques … aux savanes-parcs :**

A la même époque, l'aridification climatique de la région et l'action des hommes ont ouvert les paysages et ont fait reculer les éléments soudano-guinéens au profit de savanes soudaniennes et d'espèces à affinités soudano-sahéliennes (cf. Partie 4 ; figures n° 91 & 93). Les espèces méridionales soudano-guinéennes, disparaissent de la savane, en raison des précipitations décroissantes et par l'allongement de la saison sèche. Elles ne se localisent plus que dans les galeries forestières de bord de mares ou dans les reliques boisées des ravins. La ripisylve, elle-même change car le tarissement, désormais saisonnier du Yamé élimine certaines espèces dépendantes d'un écoulement permanent comme *Uapaca togoensis* (cf. figures n° 91 & 93).

Mais le facteur désormais déterminant dans la construction des paysages est l'entrée des sociétés néolithiques dans un système productif basé sur l'agriculture céréalière, à la suite de l'étape décisive que constitue la domestication du mil (*Pennisetum glaucum*). L'impact des hommes devient plus conséquent avec de nombreux essarts dans la vallée et les ripisylves, et par des feux dans la savane, afin d'ouvrir le milieu sur les bordures des mares et du cours d'eau. Comme dans beaucoup d'autres régions soudano-sahéliennes ouest-africaines, la vallée du Yamé voit se mettre en place un véritable agrosystème où la gestion de la fertilité des sols est la clef de lecture. L'alternance culture et jachère structure alors les paysages. La jachère dont la fonction est d'entretenir la fertilité du sol devient alors par ses différents stades d'évolution un *continuum* entre le champ cultivé et la brousse. Il est difficile aujourd'hui de connaitre l'emprise de ce système sur tout le Plateau dogon, car nous n'avons aucune connaissance des densités de populations de cette époque pour dire s'il s'agit de phénomènes localisés ou diffus. Mais comme nous l'avons déjà signalé plus haut, la manifestation des mêmes processus dans d'autres zones de la boucle du Niger et au Nord du Burkina Faso (qui appartient géographiquement à la plaine du Séno) laisse vraiment imaginer des paysages de vaste extension, organisés par une juxtaposition de multiples terroirs qui se mettent en place à cette époque. Les espèces dominantes de la savane sont sélectionnées et protégées par les hommes pour leur utilité ou favorisées de manière indirecte par les pratiques culturales extensives. Progressivement, émergent donc les paysages végétaux correspondant à des agrosystèmes caractéristiques des régions soudaniennes, avec les arbres utiles (que sont les karités, baobabs, nérés, *Sclerocarya*, *Lannea*, etc…), ainsi que des espèces de jachères et plantes rudérales typiques.

Si dans d'autres régions du globe, l'émergence de l'agriculture a pu construire des paysages en tâches, de type clairiérés par exemples, ici l'outil performant qu'est le feu permet un impact bien plus efficace dans l'espace produisant progressivement **des paysages de savanes-parcs**.

- **Des paysages marqués par les feux :**

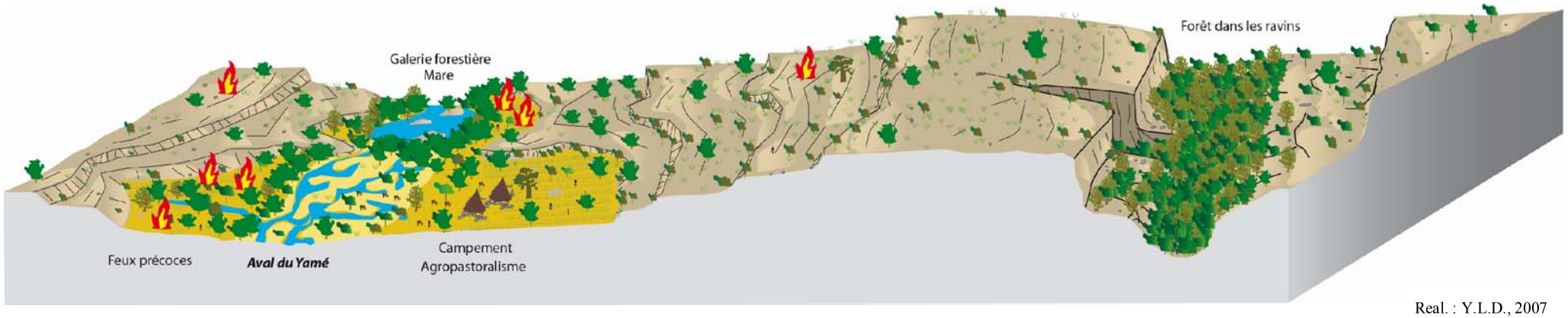
La régularité et la fréquence des feux que nous avons démontré à Ounjougou (cf. Partie 4), avec un rôle écologique majeur dans la sélection des espèces et la construction de la végétation doit enfin être insérer dans les processus de construction des paysages à grande échelle. En effet, si le feu a des effets locaux sur la compétition entre les espèces ou sur la physionomie de la végétation, favorisant l'herbe au détriment des arbres, il est aussi dans des conditions particulières des savanes tropicales facteur d'extension spatiale des paysages, qu'il construit. Le passage du feu dans les jachères et sa propagation sur de vastes surfaces inflammables en saison sèche (cf. Figure n° 93) permet le maintien de la flore des savanes, avec une sélection d'espèces aptes à supporter ses attaques (César, 1990 ; Fournier & al., 2001). En son absence, les milieux de savanes se fermeraient vite par embroussaillement, puis par reconquête forestière, ce qui leur a valu d'être qualifiés d'écologiquement "aberrants" par un forestier comme A. Aubréville (1962). En retour, les modes d'intervention du feu dans la végétation démontrent sa forte dépendance vis-à-vis d'un matériel combustible. Celui-ci est généralement fourni par la biomasse herbacée (graminéenne) inflammable des savanes à saison sèche marquée, mais avec une productivité suffisante pour assurer la continuité de la strate combustible et favoriser la propagation du feu.

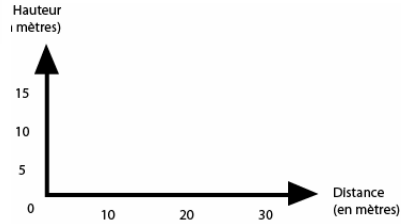
Cette relation "syngénétique" du feu et de la savane est étroitement liée aux choix que font les sociétés dans leur gestion de l'environnement. Dans le passé, comme aujourd'hui, du point de vue des sociétés de cultivateurs, la savane est loin d'être "aberrante" car elle correspond à l'environnement productif qu'elles construisent et entretiennent. Ainsi, c'est à la fois la fonction productive de la savane, regardée comme une succession de jachères d'âges divers et la perception qu'en ont les hommes, qui justifient son maintien par le recours répété au feu.

Le feu est donc le principal facteur de développement et de maintien des paysages ouverts de savanes dans la région. La **régularité annuelle des feux** à l'Holocène récent au début et en fin de saison sèche renforce le constat du rôle des sociétés dans les paysages (cf. figures n° 91 & 93).

Les paysages de la vallée du Yamé à la fin de l'Holocène récent : situation en fin de saison sèche

Les paysages de la vallée du Yamé à la fin de l'Holocène récent : situation en fin de saison des pluies et début de saison sèche





Real. : Y.L.D., 2007

Figure n° 93 : les paysages de la vallée du Yamé à la fin de l'Holocène récent, en fin de saison sèche et fin de saison des pluies (cf. légende : figure n° 91)

2.2. Une vallée du Yamé fortement humanisée et fragilisée

Au milieu du premier millénaire de notre ère, après une période où le peuplement de la vallée du Yamé semble avoir été très lâche pendant près d'un millénaire (sans doute en relation avec la période de grande sécheresse, enregistrée dans toute l'Afrique de l'Ouest), les hommes se réinstallent durablement. Ils apportent de nouvelles techniques, comme la métallurgie, qui vont leur permettre d'agir de façon de plus en plus significative, sur leur environnement. Cette dernière phase de la trajectoire paysagère, que nous suivons ici est celle qui aboutit aux paysages typiques actuels du Pays dogon.

2.2.1. Vers des paysages fortement humanisés

- **Vers une vallée de plus en plus humanisée et instable :**

La vallée du Yamé connaît depuis maintenant 1500 ans une emprise constante et accrue des sociétés pré-dogon et dogon, dans un contexte climatique marqué par une grande instabilité. Le Yamé connaît une succession de périodes caractérisées par des écoulements actifs, dans des chenaux assez larges et des périodes où les chenaux semblent plus étroits au milieu d'une plaine alluviale, comportant de nombreuses mares résiduelles. L'importance de l'érosion que devait alors connaître le bassin versant, aboutit à une vallée engorgée par des colluvions, dénudant les interfluves gréseux de leurs sols. Mais en même temps, la récurrence des crues brutales vient régulièrement ré-inciser de nouveaux chenaux. Le résultat, pendant cette période protohistorique, est que nous assistons à un colmatage presque total de la vallée, lequel sera à l'origine de la défluviation du Yamé et de son changement de cours, dévié sur sa gauche au niveau de la confluence. Le climat assez humide fluctuant de cette époque peut en partie expliquer cette dynamique, mais une telle instabilité doit aussi être due au rôle des hommes.

Le système des jachères, leur mise à feu régulière chaque année ont continué à façonner le milieu (cf. figures n° 91 & 94). Les espaces agricoles deviennent certainement de plus en plus importants sur le bassin versant du Yamé, car l'outillage en fer permet

l'amélioration des techniques de défrichement et l'augmentation des surfaces cultivées (cf. Partie 4 ; figures n° 91 & 94). Parallèlement, il est possible que l'association de l'agriculture et d'un élevage, documenté au moins dans la plaine du Séno, permette un début d'intensification, mais introduisant aussi dans le paysage, jusque là strictement dominé par la céréaliculture, une diversité liée à la préservation de plantes à intérêt fourrager. Comme nous le constatons plus en aval, dans la région de Fiko, les espèces utiles sélectionnées deviennent majoritaires dans les parcelles cultivées, poursuivant le développement des agrosystèmes organisés en terroirs villageois bien structurés. Ces activités agricoles sont certainement à l'origine d'une importante érosion des sols sur les interfluves et les glacis.

Le plateau, jouant aussi un rôle de refuge pour les populations, les densités humaines ont pu être ponctuellement élevées. A partir du quinzième siècle, après l'arrivée des Dogon, ces processus vont progressivement conduire à la mise en place des paysages culturels actuels (cf. figures n° 91 & 94). Les espèces floristiques méridionales, soudano-guinéennes, sont de moins en moins présentes sur le Plateau, même si certaines espèces ont pu être préservés à proximité des villages dans les bois sacrés ou persister dans les ravins et les failles, trop profonds et étroits pour être mis en valeur. Ces espaces abritent encore des espèces remarquables (comme *Cola cordifolia, Khaya senegalesis, saba senegalensis, Ceiba pentandra, Diospyros mespiliformis)* qui ne sont pas des anomalies écologiques, comme le soulignaient Jaeger et Winkoun (1962), mais correspondent à la fois à des vestiges d'une flore naturelle réduite par les actions anthropiques et à l'illustration des potentialités floristiques du pays.

Dans ces processus, les feux ont dû continuer à jouer un rôle non négligeable (cf. figures n° 91 & 94). Les feux, pratiqués régulièrement pendant une grande partie de l'Holocène terminal demeurent l'un des principaux déterminants de la savane. Nous pouvons imaginer ces paysages après le passage du feu en début de saison sèche, laissant une image de désolation, car seuls les arbres ont subsisté, tandis que le couvert herbacé a disparu laissant la place à un tapis de cendres. Néanmoins, la savane pyrophile soumise, comme nous l'avons vu, à ce traitement depuis des millénaires, devait reverdir dès les premières pluies et redevenir telle qu'elle était avant le passage du feu.

Mais malgré leur grande efficacité et leurs nombreux effets bénéfiques, dans des systèmes à faibles densités humaines dans le nouveau contexte environnemental dogon, les feux ont probablement entraîné une forte dégradation des couvertures végétale et

pédologique. C'est cette "mise à nu" du sol qui a ensuite du favoriser une érosion des versants de la vallée. Renforçant l'impact de l'instabilité climatique, l'intensification de l'agriculture et la réduction des périodes de jachères, associées aux feux (cf. Partie 4 ; figures n° 91 & 94), ont sans doute été favorables à la morphogenèse des crues torrentielles.

La part de ces héritages dans les paysages du vingtième siècle est importante leur octroyant une réelle valeur culturelle et patrimoniale, mais loin d'être strictement relictuels, ces paysages continuent à être dynamiques et évolutifs.

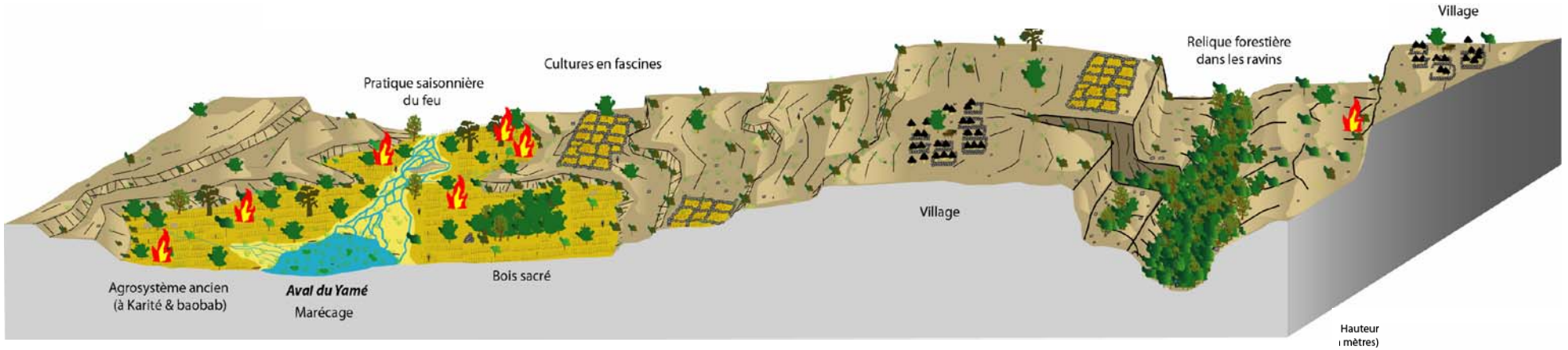
2.2.2. Des paysages fragilisés :

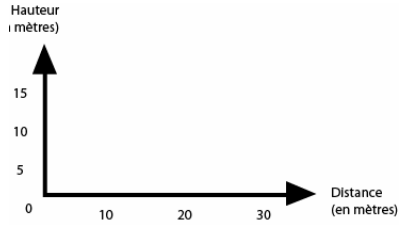
- **Une "vallée en érosion" :**

Les paysages de la vallée du Yamé ont considérablement évolué au cours du dernier siècle (cf. figures n° 91 & 94). Depuis 1936, l'autocapture du Yamé a entraîné un **élargissement régulier de la vallée** par une érosion des berges. Entre 1953 et 2006, la largeur du lit du Yamé a été multipliée par deux, passant d'une quarantaine de mètre à plus de quatre-vingt (à l'amont de la Confluence). Les affleurements des rives Droite et Gauche sont en constant recul lors des saisons des pluies, par des ravinements ou éboulements (cf. Parties 1 & 4).

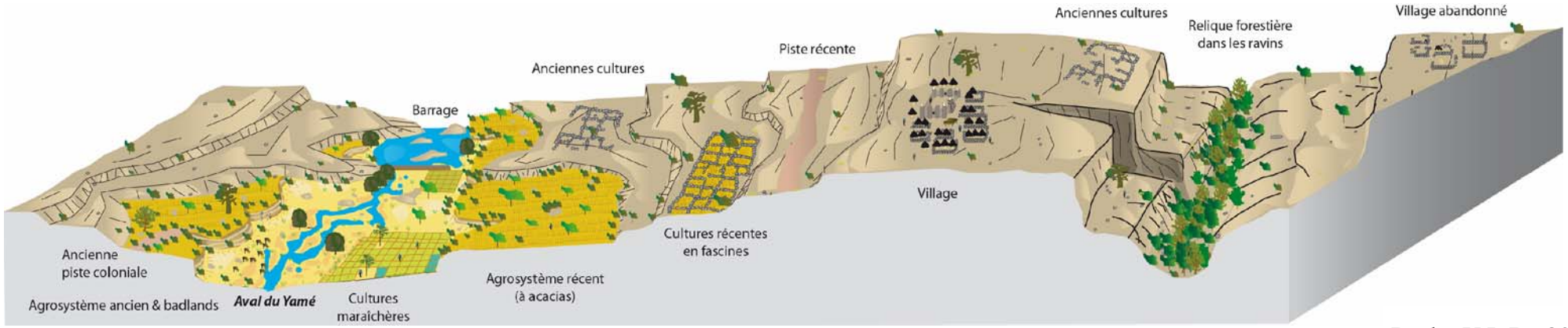
La topographie de la vallée du Yamé change chaque année et peut évoluer très rapidement lors d'hivernage très pluvieux (comme de juin à septembre 2007). Les terres cultivables sont régulièrement érodées, arrachées ou emportées lors de crues ou par les ravinements de plus en plus imposants (cf. figure n° 94). Pour pallier un manque de surface cultivable croissant en raison de l'érosion, des sédiments de la vallée sont utilisés pour des cultures maraîchères ou céréalières sur les interfluves gréseux, retenus par des murets en pierres sèches. Cette méthode est relativement ancienne pour créer de nouvelles surfaces cultivables sur le plateau et est couramment employée de nos jours. Cette **érosion régressive** a de nombreuses conséquences sur les paysages de la vallée.

Les paysages de la vallée du Yamé vers le XV^{ème} siècle A.D.





Les paysages de la vallée du Yamé entre 1936 et 2006



Real. : Y.L.D., 2007

Figure n° 94 : les paysages de la vallée du Yamé
Au XVIème siècle AD et entre 1936 et 2006
(cf. légende : figure n° 91)

Les zones de "*bad lands*" sont aussi un problème en termes de perte agricole, en raison des surfaces cultivables qui sont en nette diminution ces dernières années à l'amont de la vallée (cf. Partie 4). Nous avons estimer une augmentation de surfaces de bad-lands multipliées par 2 voire 5 dans certains secteurs de la vallée depuis les cinquante dernières années (cf. figure n° 94). La végétation arbustive (comme les *Combretaceae*) que portent ces ravinements vient compenser une partie des pertes pour les Dogon. Les branchages de ces buissons, qui constituent un très bon bois de chauffe, sont quotidiennement coupés pour les besoins domestiques ou pour être vendus sur les marchés des grandes villes. Il est très symptomatique de rencontrer des femmes sur les pistes, avec des kilos de bois sur leur tête, se rendant dans les villes ou villages.

- **Une pression anthropique croissante :**

Dans la deuxième moitié du vingtième siècle, le Plateau dogon est de plus en plus **intensément cultivé**. Des champs en fascines, avec des blocs de pierres sèches posés directement sur le grès, se sont multipliés partout. De nombreux blocs alignés aujourd'hui, sur les interfluves gréseux autour de la zone d'étude, témoignent d'un passé agricole intensif sur certains espaces aujourd'hui abandonnés. Les principales cultures sont le mil, le sorgho, puis les oignons en cultures maraîchères sur les rives des cours d'eau (cf. Partie 1 & 4). La demande en terre de plus en plus importante nécessite la multiplication des parcelles cultivées en continu et de moins en moins de jachères, d'où la **nécessité de planter des espèces fertilisant rapidement les sols** (*Faidherbia albida*).

Les cultures maraîchères sont aussi en nette augmentation au cours du siècle et encore plus ces dernières années (surfaces cultivées multipliées entre les années 1988 et 2001 par quasiment trois). La culture maraîchère dominante est l'oignon, en raison du succès de sa commercialisation, bien au-delà du Pays dogon, voire du Mali. Elle est ancienne et s'est rapidement intensifiée avec la construction des premiers barrages dans la région au milieu du vingtième siècle. Cette stratégie de culture intensive sur le plateau est toujours bien visible avec des aménagements en terrasses (fascines), l'utilisation intensive du fumier, l'amendement par apport de sols plus fertiles, ... Chaque parcelle de terres est distribuée à des villageois pour des cultures, quand les récoltes viennent à manquer, les surfaces agricoles sont en augmentation, par la réalisation de nouvelles parcelles sur les interfluves gréseux.

Au cours des dernières décennies, les paysages mosaïques de la vallée du Yamé sont également marqués par le changement des espèces structurantes dans les agrosystèmes. Ils ont longtemps été arborés par des espèces caractéristiques et typiques des savanes soudano-sahéliennes. Les espèces dominantes assuraient de nombreuses ressources pour les hommes (fruits, matière grasse, médicaments, ombrage, bois, etc.), le bétail (fourrage, ombrage, etc.), les sols (fertilité). Les espèces dominantes dans la première moitié du vingtième siècle étaient le karité (Arbre à beurre ou *Vitellaria paradoxa*), le baobab (*Adansonia digitata*), le tamarinier (*Tamarindus indica*), le néré (*Parkia biglobosa*), le rônier (*Borassus sp*.), etc. Quelques parcelles possèdent encore aujourd'hui ces espèces, souvent en association avec des cultures de fonio et constituent des reliques d'agrosystèmes anciens. Ces parcelles appartiennent en général à des groupes Dogon ayant conservé des pratiques traditionnelles, souvent liées aux coutumes animistes. Elles sont progressivement supplantées par les agrosystèmes plus récents, qui sont caractérisés par des plantations de *Faidherbia albida*, typiques en Afrique de l'Ouest. Cet arbre résiste aux sécheresses, il a une phénologie inversée, car son feuillage est vert en saison sèche (ce qui est intéressant pour le bétail et l'ombrage), il a des qualités de fertilisation du sol, en tant que fixateur d'azote, et il est largement utilisé en pharmacopée. Il devient de plus en plus l'arbre dominant dans les champs, aussi bien sur le plateau, que dans la plaine du Séno. Les paysages de la vallée sont également concernés par l'apparition d'espèces exotiques, les manguiers très présents sur les rives du Yamé et *Andira inermis*, arbre ornemental introduit à l'époque coloniale et qui prolifère localement sur bord des cours d'eau ; notamment autour d'Ounjougou. La majorité de ces agrosystèmes récents est apparue dans la vallée du Yamé, au cours des quarante dernières années, en relation avec l'augmentation démographique, la forte demande en terre et la remise en cause des traditions coutumières et des religions locales.

Les feux sont aujourd'hui complètement absents sur le bassin versant du Yamé et sur une très grande partie du Plateau dogon. Les analyses du signal incendie indiquent pourtant des feux récurrents, jusque vers le 15-17ème siècle (cf. Partie 4). Différents facteurs peuvent expliquer la disparition de ces feux dans la région, alors qu'ils sont toujours très nombreux par ailleurs dans le domaine soudano-sahélien (Dolidon, 2005) et les régions avoisinantes. L'intensification croissante de l'agriculture sur le plateau peut expliquer cette disparition. Les jachères deviennent de plus en plus rares. La fertilisation des sols est désormais réalisée par la fumure animale, par les nouvelles espèces arborées ou la rotation des cultures, par apport des

sédiments organiques de la vallée du Yamé ou plus récemment par des engrais chimiques. Les villageois évoquent également les systèmes coutumiers d'interdits des feux (*Alamodiou*), mais leur étude approfondie reste à faire. La vallée du Yamé, comme le Plateau dogon en général, connaît de fortes densités humaines. Par comparaison avec le reste du territoire malien, les villages sont très nombreux sur le plateau, les terroirs largement saturés, empêchant une pratique régulière des feux ou du moins leur propagation. En effet, nous pouvons constater à travers les travaux d'H. Dolidon (2005), que les régions de fortes densités en Afrique de l'Ouest, sont généralement des "espaces sans feu" (comme le Plateau mossi au Burkina Faso).

La pression croissante des villageois est marquée aussi par un **déboisement** important, qui peut avoir de nombreuses conséquences tant sur le milieu, que pour les Dogon eux mêmes. Il existait dans les années 1950 de nombreux bois sacrés, qui ont progressivement disparu en relation avec le recul de l'animisme (exemple le bois dit des "*Undio*" à Ounjougou dans les années 1950, cf. Partie 4). Ces déboisements ont entraîné une fragilisation du milieu et ont favorisé l'accélération de l'érosion de certains secteurs de la vallée.

La gestion de l'eau a aussi été considérablement modifiée, passant **d'un système traditionnel manuel à un système moderne de plus en plus mécanisé**. L'agriculture était basée jusqu'au vingtième siècle sur une auto-régulation et une gestion traditionnelle de l'eau, reposant sur la réalisation de puisards profonds dans le lit du Yamé, en saison sèche et par un travail fatiguant d'arrosage des cultures maraîchères à l'aide de calebasses. La construction de digues et barrages s'est multipliée depuis le milieu du vingtième siècle. Ces constructions, aujourd'hui nombreuses dans la vallée (cf. figure n° 94), ont permis la **multiplication des cultures maraîchères** (plus précisément des oignons ; Cf. Partie 4). Ces cultures de contre-saison sont un bon moyen de procurer des revenus supplémentaires et de subvenir aux besoins financiers des agriculteurs. Les superficies de cultures d'oignons sont en augmentation et les rendements sont parmi les plus importants d'Afrique de l'Ouest, même si, ces dernières années, les oignons dogon sont moins exportés vers les pays voisins ou les villes, en raison de l'importation d'oignons européens (des Pays Bas) ou de la production d'oignons dans les pays voisins (Côte d'Ivoire, Guinée, Sénégal, Mauritanie). Dans cette course à la culture intensive, depuis une dizaine d'années, les agriculteurs ont acquis des motopompes, qui facilitent considérablement le travail d'irrigation et permettent de multiplier les surfaces maraîchères dans la vallée. L'utilisation massive de ces engins a de nombreuses conséquences, comme une diminution rapide du niveau de l'eau dans les mares et les puisards de la vallée, une

surexploitation des terres qui doivent supporter deux cycles de cultures (le mil en saison des pluies et l'oignon en saison sèche). Cela entraîne une diminution de fertilité des sols. La résultante est le développement d'**apports massifs et réguliers d'engrais azotés** dans les jardins et les champs qui ont des répercussions sur le plan environnemental et sanitaire. Les eaux du Yamé connaissent une pollution et une eutrophisation forte depuis les années 2000, avec le développement d'algues vertes en saison sèche, rendant l'eau impropre à la consommation et engendrant une diminution de la faune (poissons).

Néanmoins tout n'est pas négatif dans cette évolution qui accompagne logiquement un nouveau développement régional. En corollaire, la réalisation de radiers, de ponts solides et des pistes remises à neuf a permis un certain **désenclavement** des villages dogon du plateau. La construction d'une route goudronnée entre Bandiagara et Mopti en 2001 permet de relier en moins d'une heure les deux villes et la rénovation des pistes permet de mieux relier Bandiagara à la falaise, et à la plaine du Séno, vers Bankass, Sangha, Dourou et Douentza. Ces travaux ont eux aussi des conséquences pour les Dogon et leur environnement. Des impacts positifs sont évidents, comme la possibilité de joindre rapidement les centres de santé (Bandiagara, Bankass ou Dimmbal), le collège de Bandiagara, les écoles des villages. Lui sont aussi associés, la possibilité de vendre les productions maraîchères vers les marchés urbains et bien sûr le développement du tourisme et des multiples services associés (électricité, téléphonie, etc.).

Cependant, c'est aussi le désenclavement et les voies de communication, qui ont engendré l'augmentation du commerce du bois pour la vente dans les marchés, de Bandiagara et Mopti. Par ailleurs, le développement du **tourisme** et la valorisation de sites désormais connus dans le monde entier, comme Bandiagara, Sangha et les villages de la falaise, ne sont sans doute pas sans conséquence pour l'environnement. Il est difficile aujourd'hui de mesurer ces impacts en raison du peu de recul, dont nous disposons sur ces phénomènes assez récents.

5

Les paysages du pays dogon nous apparaissent comme le résultat de nombreuses pratiques des sociétés sur le long terme, depuis quatre mille ans. Ces paysages ont une **valeur patrimoniale et culturelle** forte. Il nous apparaît suite à ces résultats, que la construction de ces paysages "traditionnels" dogon, résulte de forçages tant hydro-climatiques qu'anthropiques. L'aridification du climat au cours de l'Holocène récent, le rôle des hommes, pratiquant l'agriculture et utilisant le feu vont progressivement façonner ces paysages. Aujourd'hui, plus qu'un simple héritage figé, ils présentent une multitude de facettes exprimant l'intégration d'héritages anciens ou plus récents, mais toujours soumis à des dynamiques parfois contradictoires.

Actuellement le Pays dogon est classé au Patrimoine mondial de l'U.N.E.S.C.O. avec des critères culturels et naturels, mais principalement aux titres d' "établissements humains" et de "beauté naturelle" correspondant aux sites de la falaise de Bandiagara. Les paysages de la vallée du Yamé correspondent à une production combinée de la nature et des hommes. Il est important aujourd'hui d'envisager ces espaces à travers, notamment, un autre type de classement comme celui des **"Paysages culturels"**, en raison de leurs caractères hérités et évolutifs. Il est important aujourd'hui de mieux préserver ces espaces à travers notamment ce type de classement, en raison même de leurs caractères évolutifs. **Les paysages de la vallée du Yamé correspondent à la fois des paysages hérités et vivants.**

Conclusion générale

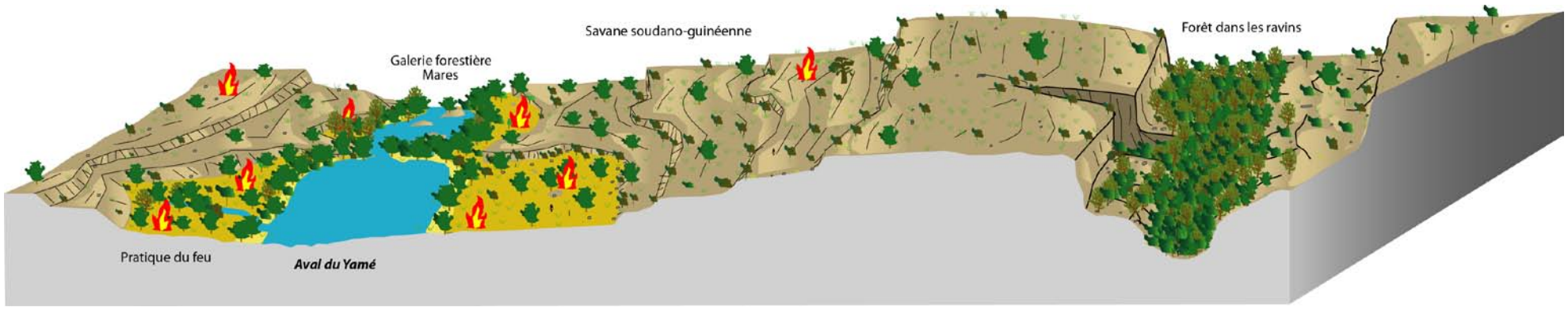
La vallée du Yamé, à l'amont de la Confluence en septembre 2006 (Y.L.D., 2007)

Nos recherches géoarchéologiques dans la vallée du Yamé permettent de reconstituer le fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin versant et les évolutions des paysages végétaux, au cours des quatre derniers millénaires et au-delà, de comprendre l'ensemble des dynamiques environnementales et paysagères en lien avec les facteurs climatiques et anthropiques. En cohérence avec nos objectifs annoncés en introduction, qui étaient de comprendre la genèse des paysages et les changements qu'ils connaissent lorsque les sociétés commencent à intervenir de façon intensive sur le milieu, nous avons adopté une double approche. D'une part, nous avons cherché à combler les lacunes de connaissances que nous avions au départ de cette recherche doctorale, par l'acquisition de données analytiques sur la stratigraphie, la lithologie, les faciès et microfaciès sédimentaires, la palynologie, les palynofaciès et les analyses de signal incendie. L'interprétation de ces données a nécessité de faire appel à des facteurs multiples, reflétant des forçages climatiques et/ou anthropiques et agissant à différentes échelles spatiales (du global au local) et de temps (du millénaire au saisonnier). D'autre part, nous nous sommes efforcés de raisonner dans une logique géosystémique qui met le concept intégrateur du paysage au centre de la réflexion, en croisant les informations, en faisant appel à la transdisciplinarité et en pratiquant un va-et-vient régulier entre les différents niveaux d'échelle, pour évaluer la portée des résultats.

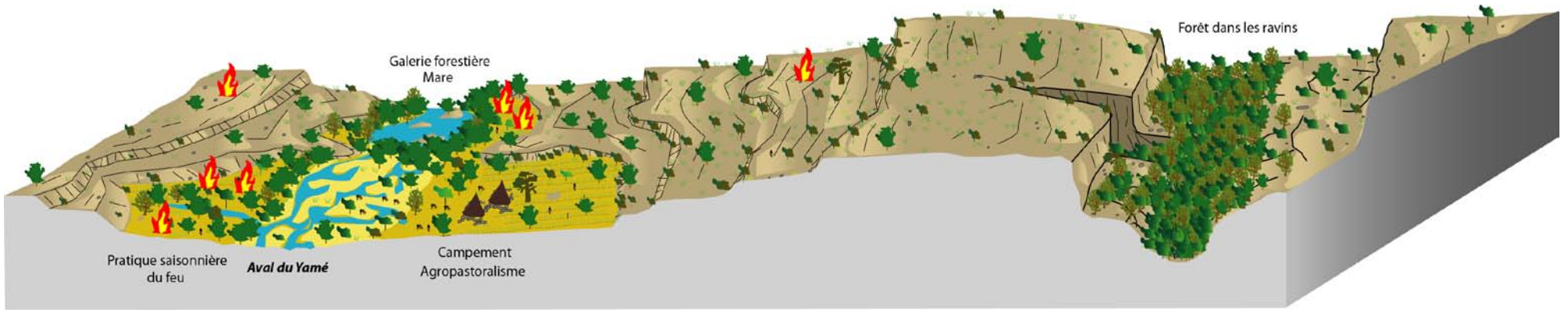
En Afrique de l'Ouest, la vallée du Yamé offre un exemple, pour le moment exceptionnel, d'une chronostratigraphique fine, avec plus d'une centaine de coupes plurimétriques, dont une soixantaine décrite dans notre étude et près de quatre-vingt dix dates ^{14}C sur l'Holocène. Elle enregistre un signal climatique bien rendu à partir du fonctionnement d'un hydrosystème continental. Les études granulométriques et micromorphologiques du remplissage fluvio-palustre permettent de préciser ce signal climatique depuis quatre mille ans, avec des informations très fines sur la saisonnalité. Cela nous a permis de définir un cadre général d'évolution des milieux sous l'effet des forçages hydro-climatiques globaux ou régionaux. Nous avons ainsi essayé de mettre en évidence les processus environnementaux qui sont liés aux volontés de maîtrise de la nature par les hommes. Pour cela, des analyses paléobiologiques, menées par nous-mêmes et/ou en collaboration (palynologie, étude du signal incendie, anthracologie, archéobotanique), sont venues compléter l'arsenal méthodologique. Enfin, nous avons cherché à confronter les évolutions du passé éloigné et les dynamiques récentes des paysages de la vallée en nous appuyant sur la photo-interprétation diachronique et des entretiens et enquêtes auprès des villageois de la zone d'étude.

Dynamiques diachroniques des paysages de la vallée du Yamé depuis 4 000 ans

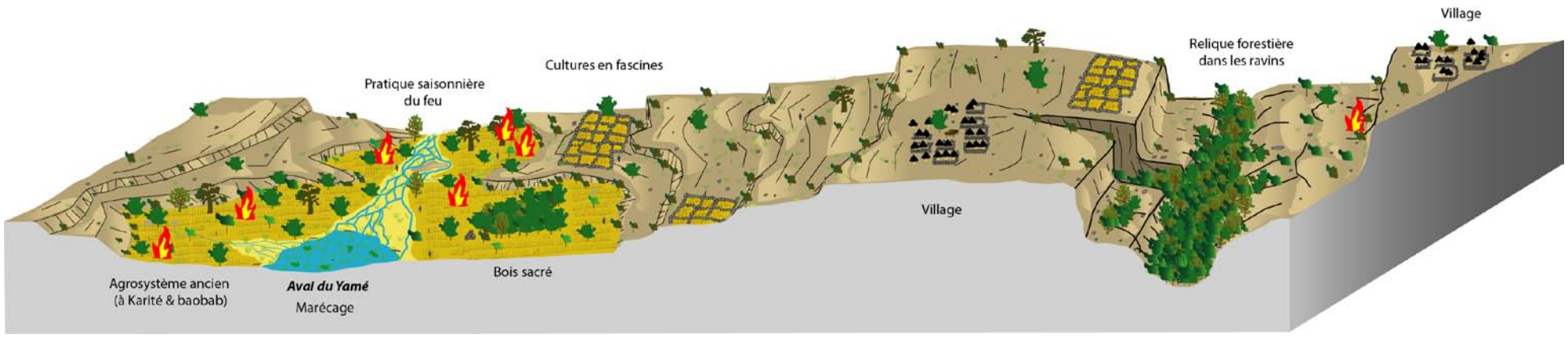
Il y'a 4 000 ans



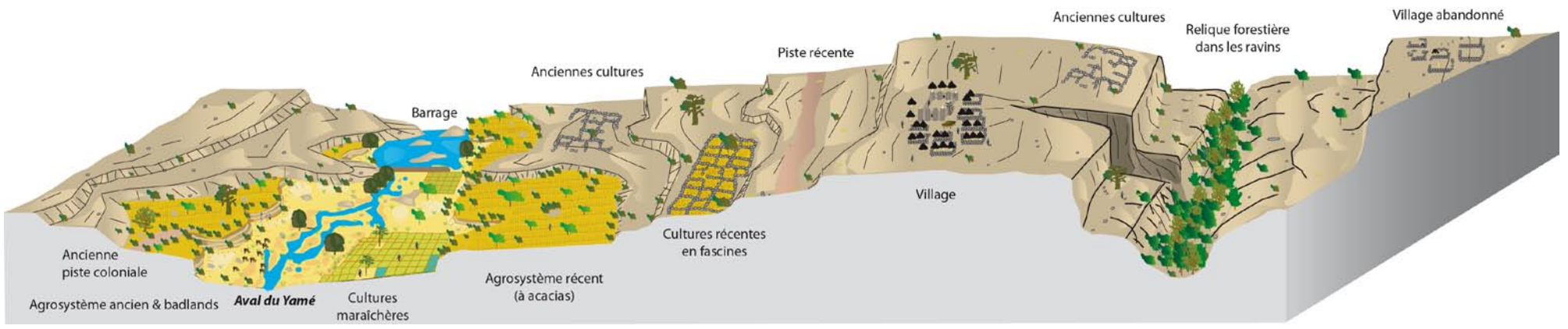
Il y'a 2 500 ans

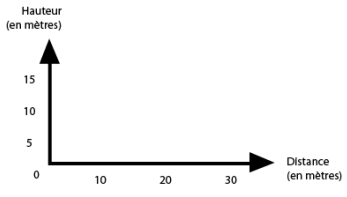


Il y'a 500 ans



En 2006





Réal . : Y.L.D., 2007

Légende : Figure n° 91 (partie 5)

Figure n° 92

En résumé, nos résultats confirment un assèchement climatique qui s'affirme au cours des deux derniers millénaires avant notre ère, malgré des oscillations secondaires de faible amplitude. Plus précisément, cette évolution se manifeste surtout dans le fonctionnement hydrologique du Yamé dont la saisonnalité est de plus en plus marquée et révèle un allongement et un affermissement de la sécheresse saisonnière durant l'Holocène récent. Globalement ces données s'inscrivent dans le cadre hydroclimatique de l'Afrique de l'Ouest, qu'elles complètent par un nouveau jalon continental. Elles montrent la capacité d'un système fluvial à décrire les évolutions climatiques de durée séculaire et à offrir ainsi de nouvelles informations pour les reconstitutions des évolutions des milieux continentaux. Les systèmes fluvio-palustres étudiés montrent l'importance des rythmes saisonniers et de la durée de la saison sèche, rarement perceptibles dans d'autres types d'enregistrement. Dans ce système, la torrentialité joue également un rôle très important durant les deux derniers millénaires, sans doute en partie d'une anthropisation croissante, qui a entraîné une augmentation de la sensibilité du bassin versant..

En effet, l'aridification des paysages de savane est aussi déterminée par les pratiques des sociétés préhistoriques et historiques, avec l'émergence de l'agriculture, dès le 2ème millénaire avant notre ère et une influence grandissante des feux (cf. figure n° 95). La vallée du Yamé, nous fournit aujourd'hui les études les plus fines du signal incendie en Afrique de l'Ouest. Elles ont permis de caractériser la régularité des feux et de préciser leur régime. On a ainsi pu démontrer leur rôle majeur et ancien dans les dynamiques des paysages de savanes ouest-africaines, mais aussi argumenter solidement leur origine principalement anthropique. On peut ainsi parler d'une véritable mémoire des paysages, à la fois des traits issus de la nature et des apports accumulés des civilisations.

Ainsi les paysages du Pays dogon ne peuvent être compris qu'en tant que résultante des relations plurimillénaires des sociétés avec leur environnement en lien avec les évolutions climatiques.

Nos recherches, nous permettent de conclure que les paysages actuels sont certes hérités mais ne sont ni fossiles, ni totalement relictuels, mais qu'ils sont au contraire vivants et évolutifs. Dans la logique du géosystème au sens de G. Bertrand et C. Bertrand, la domestication de certains éléments de la nature, l'appropriation de l'espace, la gestion des ressources et la réponse aux contraintes environnementales sont autant de processus dynamiques qu'il ne faut pas regarder de façon univoque. Ainsi, nous pouvons reprendre la

notion de "G.T.P." dans nos travaux, en accordant aux paysages actuels une valeur patrimoniale, mais en relativisant aussi le jugement que l'on peut porter sur eux. En inscrivant les dynamiques qui les animent dans le déroulement d'un temps, à différentes échelles, on peut réellement donner un sens à la notion de durabilité, souvent évoquée et rarement réfléchie. Ce qui nous oblige à nous interroger sur l'intérêt opérationnel de nos résultats, dans une logique de gestion durable des ressources. Les partenaires maliens, en particuliers la Mission culturelle de Bandiagara, garante de la protection et la gestion du site, sont à ce propos fortement demandeurs. Nous le devons également aux populations qui nous ont accueilli et aidé.

L'ambition de la thèse et du programme pluridisciplinaire dans lequel elle s'insérait, était aussi d'inaugurer une véritable approche multiproxies dans les études paléoenvironnementales sur les enregistrements sédimentaires continentaux dans cette partie de l'Afrique intertropicale. Le croisement des différentes méthodes est producteur de résultats importants. Les systèmes fluviaux ont souvent été délaissés au profit des systèmes lacustres en Afrique. Pourtant, on peut mettre en avant l'apport de l'étude d'un système fluvio-palustre, dans la compréhension des rythmes de transformations des paysages soudano-sahéliens, en particulier sous l'action des feux. C'est ce type d'approche, que nous souhaitons développer à l'avenir dans différentes régions (Delta Intérieur du Niger, paysages méditerranéens grecs, landes littorales normandes, etc.), afin d'établir des modèles d'enregistrements (saisonniers, annuels, pluri-millénaires, …) et des comparaisons sur le rôle des forçages anthropiques et/ou climatiques, dans ces différents espaces. Concernant la vallée du Yamé, il serait souhaitable, à partir, de la méthodologie mise sur pied, que de nouveaux proxies puissent venir renforcer ces recherches avec des analyses géochimiques, des diatomées, des phytolithes, des sphérolithes… qui permettront d'apporter de nouveaux indicateurs spécifiques sur les variations du climat et/ou de l'anthropisation au cours de l'Holocène récent.

Parallèlement, il est souhaitable d'appliquer cette méthodologie intégrée à l'ensemble de l'Holocène. Les modèles de fonctionnement saisonnier réalisés pour l'Holocène récent semblent tout spécialement prometteurs pour l'Holocène moyen dans lequel d'énormes quantités de charbons et particules cendreuses sont relevées. Il serait aussi intéressant d'élargir le terrain d'étude afin de comprendre les différences régionales de dynamiques des paysages et d'insérer nos scénarii du Plateau dogon dans un schéma plus général. Des comparaisons doivent être recherchées avec la plaine du Séno (où les fouilles archéologiques sous la direction d'E. Huysecom sont plus importantes depuis trois ans) et le Delta Intérieur du Niger,

au niveau de la confluence entre le Yamé et le Niger. Le programme de recherches actuel franco-allemand : ANR-DFG (Agence Nationale de la Recherche & Deutsche Forschungsgemeinschaft) intitulé "APPD" ("Archéologie du paysage en Pays dogon, Mali") va d'ailleurs dans ce sens. Ce programme financé depuis début 2008 jusqu'en 2010 est coordonné par Aziz Ballouche & Katharina Neumann. Il regroupe quatre universités : Angers, Caen, Francfort & Rouen, en collaboration avec les archéologues de Genève et Bamako. Les objectifs sont de reconstituer l'histoire holocène des paysages en relation avec différents processus anthropiques (feux, gestion des ressources naturelles dont l'eau, élevage, agriculture, métallurgie) ; documenter les paysages culturels actuels du Pays dogon et leur genèse au cours des derniers siècles et de mettre à disposition les résultats sous la forme d'un Atlas des paysages (comme outil de communication et de gestion des paysages faces aux mutations actuelles de l'environnement et des sociétés en Pays dogon). Notre travail doctoral peut être approfondi dans ce cadre, en développant, en particulier, les recherches sur les usages des feux de végétation et leur place dans les systèmes de gestion du milieu par les sociétés de chasseurs-cueilleurs pratiquant des collectes sélectives intensives au cours de l'Holocène.

Nos recherches n'ont fait ici que révéler l'extraordinaire potentiel des études paléoenvironnementales sur ce site, avec une capacité exceptionnelle à nous restituer le film du déroulement des paysages à travers le temps. La poursuite des recherches archéologiques et géoarchéologiques sur le site d'Ounjougou garde toute son acuité en raison de la fragilité du gisement. En effet, comme nous l'avons démontré, cette partie de la vallée du Yamé connaît une forte érosion régressive depuis plus d'un demi-siècle, qui emporte progressivement les archives sédimentaires, effaçant les traces du passé. Cette mémoire des sols qui se réduit peu à peu, diminue, de fait, nos chances de connaissance fine des paysages de la vallée du Yamé, dans le Pays dogon et plus largement celles de l'histoire des savanes ouest africaines. L'hivernage 2007 montre cette grande fragilité de la zone et renforce la nécessité d'étudier et de produire des données archéologiques et paléoenvironnementales, avant qu'elles ne disparaissent.

Coucher de soleil sur le Plateau dogon (octobre 2006, Y.L.D.)

Bibliographie

A

ABEL P.-I. & HOELZANN P. (2000). *Holocene palaeoclimates in northwestern Sudan: stable isotope studies on mollucs.* Global and Planetary Change. Vol. 26, pp. 1-12.

ABICHOU A. (2002). *Les changements de paysages du bassin-versant de l'oued Tataouine-Fessi (Sud-Est tunisien). Etude multiscalaire et micromorphologie des remplissages des sebkhas et étude des états de surface.* Thèse de doctorat de géographie physique. Université Michel de Montaigne, Bordeaux III, Tome 1, 420 p.

ACHARD F. & BLASCO F. (1990). *Rythmes saisonniers de la végétation en Afrique de l'Ouest par télédétection spatiale.* Revue Télédétection et Sécheresse. Eds A.U.P.E.L.F. - U.R.E.F. Paris, pp. 1-14.

ADJANOHOUN E.-J. (1985). *Contribution aux études ethnologiques et floristiques au Mali.* Médecine traditionnelle et pharmacopée, Rapport présenté à l'A.C.C.T., Tournai, 250 p.

ADJANOHOUN E.-J. (1987). *Contribution aux études ethnologiques et floristiques au Togo.* Médecine traditionnelle et pharmacopée, Rapport présenté à l'A.C.C.T., Tournai, 660 p.

AFOUDA A. & al. (2001). *Variabilité climatique et variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest : un système couplé.* Atelier sur le couplage des modèles atmosphériques et hydrologiques, Toulouse, 5 p.

AG SIDIYENE E. (1996). *Des arbres et des arbustes de l'Adrar des Iforas (Mali)*. Etude ethnolinguistique et ethnobotanique, Cahiers O.R.S.T.O.M., C.I.R.A.D., Paris, 130 p.

AGOUZE K.-O.-A. (2000). *Elaboration d'un modèle informatisé de gestion des pâturages tropicaux.* Mémoire de D.E.S. Gestion des animaux en milieu tropical, université de Liège, 38 p.

AKE ASSI L. (1985). *Contribution aux études ethnologiques et floristiques en République Centrafricaine.* Médecine traditionnelle et pharmacopée, Rapport présenté à l'A.C.C.T., Tournai, 140 p.

ALEXANDRE A., MEUNIER J. D., LEZINE A.-M., VINCENS A. & SCHWARTZ D. (1997). *Phytolihs : indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa.* PALAEO, 136, pp. 213-239

ALLEE P. & LESPEZ L. (2006). *L'érosion entre Société, Climat et Paléoenvironnement*. Actes de la Table Ronde en l'honneur de René Neboit-Guilhot. Coll. "Nature et Société 3, Presses Universitaires Blaise Pascal, Clermont Ferrand, 480 p.

AMATH N. & LAZARD C. (1990). *Stopper les dunes.* Revue Sécheresse, 1 (1), 74 p.

AMBLARD S. (1994). *Tichitt-Walata 5R.I. Mauritanie) : civilisation et industrie lithique*. Paris : Ed. Recherches sur les civilisations. Mémoire 35

AMBLARD S. (1996). *Agricultural evidence an dits interpretation on the Dhars Tichitt and Oualata, South Eastern Mauritiania*. 10th Panafrican, A.P.R.S., pp. 421-427

ANDERSEN S.-T. (1978). *Identification of wild grass and cereal pollen.* Dan. Geol. Unders, Arbog, pp. 69-92

ANDRES W., BALLOUCHE A. & MÜLLER - HAUDE P. (1996). *Contribution des sédiments de la Mare d'Oursi à la connaissance de l'évolution paléo-écologique du Sahel du Burkina Faso.* Berichte des Sonderforschungs-bereiches 268, Band 7, Frankfurt, pp. 5-17

ARBONNIER M. (2000). Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD, Paris, 574 p.

ARNAUD B. (2001). *Découvertes sur le plateau Dogon*. Sciences et avenir, pp 128-131

ARNAUD J.-C. (1980). *Atlas du Mali.* Les atlas d'Afrique. Editions Jeune-Afrique, Paris, 80 p.

ARNAUD J.-C. (2001). *Atlas du Mali*. Les atlas de l'Afrique, Editions J. A. du Jaguar, Paris, 80 p.

ARNAUD J.-C. (2004). *Atlas population et gestion du territoire*. République du Mali, université de Bamako, Coopération française, Université de Rouen, 11 planches, 47 p.

ARNAUD-FASSETA G. (1998). *Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône.* Thèse, Géographie Physique, Aix-Marseille I, 329 p.

ARNAUD-FASSETA G. (2000). *Quatre mille ans d'histoire hydrologique dans le delta du Rhône. De l'âge de bronze au siècle du nucléaire*. Collection mémoires et documents de l'UMR PRODIG Grafigéo, 229 p.

ARNAUD-FASSETA G. (2002). *Geomorphological records of a 'flood-dominated regime' in the Rhône*

Delta (France) between the 1st century and the 2nd century AD. What coorelations with the catchment paleohydrology? Geodinamica Acta 15 (2), pp. 79-92

ARNAUD-FASSETA G. (2004). *The upper Rhône delta sedimentary record in the Arles Piton core : analysis of delta plain subenvironments, avulsion frequency, aggradtion rate and origin of sediment yield*. Geofrafriska Annaler , Physical Geography, vol. 86, 4, pp. 367-383

ASSELIN H. & PAYETTE S. (2005). *Detecting local-scale fire episodes on pollen slides*. In : Review of Palaeobotany and Palynology 137. pp. 31– 40

AUBREVILLE A. (1949). *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Société d'édition géographique, maritime et coloniale, Paris, 351 p.

AUTES M. (1991). *Le territoire, un nouveau mode de gestion des populations. In : Le RMI à l'épreuve des faits, Territoires, insertions, et sociétés*. Programme de recherche de la M.I.R.E. et du plan urbain du R.M.I., Syros Alternatives, Paris, pp. 197-257

B.

BACHELIER G. (1978). *La faune des sols. Son écologie et son action.* ORSTOM, n°38, Paris, 391 p.

BAIZE D. (2000). *Guides des analyses en pédologie.* INRA, Paris, 258 p.

BALLAIS J.-L. (1995). *Alluvial Holocene terraces in eastern Maghreb : climate and anthropogenic controls.* In : Lewin J., Macklin M.-G. & Woodward J.-C., Mediterranean Quaternary river environment, Baltena, Rotterdam, pp. 183-193

BALLAIS J.-L. & HEFFE J.-C. (1996). *Le problème de la stabilité des îles du Rhône pendant la période historique*. In : Burnouff J., CRA, pp. 309-317

BALLO A. (1987). *Les types d'adaptation au Sahel l'insertion socio-économique des populations victimes de la sécheresse à Mopti.* Mémoire de fin d'étude. Directeur du mémoire BAKARY S., E.N.S. Bamako, 60 p.

BALLOUCHE A. (1998). *Dynamique des paysages végétaux sahélo-soudaniens et pratiques agro-pastorales à l'holocène : exemples au Burkina Faso***.** Bulletin de l'association de géographes français, BAGF, pp. 191-200

BALLOUCHE A. (2001). *Un diagramme pollinique de la mare d'Oursi (Oudalan, Burkina Faso), nouveaux éléments pour l'histoire anthropique de la végétation sahélienne*. *Berichte des Sonderforschung-sbereichs 268*, " Man and Environment in the West African Sahel - an Interdisciplinary Approach", Band 17, Frankfort / Main, pp.129-135.

BALLOUCHE A. (2002). *Histoire des paysages végétaux et mémoire des sociétés dans les savanes ouest africaines*. Historiens et géographes, n° 379, pp 239-248.

BALLOUCHE A. (2004). *Tentative de caractérisation du régime des feux et incendies dans certains paléoenvironnements soudano-sahéliens à l'Holocène*. Colloque Hugues Faure associé au 20ème colloque de géologie africaine, symposium, 3 juin 2004, Orléans, p. 39

BALLOUCHE A., AKOEGNINOU A., NEUMANN K., SALZMANN U. & SOWUNMI A. (2000). *Le projet "DAHOMEY GAP" : une contribution à l'histoire de la végétation au Sud-Bénin et Sud-Ouest du Nigeria*. Berichte des Sonder-forschungs-bereiches 268, Band 14, pp. 237-251.

BALLOUCHE A. & DOLIDON H. (2003). *Feu, «arts du feu» et production des paysages dans les savanes d'Afrique de l'Ouest.* « *Transmission des savoirs : terres cuites et métaux en Afrique de l'Ouest et au Cameroun.* » sous la dir. de POLET J. et JEMKUR J., I.F.R.A., Ibadan, 17 p.

BALLOUCHE A. & DOLIDON H. (2003). *Forêts claires et savanes ouest-africaines : dynamiques et évolution de systèmes complexes à l'interface nature/société*, Colloque International de Poitiers.

BALLOUCHE A., DOLIDON H. & LE DREZEN Y. (2003). *Le rôle du feu dans les dynamiques paléoenvironnementales et l'histoire des paysages, exemples ouest-africains.* Colloque Les rencontres du végétal, INH, Angers, pp. 14.

BALLOUCHE A., DOUTRELEPONT H. & HUYSECOM E. (2003). *Données archéobotaniques et palynologiques préliminaires des dépôts holocènes du site d'Ounjougou (Mali).* Colloque Archéométrie 2003, Résumés, GMPCA, Bordeaux, p. 26.

BALLOUCHE A., KÜPPERS K., NEUMANN K. & WOTZKA H.-P. (1993). *Aspects de l'occupation humaine et de l'histoire de la végétation au cours de l'Holocène dans la région de la chaîne de Gobnangou, S.E. Burkina Faso*. Berichte des Sonderforschungs-bereichs 268, Frankfort / Main 1, pp. 13-31.

BALLOUCHE A., LE DREZEN Y. & NEUMANN K. (2004). *Paysages et végétation du plateau Dogon*. Article sur le site internet du Programme "Paléoenvironnement et peuplement en Afrique de l'Ouest" : http://archeo.unige.ch/ounjougou/

BALLOUCHE A. & MARINVAL P. (2003). *Données palynologiques et carpologiques sur la domestication des plantes et l'agriculture dans le néolithique ancien du Maroc septentrional. (Site de*

Kaf Taht el -Ghar). Revue d'archéométrie, n° 27, pp. 49-54.

BALLOUCHE A., MOGUEDET G., Ould BABA M.-L., ELGHADI A.-V. & BA. A. (2003). *Vers un concept de gestion intégrée de terroir d'une zone humide sahélienne, le cas de Mâl (Brakna, Mauritanie*). (Atelier national sur les zones humides, Nouakchott, Mars 2002), L.S.E.A (Univ. d'Angers), G.R.E.Z.O.H. (Univ. de Nouakchott), U.I.C.N.-Mauritanie Ed., prétirage : BALLOUCHE A., Géophen, U.C.B.N., Caen, 17 p.

BALLOUCHE A., MOGUEDET G., OULD BABA M.-L., OULD JIDDOU M., ELGHADI A.-V., TAÏBI N., LE DREZEN Y. & BA A. (2003). *L'eau au cœur d'un anthroposystème sahélien : les lacs d'Aleg et de Mâl (Brakna, Mauritanie).* Affiche pour le 14ème Festival International de Géographie (F.I.G.) à Saint-Dié-des-Vosges.

BALLOUCHE A. & NEUMANN K. (1995). *A new contribution to the Holocene vegetation history of the West African : pollen from Oursi, Burkina Faso and Charcoal from three sites in northeast Nigeria*. Vegetation History and Archaeobotany, n° 4, pp.31-39

BALLOUCHE A. & NEUMANN K. (1995). *La végétation du Sahel Burkinabé à l'Holocène : La Mare d'Oursi*. In LE THOMAS A. & ROCHE E. (Eds)., *2ème Symposium de Palynologie Africaine* (Tervuren, Belgique), Publ. Occas., C.I.F.E.G., Orléans, pp.19-25.

BALLOUCHE A., NEUMANN K. & LE DREZEN Y. (2005). *Les paléoenvironnements végétaux.* In HUYSECOM E. & al. (2005). *La septième campagne de terrain à Ounjougou (Mali) et ses apports au programme interdisciplinaire. Paléoenvironnement et peuplement humain en Afrique de l'Ouest.* Jahresbericht 2005/F.S.L.A., Fondation Suisse- Liechtenstein pour les recherches archéo-logiques à l'étranger, Zürich et Vaduz, 2 p.

BALLOUCHE A. & RASSE M. (2007). *L'homme, artisan des paysages de savane*, *Pour la Science* 358, août 2007, pp. 56-61

BANDRE E. (1996). *Anthropisation du couvert végétal dans la province de Namentenga et ses conséquences socio-économiques, cas de la région de Tougouri, en zone sub-sahélienne (Centre-Nord du Burkina Faso)*. Berichte des Sonderforschungsbereiches 268, Band 7, Frankfurt, pp. 17-31.

BARBIER D. (1999). *Histoire de la végétation du nord mayennais de la fin du Waeichsélien à l'aube du XXIème siècle. Mise en évidence d'un tardiglaciaire armoricain.* Interaction Homme Milieu. 2 vol. Groupe d'étude des milieux naturels. 436 p.

BARBIER D., BURNOUF J. & VISSET L. (2001). *Les diagrammes Société / Végétation : un outil de dialogue interdisciplinaire pour la compréhension des interactions Hommes / Milieux.* Quaternaire, A.F.E.Q., C.N.R.S., Vol. 12, n° 1-2, pp. 103-109.

BARICH B.-E. (1974). *La série stratigrafica dell'uadi Ti-n-Torha*. Origini 8, pp. 7-12

BARRY I. (1993). *Le royaume de Bandiagara (1864 – 1893), le pouvoir, le commerce et le Coran dans le Soudan Nigérien au XIXème siècle.* Thèse de Doctorat d'Histoire, E.H.E.S.S. Paris, 377 p.

BARRY J.-P. & CELLES J.-C. (1991). *Flore de Mauritanie*. Tome 1 et 2, République Islamique de Mauritanie, Institut supérieur de Nouakchott, Université de Nice Sophia-Antipolis, Nice, 550 p.

BATTEN D.-J. (1996). *Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation*. In : Jasonius J. & McGregor D.-C., Palynology : principles and applications. AASP, Vol.3, pp. 1011-1064

BATTEN D.-J., GRAY J. & HARLAND R. (1999). *Palaeoenvironmental significiance of a monospecific assemblage of dinoflagellate cysts from the Miocene Clarkia Beds, USA*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, vol. 153, pp. 161-177

BAUMER M. (1981). *Aménagement de l'environnement et lutte contre la désertification en Mauritanie*. Stratégie et proposition de projets, Nouakchott, 318 p.

BAUMER M. (1987). *Agroforesterie et désertification*. C.T.A., I.C.R.A.F., Wetteren, Belgique, 260 p.

BEAUDET G., COQUE R., MICHEL P. & ROGNON P. (1981). *Reliefs, cuirasses et évolutions géomorphologiques des régions orientales du Mali*. Z. Geomorph. N. F., suppl. Bd. 38, Berlin, Stuttgart, pp. 38-62

BEAUDOU A.-G. (1972). *Expression micromorphologique de la micro-agrégation et de l'illuviation dans certains horizons de sols ferrallitiques centrafricains et dans les sols hydromorphes associés.* Cahiers ORSTOM, série Pédol., vol. X, n° 4, pp. 357-371.

BEAUDOU A., CHATELIN Y., COLLINET J., MARIN D. & SALA G.-H. (1977). *Notes sur la micromorphologie de certains sols ferrallitiques jaunes de régions équatoriales d'Afrique.* Cahiers ORSTOM, série Pédol., vol. XV, n° 4, pp. 361-379.

BECKWITH C. & FISHER A. (1999). *Passages, rituels et cérémonies des peuples africains*. Ed. Martinière, Paris, 112 p.

BEDAUX R.-M.-A. & LANGE A.-G. (1983). *Tellem, reconnaissance archéologique d'une culture de l'Ouest africain au Moyen Age : la poterie*. Journ. De la Société des africanistes. Vol. 51, pp. 5-**59**

BEDAUX R.-M.-A. & VAN DER WALLS J.-D. (2003). *Regards sur les Dogon du Mali.* Leyde, Rijksmus, voor Volkenkunde, Gand, Snoeck, 124 p.

BEGUIN F. (1995). *Le paysage.* Collection Dominos, Editions Flammarion, Paris, 127 p.

BEHLING H., DEPATTA PILLAR V. & GIRARDI BAUERMANN S. (2005). *Late quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of Sao Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil).* Review of Paleobotany and Palynology, n° 133, pp. 235-248

BELAYEW D. (1992). *Du paysage à l'espace géographique : une formation au "savoir penser l'espace".* Bulletin de la Société Géographique de Liège, vol. 28, pp. 25-29

BENCHELAH A.-C. (2000). *Fleurs du Sahara, voyage ethnobotanique avec les Touaregs*. Ibis presses, Paris, 255 p.

BERGER A. & LOUTRE M.-F. (1991). *Insolation values for the climate of the last 10 million years.* In : Quaternary Science Reviews, Vol. 10, pp. 297-317

BERGER J.-F. (1995). *Facteurs anthropiques et naturels de l'évolution des paysages romains et protomédiévaux du Bassin valdainais (Drôme). L'homme et la dégradation de l'environnement*. Actes des XVème Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire, Antibes, 20-21-22 octobre 1994, éditions APDCA, pp. 79-114.

BERGER J.-F. (1996). *Le cadre paléo-géographique des occupations du Bassin Valdanais (Drôme) à l'Holocène.* Thèse de doctorat de Géographie, Université de Paris 1, 380 p.

BERGER J.-F., CHARTIER A., CHOUQUER G. & al. (1995). *La mise en valeur du Tricastin dans l'Antiquité gallo-romaine, d'après l'épigraphie et l'archéologie des paysages*, *in :* Favory, Van der Leeuw, *Understanding the Natural and Anthropogenic Causes of Soil Degradation and Desertification in the Mediterranean Basin,* Cambridge, pp. 199-296.

BERGER J.-F., FICHES J.-L. & GAZENBEEK M. (2003). *Origin of fluvial fluctuations of the river Vidourle and their effect on the organisation and evolution of the site of Ambrussum (Herault, France) between the Iron Age and Late Antiquity*. In : Fouache E. (Ed.). The Mediterranean World Environment and History. Proceedings of the International Conference on Environmental Dynamics and History in Mediterranean Areas. Paris, 24-26 April 2002. Elsevier, Paris, pp. 77-108

BERGER J.-F., FICHES J.-L. & GAZENBEEK M. (2004). *La gestion du risque fluvial à Ambrussum durant l'Antiquité par les riverains du Vidourle.* In : Burnouf J., Leveau P., Fleuves et marais, une histoire au croisement de la nature et de la culture. Comité des travaux Historiques et Scientifiques, Paris, pp. 419-435

BERGER J.-F. & JUNG C. (1996*). Fonction, évolution et taphonomie des parcellaires en moyenne vallée du Rhône. Un exemple intégré en archéomorphologie et en géoarchéologie*. In : G. Chouquer (sous la direction de), Les formes du paysages, 2, Archéologie des parcellaires, Paris, Errance, p. 95-112

BERGER J.-F., ODIOT T., BEECHING A., BROCHIER J.L., CHOUQUER G., MAGNIN F (1997). *Géoarchéologie du bassin valdainais (Drôme)*. Dynamique du paysage. Entretiens de géoarchéologie. Table ronde des 17 et 18 novembre 1995, Lyon, Documents d'Archéologie Rhône-Alpes, 15, pp. 103-128.

BERGER J.-F. & THIEBAULT S. (2002). *The study and significance of charcoal as an indicator of ancient fire: an application to the middle Rhone valley (France)*. In : Thiebault S., *Charcoal analysis*. BAR International series 1063. pp. 25-43

BEROUTCHACHVILI N. & BERTRAND G. (1978) *Le Géosystème ou "Système territorial naturel"*. - RGPSO. n° 49, pp. 167-178

BERTAUX J., SCHWARTZ D., VINCENS A., SIFEDINE A., ELENGA H., (2000). *Enregistrement de la phase sèche d'Afrique centrale vers 3000 ans BP par la spectrométrie IR dans les lacs Sinnda et Kitina (sud Congo)*. In : Servant M., Servant-Vildary S., Dynamiques des écosystèmes forestiers intertropicaux. Mémoire UNESCO, pp. 43-49

BERTRAND G. (1968). *Paysage et géographie physique globale.* Esquisse méthodologique. - Rev. géogr. Pyrénées et S.O., 39, 3, Toulouse, pp. 249-271.

BERTRAND G. (1978). *Le paysage entre nature et société*. Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, 49 (3), pp. 239-258.

BERTRAND C. & BERTRAND G. (1991). *La mémoire des terroirs. Pour une archéologie agraire.* Sous la direction de Guilaine J., Arlmand Colin, Paris, pp. 11-17

BERTRAND C. & BERTRAND G. (2000). *Le géosystème : un espace-temps anthropisé, esquisse d'une temporalité environnementale.* In : BARRUE-PASTOR M. & BERTRAND G., *Les temps de l'environnement,* Presses universitaires du Mirail, Toulouse, pp. 65-76.

BERTRAND C. & BERTRAND G. (2002). *Une géographie traversière : l'environnement à travers territoires et temporalités.* Ed. Arguments, 2002, 311 p.

BIRD M. (1987). *Fire in the earth sciences*. Episodes, Vol. 20, n°4, pp. 223-226

BIRD M.-I. & CALI J.-A. (1998). *A million year history of fire in sub-saharan Africa.* Nature, n° 394, pp. 767-769.

BIRD M.-I. & CALI J.-A. (2002). *A revised high-resolution oxygen-isotope chronology for ODP-668B : implications for Quaternary biomass burning in Africa.* Global and Planetary Change, n° 33, pp. 73-76.

BIRD M.-I., TAYLOR D. & HUNT D. (2005). *Palaeoenvironments of insular Southeast Asia duringthe Last Glacial Period: a savanna corridor in Sundaland* ? Quaternary Science Reviews 24, pp. 2228-2242.

BIRKS H.-J.-B. (2003). *Quantitative Palaeoenvironmental reconstructions from Holocene Biological Data*. In : MACKAY A., BATTARBEE R., BIRKS J. & GOLDBERG F. *Global change in the Holocene.* Arnold, London, pp. 107-123

BIRNBAUM P. (2002). *Biodiversité et Phytogéographie : Le cas des formations ligneuses du Mali.* Conférence de l'Institut Polytechnique Rural (I.P.R.) de Katibougou, p. 46.

BIROT P. (1974). Géographie physique générale de la zone intertropicale (à l'exclusion des régions arides et semi-arides). Centre de documentation universitaire, Les cours de la Sorbonne, Paris, 280 p.

BJÖRN E.-B. (2003). Human impact and climate changes - syncronous events and a causal link ? Review of Quaternary International, n° 105, pp. 7-12.

BLANC-PAMARD C. (2005). *Jeux d'échelles, territoires de recherche. Exemples africains et malgaches.* Cybergéo : Revue européenne de géographie, n° 301, 02 février 2005.

BLANCK J.-P. (1968). *Notice des cartes géomorphologiques de la vallée du Niger entre Tombouctou et Labbezanga (république du Mali).* Paris. 68 p

BOISSINOT P. & BROCHIER J.-E. (1997*). Pour une archéologie du champ*. In : Chouquer G., les formes du Paysage, Tome 3, Paris, Errance, pp. 35-56

BOLLIGER J. & LISCHKE H. (2005). *Simulating the spatial and temporal dynamics of landscapes using generic and complex models.* Ecological Complexity 2. pp. 107–116.

BONFIGLIOLI A.-M. (1990). *Pastoralisme, agro-pastoralisme et retour : itinéraire sahélien.* Cahiers des Sciences Humaines. Vol. 26, n° 1-2, pp. 255-266.

BONNEFILLE R. (1993). *Afrique : paléoclimats et déforestation*. Revue Sécheresse, n° 4, vol. 4, pp. 221-233.

BONNEFILLE R. & CHALIE F. (2000). *Pollen-inferred precipitation time-series from equatorial mountains, Africa, the last 40 kyr BP.* Global and Planetary Change. Vol. 26, pp. 25-50.

BONNEFILLE R. & RIOLLET G. (1980). *Pollens des savanes d'Afrique orientale*. Editions du C.N.R.S., Paris, 253 p.

BONVALLOT J. & SCHWARTZ D. (2002). *Histoire récente des forêts humides de l'Afrique Centrale : de l'Holocène moyen à l'actuel, perspectives pour l'avenir.* Historiens et Géographes, n° 381, pp. 365-379.

BOOM A., MARCHANT R., HOOGHMIESTRA H. & SINNINGHE DAMSTE J.-S. (2002). *Co2- and temperature- contreolled altitudinal shifts of C4- and C3- dominated grasslands allow recontruction of palaeoatmospheric pCO2.* Review of Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeo-ecology, n° 177, pp. 151-168.

BORNAND M. (1987). *Transformations d'un cailloutis au cours du Quaternaire. Génèse des palésols associés*. In : FEDOROFF N., BRESSON L.-M. & COURTY M.-A. *Micromorphologie des sols.* Réunion internationale de micromorphologie des sols, Paris, pp. 569-589

BOUDET G. (1990). *Peut-on améliorer la gestion de parcours sahéliens ?* Revue Sécheresse, n° 1, vol. 1, pp. 55-60.

BOUDET G. (1991). *Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères*. Maisons Alfort, I.E.M.U.T., Min. Coop., Paris, 266 p.

BOUJU J. (1984). *Graine de l'homme, enfant du mil*. Société d'ethnographie, Coll. Sociétés Africaines, vol. 6, 253 p.

BOUJU J. (1995). *Tradition et identité. La tradition dogon entre traditionalisme rural et néo-traditionalisme urbain.* Enquête, 2, pp. 95-117.

BOUJU J. (1995). *Qu'est-ce que l'ethnie" dogon ?* In FAY C. (Eds), Identités et appartenances dans les sociétés sahéliennes. Cahiers des sciences humaines (Paris) 31 (2), pp. 329-363.

BOUJU J. (1999). *Tutelle clientéliste, despotisme et Patrimonialisme : quelques figures de la chefferie dans les traditions orales dogons*. Clio en Afrique, n° 5, Internet, 18 p.

BOUJU J. (2005). *Les dogons, le pouvoir et la chefferie. Analyses à partir de quelques traditions.* Aides et actions, centre documentaire. Université de Provence, 117 p.

BOULVERT Y. (1990). *Avancée ou recul de la forêt centrafricaine, changements climatiques, influence de l'homme et notamment des feux.* In LANFRANCHI R. & SCHWARTZ D. *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique.* Editions O.R.S.T.O.M., Paris, pp. 353 – 366.

BOURCART J. (1949). *Aide-mémoire de Géologie*, Editions Eyrolles, Collection Géographie, 108p.

BOURDIER F. (1958), *Le bassin du Rhône au quaternaire : géologie et préhistoire*. Faculté des Sciences. Université de Paris, Paris, p. Tome 1: 364 - Tome 2: 294.

BOUSSARD F. (2001). *L'intégration des éleveurs dans la gestion d'un terroir villageois sahélien (le cas de Mâl, Brakna, Mauritanie)*. Mémoire de maîtrise de géographie, Université d'Angers, 103 p.

BRACANNOT P., JOUSSAUME S., DE NOBLET N. & RAMSTEIN G. (2000). *Mid-Holocene and Last Glacial Maximum African monsoon changes as simulated within the Paleoclimate Modelling Intercomparison Project.* Global and Planetary Change. Vol. 26, pp. 56-61.

BRADLEY R.-S. (2003). Climate forcing during the Holocene. In MACKAY A., BATTARBEE R., BIRKS J. & GOLDBERG F. *Global change in the Holocene.* Arnold, London, pp. 10-20

BRAUER A., ENDRES C., GÜNTER C, LITT T. & NEGENDANK J.-F.-W. (1999). *High resolution sediment and vegetation responses to Younger Dryas climate change in varved lake sediments from Meerfelder Maar, Germany.* Quaternary Science Reviews, 18, pp. 321-329.

BRAVARD J.-P. (1983). *Les sédiments fins des plaines d'inondation dans la vallée du Haut-Rhône (approche quantitative et spatiale).* Revue de Géographie alpine, LXXI, 4 ; pp. 363-379

BRAVARD J.-P. (1997). *Géoarchéologie des vallées fluviales de Rhône-Alpes depuis le Tardiglaciaire.* Coll. Dynamique du paysage, et Entretiens de Géoarchéologie, Lyon, les 17 et 18 nov. 1995, DARA : 129-150.

BRAVARD J.-P., LEFORT I. & PELLETIER P. (2004). *Epistémologie de l'interface nature / société en géographie.* Workshop, 2004, Université de Lyon 2, 6 p.

BRAVARD J.-P. & MAGNY M. (2002). *Les fleuves ont une histoire : paléoenvironnement des rivières et des lacs français depuis 15000 ans*. ED. Errance, Coll. Archéologie aujourd'hui, 312 p.

BRAVARD J.-P. & PETIT F. (2000). *Les cours d'eau : dynamique du système fluvial*. Armand Colin , Paris, 222 p.

BRAVARD J.-P. & PRESTREAU M. (1997). *Dynamique du paysage. Entretiens de géoarchéologie.* Table ronde des 17 et 18 novembre 1995, Lyon, Documents d'Archéologie Rhône-Alpes, 15, p. 282.

BREUNIG P. (2007). *Premières sociétés structurées.* In : Pour la science, août 2007, n°358, pp. 50-55

BREUNIG P. & NEUMANN K. (2002). *Continuity or discontinuity ? The 1st Millenium BC - Crisis in West African Prehistory.* In : LENSSEN-ERTZ T. & al., *Tides of the Desert-Gezeiten der Wüste. Contributions to the Archaeology and Environmental History of Africa in Honour of Rudolph Kuper.* Africa Praehistorica, 14.

BREUNIG P., NEUMANN K. & VAN NEER W. (1996). New Research on the Holocene Settlement and Environment of the Chad Basin in Nigeria. *The African Archaeological Review*, Vol 13, No. 2, pp.111-145

BREUNIG P. & NEUMANN K. (2003). *From hunters and gatherers to food producers : new archaeological and archaebotanical evidence from the west african sahel.* In FEKRI A.-H., *Droughts, food and culture. Ecological change and food security in Africa's Later Prehistory*. Kluwer academic, Plenum Publishers, London, pp. 123-155.

BREUNIG P. & NEUMANN K. (2002). *From hunters and gatherers to food producers: new archaeological and archaeobotanical evidence from the West African Sahel*. In HASSAN F. (eds): Ecological Change and Food Security in Africa's Later Prehistory: 123-155. New York (Kluwer Academic / Plenum Publishers). Köln, pp. 491-505.

BREWER R. (1967). *Fabric an mineral analysis of soils.* Traduit par BREWER P., Cahiers O.R.S.T.O.M., Dakar, 116 p.

BROECHER W.-S. (2001). *Was ist Medieval Warm Period Global ?* Science. Vol. 291. pp. 1497-1499

BROOKS N. (2006). *Cultural responses to aridity in the middle Holocene an increased social complexity*. Quaternary international. Vol. 151, pp. 29-49

BROWN A.G. (1997). *Alluvial geoarchaeology. Floodplain archaeology and environmental change.* Cambridge Manuals in Archaeology, Cambridge University Press, 377 p.

BROWN S.-L., BIERMAN P.-R., LINI A. & SOUTHON J. (2000). *10 000 yr record of extreme hydrologic events.* Geology, vol. 28 ; n° 4 ; pp. 335-338.

BRUNEL S. (2004). *L'Afrique, un continent en réserve de développement*. Édition Bréal, Paris, 235 p.

BRUNET R. (1992). *Les mots de la géographie, Dictionnaire critique.* La Documentation française,

Collection Dynamique du territoire, Editions Reclus, Paris, 520 p.

BRUNETON H. (1999). *Evolution holocène d'un hydrosystème nord méditerranéen et de son environnement géomorphologique. Les plaines d'Arles à l'interface entre le massif des Alpilles et le Rhône.* Thèse de géographie physique. CEREGE, Univ. De Provence, 366 p.

BRUNNER-ROBION C., PERRET S., SERNEELS V., DEMBELE A. & HUYSECOM E. (2006). *A thousand years of iron metallurgy on the Dogon shield (Mali)*. Proceedings of the 18th Biennial Meeting of the Society of Africanist Archaeologists, University Calgary, June 22-26, epublication, http://cohesion.rice.edu/centerstandinst/safa/news.cfm?doc_id=9495

BRYSON R.-A. & BRYSON R.-U. (2000). *Site-specific high resolution models of the monsoon for Africa and Asia.* Global and Planetary Change. Vol. 26, pp. 77-84.

BUCINI G. & LAMBIN E.-F. (2002). *Fire impacts on vegetation in Central Africa : a remote-sensing-based statstical analysis.* Applied Geography, n° 22, pp. 27-48.

BUCHARD I. (1998). *Anthropgenic impact on the climate since man began to hunt.* In : Review of Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, n° 139, pp. 1-14.

BULLOCK P., FEDOROFF N., JONGERIUS A., STOOPS G., TURSINA T. & BABEL U. (1985). *Handbook for soil thin section description.* Waine Research Publications, Wolverhampton, 152 p.

BUREL F. & BAUDRY J. (1999). *Ecologie du Paysage : concepts, méthodes et application*. Paris, 362 p.

BURKIHL H.-M. (1985-2000). *The useful plants of west Tropica*l. Vol. 1-5, Royal Botanic Garden, 378 p.

BURNOUF J., BRAVARD J.-P. & CHOUQUER G. (1997). *La dynamique des paysages protohistoriques, antiques, médiévaux et modernes*.Actes des XVIIème Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire, Antibes les 19-20-21 octobre 1996, éd. APDCA, Juans-les-Pins : 624.

BUSH H. (2003). *Holocene climates of the Lowland tropical forest.* In : MACKAY A., BATTARBEE R., BIRKS J. & GOLDBERG F. *Global change in the Holocene.* Arnold, London, pp. 384-395

BUTZER K.-W. (1976). *Geomorphology from Earth*. Harper and Row, New-York.

BUTZER K.-W. (1982). *Archaeology as human ecology*. Cambridge Univ. Press, New-York.

C.

CALAME-GRIAULE G. (1980). *L'arbre et l'imaginaire.* Cah. O.R.S.T.O.M., série science humaine. vol. XVII, N° 3-4, pp. 315-320.

CALLOT Y. (1987). *Geomorphologie et paléoenvironnements de l'Atlas saharien au grand erg occidental*. Université de Paris. 538 p.

CAMBON G. (1991). *Palynosciences*. Publication de l'association des palynologues de langue française, 11ème symposium (Orléans, 1989) sur le thème "Palynologie et matière organique", Montpellier, vol. 1., pp. 187-198.

CAMBON G., RICHARD P. & SUC J.-P. (1987). *Palynologie et milieux tropicaux*. Mémoire, institut de Montpellier, 378 p.

CAMILL P. & al. (2003). *Late-glacial and Holocene climatic effects on fire and vegetation dynamics at the prairie-forest ecotone in south-central Minnesota.* Journal of Ecology, n° 91, 15 p.

CAMMAS C. & WATTEZ J. (1999). *L'approche micromorphologique : méthode et applications aux stratigraphies archéologiques.* In BRAVARD J.P & al *La géologie, les sciences de la terre*. Coll. "Archéologiques", Editions Errance, Paris, pp. 139-153.

CAMPS G. (1969). *Amekni : Néolithique ancien du Hoggar.* Paris, Arts et métiers graphiques

CAMPY M. & MACAIRE J.-J. (2003*). Géologie de la surface : érosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux.* Ed. Dunod, Paris, 440 p.

CARATINI C., BELLET J. & TISSOT C. (1983). *Les palynofaciès : représentation graphique, intérêt de leur étude pour les reconstitutions paléogéographiques.* Géochimie organique des sédiments marins d'Orgon à Misedor. Editions du C.N.R.S., C.E.P.M., C.N.E.X.O., Comité d'études Géochimiques Marines, Paris, pp. 327-352**.**

CARATINI C. & GUINET P. (1974). *Pollen et spores d'Afrique tropicale, travaux et documents de géographie tropicale.* Association des palynologues de la langue française, C.E.G.E.T., C.N.R.S., Bordeaux, 282 p.

CARCAILLET C. & RICHARD P.-J.-H. (2000). *Holocene changes in seasonal precipitation high lighted by fire incidence in eastern Canada..* Climate Dynamics, vol. 16, n° 7, pp. 549-559.

CARCAILLET C. & VANNIERE B. (1995). *Les incendies de végétation : une très vieille histoire naturelle et humaine.* Ecologie de l'Euzière, pp. 41-49.

CARBONEL P. (1988). *Le polymorphisme des Cyprideis, reflet des variations du climat au Sahara Central, au cours de l'Holocène (Bassin de Taoudenni)*. In PETIT-MAIRE N. & GOMIS A. *Déserts, évolution passée et future*. Rapports scientifiques, p. 22.

CASANOVA J., LEZINE A.-M. & HILLAIRE-MARCELL C. (1988). *L'épisode humide ancien dans le Sahara occidental : données polliniques et isotopiques*. In PETIT-MAIRE N. & GOMIS A. *Déserts, évolution passée et future*. Rapports scientifiques, p. 24.

CAZES M.-H. (1993). *Les Dogons de Boni, approche démographique - génétique d'un isolat du mali.* Travaux et documents, Cahiers n° 132, P.U.F., I.N.E.D., Paris, 303 p.

CESAR J. (1990). *Etudes de la production biologique des savanes de la Côte d'Ivoire et son utilisation par l'homme.* Thèse, Université de Paris, 617 p.

CEUTA A., IMESON A.-C. & CALVO A. (1995). Fire and aspect induced differences on the erodibility and hydrology of soils at la costera, Valencia. Catena, pp. 289-304

CHABAL L. (1997). *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive).* L'anthracologie, méthode et paléoécolologie. Editions Maison des Sciences de l'Homme, DAF 63, 192 p.

CHATEAUNEUF J.-J., FARJANEL G., LAGGOUN-DEFARGE F., ROCHE E., BIKWEMU G. & NTAGANDA C. (1991). *Environnements de dépôt et sédimentation organique comparés de quelques tourbes africaines*. In SUC J.-P., TURON J.-L. CAMBON G., *Palynosciences*. Publication de l'association des palynologues de langue française, 11ème symposium (Orléans, 1989), thème : "Palynologie et matière organique", Montpellier, Volume 1, pp. 19-40.

CHOUQUER G. (2002). *Patrimoine et paysages culturels*. Actes du colloque international de Saint-Émilion (30 mai-1er juin 2001). Éditions Confluences, Renaissance des cités d'Europe, octobre 2001, 354 p. (« Des lieux et des liens »)., *Études rurales,* 163-164 - Terre, territoire, appartenances, http://etudesrurales.revues.org/document134.html

CHRISTOL A. (2004). *Etude des formes et des formations Holocènes du site d'Ounjougou et de la vallée du Yamé (plateau de Bandiagara, Mali).* Mémoire de maîtrise, Université de Rouen, L.E.D.R.A., 99 p.

CISSE B. (1996). *Les relations villes - campagnes autour de Bandiagara.* Mémoire de fin d'étude, E.N.S. Bamako, 55 p.

CISSOKO S.-M. (1968). *Famines et épidémies à Tombouctou* et dans la Boucle du Niger du 16ème au 18ème siècle. Bull. Inst. Fr. AF; Noire., Vol. 30. pp. 806-821

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Unité associée n° 722 (1981). *Paléoclimats et paléoenvironnements*. Rapports d'activités 1978 - 1980, programme pour 1981 - 1984, Université Pierre et Marie Curie, CNRS, Paris, p. 34.

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Unité associée n° 722 (1983). *Paléoclimats et paléoenvironnements*. Rapports d'activités 1980 - 1982, programme pour 1983 - 1984, Université Pierre et Marie Curie, CNRS, Paris, p. 36.

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Unité associée n° 722 (1985). *Paléoclimats et paléoenvironnements*. Rapports d'activités 1982 - 1984, programme pour 1985 - 1988, Université Pierre et Marie Curie, CNRS, Paris, p. 68.

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Unité associée n° 722 (1987). *Paléoclimats et paléoenvironnements*. Rapports d'activités 1984 - 1986, programme pour 1987 - 1988, Université Pierre et Marie Curie, CNRS, Paris, p. 64.

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Unité associée n° 722 (1988). *Paléoclimats et paléoenvironnements*. Rapports d'activités 1984 - 1987, programme pour 1987 - 1988, Université Pierre et Marie Curie, CNRS, Paris, p. 92

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Unité associée n° 722 (1989). *Paléoclimats et paléoenvironnements*. Rapports d'activités 1984 - 1988. Programme pour 1989 - 1992, Université Pierre et Marie Curie, CNRS, Paris, p. 70

CHEVALIER C. (1978). *Archéologie du paysage*, actes du colloque de Paris, ENS. Caesarodunum, 2 tomes

CLARCK R.-L. (1982). *Point count estimation of charcoal in pollen preparation and thin sections of sediments.* Pollen & spores 24. pp. 523-535

CLARK J.-S. (1990). *Fire and climate change during the last 750 yr in northwestern Minnesota*. Ecological monographs, vol. 60, pp. 135-159

CLARK J.-S. & HUSSEY T.-C. (1996). *Estimating the mass flux of charcoal from sedimentary records : effects of particle size morphology and orientation*. The Holocene, vol. 6, n°2, pp. 129-145

CLARK J.-S., LYNCH J., STOCKS B.-J. & GOLDAMMER J.-G. (1998). *Relationships between charcoal particles in air and sediments in west-central Siberia.* The Holocene, 8, pp. 19-29.

CLARK J.S. & ROYALL P. D. (1995). P*article size evidence for source areas of charcoal accumulation in late Holocene sediments of eastern north*

american lakes. Quaternary Research, n° 43, pp. 80-89.

CLAUDE J., GROUZIS M. & MILLEVILLE P. (1991). *Un espace sahélien, la mare d'Oursi, Burkina Faso*. O.R.S.T.O.M., Gap, 241 p.

CLAUSSEN M., **BROVKIN V., GANOPOLSKI A., KUBATZKI C. & PETOUKHOV V.** (2003). *Climate change in Northern Africa. The past is not the future*. Climatic change. Vol. 57, pp. 99-118

CLOSE A.-E. (1995). *Few and far between : early ceramics in North Africa.* In : Barnett W.-K. & HOOPES J.-W. *The emergence of pottery. Technology and innovation in ancient societies*. Smithsonian Institution Press, London, pp. 23-38

COETZEE J.-A. (1987). *Palynological intimations on the east african mountains.* Palaeoecology of Africa and the surrounding islands. Vol. 18., pp. 231-244.

COLARDELLE M. (1996). *L'Homme et la Nature au Moyen-Age,* Actes du Vème Congrès International d'archéologie médiévale, Grenoble, éd. Errance, Paris, 259 p.

COLE J.-E. (2003). *Holocene coral records : windows on tropical climate variability*. In : Mackay A., Batarbee R., Birks J. & Goldberg F. (2003). *Global change in the Holocene.* Arnold, London, pp. 168-184

COLYN M. (1999). *Initiation à la biogéographie, un nouveau statut biogéographique pour l'Afrique centrale.* Canopée, n° 14, 5p.

COMBAZ A. (1964). *Les palynofacies.* Rev. Micropaléant., vol. 7, pp. 205-218

COPPOLANI X. (1999). *Mauritanie saharienne (novembre 1903 à mai 1904).* L'Harmattan, Paris, 188 p.

COQUEL R., LANG J. & YAHAYA M. (1989). *Palynologie du Carbonifère du Nord Niger et de la plate-forme saharienne - implications stratigraphiques et paléogéographiques*. Paleobotany & Palynology, n° 85, pp. 319-334.

COSANDEY C. & ROBINSON M. (2000). *Hydrologie continentale.* Editions Armand Colin, Collection U, Paris, 359 p.

COSANDEY C. (2003). *Les eaux courantes. Géographie et environnement.* Editions Belin Sup., Paris, 239 p.

COUDE-GAUSSEN G. (1991). *Les poussières sahariennes, cycle sédimentaire et place dans les environnements et paléoenvironnements désertiques*. J. Libbey Eurotext, Paris, 485 p.

COUREL M.-F. (1984). *Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites*. Thèse de doctorat es-Lettres et sciences humaines. Université de Paris I, 407 p.

COURTY M.-A. (1988). *Archéologie et sediments*. Les nouvelles de l'archéologie, n°31, Ed. Errance, pp. 9-14

COURTY M.-A., DHIR P. & RAGHAVEN H. (1987). *Microfabrics of calcium carbonate accumulations in arid soils of western india*. In : FEDOROFF N., BRESSON L.-M. & COURTY M.-A. *Micromorphologie des sols.* Réunion internationale de micromorphologie des sols, Paris, pp. 227-234

COURTY M.-A., GOLDBERG P. & MACPHAIL R. (1989). *Soils and micromorphology in archaeology.* Cambridge University Press, 344 p.

COUSSOT C., FOUACHE E., PAVLOPOULOS K. & JOVANOVSKI M. (2007). *Early Holocene environment in a subsiding balkanic graben (Skopje, F.Y.T.O.M.): the case of Tumba Madzhari (5 800-5 500 BC). Geodinmica Acta, Vol. 20/4. pp. 267-274*

COUTARD S. (1999). *Étude de l'environnement géologique des sites archéologiques holocènes d'Ounjougou, pays dogon, Mali.* Mémoire de DEA, Université Paris-Grignon, Laboratoire de sciences du sol de l'INA P-G, 52 p.

COUTY P. (1990). *25 ans de recherches sur les agriculteurs africains.* Cahiers O.R.S.T.O.M., Série sciences humaines, 1963-1987, vol. 26, n° 3, pp. 343-363.

D.

D'ANDRIA F., FIORENTINO G. & MAGRI D. (2004). *Charcoals from the past, cultural and paleoenvironmental implications, Abstracts*. II internatioal meeting of Anthracology, convento dei Domenicani, Cavallino-Lecce, Italy (28 juin au 1er juillet 2004), pp. 1-60.

D'ANDREA A.-C. & CASEY J. (2002*). Pearl millet and Kintampo Subsistence.* African Archaeological Review. N°19, pp. 147-173

DAGET P. & GASTON A. (1999). *Flotrop : constitution d'une base de données sur les pâturages d'Afrique tropicale septentrionale*. Revue Sécheresse, n° 3, Vol. 10, pp.183-191.

DAGET P. & GASTON A. (1999). *La mémoire des pâturages africains*. Sécheresse, n° 3, Vol. 10, pp. 171-183.

DAKOURE D. (1999). *Composition isotopique des précipitations à Bobo-Dioulasso et relation avec les eaux souterraines des différentes unités des formations sédimentaires et du socle du sud-ouest du Burkina Faso.* Mémoire DEA Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie. Université Pierre et Marie Curie, Université Paris-

Sud, Ecole des Mines de Paris & Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts. Paris. 54 p.

DAUGAS J-P. (1995). *Dynamique du paysage. Entretiens de géoarchéologie.* Actes de la Table ronde des 17 et 18 novembre 1995, Lyon, Documents d'Archéologie Rhône-Alpes, 15, 8 p.

DAUGAS J-P., EVIN M-M., PAQUEREAU J.-P., RAYNAL L. & TIXIER L. (1978). Eléments de datation pour la basse vallée de l'Allier, à Joze (Puy-de-Dôme). Nouv. Arch. Muséum Hist. Nat., Lyon, 16, pp. 59-61.

DAUGAS J-P., RAYNAL J-P. & TIXIER L. (1982). *Variations du milieu physique et occupation du sol au second âge du Fer en Grande Limagne d'Auvergne.* Le deuxième âge du Fer en Auvergne et en Forez et ses relations avec les régions voisines, Université de Sheffield, CEF, pp. 10-20.

DAUGAS J-P. & TIXIER L. (1977). *Variations paléoclimatiques de la Limagne d'Auvergne.* Approche écologique de l'homme-fossile, sous la direction de H. Laville et J. Renault-Miskovsky, INQUA, supplément AFEQ, pp. 203-235.

DAVEAU S. (1959). *Recherches morphologiques sur la région de Bandiagara*. Mémoire de l'Institut Français d'Afrique Noire, n°56, I.F.A.N.-Dakar, Dakar, 120 p.

DAVEAU S. & RIBEIRO O. (1973). *La zone intertropicale humide*. Coll. U., Armand Colin, Paris, 276 p.

DAVIDSON D.-A. (1976). *Processes of tell formation and erosion.* In : Davidson D.-A. & Schalkey M.-L., Geoarcheology earth Science and the past. Duckworth, London, pp. 255-265

DAVIE T. (2002). *Fundamentals of hydrology.* Coll. Routledge fundamentals of physical geography. Taylor & Francis Group. London. 170 p.

DAVIS R.-B. (1907). *Pollen studies on near surface sediments in Maine Lakes*. In : Cushing E.-J. & Wright H.-E., Quaternary Palaeocology, New Haven, Yale University Press, pp. 143-174

DEAN J.-M., KEM A.-E.-S. & PEARCE R.-B. (2001). *Paleoflux records from electron microscope studies of Holocene laminated sediments.* Saanich Inlet, British Columbia, Marine Geology, Vol. 174, pp. 139-158

DEBARBIEUX B. (2002). *Figures géographqiues et prospective. Les cartes, schémas et modèles au service du projet et la prospective territoriale*. Les Territirotialités qui se dessinent. Ed. l'Aube, Datar, pp. 191-206

DE BLIC P. (1967). *Etude micromorphologique et minéralogique des sols.* Traduction de BREWER R., *Fabric and mineral analysis of soils*. Office de la recherche scientifique et technique Outre-Mer, centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, 126 p.

DeGEER G. (1912). *A geochronology of the last 12000 years.* Compte rendu XI session du congrès géologique international, Stockholm, 1910, pp. 241-257

DE VRIERS E., MAKASKE B., TAINTER J.-A. & McINTOSH R.-J. (2005). *Geomorphology and human palaeocology of the Méma, Mali.* Alterra Report 1244, Wageiningen, 118 p.

DELNEUF M., OTTO T. & THINON M (2003). *Occupations humaines anciennes et dynamiques forestières*. In : Froment A. & Guffroy J., Peuplements anciens et actuels des forêts tropicales. Editions IRD, pp. 77-88

DELVIGNE J.-E. (1998). *Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering.* The canadian mineralogist, special publication 3, Cahiers O.R.S.T.O.M., Ottawa, 495 p.

DEMANGEOT J. (1999). *Tropicalité, Géographie physique intertropicale.* Editions Armand Colin, Collection U, Paris, 340 p.

DEMENOCAL, ORTIZ J., GUIDERSON T., ADKINS J., SARNTHEIN M., BAKER L. & YARUNSKY M. (2000). *Abrupt onset and termination of the African humid period : rapide climate response to gradual insolation forcing*, *Quaternary Science Reviews* 19, pp. 347-361.

DEVILLERS B. (2005). *Morphogenèse et anthropisation holocènes d'un bassin versant semi aride : le Giollas, Chypre*. Thèse, Univ. Aix Marseille 1, Vol 1 & 2, 418 p.

D'HERBES J.-M. (1997). *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*. CASTOM, C.I.R.A.D., Paris, 210 p.

DIAWARA M. (1997). *"Dieu d'eau", eau du barrage. Les populations du Plateau Dogon face aux contraintes: pluviométrie, terre et démographie.* Africa: Journal of the International African Institute, Vol. 67, No. 4., pp. 602-624.

DIETERLEN G. (1941). *Les âmes des Dogon*. Paris Inst. Ethnologie. 268 p.

DIETERLEN G. (1956). *Parenté et Mariage Chez les Dogon (Soudan Français). Africa: Journal of the International African Institute*, Vol. 26, No. 2., pp. 107-148.

DI MEO G. (1991). *L'homme, la société, l'espace.* Editions Anthropos, Paris, 320 p.

DI MEO G. (1998). *Le territoire : un concept essentiel de la géographie sociale.* In HERIN R. & al., *Espaces et Sociétés à la fin du XX^{ème} siècle, quelle géographie sociale ?* Les documents de la M.R.S.H.

de Caen, n° 7, Colloque de géographie sociale (oct. 1996), Caen, pp. 49-63.

DIOT M.-F. (1992). *Les micro charbons, éléments du palynofaciès.* Bull. Soc. Bot. Fr., 139, Actual Bot. (2/3/4), pp. 265-272.

DIOP M., NIANG A., KAYA B. & OLIVIER A. (2006). *Arbres et terroirs au Mali. Des liens entre la prospérité des villageois et la biodiversité des parcs agroforestiers* ?. In : Agroforesterie Sahel. Université Laval. Centre international de recherche en agroforesterie (ICRAF). n° 5. pp. 1-8.

D.N.C.N. & Ministère de l'Environnement du mali. (1992). *Etudes des filières d'approvisionnement des cinq principales villes du mali en produits forestiers. Synthèse.* Tome 1, 92p.

D.N.C.N. & Ministère de l'Environnement du mali. (2002). *Rapport annuel 2002 : Exploitation forestière à Mopti.* 85 p.

DOLO O.-S. (2002). *La mère des masques, un dogon raconte.* Paris, 320 p.

DOLIDON H. (2001). *Les paysages tropicaux d'Afrique de l'Ouest : observations à partir des feux de brousse*. Mémoire de D.E.A., Université de Bordeaux III, Bordeaux, 102 p.

DOLIDON H. (2003). *Le suivi spatio-temporel des feux de brousse, un outil révélateur de l'état du couvert végétal en Afrique de l'Ouest.* In : DAVID G., Espaces tropicaux et risques du local au global. Actes des Xè Journées de Géographie Tropicale. I.R.D. Presses Universitaires Orléans, Orléans, pp. 409-418.

DOLIDON H. (2003). *La multiplicité des échelles dans l'analyse d'un phénomène d'interface nature/société. L'exemple des feux de brousse en Afrique de l'ouest.* Cybergeo : Revue européenne de géographie, n° 363. http://www.cybergeo.eu/index4805.html

DOLIDON H. (2005). *L'espace des feux en Afrique de l'Ouest. L'analyse spatio-temporelle d'un phénomène d'interface Nature/ Société.* Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Caen BN, 414 p.

DOLIDON H. & LE DREZEN Y. (2005). *Les feux de brousse en Afrique intertropicale : un processus d'interface Nature – Société. Exemples comparatifs à partir de l'actuel et du passé.* Séminaire d'axe 1 de l'U.M.R. 6554.

DOMMERGUES Y., DUHOUX E., DIEM H.G, (1998). *Les arbres fixateurs d'azote*. Rapport C.I.R.A.D., F.A.O., I.R.D., Paris, 500 p.

DOUMBO A. (1987). *Les conséquences de la sécheresse de 1973 à 1985 au pays Dogon.* Mémoire de fin d'étude. E.N.SUP., Bamako, 142 p.

DRESCH J. (1967). *Géographie et sous développement,* Annales de Géographie, 418, nov-déc.

DRESCH J. (1982). *Géographie des régions arides*. Editions P.U.F., Paris, 277 p.

DUBRESSON A. & RAISON J.-P. (1998). *L'Afrique subsaharienne, une géographie du changement.* Editions Armand Colin, Paris, 248 p.

DUFFIN K.-I., GILLSON L. & WILLIS K.-J. (2008). *Testing the sensitivity of charcoal as an indicator of fire events in savanna environments: quantitative predictions of fire proximity, area and intensity.* In : The Holocene, Vol. 18,2. pp. 279-291

DUFRAISSE A. (2005). *Economie du bois de feu et sociétés néolithiques : analyses anthracologiques appliquées aux sites d'ambiance humide des lacs de Chalain et de Clairveaux (Jura, France*). Gallia Préhistoire, Archéologie de France. C.N.R.S. Editions. Tome 47, pp. 187-235.

DUPONT L.-M. & HOOGHMIESTRA M. (1989). *The saharan-sahelian boundary during the Brunhes* Chron. Acta. Bot. Neerl., Vol. 38, pp. 405-415

DUPONT L.-M., JAHNS S., MARRET F. & NING S. (2000). *Vegetation change in equatorial West Africa : time-slices for the last 150 ka*. PALAEO, n° 155, pp. 95 – 122.

DUPUY B. (2002). *Impacts des incendies en forêt dense humide ivoirienne.* Revue Forêts et feu, n° 6, pp. 1-12.

DURAND J.-M. (1988). *Arrêter le désert*. Techniques vivantes, P.U.F., Paris, 420 p.

DUVALL C.-S. (2003). *Symbols, not data : rare trees and vegetation history in Mali.* Review of the Geographical Journal, Vol. 169, n°4, pp. 295-312.

DWYER E., GRÉGOIRE J.-M. & MALINGRAU J.-P. (2002). *Emploi d'une série mondiale de données obtenues par télédétection pour le suivi des incendies en tant qu'indicateur du maintien de la couverture des sols et de l'évolution des écosystèmes forestiers et de savane en zone tropicale.* Revue Forêts et feux, n° 6, p. 214.

E.

EHRLICH D., LAMBIN E.-F. & MALINGREAU J.-P. (1997). *Biomass Burning and Broad-Scale Land –Cover Changes in Western Africa.* Remote sensing Environnment., n° 61, pp. 201-209.

EICHHORN B. (2002). *Anthracologische Untersuchungen Vegetationsgeschichte des Kaokolandes, Norwest-Namibia*. Thesis, Köln, 368 p.

EICHHORN B. & LE DREZEN Y. (2006). *Les paléoenvironnements végétaux à Ounjougou au cours de l'Holocène. Méthodologie et résultats préliminaires.* In : Etudes Maliennes 65, p. 153-166.

EICHHORN B. & NEUMANN K. (sous presse). *Holocene vegetation change and land use at Ounjougou, Mali*. In FULLER D. Q. & MURRAY M.-A., *Flora, Past Cultures and Archaeobotany in Africa.* Left Coast Press, Walnut Creek. 17 p.

ELENGA H., DE NAMUR C., VINCENS A., ROUX M. & SCHWARTZ D. (2000). *Use of plots to define pollen-vegetation relationships in densely forested ecosystems of Tropical Africa*. Review of Paleobotany & Palynology, n° 112, pp. 79-96.

ELENGA H., SCHWARTZ D. & VINCENS A. (1992) *Changements climatiques et actions anthropiques sur le littoral congolais au cours de l'Holocène*. Bull. Soc. Géol. France, pp. 83-96.

ELGHADI A.-V. & BALLOUCHE A. (2004). *Temps perturbé d'hiver et sécheresse sahélienne : l'exemple d'une station mauritanienne (Aleg, Brakna).* Norois, n° 191, pp. 111-119.

EMBERGER L. (1968) *Les plantes fossiles dans leurs rapports avec les végétaux vivants*. Editions Masson et C^{ie}, Paris, 758 p.

ESCHENBRENNER V. (1986). *Contributions des termites à la microagrégation des sols tropicaux*. Cah. Orstom, vol. 22, n°4, pp. 265-284

EVA H. & LAMBIN E.-F. (2000). *Fires and land-cover change in the tropics: a remote sensing analysis at the landscape scale.* Journal of Biogeography, 27, pp. 765-776

EVA H.-D., GREGOIRE J.-M., MAYAUX P. & CHEVALLIER D. (2003). *Suivi des feux dans les aires protégées d'Afrique sub-saharienne. Apport des techniques spatiales et des données satellitales pour le suivi des feux en Afrique sub-saharienne*. Centre Commun de Recherche de la Commission Européenne, Institut de Recherche pour le développement, Ispra, Italie, 55 p.

F.

FABRE J. & PETIT-MAIRE N. (1998). *Holocene climatic evolution at 22-26° N from two palaeolakes in the Taoudenni area (northern Mali).* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeo-ecology, n° 65, pp. 133-148.

FÆGRI K. & IVERSEN J. (1966). *Text book of pollen analysis.* Munksgaard, Copenhagen, 237 p.

FANNING P.-C., HOLDAWAY S.-J., RHODES E.-J. & FOUACHE E. (2007). *A geomorphic framework for understanding the surface archaeological record in arid environments.* Geodinamica acta. Vol. 20, n°4, pp. 275-286

FAURE H. (1988). *Changements dans la biomasse africaine : indice des changements climatiques et de l'action de l'homme depuis 20 000 ans au Niger.* In PETIT-MAIRE N. & GOMIS A., *Déserts, évolution passée et future*, Rapports scientifiques, 3 p.

FAURE H. & FAURE-DENARD L. (1988). *Histoire passé et projets d'avenir au Sahara*. Rapports scientifiques IGGP 252, Marseille. pp. 38-40.

FAUST D., ZIELHOFER C., ESCUDERO R.-B. & DIAZ DEL OMO F. (2004). *High resolution fluvial record of late Holocene geomorphic change in northern Tunisia: climatic or human impact ?,* Quaternary Science Reviews 23, pp. 1757-1775.

FEDOROFF N., BRESSON L.-M. & COURTY M.-A. (1987). *Micromorphologie des sols.* Réunion internationale de micromorphologie des sols, Association française pour l'étude des sols, Paris, 686 p.

FEDOROFF N. & COURTY M.-A. (1987). *Morpholgy and distribution of txtural features in arid and semi-arid regions.* In FEDOROFF N. & al., *Micromorphologie des sols*. Actes de la VIIe Réunion internationale de micromor-phologie des sols. Paris, pp. 331-337.

FEDOROFF N. & COURTY M.-A. (1989). *Indicateurs pédologiques d'aridification exemples du Sahara.* Bull. Soc. Géol., France, 8 (1), pp. 43-53.

FEDOROFF N. & COURTY M.-A. (2002). *Les pédogenèses du Quaternaire.* In : Miskovsky J.-C., Géologie de la Préhistoire, pp. 277-316

FEDOROFF N., COURTY M.-A., LACROIX E. & OLESCHKA K. (1994). *Calcitic accretion on indurated volcanic materials (Mexico*). In : Transaction du 15ème Congrès mondial de Science du sol, symposium ID-13, vol. 6A, pp. 460-473

FELTON A., RUSSELLB J.-M., COHENA A.-S., BAKERA M.-E., CHESLEYA J.-T., LEZZARA K. E., MCGLUEA M.-M., PIGATIC J.-S., QUADEA J., STAGERD J.-C. & TIERCELIN J.-J. (2007). *Paleolimnological evidence for the onset and termination of glacial aridity from Lake Tanganyika, Tropical East Africa*. In : Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 252, 3-4, pp. 405-423.

FERDRIERE A. (1999). *La géologie : les sciences de la Terre.* Coll. Archeologie, ED. Errance, 168 p.

FIGUEIRAL I. & MOSBRUGGER V. (2000). *A review of charcoal analysis as a tool for assessing Quaternay and Tertiary environment achievements and limits.* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, n° 164, pp. 397-407.

FILLERON J-C. (1995). *Essai de Géographie Systématique : les paysages du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire.* Thèse d'État ès Lettres et Sciences Humaines (Géographie Physique), Université de Toulouse-Le-Mirail, 3 Tomes, 1547 p.,

FOLK R.-L. & WORD W.-C. (1957). *Brazos River bar : a study in the significance of grain size parameters*. Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 27, pp. 3-26

FONTAINE B. & BIGOT S. (1993). *West african rainfall deficits and sea surface temperatures*. International Journal of Climatology. Vol. 13, n° 3, pp. 271-285

FORZIERI G., GARDENTI M., CAPARRINI F. & CASTELLI F. (2008). *A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: a case study in the region of Kidal, Mali*. In : Physics and chemistry of the Earth 33, pp. 74-85

FOUACHE E. (1999). L'alluvionnement historique en Grèce occidentale et au Péloponnèse. Athènes. Bull. de correspondance Héllénique, 235 p.

FOUACHE E. (2007). *Dynamiques géomorphologiques holocènes et contexte d'implantation des sites de l'âge du bronze dans la vallée de l'Halil Roud (bassin de Jiroft, SE de l'Iran)*. Bull. Assoc. de Géographes Français, BAGF, vol. 2, pp. 132-148.

FOUACHE E. (2007). *10.000 ans d'évolution des paysages en Adriatique et en Méditerranée orientale:géomor*phologie,paléoenvironnements, histoire. 223 p.

FOUACHE E., DUFAURE J.-J., DENEFLE M. LEZINE A.-M., LERA P & TOUCHAIS G. (2001). Man and environment around Lake Maliq (Southern Albania) during the Late Holocene. Vegetation and acheobotany. Vol. 10. pp. 79-86.

FOUACHE E. & PAVLOPOULOS K. (2005). *Sea level changes in esatern mediterranean during Holocene. Indicators and humans impacts.* Zeitschrift für Geomorohlogie. Annals of Geomorphology. Supp. Vol. 137. 193 p.

FOUACHE E. & RASSE M. (2007). *La géoarchéologie*. Villes et environnement montagnard. 113-240

FOURNIER A. & FLORET C. (2001). *Végétation des jachères et successions post culturale en Afrique tropicale.* In : Floret C. & Pontanier R., IRD, pp. 123-168

FRANK T., BREUNIG P., MÜLLER-HAUDE P., VAN NEER W., VOGELSANG R., NEUMANN K. & WOTZKA, H.-P. (2001). *The Chaine de Gobnangou, S.E. Burkina Faso : Archaeological, Archaeobotanical and geomorphological studies*. Beträge zur allgemainen und vergleichenden Archaäologie 21, pp. 127-190

FROMENT A. & GUFFROY J. (2003). *Peuplements anciens et actuels des forêts tropicales.* Colloques et séminaires. IRD éditions. 354 p.

G.

GALLAIS J. (1965). *Le paysan dogon.* Les cahiers d'Outre Mer, vol. 18, pp. 123-143

GALLAIS J. (1984). *Hommes du Sahel*. Editions Flammarion, Collection Géographes, Paris, 290 p.

GALLAIS J. (1994). *Les tropiques : terres de risques et de violences*. Editions Armand Colin, Paris, 270 p.

GALLAY A. (2001). *Etude ethnoarchéologique des traditions céramiques du Pays Dogon, rapport de la mission novembre-décembre 2000,* Rapport M.A.E.S.A.O., Département d'anthropologie et d'écologie de l'université de Genève, pp. 1-93.

GALLAY A. (2002). *Etude ethnoarchéologique des traditions céramiques du Pays Dogon, rapport de la mission février 2002.* Rapport M.A.E.S.A.O., département d'anthropologie et d'écologie de l'université de Genève, pp. 1-125.

GALLAY A. (2003). *Etude ethnoarchéologique des traditions céramiques du Pays Dogon, rapport de la mission décembre 1998 et février 2000*. Rapport M.A.E.S.A.O., département d'anthropologie et d'écologie de l'université de Genève, pp. 1-117.

GALLAY A. & SAUVAIN-DUGERDIL C. (1981). *Le Sarnyere Dogon*. ERC, ADPF, 242 p.

GALLIER F. (2003). *Etude du patrimoine naturel Dogon : mieux comprendre, pour mieux valoriser et préserver.* Rapport W.C.M.C., U.N.E.S.C.O., A.F.V.P., Paris, 245 p.

GALOP D. (2003). *Les apports de la palynologie à l'histoire rurale. La longue durée des activités agropastorales pyrénéennes.* Etudes rurales. La très longue durée. internet

GALOP D. (1998). *La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées. 6000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée.* Toulouse, GEODE, Laboratoire d'écologie terrestre et FRAMESPA.

GALOP D. (1999). *Le parchemin et le pollen : la Cerdagne médiévale de l'archive écrite à l'archive naturelle.* Les sociétés méridionales à l'âge féodal. Hommage à Pierre Bonnassie. CNRS, Presse universitaire du Mirail, Toulouse, pp. 35-43.

GALOP D. (2000). *Propagation des activités agropastorales sur le versant nord-pyrénéen entre le*

6e et le 3e millénaire avant J.-C. L'apport de la palynologie. Rencontres méridionales de préhistoire récente. Toulouse, Archives d'écologie préhistorique. pp.101-108.

GALOP D. & JALUT G. (1994). *Differential human impact and vegetation history in two adjacent Pyrenean valleys in the Ariège basin, southern France, from 3000 BP to the present.* Vegetation history and archeobotany, vol. 3. pp. 225-244.

GALOP D., LOPEZ-SAEZ A. & VANNIERE B. (2000). *Mise en évidence pluridisciplinaire de pratiques agropastorales forestières durant le néolithique sur le piémont pyrénéen. Le 3e millénaire avant Jésus-Christ de la fin du néolithique à l'Âge du bronze entre l'Ebre et la Garonne.* Actes du XIIe colloque international d'Archéologie de Puigcerda, 10-12 novembre 2000.

GALOP D., VANNIERE B. & FONTUGNE M. (2002). *Human activities and fire history since 4500 BC on the northern slope of the Pyrennees: a record from Cuguron (Central Pyrennees, France).* In : Charcoal analysis, methodological approaches, palaeological results and wood uses. BAR international series 1063, pp. 43-53

GANABA S., OUDBA J.-M. & BOGNOUNOU O. (1998). *Les ligneux à usage de bois en région sahélienne du Burkina Faso : préférence des groupes ethniques*. Revue Sécheresse, 4 (9), pp. 261-268.

GARBA Z., DURAND A. & LANG J. (1995). *Enregistrement sédimentaire de l'activité éolienne et de l'aridité pendant la transition Tardiglaciaire-Holocène à la limite Sahara-Sahel (Termit, bassin du lac Tchad)*. Quaternaire, A.F.E.Q., 6 (2), pp. 91-99.

GARCIN Y., VINCENS A., WILLIAMSON D., BUCHET G. & GUIOT J. (2007). *Abrupt resomption of the African monsoon at the younger Dryas - Holocene climatic transition*. Quaternary Science Reviews, 26, pp. 690-704

GARINE E., LANGLOIS O. & RAYMOND C. (2003). *Le territoire est il un patrimoine ? Approches comparatives de deux sociétés de la haute Benoué (Nord Cameroun).* Séminaire CRAMNHN, IRD, pp. 177-275

GARNIER A. (2007). *Evolution hydrosédimentaire de la vallée du Yamé au cours de l'holocène (pays dogon, Mali)*. mémoire de master 1, UCBN, 127 p.

GARNIER SILLAM E., BRAUDEAU E., & TESSIER D. (1987). *Contribution à l'étude du rôle des termites dans l'humification des sols forestiers tropicaux.* In FEDOROFF N. & al., *Micromorphologie des sols*. Actes de la VIIe Réunion internationale de micromorphologie des sols. Paris. pp. 331-337.

GASSE F. (2000) *Hydrological changes in the African tropics since the last glacial maximum,* Quaternary Science Reviews, 19, pp. 189-211.

GASSE F. (2005). *Continental palaeohydrology and palaeoclimate during the Holocene*. C. R. Geoscience, 337, pp. 79-86.

GASSE F. & VAN CAMPO E. (1994). *Abrupt post-glacial climate events in west Asia and north Africa monsoon domains.* E.P.S.L., vol. 126, pp. 435-456

GAUTHIER E. (2004). *Forêt et agriculteurs du Jura. Les quatre derniers millénaires*. Besançon. PUFC, 197 p.

GEB M. (2000). *Factors favouring precipitation in North Africa: seen from viewpoint of present-day climatology.* Global and Planetary Change. Vol. 26, pp. 85-96.

GEBHARDT A. (1992). *Evolution du paysage agricole dans le Nord Ouest de la France. Premiers résultats micromorphologiques*. Revue d'Archéométrie, vol. 16, pp. 51-61

GEBHARDT A. (2000). Le *rôle de la micromorphologie dans les sols des paysages*. Etudes Rurales, vol. 153-154, 12 p.

GEORGE P. & VERGER F. (1996). *Dictionnaire de la géographie*. P.U.F., Paris, 500 p.

GENNART M., KURBANOVIC M., NANSON A. & MANIL G. (1961). *Contribution micromorphologique à l'étude de la biodynamique des sols forestiers équatoriaux.* Pédologie. Vol. 11, pp. 110-122

GEYH M. & JÖKEL D. (1974). *Spätpeistozäne und holozöne Klimageschichte der Sahara aufgrund zugänlicher C14-Daten.* In : Zeitschrift für Geomorphologie Band 18, seite. Pp. 82-92

GHILARDI M., FOUACHE E., QUEYREL F., SYRIDES G., VOUVALIDIS K., KUNESCH S., STYLLAS M. & STIROS S. (2007). *Human occupation and geomorphological evolution of the Thessaloniki Plain (Greece) since mid Holocene*. In : Journal of Archaeological Science, sous presse.

GIGNOUX J., CLOBERT J. & MENAUT J.-C. (1997). *Alternative fire resistance strategies in savanna trees.* Oecologia, 110, pp. 576 – 583.

GILLET H. (1958). *Une enclave floristique soudanienne dans le massif de l'Ennedi (Nord Tchad).* C.R., sommaire de séances Soc. De Biogéographie, n° 301, pp. 172-177

GIRESSE P., MALEY J. & KOSSONI A. (2005). *Sedimentary environmental changes and millennial climatic variability in a tropical shallow lake (Lake Ossa, Cameroon) during the Holocene.*

Palaeogeography, Palaeocli-matology, Palaeoecology, 218, pp. 257- 285.

GIRET A. (2007). *Hydrologie fluviale.* Ellipses Université Géographie. Paris. 262 p.

GOLDBERG P. (2000). *Micromorphology and site formation at Die Kelders Cave I, South Africa.* Journal of Human Evolution, n° 38, pp. 43-90.

GOLDBERG P. & WHITBREAD I. (1993). *Micromorphological study of a Bedouin Tent floor.* In : Goldberg P., Nash D.T. & PETROGLIA D.M., Formation Processes in Archaeological Context. Prehistory Press Madison Winconsin, 188 p.

GRANIER C. (1980). Élevage et pêche. In : Arnaud J.C, Mali. Les Atlas Jeune Afrique, pp. 39-41.

GRANIER C. (2001). *Biogéographie*. In : Arnaud J.C, Atlas du Mali, Jeune Afrique, pp 22-24

GRAVIER M., RISER J. & SIMON B. (1994). *Evolution climatique en Mauritanie, la dégradation d'une formation végétale sahélienne : la brousse tigrée du Tagant*. Sécheresse, 4 (5), pp. 257-263.

GRIAULE M. (1938). *Masques Dogons*. Institut d'ethnologie, Paris, 234 p.

GRIMM E. (1991). *Tili, Tilia-graph and TGView*. Sprienfield, http://demeter.museum.state.il.us/pub/ Grimm

GUILAINE J. (1993). *Six millénaires d'histoire de l'environnement. Etude interdisciplinaire de l'abri sous roche de Font Juvénal (Conques sur Orbiel, Aude). Pour une histoire de l'environnement.* Travaux du programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement (sous la direction de BECK S. & DELORT R.), CNRS, pp. 165-171

GUILAINE J. (2003) *Aspects de la Néolithisation en Méditerranée et en France,* Université de Liège, p. 127-150.

GUILAINE J. (2000). *Changeons d'échelles : pour la très longue durée, pour de larges espaces.* Etudes rurales, n° 153-154, pp. 9-21.

GUILLORE P. (1980). *Méthode de fabrication mécanique et en séries des lames minces*. Département des Sols. INA-PG, J. Soil. Sci., 29, pp. 585-587.

GUINDO B. (1979). *L'impact de la sécheresse sur l'élevage dans le cercle de Mopti.* Mémoire de fin d'étude, D.E.R. d'Histoire-Géographie, E.N.S. Bamako, 42 p.

GUINKO S. (1984). *Végétation de la Haute Volta*. Thèse, vol. 1 & 2, Bordeaux, 384 p.

GUO Z., PETIT-MAIRE N. & KRÖPELIN S. (2000). *Holocene non-orbital climatic events in present-day arid areas of northern Africa and China.* Global and Planetary Change. Vol. 26, pp. 97-103.

H.

HAHN-HADJALI K. & SCHMID S. (1999). *Unterachungen von Savannangesellshaffen der Sudanzone Burkina Faso mit multitemporals SPOT-Satellitendaten*. Die Erde, vol. 130, pp. 1-16

HASLETT S. & SMART S.-W. (2006). *Late Quaternary upwelling off tropical NW Africa : new micromorphological evidence from O.D.P. Hole, 658 C, In :* Journal of Quaternary Science. Vol. 21, 3, pp. 259-269

HASSAN F. -A. (1997). Holocene Palaeoclimates of Africa. *The African Archaeological Review* 14,4 pp. 213-230

HEDBERG H.-D. (1976). *Guide stratigraphique international. Classification, terminologie et règles de procédures*. Doin Editeurs, Paris, 233 p.

HEER O. (1865). *Die Urwelt der Schweiz*. Zurich. p. 165

HEINE K. (1991). *Palaeoecology of Africa, and the surrounding islands*. Vol. 22, Rotterdam, 288 p.

HEINRICH J. & MOLDENHAUER K.-M. (2002). *Climatic and anthropogenic induced landscape degradations of West African dry Savanna environments during the Later Holocene.* In : Quaternary International 93-94. pp. 127-137

HOELZMANN P., KEDING B., BERKE H., KRÖPELIN S. & KRUSE H.-J. (2001) *Environmental change and archaeology : lake evolution and human occupation in the Eastern Sahara during the Holocene.* In : Review of Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palao-ecology, n° 169, pp.193-217.

HOELZMANN P., KRUSE H.-J. & ROTTINGER F. (2000). *Precipitation estimates for the eastern Saharan palaeomonsoon based on a water balance model of the West Nubian Palaeolake Basin. G*lobal and Planetary Change. Vol. 26, pp. 105-120.

HÖHN A. (2002). *Vegetation changes in the Sahel of Burkina Faso (West Africa) - Analysis of charcoal from the Iron Age sites Oursi and Oursi Village*. In : Charcoal analysis, methodological approaches, palaeological results and wood uses. BAR international series 1063, pp. 25-43

HOLL A.-F.-C. & DUEPPEN S.-A. (1999). *Iheren Research an Tassilian Pastoral Iconography Sahara*. Vol. 11., pp. 21-34

HOLMES J.-A., ALLEN M.-J., STREET-PERROT F.-A., IVANOVICH M., PERROTT R.-A. & WALLER M.-P. (1999). *Late Holocene palaeolimnology of Bal Lake, Northern Nigeria, a*

multidisciplinary study. In Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palao- ecology, n° 148, pp. 169-185.

HOOGHIEMSTRA H., LÉZINE A.-M., LEROY S.A.G., DUPONT L. & MARRET F. (2006). *Late Quaternary palynology in marine sediments: a synthesis of the understanding of pollen distribution patterns in the NW African setting*. Quaternary International 148. pp. 29-44

HOVESTADT T., YAO P. & LINSENMAIR E. (1999). *Seed dispersal mechanisms and the vegetation of forest islands in a West African forest-savanna mosaic (Comoé National Park, Ivory Coast)*. Plant Ecology, n° 144, pp. 1-25.

HUGHEN K.-A., OVERPECK J.-T., PETERSON L.-C. & ANDERSON R.-F. (1996). *The nature of varved sedimentation in the Cariaco Basin, Venezuela and its palaeoclimatic significance. In : AES, Kemp, Palaeoclimatology, and Palaeoceonagraphy from laminated sediments.* Geological Society special Publication, London, pp. 171-183

HUOT J-L. (1994). *Les premiers villageois de Mésopotamie. Du village à la ville.* Editions Armand Colin, Collection Civilisations U, Paris, 223 p.

HUYSECOM E. (1996). *Le concept de "néolithique" en Afrique noire vu au travers d'observations ethnoarchéologiques.* In AUSMASSIP G., DESMOND CLARK J. & MORI F. *The prehistory of Africa, vol. 15, coloquium XXX " the concept of the "Neolithic" in Africa with Particular Reference to the Saharan Region"*, pp. 257-262.

HUYSECOM E. (2002). *Palaeoenvironment and human population in West Africa: an international research project in Mali.* Antiquity, n° 76, p. 335-336.

HUYSECOM E. (2006). *Vers un « Néolithique africain » : concept et apparition. In : Etudes Maliennes* 65, p. 43-67.

HUYSECOM E. (2006). *La politique de publication du programme « Peuplement humain et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest* ». in : *Etudes Maliennes* 65, p. 195-209.

HUYSECOM E. (2007). Un Néolithique ancien en Afrique de l'Ouest, *Pour la Science* 358, août 2007, pp. 44-49.

HUYSECOM E. (accepté). *From the Pleistocene to Modern Times: Recent Data on the Population History and Environments of West Africa*, in: *Proceedings of the 12th Congress of Panafrican Association, Prehistory and Related fields* (Gaborone 3-8 jul. 2005).

HUYSECOM E., BALLOUCHE A., BOËDA E., CAPPA L., CISSE L., DEMBELE A., GALLAY A., KONATE D., MAYOR A., OZAINNE S., RAELI F., RASSE M., ROBERT A., ROBION C., SANOGO K., SORIANO S., SOW O. & STOKES S. (2002). *Cinquième campagne de recherches à Ounjougou (Mali)*. Jahresbericht 2001, F.L.S.A., Fondation Suisse- Liechtenstein pour les recherches archéologiques à l'étranger, Zürich et Vaduz, 113 p.

HUYSECOM E., BALLOUCHE A., BOËDA E., CISSE L., DEMBELE A., GALLAY A., KONATE D., MAYOR A., NEUMANN K., OZAINNE S., RAELI F., RASSE M., ROBERT A., ROBION C., SANOGO K., SERNEEL V., SORIANO S. & STOKES S. (2003). *Sixième campagne de recherches à Ounjougou (Mali) : résultats préliminaires.* In : Review of Jahresbericht 2002 / F.S.L.A., Fondation Suisse- Liechtenstein pour les recherches archéologiques à l'étranger, Zürich et Vaduz, 175 p.

HUYSECOM E., BALLOUCHE A., GALLAY A., GUINDO N., KEÏTA D., KOUTI S., LE DREZEN Y., MAYOR A., NEUMANN K., OZAINNE S., PERRET S., RASSE M., ROBION-BRUNNER C., SCHAER K., SERNEELS V., SORIANO S., STOKES S. & TRIBOLO C. (2005). La septième campagne de terrain à Ounjougou (Mali) et ses apports au programme interdisciplinaire Paléoenvironnement et peuplement en Afrique de l'Ouest, *Jahresbericht 2004 der Schweizerisch-Liechtensteinische Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland*, Zurich & Vaduz : Tamedia, p. 57 – 142.

HUYSECOM E. BALLOUCHE A., BOËDA E., CAPPA L., CISSE L., DEMBELE A., GALLAY A., KONATE D., MAYOR A., OZAINNE S., RAELI F., RASSE M., ROBERT A., ROBION C., SANOGO K., SORIANO S., SOW O. & STOKES S. (2006). Programme de recherche International "Peuplement humain et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest", in Etudes Maliennes, n° 65, numéro spécial, 209 p.

HUYSECOM E., OZAINNE S., RAELI F., BALLOUCHE A., RASSE M. & STOKES S. (2004). *Ounjougou (Mali): A History of Holocene Settlement at the southern edge of the Sahara.* Antiquity, a quaterly review of archaeology, vol. 78, n° 301, pp. 579-593.

HUYSECOM E. OZAINNE S., CISSÉ L., DOUTRELEPONT H., GALLAY A., KONATÉ D., MAYOR A., RAELI F., ROBERT A., SANOGO K., SORIANO S., SOW O. & STOKES S. (2004). *Du Paléolithique ancien à nos jours : la séquence archéologique et paléoenvironnementale du gisement d'Ounjougou (Pays dogon, Mali)*. In SANOGO S. & TOGOLA T. (eds), Acts of the 11th Congress of Panafrican Association, Prehistory and Related fields (Bamako 7-12 feb. 2001), Bamako : Institut des Sciences Humaines, p. 289 - 327.

HUYSECOM E., OZAINNE S., SCHAER K., BALLOUCHE A., BLENCH R., DOUYON D., GUINDO N., KÉITA D., LE DREZEN Y.,

NEUMANN K., PERRET S., RASSE M., ROBION-BRUNNER C., SERNEELS V., SORIANO S. & TRIBOLO C. (2006). *Peuplement humain et paléoenvironnement en Afrique de l'Ouest : apports de la huitième année de recherches interdisciplinaires*. In : Jahresbericht SLSA 2005. Zürich et Vaduz: Fondation Suisse-Liechtenstein pour les recherches archéologiques à l'étranger, pp. 79-160.

HUYSECOM E., OZAINNE S., ROBION-BRUNNER C., MAYOR A., BALLOUCHE A., COULIBALY N., GUINDO N., KEITA D., LE DREZEN Y., LESPEZ L., NEUMANN K., EICHHORN B., RASSE M., SCHAER K., SELLEGER C., SERNEELS V., SORIANO S., TERRIER A. & TRIBOLO C. (2007). Peuplement humain et paléoenvironnement en Afrique de l'Ouest : résultats de la neuvième année de recherches In : *Jahresbericht SLSA 2006*. Zürich et Vaduz: Fondation Suisse-Liechtenstein pour les recherches archéologiques à l'étranger, p. 41-122.

I.

ILIFFE J. (1997). *Les africains, Histoire d'un continent*. Aubier Histoires, Paris, 459 p.

I.R.D. (1979). *Le rôle des arbres au sahel.* Compte rendu du colloque tenu à Dakar (Sénégal) du 5 au 10/11/1979, I.D.R.C., Ottawa, 92 p.

IVERSEN J. (1941). *Land occupation in Denmark's stone Age*. Danmark geolistes Undersogelse II, pp. 66-68

IVERSEN J. (1949). *The influence of prehistoric man on vegetation.* Danmarks Geologiske Undersogelse IV, 3 (6). pp. 5-25.

IZARD M. (1970). *Introduction à l'histoire des royaumes mossi*. Paris, CNRS, recherches voltaïques 12-13, CVRS, 189 p.

IZARD M. (1985). Le Yatenga précolonial : un ancien royaume du Burkina. Paris, Kathala, 124 p.

J.

JACQUEMINET C. (1995). *L'apport des images satellites pour le suivi des milieux ruraux en régions sahéliennes.* Bulletin de l'association de Géographes Français, 1995-3, pp. 248-254.

JAEGER P. & WINKOUN D. (1962). *Premier contact avec la flore et la végétation du Plateau de Bandiagara.* Bull. Inst. Fr. Af. Noire., Vol. 24, pp. 69-111

JAHNS S., HÜLS S. & SARNTHEIN M. (1998). *Vegetation and climate history of west equatorial Africa based on a marine pollen record off Liberia (site GIK 16776) covering the last 400,000 years*. Paleobotany & Palynology, n° 102, pp. 277 – 288.

JESSE F. (2003). *Early ceramics in the Sahara and the Nile valley.* In :m Krzyzaniak L., Kroeper K. & Kobusiewicz M., *Cultural markers in the later Prehistory of Northeastern Africa and recent research*, Studies in African Archaeology 8, Poznan Archaeological Museum, pp. 35-50

JOEGER P. & JOROVOY M. (1952). *Les grès de Kita (Soudan occidental) leur influence sur la répartition du peuplement végétal*. Bull. Inst. Franç. Afr. Noire, vol. 14, pp. 1-18

JOLLY D., PRENTICE I.-C., BONNEFILLE R., BALLOUCHE A., BENGO M., BRENAC P., BUCHET G., BURNEY D., CAZET J.-P., CHEDDADI R. & al. (1998). *Biome reconstruction from pollen and plant macrofossil data for Africa and the Arabian Peninsul at 0 and 6000 years.* Journal of Biogeography; Vol 25, pp. 1 007-1 027.

JOLLY J. (1996). *Histoire du continent africain*, *de la Préhistoire à 1600*. Tome 1, L'Harmattan, Paris, 236 p.

JOLLY E. (2002). *Récits dogon au passé recomposé.* Ethnologies comparées, n° 5, internet

JONES T.-P. & CHALONER W.-G. (1991*). Les flux du passé, la recherche.* vol. 236, n°22, pp. 1148-1156

JORDA M. (1980). *Morphogenèse et évolution des Paysages dans les Alpes de Hautes Provence depuis le Tardiglaciaire.* Facteurs naturels et anthropiques, BAGF, Paris, n°472, pp. 26-44

JORDA M. (1983). *Morphogenèse postglaciaire des régions intra-alpines françaises du Sud. Le bassin de Barcelonnette (Ubaxe) du Tardiglaciaire au Subboréal.* In : Actes du Colloque international sur les premières communes paysannes en Méditerranée occidentale, Montpellier, p. 14

JORDA M. (1993). *Détritisme holocène et anthropisation dans la région de l'étang de Berre ; interprétation morphosédimentaire de la carotte E3 DRSM*. In Leveau P., Provansal M., archéologie et environnement de la victoire aux Alpilles, travaux du centre Camille Jullian, n° 14, Publication, Univ. De Provence, pp. 407-416

JOUSSE H. (2006). *What is the impact of Holocene climatic changes on human societies?. I*n *:* Quaternary International 151. pp. 63–73

JOUVE P. (1991). *Sécheresse au Sahel et stratégies paysannes.* Sécheresse, n° 1, vol. 2, pp. 61-69.

JOUVE P. (2004). *Autres repères autres paysages. La croissance démographique, frein ou opportunité pour une intensification agricole durable en Afrique*

subsaharienne ? Transition agraire et résilience des sociétés rurales Courrier de l'environnement de l'INRA, n° 5, pp. 106-147.

JUILLERET J., FENICIA F., MATGEN P., TAILLIEZ C., HOFFMANN L. & PFISTER L. (2005). *Soutien des débits d'étiage des cours d'eau du grand-duché du Luxembourg par l'aquifère du Grès du Luxembourg*. Ferrantia. Vol. 44. pp. 25-44.

K.

KANE R. (2002). *Suivi satellitaire des feux en Guinée et de l'impact des campagnes de sensibilisation de la radio rurale*. Forêts et feu, n° 6, pp.203-208.

KERKHOF P. (1991). *L'agroforesterie en Afrique*. P.A.N.O.S., l'Harmattan, Paris, 255 p.

KAHLHEBER S. (2004). *Perlhirse und Baoabab*. Thesis, University of Franckfurt. http://publicationen.ub.uni-frankfurt.de/vol/texte

KAHLHEBER S., ALBERT K.-D. & HÖHN A. (2001). *A contribution to the palaeoenvironment of the archaeological site Oursi in North Burkina Faso*. Berichte des Sonderforschungsbereiches 268, " Man and Environment in the West African Sahel-an Interdisciplinary Approach", Band 17, Frankfurt, pp. 145-161.

KEAY R.-W.-J. (1959). *An outline of Nigerian vegetation Lagos*. Federal Government Printer, 56 p.

KEITA B. (1987). *Etudes morphopédologiques de quelques plaines dans la vallée du fleuve Niger. Tombouctou-Labbézenga, 98 p.*

KEITA S. (1991). *Cartographie et étude des milieux naturels sénégalais THIES NORD-EST ND-28-XIII-XV à 1/100 000 : Caractérisation et recouvrement sableux des bas-fonds.* TER, Mémoire de Maîtrise, Université Cheikh Anta Diop (Département de Géographie), Dakar, pp. 114

KEMP R.-A. (1998). *Role of micromorphology in Paleopedological research*. Quaternary International, Vol. 51-52, pp. 133-141.

KERVRAN M. (1993). *Dictionnaire dogon – français, donno so*, région de Bandiagara, Bruxelles, 663 p.

KIAGE L.-M. & LIU K.-B. (2006). *Late Quaternary Palaeoenvironmental changes in East Africa : a review of multiproxy evidence from palynology, lake sediments and associated records*. Progres in Physical Geography. Vol. 30. pp. 633-658.

KIETHEGA J.-B. (1993). *La mise en place des peuples du Burkina Faso"*. In : Découvertes du Burkina. T1, 2d. Sépia ADDB, Paris Ouagadougou pp.. 02-29.

KOLI BI ZUELI (1971). *Etudes d'un milieu de forêt dense, analyse et cartographie des paysages dans la région du Soubré (Sud Est Ivoirien*) Thèse, Abidjan, 471 p.

KONATE M. & LE BRIS M., (2002). *Les mondes Dogon*. Centre Culturel Abbaye de Daoulas, Editions Hoëbeke, Tours, 200 p.

KOOISTRA M.-J. & KOOIESTRA L.-I. (2003). *Integrated research in archaelogy using soil micromorphology and palynology.* Catena, n° 54, pp. 603-617.

KOUTI S. (2004). *L'industrie lithique du Promontoire Néolithique (Ounjougou, Mali) : une approche technologique.* Genève : Département d'anthropologie et d'écologie de l'Université de Genève (Mémoire de diplôme), 98 p.

KOUTI S. (2005). *L'atelier de pointes de flèche du Promontoire néolithique (Ounjougou, Mali).* In MAYOR A., ROTH C. & DROZ Y**.** (eds), *Sécurité sociale et développement* - Forum suisse des africanistes 5, Münster: LIT Verlag, pp. 119-125.

KRÖPELIN S. & PETIT-MAIRE N. (2000). *Paleomonsoon variations and terrestrial environmental change during the late Quaternary.* Global and Planetary Change. Vol. 26, pp. 7-8.

KUPER R., NEUMANN K., KRÖPELIN S., VAN NEER W. & UERPMANN H.-P. (1989). *Forschungen zur Umweltgeschchte der Ostsahara.* Heinrich-Barth-Intitut. Köln, 341 p.

KÜPPERS K. (1996). *Die Vegetation der Chaine de Gobnangou.* Unpublished, Thesis, Univesity FRankfurt

L.

LAHMAR R. & BRESSON L.-M. (1987). *Genèse et fonctionnement des sols fersialitiques sur microschiste du Massif de Thenia, Algérie*. In FEDOROFF N., BRESSON L.-M. & COURTY M.-A. *Micromorphologie des sols.* Réunion internationale de micromorphologie des sols, Association française pour l'étude des sols, Paris, pp. 171-177

LAMBERT R. (1996). *Géographie du cycle de l'eau*. Presse Universitaire du Mirail. Toulouse. 435 p.

LANDAIS E. & LHOSTE P. (1990). *L'association agriculture-élevage en Afrique intertropicale : un mythe techniciste confronté aux réalités du terrain.* ICahiers des sciences humaines. Vol. 26. n°1 et 2, pp. 217-235.

LANDSBERG J.-D. (2002). *Le feu et la forêt : le feu – un bon serviteur ou un mauvais maître.* Forêts et feu, n° 6, pp. 187-192.

LARIS P. (2002). *Burning the Seasonal Mosaic: Preventative Burning Strategies in the Wooded Savanna of Southern Mali.* Human Ecology, Vol. 30, n° 2, pp. 135-187.

LARIS P.-S. (2005). *Spatiotemporal problems with detecting and mapping mosaic fire regimes with coarse-resolution satellite data in savanna environments.* Remote Sensing of Environment 99. pp. 412 – 424.

LAUBER W. (1998). *L'architecture dogon, construction en terre au Mali.* Collection Adam. Biro, Munich, 175 p.

LAVACHERY P. (2001). *The Holocene archaeological sequence of Shum Laka rock shelter (Grassfields, Westren Cameroon).* Afr. Archaeol. Rev. N° 18, pp. 213-248

LE BERRE M. (2000). *La genèse des paysages culturels africains.* In : M. Rössler & G. Souama-Ferero, The world heritage convention and cultural landscapes in Africa. Expert meeting Tiwi, Kenya, pp.44-58.

LEBLANC M., **FAVREAU G., MALEY J. & al.** (2006). Reconstruction of Megalake Chad using *Shuttle Radar topographic : mission data*. In : Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, vol. 231, pp. 16-27

LE COEUR C., PENVEN M-J. & MUXART T. (1997). *Les temps géomorphologiques de l'environnement dans les Temps de l'Environnement.* Communications des journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés ; Les temps de l'Environnement, PIREVS CNRS, Centre des Congrès, 5-6 et 7 novembre 1997, sessions 3, 4, 5, pp. 301-305.

LE DREZEN Y. (2001). *Diagnostic de la gestion des ressources végétales dans un territoire sahélien, le cas de Mâl (Brakna, Mauritanie).* Mémoire de Maîtrise Géographie, Université d'Angers, 131 p.

LE DREZEN Y. (2003). *Dynamiques environnementales et paysagères dans les géosystèmes des savanes ouest africaines : une tentative d'approche spatio-temporelle.* Mémoire de D.E.A. " Environnement, Sociétés ", Université de Caen Basse-Normandie, 126 p.

LE DREZEN Y. (2004). *La réalisation d'un système d'informations géographiques*. In : Huysecom & al., 204, rapports final FLSA, pp. 5-8

LE DREZEN Y. (soumis). *Caractérisation des formations fluvio-palustres et des enregistrements saisonniers au cours des quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé (Pays dogon, Mali) : l'apport de la micromorphologie*. In : Huysecom E. & al., Peuplement humain et paléoenvironnement en Afrique de l'Ouest : résultats de la onzième année de recherches In : *Jahresbericht SLSA 2008*. Zürich et Vaduz: Fondation Suisse-Liechtenstein pour les recherches archéologiques à l'étranger.

LE DREZEN Y. (2005). *La réalisation d'un système d'informations géographiques.* In HUYSECOM E. & al. (2005). *La septième campagne de terrain à Ounjougou (Mali) et ses apports au programme interdisciplinaire. Paléoenvironnement et peuplement humain en Afrique de l'Ouest.* Jahresbericht 2005 / F.S.L.A., Fondation Suisse-Liechtenstein pour les recherches archéologiques à l'étranger, Zürich et Vaduz, p.24

LE DREZEN Y. & BALLOUCHE A. (2007). *Nouvelles données sur les paléoenvironnements végétaux et la dynamique des paysages holocènes du plateau dogon* (Ounjougou, Mali). Colloque de restitution ECLIPSE II, Paris : 2p.

LE DREZEN Y. & BALLOUCHE A. (2008). Le rôle des sociétés sur les paysages depuis quatre mille ans au Pays dogon : l'exemple de la vallée du Yamé. Volume des résumés. Colloque international Q6 "Biodiversité au Quaternaire : climats, environnements & peuplements", Montpellier, p. 102

LE DREZEN Y. & BALLOUCHE A. (soumis). *Dynamiques récentes des paysages de vallée en domaine soudano-sahélien : l'exemple de la moyenne vallée du Yamé (Ounjougou, Plateau dogon, Mali).* Bull. Asso. Des Géographes Français.

LE DREZEN Y. & BALLOUCHE A. (soumis). *Vegetation history, landscape dynamic and palaeofires during the late Holocene in the Dogon Country (Mali).* Journal of Arid Environment.

LE DREZEN Y., BALLOUCHE A. & DOLIDON H. (2004). *Fire and biomass burning as landscape dynamic factors in west african savanna : comparatives exemples from present and past.* Third International Meeting of Anthracology. "Charcoals from the past, cultural and palaeoenvironmental implications", Lecce, Italy, June 2004. abstracts, p. 12

LE DREZEN Y., BALLOUCHE A., OZAINNE S., RASSE M., NEUMANN K. & HUYSECOM E. (2005). *Landscape dynamics and human impact in a sudano-sahelian geosystem from Neolithic until modern times : the example of Ounjougou (Dogon Country, Mali).* XIIth international congress of Panafrican, in Gaborone, Botswana, Abstracts p.46

LE DREZEN Y. & LESPEZ L. (2007). *Enregistrements sédimentaires dans un hydrosystème continental depuis 12 ka cal. B.P. en Afrique de l'Ouest, exemple de la vallée du Yamé (Pays dogon, Mali).* 11ème congrès français de sédimentologie, Caen 2007, livre des résumés, Publi. ASF, n°57, p. 194

LE DREZEN Y., LESPEZ L. & BALLOUCHE A. (2006). *Vers une chronostratigraphie globale de l'Holocène à Ounjougou*. In HUYSECOM E. (dir.), Peuplement humain et paléoenvironnement en Afrique de l'Ouest : résultats de la neuvième année de recherche. *Jahresbericht 2007 der Schweizerisch-Liechtensteinische Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland*, Zurich & Vaduz, Editions

Tamedia, 47-53.2006, Rapports final FLSA, pp. 41-46

LE DREZEN Y., LESPEZ L. & BALLOUCHE A. (2007). *Vers une chronostratigraphie globale de l'Holocène à Ounjougou*. In : Huysecom E. & al., 2007, Rapport FSLA 2007, pp. 50-57

LE DREZEN Y., LESPEZ L., RASSE M., HUYSECOM E. & BALLOUCHE A. (soumis). *Les enregistrements htdrosédimentaires de la vallée du Yamé et les dynamiques environnementales de l'Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours de l'Holocène,* Compte Rendu Géoscience.

LE DREZEN Y., LESPEZ L. & VANNIERE B. (2008). *Méthodologie pour la télédétection des feux dans des sédiments rythmés. L'exemple de la vallée du Yamé (Ounjougou, Pays dogon, Mali).* Programme & résumés du Workshop "Vegetation on Fire, history & actuality", Besançon, pp. 16-17

LE DREZEN Y., RASSE M., BALLOUCHE A., LESPEZ L. & HUYSECOM E. (2006). *Dynamiques d'interface Nature / Sociétés dans un anthroposystème soudano-sahélien à l'Holocène récent (Pays dogon, Mali).* Actes du colloque International Interactions Nature-Société, Analyses et modèles, 3-6 mai 2006, La Baule, http://letg.univ-nantes.fr/COLLOQUE/pdf/C1_0505_LEDREZEN.pdf, 6 p.

LEE K.-E. & WOOD T.-G. (1971). *Termites ans soils.* Academic Press, London, New York, 251 p.

LEGER J.-R.-P. (1971). *Dictionnaire dogon homo kan*. Paroisse de Ségué. 297 p.

LEGER M. (1987). *Micromorphologie des loess et paléosols intraloessiques en Souabe et Bavière*. In FEDOROFF N., BRESSON L.-M. & COURTY M.-A. (1987). *Micromorphologie des sols.* Réunion internationale de micromorphologie des sols, Association française pour l'étude des sols, Paris, pp. 611-618

LEIRIS M. (1948). *La langue secrète des Dogons de Saga*. Institut d'ethnologie, 124 p.

LELLI L. (2000). *Paysage, un enjeu pour les acteurs territoriaux ?* Actions Paysagères et acteurs territoriaux, géographie et territoire ; Equipe GESTE, Gestion n° 7, Poitiers, pp.19 – 27/

LERICOLLAIS A. & WANIEZ P. (1993). *Les terroirs africains, approche renouvelée par l'emploi d'un SIG.* Mappemonde, vol. 2. pp. 2-36.

LEROUX M. (1983). *Le climat de l'Afrique tropicale.* Editions Champion. Paris, 631 p.

LEROUX M. (2004). *La dynamique du temps et du climat.* 2ème édition. Sciences Sup., Dunod. Paris, 365 p.

LESPEZ L. (2003). *Geomorphic responses to long-term land use changes in Eastern Macedonia (Greece).* Catena,51 (3-4), pp. 181-208.

LESPEZ L. (2007). *Les dynamiques des systèmes fluviaux en Grèce du Nord au cours des 7 derniers millénaires : vers une ap*proche multi-scalaire des interactions Nature/Société. *Géomorphologie. Relief, processus, environnement* 1, 90-105.

LESPEZ L., CADOR J.-M., CARPENTIER V., CLET-PELLERIN M., GERMAINE M.-A., GARNIER E. & MARCIGNY C. (accepté). *Trajectoire des paysages des vallées normandes et gestion de l'eau, du Néolithique aux enjeux de la gestion contemporaine. Actes du colloque RTP,* Paysage et environnement : de la reconstitution du passé aux modèles prospectifs, Chilhac, 27-30 septembre 2006, 12 p.

LESPEZ L., CLET-PELLERIN M., LIMONDIN-LOZOUET N., PASTRE J.-F., FONTUGNE M. & MARCIGNY C., 2007. *Fluvial system evolution and environmental changes during the Holocene in the Mue valley (W France).* Geomorphology, 16 p.

LESPEZ L., LE DREZEN Y., RASSE M. & BALLOUCHE A. (2007). *Les enregistrements hydrosédimentaires de la vallée du Yamé et les dynamiques environnementales de l'Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne au cours de l'Holocène*. Colloque de restitution ECLIPSE II, Paris : 2p.

LESPEZ L., LE DREZEN Y., RASSE M., HUYSECOM E. & BALLOUCHE A. (accepté). *Signal climatique et hydrosystèmes continentaux 40-5 ka BP en Afrique de l'Ouest, l'exemple du Yamé (Pays Dogon,Mali),* in : Geomorphologie, 15 p.

LESPEZ L., LE DREZEN Y., RASSE M. & BALLOUCHE A. (soumis). *Les mutations des paysages fluviaux au cours de l'Holocène et le rôle des oscillations paléoclimatiques*. In : Huysecom E., Peuplement humain et paléoenvironnement en Afrique de l'Ouest : résultats de la onzième année de recherches In : *Jahresbericht SLSA 200*8 Zürich et Vaduz: Fondation Suisse-Liechtenstein pour les recherches archéologiques à l'étranger

LEVEAU P., LIVET E. & PROVANSAL M. (1997). *Temporalité résultante et temporalité émergeante potentielle dans les temps de l'environnement.* Communications des journées du programme Environnement, Vie et Sociétés, Les temps de l'Environnement, Toulouse ; PIREVS CNRS, Centre des Congrès, 5-6 et 7 novembre 1997, sessions 1 & 2 : 97-106.

LEWUILLON S. & FECHNER K. (2001). *Paléoenvironnement, géoarchéologie*. Valorisation des patrimoines en Europe, cours, U.V. 16, projet pilote Leonardo Da Vinci. Université d'Artois & Université Libre de Bruxelles. 33 p.

LEZINE A.-M. (1987). *Palynological studies on west African arid environments. In :* PETIT-MAIRE N.

& VANBESIEN C. *Déserts, évolution passée et future. Rapports scientifiques*, pp. 70

LEZINE A.-M. (1987). *Paléoenvironnements végétaux d'Afrique du Nord tropicale occidentale depuis 12 000 BP : analyse pollinique de séries sédimentaires continentales (Sénégal-Mauritanie).* Unpu-blished Thesis, University of Aix Marseille II, 186 p.

LEZINE A.-M. (1988). *Les variations de la couverture forestière mésophile d'Afrique Occidentale au cours de l'Holocène*. CR Acad. Sci. Paris, n° 307, pp.349-445.

LEZINE A.-M. (1989). *Le Sahel : 20 000 ans d'histoire de la végétation.* In : ROGNON P. *Le Sahara, essai sur l'évolution d'un désert*. Séance spécialisée de la société géologique de France, Paris, pp. 35 – 42.

LÉZINE A.-M. (1989). *Late Quaternary vegetation and climate of the Sahel.* Quaternary Research, vol. 2, pp. 317-334.

LEZINE A.-M. & CASANOVA J. (1988). *Variations de la couverture végétale et des conditions hydroclimatiques en Afrique Occidentale Nord tropicale au cours de l'Holocène*. In : PETIT-MAIRE N. & GOMIS A., *Déserts, évolution passée et future*. Rapports scientifiques, pp. 61.

LEZINE A.-M. & CASANOVA J. (1991). *Correlated oceanic and continental records demonstrate past climate and hydrology of North Africa (0-140ka)*. Geology, Vol. 19, pp. 307-310.

LEZINE A.-M. & CAZET J.-P. (2005). *High-resolution pollen record from core KW31, Gulf of Guinea, documents the history of the lowland forests of West Equatorial Africa since 40,000 yr ago.* Quaternary Research, 64, pp. 432- 443.

LEZINE A.-M. & EDORTH T.-M. (1991). *Modern pollen deposition in West african sudanian environments.* Reviews of Palaeobotany and Palynology, vol. 67, pp. 41-58

LÉZINE A.-M., TIERCELIN J.-J., ROBERT C., SALIÈGE J.-F., CLEUZIOU S., INIZAN M.-L. & BRAEMER F. (2007). *Centennial to millennial-scale variability of the Indian monsoon during the early Holocene from a sediment, pollen and isotope record from the desert of Yemen.* Palaeogeography, Palaeocli-matology, Palaeoecology 243, pp. 235-249.

LIEBERHERR R. (2006). *Le feu domestiqué. Usages et pratiques dans l'architecture mondiale*. Établissements Humains et Environnement Socio-culturel. O.N.U. Paris. 156 p.

LIMBREY S. (1983). *Archaeology and palaeo-hydrology.* Background to Palaeohydrology, ed. K.J. Gregory, J. Wiley & Sons, New-York, 189 p.

LINSTÄDTER J. & KRÖPELIN S. (2004). *Wadi Bakht Revisited: Holocene Climate Change and Prehistoric Occupation in the Gilf Kebir Region of the Eastern Sahara, SW Egypt. In :* Geoarchaeology: An International Journal, Vol. 19, N°. 8. pp. 753–778

LLAMAS J. (1985). *Hydrologie générale : principes et applications*. Editions Gaëtan Morin, Québec. 487 p.

LONG C., WHITLOCK C., BARTLEIN P. & MILLSPAUGH S. (1998). *A 9000 yr fire history from the Oregon loast range based on a high resolution charcoal.* Vol. 28, pp. 774-784

LOSSON B. & CORBONNOIS J. (2006). *Les modes de sédimentation détritique : nouvelle méthode de détermination appliqué à des remplissages endokarstiques.* Geological Belgica 9/3, pp. 257-265

LOTTER A.-F. & LEMKE G. (1999). *Methods for preparing and counting biochemical varves*. Boreas, 28, pp. 243-255

LUGINBÜHL Y. & MUXART T. (1998). *Place de la Géographie dans les recherches sur l'environnement.* La question de l'environnement dans les sciences sociales, éléments pour un bilan. Programme Environnement, Vie et Sociétés, Lettre 17, février 1998, pp. 44-63.

M.

MACDONALD G.-M., LARSEN C.-P.-S., SZEICZ J.-M. & MOSER, K.-A. (1991). *The reconstruction of boreal forest fire history from lake sediments : a comparison of charcoal, sedimentological and geochimical indices.* Quaternary Sciences Reviews Vol. 10, pp. 53-71

MACDONALD K.-C. (1996). *The Windé Koroji Coplex : evidence for the peopling of the Eastern Inland Niger (2100-500 B.C.).* Préhistoire et anthropologie méditerranéennes 5, pp. 157-165

MACDONALD K.-C. (1997). *Kourounkorokale revisited : the pays Mande and the West African microlithic technocomplex.* In : African archaeological review 14, pp. 161-200.

MACDONALD K.-C. & ALLSWORTH-JONES P. (1994). *A reconsideration of the West African macrolithic conundrum: new factory sites and an associated settlement in the Vallée du Serpent, Mali*. In : African Archaeological Review 12/1. pp. 73-104

MACPHAIL R., ROMANS J.-C.-C. & ROBERTSON L. (1987). *The application of micromorphology to the understanding oh Holocene soil development in the British isles ; with special reference to early cultivation.* In : Fedoroff N., Bresson L.M. & Courty M.-A., Micromorphologie des sols, pp. 647-656

MACKAY A., BATTARBEE R., BIRKS J. & GOLDBERG F. (2003). *Global change in the Holocene.* Arnold, London, 528 p.

MAGNAVITA S. (2003). *The Beads of Kissi, Burkina Faso. In :* Journal of Afrian Archaeology. Vol 1. pp 127-146

MAGNY M. (1995). Une histoire du climat (des derniers mammouths au siècle de l'automobile. Paris, Coll. Des Hespérides, Ed. Errances.

MAGNY M. & RICHARD H. (1992). *Essai de synthèse. Vers une courbe de l'évolution du climat entre 500 BC et 500 AD. Le climat à la fin de l'Âge du fer et dans l'Antiquité (500 BC-500 AD).* Les Nouvelles de l'Archéologie, vol. 50, pp. 32-36.

MAHARAUX A. (1994). *Le* Dalbergia melanoxylon*, témoin de la crise de l'environnement de milieux sahéliens pauvres, exemple du mali.* Cahiers Géographiques de Rouen, n° 39-40, pp. 219-228.

MAINGUET M. (1972). *Le modelé des grès*. Problèmes généraux, tome 1 & 2, institut géographique national, paris, 228 & 658 p.

MAIRE R., POMEL S. & SALOMON J.-N. (1986). *Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale*. Presse Universitaire de Bordeaux, 492 p.

MAKASKE B. (1998). *Anastomosing river : forms processes and sediments, Nederlandse* geografische Studies 249, Konnonklijk Nederlands Aadrijksundig Genoostchop. Faculteit Ruimtelelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht, 237 p.

MALEY J. (1977). *Palaeoclimates of central Sahara during the early Holocene*. Nature, 269, 573-574.

MALEY J. (1981). *Etudes palynologiques dans le basin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique Nord-Tropicale de 30 000 ans à l'époque actuelle.* Thèse, Travaux et documents de l'O.R.S.T.O.M., Paris, 586 p.

MALEY J. (1989). *L'importance de la tradition orale et des données historiques pour la reconstitution paléoclimatique du dernier millénaire sur l'Afrique nord-tropicale*. In Sud Sahara, Sahel Nord. Centre Cult. Français Abidjan pp. 53-57.

MALEY J. (1990). *Histoire récente de la forêt dense humide africaine : essai sur le dynamisme de quelques formations forestières.* In : Lanfranchi R., Schwartz D.. Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique. Mémoire ORSTOM, Paris, IRD éditions, pp. 376-382

MALEY J. (1993). *Chronologie calendaire des principales fluctuations du lac Tchad au cours du dernier millénaire. Le rôle des données historiques et de la tradition orale*. In D. Barreteau & C. Von Graffenried (eds.), Datation et Chronologie dans le Bassin du lac Tchad, Paris : ORSTOM, coll. Colloques et Séminaires, pp. 161-163

MALEY J. (1996). *The African rain forest : main characteristics of changes in vegetation and climate from the upper Cretaceous to the Quaternary. Proceed.* R. Soc. Edinburg, Biol. Sc., 104B. pp. 31-73

MALEY J. (1997*). Middle to late Holocene changes in tropical Africa and other continents. Paleomonsoon and sea surface temperature variations*. In : Dalfes H.-N., Kuklaa G., Weiss H. Third millenium BC climate change and old world collapse. NATO Adv. Sc. Inst. Series, Global Environmental Change, Springer, Berlin, pp. 611-640

MALEY J. (2001). *Et si la forêt équatoriale m'était contés*. Canopée, n° 19, pp. 6-9.

MALEY J. (2003). *Synthèse sur l'histoire de la végétation et du climat en Afrique centrale au cours du Quaternaire récent*. In FROMENT A. & GUFFROY J., Peuplements anciens et actuels des forest tropicales. Actes du séminaire atelier Orléans 15-16 octobre 1998, collection colloques et séminaires, paris, IRD Editions, pp. 53-75.

MALEY J. (2004). *Le bassin du Tchad au Quaternaire récent : formations sédimentaires, paléoenvironnementales et préhistoire. La question des Paléotchads.* In RENAULT-MISKOVSKY J. & SEMAH A.-M, *Guide de la Préhistoire mondiale*, eds, pp. 35.

MALEY J. & BRENAC P. (1998). *Vegetation dynamics, palaeoenvironments and climatic changes in the forests of western Cameroon during the last 28,000 years B.P.* Paleobotany & Palynology, n° 99, pp. 157-187.

MARCHANT R. (2002). *Pollen - based biome reconstructions for the past 450 000 jear from the Funza-2 core, Colombia : comparisons with model-based vegetation reconstructions.* Palaeogegraphy, Palaeoclimatology, Palao-ecology, n° 177, pp. 29-45.

MARCHANT R. & HOOGHIEMSTRA H. (2004). *Rapid environmental change in African and South American tropics around 4 000 years before present : A review.* Earth Science Reviews, n°66, pp. 217-260.

MARGUERIE D. (1992). *Evolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques.* Université de Rennes 1, travaux de laboratoire d'Anthropologie, Protohistoire et Quaternaire armoricains, U.P.R. 403 du C.N.R.S., 312 p.

MARRET F., MALEY J. & SCOURSE J. (2006). *Climatic instability in west equatorial Africa during*

the Mid- and Late Holocene. Quaternary International, 150, pp. 71-81.

MARRET F., SCOURSE J., JANSEN J.-H.-F. & SCHNEIDER R. (1999). *Changements climatiques et paléo-océanographiques en Afrique centrale atlantique au cours de la dernière déglaciation : contribution palynologique.* Earth & Planetary Sciences, n° 329, pp. 721-726.

MARRET F., **SCOURSE J., VERSTEEGH G., JANSEN J.-H.-F. & SCHNEIDER R.** (2001). *Integrated marine and terrestrial evidence for abrupt Congo River palaeodischarge fluctuations during the last deglaciation.* Journal of Quaternary Science, vol. 16, 8, pp. 761-766

MARTINELLI B. (1992). *Agriculteurs - métallurgistes et forgerons en Afrique soudano-sahélienne.* Etudes Rurales, n° 125-126, pp. 25-41.

MASSONI C., PERROT M.-H. & FOURCADIE N. (1971). *Liste bibliographique des travaux effectués dans le bassin du fleuve Niger par les chercheurs de l'O.R.S.T.O.M. de 1943 à 1968.* Travaux et documents de l'ORSTOM., n° 10, Paris, 68 p.

MATHER J.-C. (1994). *The identification of charred Root and laber crops from archaeological* sites in the Pacific. Tropical Archaeology. Rantledge. Pp. 151-164

MAXWELL A.-L. (2004). *Fire regimes in north-eastern Cambodian monsoonal forests, with a 9300-year sediment charcoal record*. Journal of Biogeography, vol. 31. pp. 225–239.

MAYAUX P., EVA H., FOURNIER A., SAWADOGO L., PALUMBO I. & GREGOIRE J.-M. (2003). *Apport des techniques spatiales pour la gestion des aires protégées en Afrique de l'Ouest.* Séminaire régional sur l'aménagement et la gestion des aires protégées d'Afrique de l'Ouest. Bénin, 8 p.

MAYEWSKI P.-A., ROHLING E.-E., STAGER J.-C., KARLEN W., MAASH K.-A., MEEKER L.-D., MEYERSON E.A., GASSE F., VAN KREVELD S., HOLMGREN K., THORP J.-L., ROSQVIST G., RACK F., STAUBWASSER M., SCHNEIDER R.-R. & STEIG E.-J. (2004). *Holocene climate variability,* In : Quaternary Research 62, pp. 243-255.

MAYOR A. (2006). *Les techniques céramiques révélatrices des populations du passé dans la Boucle du Niger* in : *Etudes Maliennes* 65, p. 89-112.

MAYOR A. (2006). *Integrating ethnoarchaeological, historical and archaeological data: towards a history of pottery traditions in the Niger Bend*, Proceedings of the 18th Biennial Meeting of the Society of Africanist Archaeologists, University of Calgary June 22 - 26, e-publication, http://cohesion.rice.edu/centersandinst/safa/news.cfmedoc_id=9495

MAYOR A. & HUYSECOM E. (2005). *Traditions céramiques et histoire du peuplement dans la Boucle du Niger (Mali) au temps des empires coloniaux*. Thèse de Doctorat de la Faculté des sciences n°3686), Département d'anthropologie et d'écologie de l'Université de Genève, Genève, 2 volumes, 235 p.

MAYOR A., HUYSECOM E., GALLAY A., RASSE M. & BALLOUCHE A. (2005). *Population dynamics and Paleoclimate over the past 3000 years in the Dogon Country, Mali.* Journal of Anthropological Archaeology, n° 24, pp. 25-61.

MAZOYER M. & **ROUDART L.** (1997). *Histoire des agriculteurs du monde du Néolithique à la crise contemporaine.* Seuil, Paris, 534 p.

MBOW C., NIELSEN T.-T. & RASMUSSEN K. (2000). *Savanna Fires in East-Central Senegal: Distribution Patterns, Resource Management and Perceptions.* Human Ecology Vol. 28, n° 4, pp. 561-584.

MBOW C, GOÏTA K. & BENIE G.-B. (2004). *Spectral indices and fire behavior simulation for fire risk assessment in savanna ecosystems*. Remote Sensing of Environment, n° 91, pp. 1-13.

McINTOSH R.-J. (1995). *Excavations at Jenné-Jenno,* Hambarketolo, and Kaniana (Inland Niger Delta, Mali), the 1981 Season. *Anthropology*, vol. 20, University of California Publications, 605 p

McINTOSH R.-J. (1998). *The people of the Middle Niger. The island of gold Malden,* Blackwell Publihers, pp. 56-67

McINTOSH R.-J. (2000). *Social memory in Mande*. In Mc INTOSH R.-J., TAINTER J. & McINTOSH S.-K., *The way the wind blows : climate, history, and human action.* Columbia university press, New York, pp. 141-180.

McINTOSH S.-K. (1995). *Excavations at Jenné-Jeno, Hambarketolo, and Kaniana* (Inland Niger Delta, Mali), the 1981 Season. University of California Press

Mc INTOSH S. (2006). *The Holocene prehistory of West Africa 10,000-1000 BP. In: Akyeampong,* E.K. (eds.), Themes in West Africa's history. Athens (Ohio University Press), pp. 11-32.

Mc AULIFFE J.-R. & MCDONALD E.-V. (2006). *Holocene environmental change and vegetation contraction in the Sonoran Desert*. Quaternary Research, vol. 65, pp. 204-215.

MEES F. (1996). *Petrological studies of saline deposits of a perennial saline lake and a dry lake basin, and of calcareous deposits of small freshwater basins.* Volume I. University of Ghent, 325 p.

MEES F. (1996). *Petrological studies of saline deposits of a perennial saline lake and a dry lake basin, and*

of calcareous deposits of small freshwater basins. Volume II. University of Ghent, 220 p.

MERHINGER J.-P.-J, ARNO S.-F. & PETERSON K.-L. (1997). *Postglacial history of Last Trail Pass Bog, Bitterroot Mountains, Montana*. Artic Alpine Res. , Vol. 9, pp. 345-368

METAILLE J.-P. (1981). *Le feu pastoral dans les Pyrénées centrales (Barousse)*. C.N.R.S., Paris, 195 p.

MILLOGO-RASOLODIMBY J. (1996). *L'homme, la famine et la végétation.* Berichte des Sonderforschungsbereiches 268, Band 7, Frankfurt, pp. 115-125.

MILLSPAUGH S.-H., WHITLOCK C. & BARTLEIN P. -J. (2000). *Variations in fire frequency and climate over the past 17 000 yr in central Yellowstone National Park*. Geology, 28 (3), pp. 211-214.

Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique du Mali, Ministère de l'Environnement du Mali & D.N.C.N. (1999). *Projet d'enregistrement domestique : schéma directeur d'approvisionnement en bois d'énergie de Mopti.* 90 p.

Ministère des mines et de l'énergie de l'eau du Mali & Direction nationale de l'hydraulique. (2006). *Rapport national sur la mise en valeur des ressources en eau.* 212 p.

MINCKLEY T.-A., WHITLOCK C. & BARTLEIN P. (in press). *Vegetation, fire and climate history of the northwestern great Basin during the last 14000 years.* In : Quaternary Science Reviews

MINZONI-DEROCHE A. & SANLAVILLE P. (1988). *Le Paléolithique inférieur de la région de Gaziantep*. Paléorient, vol. 14/2, pp. 87-98.

MISKOVSKY J.-C. (2002). *Géologie de la Préhistoire*. Geopre, 1518 p.

MISKOVSKY J.C. (2004). *Géologie de la préhistoire.* Editions Géopré, Collection Presses Universitaires de Perpignan,, 1519 p.

MISTRY J. (2001). *Savannas.* Progress in Physical Geography, n° 25, pp. 552-559.

MOL T., KUCUKOSMANOGLU A. & BILGILI E.-X. (2002). *Incendies de forêts dans un environnement mondial – évolution des attitudes vis-à-vis du feu.* Forêts et feu, n° 6, Actes du XIe congrès forestier mondial, Antalya, Turquie, pp.193-202.

MONNIER Y. (1968). *Les effets des feux de brousse sur une savane préforestière de Côte d'Ivoire. IX. Etudes Eburnéennes.* Direction de la Recherche Scientifique, Ministère de l'Education Nationale de la République de Côte d'Ivoire, Paris, 300 p.

MONNIER Y. (1981). *La poussière et la cendre.* Agence de Coopération Culturelle & Technique, Paris, 253 p.

MONNIER Y. (1990). *La poussière et la cendre. Paysages, dynamiques des formations végétales et stratégies des sociétés en Afrique de l'Ouest.* Agence de coopération culturelle et technique, Ministère de la Coopération et de Développement, Paris, 263 p.

MOORE J. (2000). *Forest fire and human interaction in the early Holocene woodlands of Britain.* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, n° 164, pp. 125-137.

MOORE P.-D. & WEBB J.-A. (1978). *An illustrated guide to Pollen Analysis.* Hodder and Stoughton, Hong Kong, 134 p.

MOORE P.-D., WEBB J.-A. & COLLINSON M.-E. (1991). *Pollen analysis.* Bacwell Scientific Publications, Oxford, 220 p.

MORLEY J.-J. & DWORESTKY B.-A. (1993). *Holocene temperatures patterns in the south Atlantic, southern an Pacific oceans.* In : Wright H.-E. & al., *Global Climates since the last glacial Maximum.* University Minnesota Press, pp. 194-220

MORZADEC-KERFOURN M.-T. (2001). *Kystes de dinoflagellés et changements climatiques en zone littorale de Côte d'Ivoire - Ghana à la transition Pléistocène-Holocène.* Quaternaire, A.F.E.Q., Vol. 12, n° 4, pp. 213 – 223.

MUNSON P.-J. (1989). *About: Economie et Société Néolithique du Dhar Tichitt* (Augustin Holl). *Sahara* 2, pp. 106-108

MUXART T. (2002). *L'anthroposystème et la zone atelier : nouveaux concepts territorialisés de l'étude des co-évolutions des sociétés avec leurs milieux.* Séminaire interdisciplinaire sur le développement durable (S.I.D.D.), 21/11/2002, I.F.R.E.S.I., Lille, 6 p.

MUZZOLINI A. (1993). *L'origine des chèvres et moutons en Afrique.* Emparies. Vol. 48-50. pp. 160-175

N.

N.A.S.A. (2001). *Biomass Burning : a hot issue in Global Change***.** Fact Sheet National Aeronautics and Space Administration, 4 p.

NEBIE O. (1996). *Dégradation du milieu et aménagement dans le Plateau central, Burkina Faso.* Berichte des Sonderforschungsbereiches 268, Band 7, Frankfurt, pp. 149-177.

NEEDHAM S. & MACKLIN M. G. (1992). *Alluvial archaeology in Britain.* Edited by Needham S. and Macklin M. G., Oxbow Monograph, 27, 277 p.

NEUMANN K. (1989). *Vegetationsgescichte der Ostsahara im Holozän. Holzkohlen aus Prähistorischen Fundsteelen (mit einem Exhurs über die Holztzolen von Fachi-Dogonboulg, Niger).* In : Forschungen zur Umweltgeschichte der Ostsahara. Africa Prahistorica 2. Heinrich Borth Institut Köln, pp. 13-183

NEUMANN K. (1999). *Early plantfood production in the west African* Sahel - new evidence from the Frankfurt project. in : Van der Neer M., The exploitation of plant resources in ancient Africa. Plenum Publisher, New York, pp. 73-80

NEUMANN K. (2002). *Die westafrikanische Savanne - eine Kulturlandschaft.* In REIKAT A. (ed.), Leben in Westafrik,. Frankfurt a. Main (Plexus-Verlag, Johann Wolfgang Goethe-Universität, 268 Kulturentwicklung und Sprachgeschichte im Naturraum Westafrikanische Savanne"), pp. 70-83.

NEUMANN K. (2003). *The late emergence of agriculture in Sub-Saharan Africa : archaeobotanical evidence and ecological considerations.* In NEUMANN K., BUTLER A. & KAHLHEBER S*., food, fuel and fields. Progress in African Archaeobotany*. pp. 71-92.

NEUMANN K. (2005). *The romance of farming - plant cultivation and domestication in Africa.* A.B. Stahl (ed.): African Archaeology. A Critical Introduction, Malden (Blackwell), pp. 249-275.

NEUMANN K. & BALLOUCHE A. (1992). *Die Chaine de Gobnangou in SE Burkina Faso. Ein Beitrag zur Vegetationsgeschichite der Sudanzone W. Africas.* Geobot. Kolloq., Francfort/Main. n° 8, pp. 53-68.

NEUMANN K., **BREUNIG P. & KAHLHEBER S.** (2007). *Early food production in the Sahel of Burkina Faso*. Berichte des Sonderforschungberichte 268, vol. 14, pp. 327-334

NEUMANN K., **HAHN-HADJALI K. & SALZMANN U.** (2004). *Die Savannen der Sudanzone in Westafrika - natürlich oder menschengemacht?* In ALBERT K.-D., LOHR D. & NEUMANN K**.** (eds.): *Mensch und Natur in Westafrika.* Abschlussbuch des Sonderforschungsbereichs 268, Weinheim (Wiley–VCH)., pp. 39-68.

NEUMANN K. & VOGELSANG R. (1996). *Paléoenvironnement et préhistoire au Sahel du Burkina Faso.* Berichte des Sonderforschungs-bereiches 268, Band 7, Frankfurt, pp. 177-187.

NGOMANDA A., JOLLY D., BENTALEB I., CHEPSTOW LUSTY A., MAKAYA M., MALEY JEAN, FONTUGNE M., OSLISLY RICHARD, RABENKOGO N. (2007). *Lowland rainforest response to hydrological changes during the last 1500 years in Gabon, Western Equatorial Africa*. Quaternary Research. Vol. 67. pp. 411-425

NGUETSOP V.-F., SERVANT-VILDARY S. & SERVANT M. (2004). *Changements climatiques à l'échelle millénaire pendant l'Holocène récent dans l'Ouest Cameroun, d'après une étude de diatomées à haute résolution temporelle.* Colloque Hugues Faure associé au 20ème colloque de géologie africaine, symposium, 3 juin 2004, Orléans, p.61.

NGUETSOP V.-F., SERVANT-VILDARY S. & SERVANT M. (2004). *Late Holocene climatic changes in west Africa, a high resolution diatom record from equatorial Cameroon.* Quaternary Science, n°23, pp. 591-609.

NIANG-DIOP I., DANSOKO M., FAYE S., GUEYE K. & NDIAYE P. (2004). *Les impacts des changements climatiques sur les zones côtières du Sénégal : exemples de la presqu'île du Cap Vert et de l'estuaire du Saloum.* Colloque Hugues Faure associé au 20ème colloque de géologie africaine, symposium, 3 juin 2004, Orléans, p.62-63.

NICHOLSON S.-E. (1996). *Environmental change within the historical period.* in : Adams W.-M. & al., *the physical geography of Africa*. Oxford University Press. pp. 60-87

NICHOLSON S.-E. (2000). *The nature of rainfall variability over Africa on time scales of decades to millennia.* Global and Planetary Change. Vol. 26, pp. 137-158.

NOEL H. (2001). *Caractérisation et calibration des flux organiques sédimentaires dérivant du bassin versant et de la production aquatique (Annecy, le Petit Lac) - Rôles respectifs de l'Homme et du Climat sur l'évolution des flux organiques au cours des 6000 dernières années.* Thèse Université d'Orléans, Sciences de l'Univers. 279 p.

NORMAND D. (1950-1960). *Atlas des bois de la Côte d'Ivoire.* Nogent sur Marne, centre technique, forestier tropical, 200 p.

NYSSEN J., POESEN J., MOEYERSONS J., DECKERS J., HAILE M. & LANG A. (2004). *Human impact on the environment in the Ethiopian and Eritrean highlands_a state of the art.* Earth-Science Reviews, 64, pp. 273-320.

O.

OLAGO D.-O., STREET-PEROTT F.-A., PEROTT R.-A., IVANOVICH M., HARKNESS D.-D. & ODADA E.-O. (2000). *Long-term temporal characteristics of palaeomonsoon dynamics in equatorial Africa.*. Global and Planetary Change. Vol. 26, pp. 159-171.

OLLIVE V., PETIT C., GARCIA J.-P. & DEDDE M. (2006). *Rhine flood deposits recorded in the Gallo-Roman site of Oedenburg (Haut Rhin, France).* In : Quaternary International 150, pp. 28-40

OSLISLY R. (1998). *L'influence de l'homme sur son milieu naturel : préhistoire et environnement à Lopé, au Gabon.* Canopée, n° 11, 3 p.

OSLILY R. & WHITE L. (2003). *Etudes des traces de l'homme sur l'environnement au cours de l'Holocène dans deux régions d'Afrique centrale forestière*. In : Froment A. & Guffroy J., Peuplements anciens et actuels des forêts tropicales. Editions IRD, pp. 77-88

OREV Y. (1987). *Manuel pratique pour l'amélioration des pâturages en zones semi-arides*. C.T.A., Genève, 120 p.

(1960). *Etat actuel des études hydrogéologiques dans la République du Mali*. Conférence interafricaine sur l'Hydrogéologie. Nairobi. 13 p.

& C.T.A. (1995). *Environnement humain de l'érosion.* Réseau Erosion, Bull. 15. 623 p.

O'SULLIVAN P.-E. (1983). *Annually laminated lake sediments and the study of Quaternary environmental changes.* Quaternary Science Reviews 1, pp. 245-313

OUASSINI H. (1992). *Histoire de la végétation climacique et anthropique dans l'Afrique du Nord et le Sahara. Essai de cartographie à l'échelle de l'Holocène.* Mémoire. Sc. Archéo. Et Patrimoine. Frankfurt, 124 p.

OZAINNE S. (2006). *Pulsations sahariennes et premiers cultivateurs : le Néolithique récent du Plateau dogon (3500 - 500 av. J.-C.)*. *Etudes Maliennes* 65, p. 69-88.

OZAINNE S., HUYSECOM E., BALLOUCHE A. & RASSE M. (2004). Le site des Varves à Ounjougou (Mali) : nouvelles données sur le peuplement néolithique des zones subsahariennes en Afrique de l'Ouest. Etudes africaines suisses, édité par la société suisse d'études africaines (S.S.E.A.), tome 4, pp. 265-281.

OZAINNE S., LE DREZEN Y., BALLOUCHE A., RASSE M., NEUMANN K., DOUTRELEPONT H. & HUYSECOM E. (soumis, accepté). *The Late Holocene occupations at Ounjougou (Mali): a cultural and environmental sequence*, in: *Proceedings of the 12th Congress of Panafrican Association, Prehistory and Related fields* (Gaborone 3-8 jul. 2005).

OZENDA P. (1983). *Flore du Sahara*. Edition du C.N.R.S., Paris, 620 p.

PACHUR H.-J. & HOELZMANN P. (1991). *Paleoclimatic implications of late Quaternary lacustrine sediments in western Nubia-Sudan.* Quaternary Research. Vol. 36. pp. 257-276

PACHUR H.-J. & KRÖPELIN S. (1989). *L'aridification du Sahara oriental à l'Holocène moyen et supérieur*. In : ROGNON P. *Le Sahara, essai sur l'évolution d'un désert*. Séance spécialisée de la société géologique de France, Paris, pp. 99-107.

PADUANO G.-M., BUSH M.-B., BAKER P.-A., FRITZ S.-C. & SELTZER G.-O. (2003). *A vegetation and fire history of Lake Titicaca since the Last Glacial Maximum.* Palaeogeo-graphy, Palaeoclimatology, Palaeoecology, n° 194 ; pp. 259-279.

PARADIS-MAINDIVE S. (2000). *Le paysage : outil et support de paysages territoriaux ?* In : Actions Paysagères et acteurs territoriaux, géographie et territoire ; Equipe GESTE, gestion n° 7, Poitiers, pp. 11-19.

PASSEGA R. (1964). *Grain size representation by CM patterns as a geological tool*. Journal of sedimentary petrology, vol. 34, n°4, pp. 830-847

PATTERSON W.-A., EDWARDS K.-J. & MAGUIRE D.-J. (1987). *Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire.* Quaternary Science Reviews 6. pp. 3-23

PAULME D. (1939). *Parenté à Plaisanteries et Alliance par le Sang en Afrique Occidentale.* Africa: Journal of the International African Institute, Vol. 12, No. 4., pp. 433-444.

PAYETTE S. & ROCHEFORT L. (2001). *L'écologie des tourbières du Québec-Labrador*. Les presses universitaires de Laval, 621 p.

PECSI M. & MOROZOVA O. (1987). *Micromorphological investigation of paleosol enclosures in the loess profile at paks hungary.* In : FEDOROFF N., BRESSON L.-M. & COURTY M.-A. *Micromorphologie des sols.* Réunion internationale de micromorphologie des sols, Paris pp. 619-624

PEFONTAN L. (1922). *Histoire de Tombouctou de sa fondation au XIIème sicle à 1893*. Bull. Com. Et Hist. SC. AF. Occ., Vol. 7., pp. 81-113

PELISSIER P. (1979). *L'arbre dans les paysages agraires da l'Afrique Noire*. In : I.R.D., *Le rôle des arbres au sahel.* Compte rendu du colloque tenu à Dakar (Sénégal) du 5 au 10/11/1979, I.D.R.C., Ottawa, pp. 37 - 42.

PELLETIER D. (2000). *Etude du marché ouest-africain de l'oignon et pomme de terre.* Thiès, Sénégal, volume 1., 36 p.

PETIT-MAIRE N., FABRE J., CARBONEL P., SCHULZ E. & AUCOUR A.-M. (1987). *Holocene palaeomonsoon in Northern Mali*. In PETIT-MAIRE N. & VANBESIEN C. *Déserts, évolution passée et future*. Rapports scientifiques, pp. 86.

.

PETIT-MAIRE N., RISER J. & DECOBERT M. (1988). *Carte du Sahara malien à L'Holocène*. In PETIT-MAIRE N. & GOMIS A. *Déserts, évolution passée et future*. Rapports scientifiques, pp. 73.

PETIT-MAIRE N. & VANBESIEN C. (1987). *Evolution passée et future des déserts.* C.N.R.S., P.I.C.G. 252, Rapports, 115 p

PEULVAST J.-P. & VANNEY J.-R. (2002). *Géomorphologie structurale. Terre, corps planétaires solides*. T. 2, relief et géodynamiques, Paris, BRGM, 524 p.

PEYRE DE FABREGUES B. (1990). *Sécheresse et disparition des arbres fourragers au Sahel*. Sécheresse, n° 2, vol.1, pp.105-108.

PICARD M.-D. & HIGH L.-R. (1973). *Sedimentary structures of ephemonal sterns*, Amsterdam, 223 p.

PICOUET C. (1999). *Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé. Le Bassin supérieur du Niger et son delta intérieur*. Thèse. Université de Montpellier II "sciences et techniques du Languedoc". Montpellier. 469 p.

PIQUEMAL D. (1993). *Dynamique agraire et approche de la gestion des terroirs : l'agropastoralisme du département de Sebba au Burkina Faso*. Thèse, Université Provence, centre d'Aix, 355 p.

PIOLLE X. (1998). *Le territoire ou des dimensions spatiales des rapports sociaux.* Espaces et Sociétés à la fin du XX^{ème} siècle, quelle géographie sociale ? Les documents de la MRSH de Caen, n° 7, colloque de géographie sociale (oct. 1996), Caen, pp. 75-87

PLANCHON O. (1991). Transferts d'échelles et étude des écoulements de surface sur une pente. *Séminfore IV, 4ème séminaire informatique de l'O.R.S.T.O.M., centre de Brest, du 11 au 13/09/1990, textes réunis par MULLOM C., pp. 79-94.*

POMEL S., **ABICHOU A. & SCHULZ E.** (2003). *La signification paléo-impluviométrique des sédiments de la sebkha Mhabeul (Sud Est Tunisie*). ASF, Bordeaux, pp. 410-444

POMEL S., POMEL-RIGAUD F. & SCHULZ E. (1994). *Indicateurs anthropogènes de la végétation et des sols de quelques savanes de l'Afrique de l'Ouest.* In MAIRE R., POMEL S. & SALOMON J.-N., *Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale.* Presse universitaire de Bordeaux. pp. 173-200

PONS A. (1970). *Le pollen*. Que Sais-Je ?., Editions P.U.F., n° 783, Paris, 127 p.

PORTERES R. (1962). Berceaux agricoles primaires sur le continent Africain. *Journal of African History* 2, pp. 195-210.

POURTIER R. (2001). *Afrique noires*. Hachette Supérieur, carré-géographie, Paris, 255 p.

POWER M.-J., MARLON J. , ORTIZ N. , P. -J. BARTLEIN, HARRISON S.-P. , MAYLE F.-E. , BALLOUCHE A. , BRADSHAW W. -R.- H. , CARCAILLET C. , CORDOVA C. , MOONEY S. , MORENO P. -I. , PRENTICE I.-C. , THONICKE K. , TINNER W. , WHITLOCK C. , ZHANG Y. , ZHAO Y. , ALI A.-A. , ANDERSON R. -S. , BEER R. , BEHLING H. , BRILES C. , BROWN K. -J. , BRUNELLE A. , BUSH M. , CAMILL P. , CHU G. -Q. , CLARK J. , COLOMBAROLI D. , CONNOR S. , DANIAU A.-L. , DANIELS M. , DODSON J. , DOUGHTY E. , EDWARDS M.- E. , FINSINGER W. , FOSTER D. , FRECHETTE J. , GAILLARD M.-J. , GAVIN D.-G., GOBET E. , HABERLE S. , HALLETT D. -J. , HIGUERA P. , HOPE G. , HORN S. , INOUE J. , KALTENRIEDER P. , KENNEDY L. , KONG Z. -C. , LARSEN C. , LONG C. -J. , LYNCH J. , LYNCH E. -A. , MCGLONE M. , S. MEEKS, MENSING S. , MEYER G. , MINCKLEY T. , MOHR J. , NELSON D. -M. , NEW J. , NEWNHAM R. , NOTI R. , OSWALD W. , PIERCE J. , RICHARD P.- J.- H. , ROWE C. , SANCHEZ GOÑI M. -F. , SHUMAN B. N. , TAKAHARA H. TONEY, J. , TURNEY C. , URREGO-SANCHEZ D. -H. , UMBANHOWAR C. , VANDERGOES M. , VANNIERE B. , VESCOVI E. , WALSH M. , WANG X. , WILLIAMS N. , WILMSHURST J. & ZHANG J. H. (2008). *Changes in fire regimes since the LGM: an assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data.* In : Climate dynamics, Vol. 30, n° 7-8, pp. 887-907.

P.R.B.P., D.N.A.M.R., D.E.D. & KfW. (2002). *Tableaux et graphiques pluviométriques : la pluviométrie sur le plateau Dogon de quelques années antérieures (1989-2002).* Bandiagara, 55 p.

PRENTICE C., JOLLY D. & BIOME 6000 participants (2000). *Mid-Holocene and glacial-maximum vegetation geography of the northern continents and Africa.* Journal of Biogeography, vol. 27, pp. 507-519.

PRICE T.-D. & GETAVER A.-B. (1995). *"New perspectives on the transition to agriculture" last hunders, fisrt farmers*. School of American Research Press. Pp. 3-20

Primature, Mission de Décentralisation, Cartographie A.R.P., Communauté Européenne & Agence Bamako. (1996). *Cartographies des communes rurales dans la République du Mali. (Recensement de 1986, et projection de 1996).* C.D.Rom.

PROVANSAL M. & BERGER J.-F. (1998). *Hydrosystèmes continentaux, paléoenvironnement et*

anthropisation dans le basin versant méditerranéen du Rhône. Rapport intermédiaire 1998, CNR, Paléoenvironnement et évolution des Hominidés.

PROVANSAL M., **BERGER J.-F., BRAVARD J.-P., SALVADOR P.-G., ARNAUD-FASSETTA G., BRUNETON H. & VEROT-BOURRELY A.** (1999). *Le régime du Rhône dans l'Antiquité et Haut Moyen-Age.* Gallia 56. pp. 13-32

PROVANSAL M. & MORHANGE C. (1994). *Seuils climatiques et réponses morphogéniques en basse Provence depuis 5000 ans.* Quaternaire, vol. 5 (3-4), pp. 113-118

PUECH C. (2000). *Utilisation de la télédétection et des modèles numériques de terrain pour la connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes.* Mémoire H.D.R. Mécanique des milieux, géophysique et environnement. INAP-G Grenoble. 105 p.

R.

RAIMBAULT M. (1987). *Préhistoire et protohistoire au Mali*. In PETIT-MAIRE N. & VANBESIEN C., Déserts, évolution passée et future, rapports scientifiques, pp. 88.

RASSE M. (2007). *Géomorphologie, géoarchéologie et géographie en pays dogon : vers une reconstitution du passé climatique et du peuplement du Sahel malien à partir d'Ounjougou.* Bull. Asso. Géog. Franc, BAGF. Vol. 2. pp. 119-132.

RASSE M., BALLOUCHE A. & LE DREZEN Y. (2005). *Les recherches géomorphologiques.* In HUYSECOM E. & al. (2005). *La septième campagne de terrain à Ounjougou (Mali) et ses apports au programme interdisciplinaire. Paléoenvironnement et peuplement humain en Afrique de l'Ouest.* Jahresbericht 2005 / F.S.L.A., Fondation Suisse- Liechtenstein pour les recherches archéologiques à l'étranger, Zürich et Vaduz. 6 p.

RASSE M., BALLOUCHE A., HUYSECOM E., LE DREZEN Y., NEUMANN K., OZAINNE S. & TRIBOLO C. (2006). *Evolution géomorphologique, enregistrements sédimentaires et dynamiques paléoenvironnementales holocènes à Ounjougou (Plateau dogon, Mali, Afrique de l'Ouest*), Quaternaire, pp. 1-17.

RASSE M. & BALLOUCHE A., TRIBOLO C., LE DREZEN Y., NEUMANN K., SORIANO S. & LESPEZ L. (2006*). Décrypter le passé sédimentaire et climatique. De la reconstitution de l'évolution géomorphologique et des paléoenvioronements pléistocènes et holocènes à Ounjougou. Etudes Maliennes* 65, p. 15-25.

RASSE M. & BOEDA E. (2006). *De la lecture verticale à la lecture spatiale des enregistrements archéologiques: réflexions géographiques tirées de l'exemple du site d'Umm el Tlel (Syrie centrale)*. In : Mappemonde, n°3, en ligne.

RASSE M., SORIANO S., TRIBOLO C., STOKES S. & HUYSECOM E. (2004). *La séquence pléistocène supérieur d'Ounjougou (Pays Dogon, Mali, Afrique de l'Ouest) : Evolution géomorphologique, enregistrements sédimentaires et changements culturels.* Quaternaire, n° 15, pp. 329-341.

READING H.-G. (1996). *Sedimentary Environments : Processes, facies and stratigraphy*. Blackwell, Oxford, 667 p.

REDMAN C., KINZIG A. & LUBU L. (2003). *Agricultural landscapes in transition a cross - scale approach.* CAPLTER, poster

REICHELT R. (1987). *Sahel : le retour de l'erg ancien*. In PETIT-MAIRE N. & VANBESIEN C., *Evolution passée et future des déserts*, 89 p.

REILLE M. (1990). *Leçons de palynologie et d'analyse pollinique*. Edition C.N.R.S., Paris, 206 p.

REILLE M. (1992). *Pollens et spores d'Europe et d'Afrique du Nord.* Atlas photographique, laboratoire de botanique et palynologique. URA 1152 CNRS, Marseille, 520 p.

REILLE M. (1995). *Pollens et spores d'Europe et d'Afrique du Nord.* Ed. du Laboratoire Botan. Historique et palynologie. Marseille, 327 p.

REINEICK M.-E. & SINGH H.-B. (1973). *Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics*. Hardcover, Springer, 439 p.

REMENIERAS G. (1999). *L'hydrologie de l'ingénieur.* Collection De la Division Recherche et Développement d'Electricité de France. Eyrolles. Paris. 456 p.

RENAUD P. (1991). *Ouverture de Séminfore I.*, Séminfore IV, 4ème séminaire informatique de l'ORSTOM, centre de Brest, du 11 au 13/09/1990, textes réunis par MULLOM C., p. XV.

RENAULT-MISKOVSKY J. (1986). *L'environnement au temps de la préhistoire*. Editions Masson, Paris, 193 p.

RENBERG I. (1981). *Formation, structure and visual appearance on iron-rich, varved lake sediments*. BOREAS 10, pp. 255-258

RENSSENA H., BROVKINB V., FICHEFETC T. & GOOSSEC H. (2006). *Simulation of the Holocene climate evolution in Northern Africa: The termination of the African Humid Period*. Quaternary International, 150, pp. 95-102.

République du Mali, Comité Interafricain d'études hydrauliques, Ministère de la Coopération de la République Française & O.R.S.T.O.M. (1974). *Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965*. Paris, 1 081 p.

RETAILLE D. (2002). *Espaces, territoires et sociétés*. Epreuve sur dossier, Agrégation externe, 1ère partie, CNED, Vanves, 44 p.

RETAILLE D. (2002). *Espaces, territoires et sociétés*. Epreuve sur dossier, Agrégation externe, 2ème partie, CNED, Vanves, 60 p.

RETAILLE D. (2002). *Espaces, territoires et sociétés*. Epreuve sur dossier, Agrégation externe, 3ème partie, CNED, Vanves, 53 p.

RETZER V. (2006). *Impacts of grazing and rainfall variability on the dynamics of a Sahelian rangeland revisited (*Hein, 2006) - *new insights from old data.* Journal of Arid Environments, vol. 67, pp. 157-164.

REY J.-Y., DIALLO T.-M., VANNIERE H., DIDIER C., KEITA S. & SANGARE M. (2004). *La mangue en Afrique de l'Ouest francophone.* Fruits, vol. 59, n° 2, pp. 121-129

RHODES A.-N. (1998). *A method for the preparation and quantification of microscopic charcoal from terristrial and lacustrine sediment cores*. The Holocene. Vol. 8,1 ; pp. 113-117

RICHARD J.-F. (1973). *Essai de définition théorique de la géographie des paysages*. Cah. Groupe de Rech. Sur les équilibres des paysages, n°4, CNR1, pp. 90

RICHARD J.-F. (1985). *La science des Paysages, relation, dépendance et autonomie*. Revue géographique de l'Est, Tome 4, Nancy, pp. 347-353

RICHARD H. (1994). *Indices polliniques d'une néolithisation précoce sur le premier plateau du Jura (France)*. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 318, série II. pp. 993-999.

RICHARD H. (1995). *Analyse de l'anthropisation du milieu à partir de quelques exemples de variations de pollens d'arbres et d'arbustes*. CEPAM, Aix, extraits de l'Homme et la dégradation de l'environnement, 15ème rencontre internationale d'archéologie et d'histoire d'Antibes, pp. 143-199

RICHARD P.-J.-H. (1992). *Méthode pour l'apprentissage autodidacte de l'analyse sporopollinique.* Laboratoire Jacques Rousseau, département de géographie, université de Montréal, pp. 1-26.

RIOU G. (1990). *L'eau et les sols dans les géosystèmes tropicaux.* Systèmes d'érosion hydrique. Masson, Armand Colin, Paris, 221 p.

RIOU G. (1995). *Savanes, l'herbe, l'arbre et l'homme en terres tropicales*. Masson, Editions Armand Colin, Paris, 270 p.

RISER J. (1999). *Géographie Physique de l'Afrique Occidentale et Centrale*. Ellipses, Université Géo., Paris, 160 p.

ROBERT A., SORIANO S., RASSE M., STOKES S. & HUYSECOM E. (2003). *First chrono-cultural reference framework for the West African Palaeolithic: new data from Ounjougou (Dogon Country, Mali)*. Journal of African Archaeology 1(2), pp. 151-169.

ROBERTS N. (1998). *The Holocene. An environmental history.* Ed. Blackwell, Oxford U.K. & Cambridge USA, 316 p.

ROBERTS S.-J. (2001). *Tropical fire ecology. P*rogress in Physical Geography, n° 25, pp. 286-291.

ROBION-BRUNNER C. (2008). *Vers une histoire de la production du fer sur le plateau de Bandiagara (pays dogon, Mali) durant les empires précoloniaux : peuplement des forgerons et traditions sidérurgiques*. Thèse. Université de Genève, Suisse, 425 p.

ROCHETTE R.-M. (1989). *Le Sahel en lutte contre la désertification*. Leçons d'expériences, Weikersheim, Margrof, 400 p.

RODRIGUES D., ABELL P.-I. & KRÖPELIN S. (2000). *Seasonality in the the early Holocene climate of Northwest Sudan: interpretation of* Etheria elliptica *shell isotopic data.* Global and Planetary Change. Vol. 26, pp. 181-187.

ROELAND J.-C. (1991). *Méthode de reconstitution paléoclimatique en Afrique centrale. Application à la séquence pollinique de Kashiru, Burundi*. In SUC J.-P., TURON J.-L. CAMBON G. Palynosciences. Vol. 1, Publication de l'association des palynologues de langue française, 11ème symposium (Orléans, 1989), thème : "Palynologie et matière organique", Montpellier, pp. 187-198.

ROGNON P. (1988). *Le Sahara, essai sur l'évolution d'un désert*. Séance spécialisée de la Société Géologique de France, Paris, 115 p.

ROGNON P. (1991). *Le projet de lutte contre la sécheresse au Sahel*. Sécheresse, n° 2, vol. 2, pp. 135-138.

ROSET J.-P. (1996). *La céramique des débuts de l'Holocène au Niger nord-occidental : nouvelles datations, bilan des recherches.* In : Aumassip G., Clark J.-D. & Mori F., *The prehistory of Africa*. U.I.S.P.P. 13, section 15, Abaco, pp. 175-182

ROSSI G. (2000). *L'ingérence écologique. Environnement et développement rural du Nord au Sud.* Paris, C.N.R.S. ed., 234 p.

ROUGERIE G. (1969). *Géographie des paysages*. Que sais-je ?, PUF, n° 1362, 184 p.

ROUGERIE G. & BEROUTCHACHVILI N. (1991). *Géosystèmes et paysages, bilan et méthodes.* Armand Colin, Paris, 302 p.

RUSSEL J.-M. & JOHNSON T.-C. (2005). *A high resolution geochimical record from Lake Edward, Uganda Congo and the timing and causes of tropical African drought during the late Holocene*. Quaternary Science Reviews, pp. 1375-1389

S.

SAARNISTO M. (1986). *Annually laminated lake sediments*. In BE Berglund, Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology, Wiley and Sors, pp. 343-370

SALLY L. (1994). *Zones Humides du Burkina Faso, compte rendu d'un séminaire sur les sones humides du Burkina Faso*. Programme Zones Humides de l'I.U.C.N., Cambridge, 295 p.

SALZMANN U. (2000). *Are modern savannas degraded forests? A Holocene pollen record from the Sudanian vegetation zone of NE Nigeria.* Vegetation History and Archaeobotany, vol. 9, pp. 1-15.

SALZMANN U. (1999). *Zur holozänen Vegetations- und Klimaentwicklung der westafrikanischen Savannen Paläoökologische Untersuchungen in der Sahel- und Sudanzone N.O. - Nigerias.* Berichte des Sonderforschungsbereiches 268, Band 13, Frankfurt, 147 p.

SALZMANN U., HOELZMANN P. & MORCZINEK I. (2002). *Late Quaternary Climate and Vegetation of the Sudanian Zone of Northeast Nigeria*. Quaternary Research, n° 58, pp. 73-83.

SALZMANN U. & HOELZMANN P. (2005). *The Dahomey Gap an abrupt climatically indured rain forest fragmentation in West Africa during the Late Holocene*. Holocene, vol. 15, pp. 190-199

SALZMANN U. & WALLER M. (1998). *The Holocene vegetational history of the Nigerian Sahel based on multiple pollen profiles*. Paleobotany & Palynology, n° 100, pp. 39-72.

SAUER C. (1925). *The morphology of landscape*. University of California Publications in Geography, vol. 2, pp. 19-54.).

SCHMIDT P.-R. (1997). *Archaeological Views on history of landscape change in East Africa.* The Journal Of African History. Vol. 38, n°3. pp. 393-421.

SCHOELLER H. (1941). *L'influence du climat sur la composition des eaux souterraines*. Bull. Soc. Géol. Fr., Vol. 5, pp. 267-289

SCHULZ E. (1991). *Paléoenvironnement dans le Sahara central pendant l'Holocène*. In : HEINE K., *Palaeoecology of Africa and the surrounding islands*, vol. 22, Rotterdam, pp. 191-201.

SCHULTZ E. & POMEL S. (1992). *Die Anthropogene Entstehung des Sahel.* Würzburg, Geogr. Arbeiten,84. pp. 263-288

SCHULZ E., VONRAD U. & STACKELBERG U. (1996). *Laminated sediments from the oxygen, minimum zone of the northeastern Arabian sea. In : AES, Kemp, Palaeoclimatology, and Palaeoceonagraphy from laminated sediments.* Geological Society special Publication, London, pp. 185-207

SCHWARTZ D. (1992). *Assèchement climatique vers 3000 BP et expansion Bantu en Afrique centrale atlantique : quelques réflexions* . Bull. Soc. Géol. France, 163. pp. 353-361

SCHWARTZ D. & groupe ECOFIT (2003). *Changements climatiques holocènes en Afrique centrale*. In : Froment A. & Guffroy J., Peuplements anciens et actuels des forêts tropicales. Editions IRD, pp. 77-88

SCOTT A.-C. (1989). *Observations on the nature and origin of fusain.* International Journal of Coal Geology, vol. 12, pp. 443-475.

SCOTT A.-C. (2000). *The Pre-Quaternary history of fire.* Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoecology, n° 164, pp. 281-329.

SCOTT A.-C., CRIPPS J.-A., COLLINSON M.-E. & NICHOLS G.-J. (2000). *The taphonomy of charcoal following a recent heathland fire and some implications for the interpretation of fossil charcoal deposits.* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, pp. 1 64 1-1731.

SCOTT A.-C. & JONES T.-P. (1991). *Fossil charcoals : a plant fossil record preserved by fire.* Geol. Today 7. pp. 214-216

SCOTT A.-C., MOORE J. & BRAYSHAY B. (2000). *Introduction to fire and the palaeoenvironment.* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, n° 164, pp. 7-11.

SCOTT L. (2002). *Microscopic charcoal in sediments: Quaternary fire history of the grassland and savanna regions in South Africa.* Journal of Quaternary Science, n° 17, pp. 77-86.

SCOTT L. (2003). *The Holocene and Middle Latitude Arid Areas.* In MACKAY A., BATTARBEE R., BIRKS J. & GOLDBERG F. *Global change in the Holocene.* Arnold, London, pp. 395-405

SEBAG D. (2002). *Apports de la matière organique pour la reconstitution des paléoenvironnements holocènes de la basse vallée de la Seine. Fluctuations des*

conditions hydrologiques locales et environnements de dépôts. Thèse de doctorat, Université de Rouen, 356 p.

SEIGNOBOS C. (1993). Des traditions Fellata et de l'assèchement du lac Tchad. In : Barreteau D. & Von Graffenried C., *Datations et chronologies dans le Bassin du Lac Tchad*. O.R.S.T.O.M., Paris, pp. 165-182

SERVANT M. (1983). *Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieure*. Travaux et documents de l'ORSTOM 159, Paris, 573 p.

SERVANT M. & SERVANT-VILDARY S. (2004). *Changements climatiques holocènes dans les domaines des moussons sud-américaine et africaine.* Colloque Hugues Faure associé au 20ème colloque de géologie africaine, symposium, 3 juin 2004, Orléans, 70 p.

SHAKESBY R.-A. & DOERR S.-H. (2006). *Wildfire as a hydrological agent.* Earth Science Reviews 74 (3-4). Pp. 269-307

SHANAHAN T.-M., OVERPECK J.-T., WHEELER W., BECK J.-W., PIGATI J.-S., TALBOT M.-R., SCHOLZ C.-A., PECK J. & KING J.-W. (2006). *Paleoclimatic variations in West Africa from a record of late Pleistocene and Holocene lake level stands of Lake Bosumtwi, Ghana*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 242. pp. 287-302.

SHAW T. (1985). *The prehistory of west Africa.* in : Ayaji J.-F.-A. & Crowder M., *History of west Africa 1*. New York, pp. 48-86

SIMMONS I.-G. & INNES J.-B. (1996*). Prehistoric charcoal in Peat Profiles at North Gill, North Yorkshire Moors, England*. Journal of Archaeological Science, vol. 23, pp. 193-197

S.L.A.C.A.E.R. (2004). *Programme d'exécution technique.* Campagne 2003-2004, Bandiagara, 42 p.

SMITH A.-B. (1974). *Preliminary report of excavations at Karkaricinkiat, Mali, 1972*. West African Journal of Archaeology, vol. 4, pp. 33-56

SMITH M.-L. (2006). The Archaeology of Food Preference. *American Anthropologist,* 108, pp. 480-493

SORIANO S. (2006). *Le temps des chasseurs. Du premier peuplement paléolithique au dernier grand aride sur le Plateau de Bandiagara.* In : Etudes maliennes, N° 65, pp. 27-41

SORIANO S. & HUYSECOM E. (2007). *Un Paléolithique ignoré,* in : Pour la Science 358, août 2007, p. 38-43.

SPECKLIN G. (1979). *Applications de la microscopie de réflexion et de fluorescence à l'étude micromorphologique des sols.* Thèse de doctorat. Université des sciences et techniques du Languedoc, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 152 p.

STAGER J.-C. & ANFANG-SUTTER R. (1999). *Preliminary evidence of environmental changes at Lake Bambili (Cameroon, West Africa) since 24000 BP.* Journal of Palaeolimnology 22. pp. 319-330

STAGER J.-C., MAYEWSKI P.A., MEEKER L.D. (2002). *Cooling cycles, Heinrich event 1 and the dessiccation of Lake Victoria*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 15. pp. 169-178

STEIN J. K., FARRAND W. R. (1985). *Archaeology sediments in context. Peopling of the Americas.* Center for Study of Early Man, University of Maine, Orono.

STEINER K.-G. (1984). *Intercropping in tropical smallholder agriculture with special reference to West Africa*. Stein, West Germany, 304 p.

STEWART O.-C. (1956). *Fire as the first force employed by man.* In : Thomas W.-L., Man' role in changing the place of earth, Univ. Chicago Press, pp. 115-133

STOOPS G. (1966). *Application of some pedological methods to the analysis of termite mounds.* Leopoldville, in : etudes sur les termites africains, Bouillon, pp. 379-398

STOOPS G. (2003). *Achievements in micromorphology.* Catena, 53, pp. 317-318.

STRAKA H. (1991). *Computer, aided identification of pollen and spores.* Grana, vol. 30, n°3, p. 605

STRAKA H. (1991). Palynologia Madagassia et Masacarenica. 2ème partie. Echantillons de surface. Oberflachenproben Tropische und subtropische Manzenwelt 78. Akademie der Wissenchaften und der Literatur Mainz. 168 p.

STRAKA H. (1996). *Histoire de la végétation de Madagascar oriental dans les derniers cent millénaires*. Bibliographie de Madagascar, pp. 37-47

STURM M. (1979). *Origin and composition of clastic varve*s. In : SCHÜLLER C. (Ed.), Moraines and varves, AA Balkena, Rotterdam, pp. 281-285

SUC J.-P., TURON J.-L. & CAMBON G. (1991). *Palynosciences*. Vol. 1, Publication de l'association des palynologues de langue française, 11ème symposium (Orléans, 1989), thème : "Palynologie et matière organique", Montpellier, 206 p.

T.

TALBOT M. (1984). *Late Pleistocene rainfall and dune building in the Sahel*. Palaeoecology of Africa. Vol. 16. pp. 203-214

THEIS NIELSEN T., RASMUSEN K.-C. & TOURE A. (2003). *The fire regime of Senegal and its determinants*. Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography, n° 103, pp. 43-53.

THIAME I. (1992). *Le Néolithique de l'Afrique de l'Ouest dans son cadre environnemental : essai de synthèse de l'histoire du paysage végétal*. Mémoire INSAP, 230 p.

TINNER W., AMMANN M., GAGGELER B., GEDYE H.W., JONES S. & SAGESSER B. (1998). *Pollen and charcoal in lake sediments compared with historically documented forest fires in southern Switzerland since AD 1920*. The Holocene, Vol. 8,1 ; pp. 31-42

TINNER W., HOFSTETTER S., ZEUGIN, F. CONEDERA M., WOHLGEMUTH T., ZIMMERMANN1 L. & ZWEIFEL R. (2006). *Long-distance transport of macroscopic charcoal by an intensive crown fire in the Swiss Alps _/ implications for fire history reconstruction.* The Holocene, vol. 16, pp. 287-292.

TRAORE S. (1982). *La dégradation de la végétation et des sols sous l'action anthropique en zone soudanienne au Mali : l'exemple villageois de Sinsina.* Thèse de doctorat de troisième cycle, université de Caen, U.E.R. des sciences de la terre et de l'aménagement régional, 237 p.

TRAVERSE A. (1988) *Paleopalynology.* Unwin Hyman, Boston, 600 p.

TRAVERSE 1. (1994). *Sedimentation of organic particles.* Cambridge Univ. Press., 544 p.

TRICART J. (1965). *Principes et méthodes de la géomorphologie.* Masson, Paris, 496 p.

TOGO J.-M. (1975). *Les paysages agraires du Séno.* D.E.R d'Histoire-Géographie, Mémoire de fin d'étude. E.N.SUP., Bamako, 75 p.

TOLONEN K. (1986). *Charred particle analysis.* In Berglund, B.-E., editor, Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology. John Wiley & sons. Pp. 485-496

TOSSOU M.-G. (2002). *Recherche palynologique sur la végétation holocène du Sud Bénin (Afrique de l'Ouest).* Thèse de doctorat, Université de Lomé, Lomé, 145 p.

TOSTAIN S. (1998). *Le mil, une longue histoire : hypothèses sur sa domestication et ses migrations. In: Plantes et paysages d'Afrique. Une histoire à explorer. Edited by:* M. Chastanet.Karthala, Centre de Recherches Africaines. Paris, France. pp. 461-490.

TOUNSI I., FAVORY F., BERGER J.-F., CHOUQUER G., JUNG C. & ODIOT T. (2007). *Paléohydrographie et archéologie de l'espace rural en pays tricastin (France, Drôme) : de l'archéologie aérienne à la télédétection satellitaire.* In : *Cybergeo*, Actes des Journées de Télédétection en Sciences humaines, article 177, URL : http://www.cybergeo.eu/index635.html.

TOUPAL R.-S. (2003). *Cultural landscapes as a methodology for understanding. Natural ressource management impacts in the western United States*. Ecology & Society, vol. 7, n°1, art. 12

TOUPET C. (1977). *Atlas de la République Islamique de Mauritanie*. Jeune Afrique, Nouakchott, 85 p.

TOUPET C. & PITTE J.-R. (1977). *La Mauritanie*. Collection Que Sais-Je ?, Editions P.U.F., Paris, 123 p.

TOUPET C. & PITTE J.-R. (1992). *Le Sahel.* Nathan U., Lyon, 192 p.

TRABAUD L. **& GILLON D.** (1991). *Les écosystèmes renaissent de leurs cendres.* La recherche. N° 234, pp. 916-918

TRICART J. (1965). *Principes et méthodes de la géomorphologie.* Masson, Paris, 496 p.

U.

U.N.E.S.C.O. (1977). *Carte de la répartition mondiale des régions arides*. Note explicative, Notes techniques du M.A.B., Paris.

Université de Nouakchott & CAMPUS université de Rouen. (1996). *Atlas migrations et gestions du territoire*. République islamique de Mauritanie, Nouakchott, 80 p.

V.

VAN CAMPO M. (1965). *Palynologie africaine* (6 notes dont 3 en collaboration), Bull. Inst. Français Afr. Noire, Dakar.

VAN DER LEEUW S.E. (1995). *L'homme et la dégradation de l'environnement.* Actes du colloque XVème Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire, Antibes les 20-21-22 octobre 1994, éd. APDCA, Juans-les-Pins, p. 514.

VANNIERE B. (2001). *Feu, agro-pastoralisme et dynamiques environnementales en France durant l'Holocène. Analyse du signal incendie, approches sédimentologiques et études de cas en Berry,*

Pyrénées et Franche-Comté. Thèse de l'INAP-G. Laboratoire de Chrono-écologie. Besançon, 328 p.

VANNIERE B. (2003). *Les micro-charbons : indicateur paléoenvironnemental de l'anthropisation. Exemple d'étude en contexte alluvial (Vierzon, Cher).* Actualité de la Recherche en Histoire et archéologie agraires, actes du colloque international AGER V, septembre 2000. Besançon, Presse universitaires Franc-Comtoises, pp. 283-299.

VANNIERE B., BOSSUET G. & GAUTHIER E. (2000). *Susceptibilité magnétique et indices polliniques, marqueurs de l'impact anthropique et de la dynamique fluviale dans la basse vallée du Doubs (Jura, France) entre le Ier et le VIIIe siècles après J.-C.* C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes, vol. 331, pp. 203-210.

VANNIERE B. BOSSUET G., WALTER-SIMONET A.-V., GAUTHIER E., BARRAL P., PETIT C., BUATIER M. & DAUBIGNEY A. (2003). Land use change, soil erosion and alluvial dynamic in the lower Doubs Valley over the 1st millenium AD (Neublans, Jura, France). Journal of Archaeological Science, 30, pp.1283-1299.

VANNIERE B., GALOP D., RENDU C. & DAVASSE B. (2001). *Feu et pratiques agro-pastorales dans les Pyrénées Orientales : le cas de la montagne d'Enveitg (Cerdagne, Pyrénées-Orientales, France).* Sud-Ouest Européen, n°11, pp. 29-12.

VANNIERE B. & LAGGOUN-DEFARGE F. (2001). *Première contribution à l'étude des évolutions paléohydrologiques et à l'histoire des feux en Champagne berrichonne durant l'Holocène. Le cas du "Marais du Grand-Chaumet" (Indre, France).* In BRAVARD J.-P. & MAGNY M., *Histoire des rivières et des lacs de Lascaux à nos jours.* Errance, Paris, pp. 101-124.

VANNIERE B. & MARTINEAU R. (2005). *Histoire des feux et pratiques agraires du Néolithique à l'âge du fer en région Centre. Implications territoriales, démographiques et environnementales.* Gallia Préhistoire, vol. 47, pp. 167-186.

VERGNE V., DENEFLE M. & COHEN J. (1991). *De l'usage de l'analyse pollinique*. Physio-Géo, Meudon, n° 21, pp. 101-105.

VERNEAUX V. & ALEYA L. (1998). B*athymetyric distributions of chironomid communities in ten French lakes: implications on lake classification.* Arch. Hydrobiol., 142, p. 209-228.

VERNET J.-L. & THIEBAULT S. (1987). *An approach to Northwestern Mediterranean recent prehistoric vegetation and ecologic implications*. Journal of Biogeography, vol. 14, pp. 117-127

VERNET R. (1995). *Les Paléoenvironnements du Nord de l'Afrique depuis 600 000 ans.* Dossiers et Recherches sur l'Afrique, n° 3, pp. 149-273.

VERNET R. & FAURE H. (2000). *Isotopic chronology of the Sahara an the Sahel durin the late Pleistocene and the early Mid Holocene (15000-6000 BP).* Quaternary international. Pp. 385-387

VERSCHUREN D. (2002). *Climate reconstruction from African lake sediments.* ESF-HOLIVAR workshop, Lammi Finland, April 17-20th, 7 p.

VINCENS A., SCHWARTZ D., ELENGA H., REYNAUD-FARRERA I., ALEXANDRE A., BERTAUX J., MARIOTTI A., MARTIN L., MEUNIER J.-D., NGUETSOP F., SERVANT M., SERVANT-VILDARY S. & WIRRMANN D. (1999). *Forest response to climate changes in Atlantic Equatorial Africa during the last 4000 years BP and inheritance on the modern landscapes. In :* Journal of Biogeography, 26, pp. 879–885

VINCENS A., LEZINE A.-M., BUCHET G., LEWDEN D. & LE THOMAS A. (2007). *African pollen database inventory of tree and shrub pollen types*. In : Review of Paleobotany and Palynology, vol. 145, pp. 135-141

VOLKEL J. &GRUNERT J. (1990). *To the problem of dune formation and dune weathering during the Late Pleistocene and Holocene in the southern Sahara and the Sahel. Z. Geomorph. N. F.*, 34, (1), pp. 1-17.

W.

WALSH K. (1998). *Genèse et évolution de l'approche environnementale dans l'archéologie des paysages.* Méditerranée, 4, pp. 61-64.

WALTER F. (1994).*L'historien et l'environnement Vers un nouveau paradigme.* Nature, Sciences, Sociétés, 2 (1), pp. 31-39.

WATER M.-R. (1992). *Principles of geoarchaeology : a North American perspectives.* University of Arizona Press, 387p.

WATTEZ J. & COURTY M.-A. (1987). Morphology of ash of some plant matenal. In : FEDOROFF N., BRESSON L.-M. & COURTY M.-A. (1987). *Micromorphologie des sols.* Réunion internationale de micromorphologie des sols, Paris, pp. 677-687

WALLER M. & SALZMANN U. (1999). *Holocene vegetation changes in the Sahelian zone of NE-Nigeria: The detection of anthropogenic activity. In* SCOTT L., CADMAN A. & VERHOEVEN R. (eds): Palaeoecology of Africa and the surrounding islands. Rotterdam, Brookfield (Balkema). pp. 85-102.

WARD R.-C. & ROBINSON M. (2000). *Principles of hydrology.* 4th edition. McGraw-Hill Publishing Company. London. 450 p.

WEISROCK A., WAHL L., OUAMMOU A. & CHAKIR L. (2006). *Systèmes fluviaux du Sud Ouest marocain et leur évolution depuis le Pléistocène supérieur.* Géomorphologie. Relief, processus, Environnement 4, pp. 229-248

WEISROCK A., WENGLER L., MATHIEU J., OUAMMOU A., FONTUGNE M., MERCIER N., REYSS J.-L., VALLADAS H. & GUERY P. (2006). *Upper Pleistocene comparative OSL, U/Th and ^{14}C dating of sedimentary sequences of South-Western Morocco (Oued Noun, 29°N).* Quaternaire 17, pp. 45-59

WELDEAB S., SCHNEIDER R.R., KOLLING M., WEFER G. (2005). *Holocene African droughts relate to eastern equatorial Atlantic cooling*, In : Geology 33, pp. 981-984.

WENDORF F., CLOSE A.E., GAUTIER A., SCHILD R. (1990). *Les débuts du pastoralisme en Égypte*. La Recherche, vol. 21, n°220, avril 1990, pp. 436-446.

WENDORF F., CLOSE A.E., SCHILD R., WASYLIKOWA R., HOUSLEY R.A., HARLAN J.R., KROLIK H. (1992). *Saharian exploitation of plants 8.000 years.* Nature, 359, pp. 721-724.

WENGLER L. (1990). *Dégradation ou modification du milieu au Maghreb durant l'Holocène : causes anthropiques ou naturelles ?* In Archéologie et *Espaces*, Actes des 10e rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, APCDA, Juan-les-Pins, pp. 315-329.

WHEELER C.-W., OVERPECK J.-T.; BECK J.-W., ARKO J. & SHARP W.-E. (2002). *The Varved Sediments of Lake Bosumtwi, Ghana and Implications for a new Chronology of West African Hydrologic Change During the Late Quaternary.* American Geophysical Union, Fall Meeting 2002.

WHEELER E.-A, BAA P. & GASSON P.-E. (1989). *IAWA list of microscopic features for hardwood identification by an IAWA committee*. IAWA Bulletin, new series, Vol. 10, pp. 219-232

WHITE F. (1986). *Végétation de l'Afrique*. O.R.S.T.O.M., U.N.E.S.C.O., Paris, 356 p.

WHITLOCK C., **MORENO P.-I. & BARTLEIN P.** (2007). *Climatic controls of Holocene fire patterns in Southern America.* Quaternary Research, vol. 68, n° 1, pp 28-36

WICKENS G.-E. (1997). *Has the Sahel a future ?*. Journal of Arid Environments, n° 37, pp. 649-663.

WILLIAMS M. & NOTTAGEB J. (2006). *Impact of extreme rainfall in the central Sudan during 1999 as a partial analogue for reconstructing early Holocene prehistoric environments*. Quaternary International, 150, pp. 82-94.

WITTIG R., **HAHN-HADJALI K. & THIOMBIANO A.** (2000). *Particularities of the Chaine de Gobnangou in the Southeast of Burkina Faso*. Etudes sur la flore et la végétation du Burkina Faso et des pays avoisinants. Vol. 5, pp. 49-84

WOOLER M.-J. (2002). *Fossil grass cuticles from lacustrine sediments: a review of methods applicable to the analysis of tropical African lake cores.* In : The Holocene 12,1. pp. 97–105

WOOLLER M.-J., STREET-PERROTT F.-A. & AGNEW A.-D.-Q. (2000). *Late Quaternary fires and grassland Palaeoecology of Mount Kenya, East Africa: evidence from charred grass cuticles in lake sediments.* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, n° 164, pp. 223-246.

WOTLING G., **MAHE G., L'HOTE Y. & LEBARBE L.** (1995). *Analyse par les vecteurs régionaux de la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles liées à la mousson africaine*. Veille climatique satellitaire. Pp. 56-73

WOTZKA P. (1991). *Keramikbrand im offenen Feuer: vergleichende Analyse pyrometrischer Daten aus dem Töpferdorf Ikenge.* In: Lüdtke - Vossen , pp. 289-318.

Y.

YBERT J.-P. (1975). *Emissions polliniques actuelles dans la zone du contact forêt-savane en Côte d'Ivoire.* Bulletin de la Société Botanique de France, tome 122, C.N.R.S., Paris, pp. 251-267.

YBERT J.-P. (1979). *Atlas de pollens en Côte d'Ivoire.* ORSTOM, Paris, 84 p.

Z.

ZACKRISSON O., NILSSON M.-C. & WARDLE, D. A (1996). *Key ecological function of charcoal from wildfire in the Boreal forest.* Oikos, vol. 77, pp. 10-19

ZHAI Q., GUO Z., LI Y. & LI R. (2006). *Annually laminated lake sediments and environmental changes in Bashang Plateau, North China.* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, n° 241, pp. 95-102.

ZHAO M., DUPONT L., EGLINTON G. & TEECE M. (2003). n-Alkane and pollen reconstruction of terrestrial climate and vegetation for N.W. Africa over the last 160 kyr. Organic Geochemistry, 34, pp. 131-1.

ZOLITSCHKA B. (2003). *Dating based of freshwater and marine laminated sediments*. In : Mackay A., Battarbee R., Birks J. & Oldfield F., Global change in the Holocene, pp. 92-107

Annexes

- ***Les protocoles effectués :***

- Protocole de granulométrie : p.396
- Protocole de micromorphologie : p.387
- Protocole de palynologie : p.388

- ***Les coupes chronostratigraphiques :***

- Coupe 14, Rive Droite : p. 389
- Coupe 13, Rive Droite : p. 390
- Coupe 12, Rive Droite : p. 391
- Coupe 11, Rive Droite : p. 392
- Coupe 10, Rive Droite : p. 393
- Coupe 8, Rive Droite : p. 394
- Coupe 7, Rive Droite : p. 395
- Coupe 6, Rive Droite : p. 396
- Coupe 0, Rive Droite : p. 397
- Coupe 14, Rive Gauche : p. 398
- Coupe 12, Rive Gauche : p. 399
- Coupe 11, Rive Gauche : p. 400
- Coupe 10, Rive Gauche : p. 401
- Coupe 9, Rive Gauche : p. 402
- Coupe 8, Rive Gauche : p. 403
- Coupe 5, Rive Gauche : p. 404
- Coupe 1, Rive Gauche : p. 405

- ***Lexique des espèces végétales :*** p 406

- ***Carte des sites de la vallée du Yamé & cadre chronostratigraphique de la vallée du Yamé, depuis 4 000 ans*** **:** p. 409 & 410 (A3)

Tamisage

Broyer l'échantillon (attention de ne pas réduire les éléments grossiers en fraction granulométrique plus fine)
Tamiser à 2 mm afin de récupérer les éléments fins.
Peser :

- 17 gr pour un échantillon sableux,
- 15 gr pour un échantillon limoneux,
- 13 gr pour un échantillon argileux.

Destruction de la matière organique

Ajouter 50 ml d'eau déminéralisée et 25 ml d'eau oxygénée.
Laisser au repos près de 24 heures.
Remettre 50 ml d'eau oxygénée
Mettre sur la plaque chauffante.
Laisser 2 heures sur les plaques chauffantes.
Au bout d'1 heure, rajouter de l'eau oxygénée & amèner le niveau à 200 ml avec de l'eau déminéralisée.
Laisser reposer.
Récupérer les béchers (surnageant translucide = décantation complète de l'échantillon).

1- prendre une pipette et une poire
2- Faire le vide Appuyer sur le bouton 2 on prend appuie sur les parois du bécher entre l'échantillon et le surnageant et on aspire en régulant le débit avec la poire.
3- Vidanger la pipette.
4- recommencer les opérations en vidant le maximum de liquide
5- Transférer le contenu des béchers dans des bocaux.
6- Mélanger l'échantillon dans le bécher avant de le transvider dans le bocal.

Préparation du dispersant

1- Remplir un bécher à 250 ml d'eau déminéralisée et poser sur une plaque magnétique avec un bâtonnet aimanté
2- Tarer la balance.
3- Peser l'hexamétaphosphate de sodium
4- Avec un pinceau écraser la poudre pour ne pas avoir d'agrégats,
5- Refaire la même opération avec le carbonate de sodium.

Pipette de Robinson

Mettre les bocaux sur l'agitateur pendant 10 heures.
Transvaser les échantillons dans les allonges et ramener celles-ci à 500 ml.
Prendre la température d'une allonge,
Prendre 3 prélèvements : 63 microns, 20 microns et 2 microns.
Poser la tête de la pipette à la surface du liquide et descendre de 10 cm en aspirant tranquillement en évitant de faire des à-coups. Ensuite, rincer la pipette, en ouvrant le réservoir tout en haut de la pipette, afin de tout récupérer l'échantillon. Toujours bien nettoyer au changement d'échantillon.
Peser les coupelles pleines et vides une fois lavées et mises à l'étuve.

Récupération des sables

Secouer bien l'allonge et jeter le contenant dans un tamis de 63 microns. Vider le tamis dans une coupelle qu'on mettra à l'étuve à 105°C durant 24 heures.
Peser les sables, et les jetés sur une colonne de tamis de 500 microns, 200 microns et bac de réception. Cette colonne sera placée sur l'agitateur mécanique entre 5 et 10 minutes.

Après destruction de la matière organique, élimination des ions floculants et la dispersion de l'échantillon, il est possible de traiter les échantillons par le **granulométre Laser Coulter**, équipé de banc d'optique laser, associé à un module fluide (1,7 L). La gamme de la détection s'étend de 0,04 µm à 2000 µm, sur 117 classes de particules.

Protocole pour la fabrication des lames minces (d'après la méthode Guilloré)

Imprégnation des échantillons

Les échantillons doivent être absolument bien secs avant l'imprégnation.
Placer les échantillons dans un récipient en plastique
Mettre les échantillons dans le stand d'imprégnation, et faire le vide à -0,9 bars.

Préparation de la résine d'imprégnation :

Bien mélanger entre chaque ajout.

Pour 0,5 l de résine, mélanger dans cet ordre : 50 ml de styrène + 2,5 ml de catalyseur + 1 à 3 gouttes d'accélérateur (selon la fluidité de la résine) + 0,5 ml d'inhibiteur

La polymérisation (ou induration) de la résine va commencer après 4/5 jours, et sera totalement réalisée après 2/3 semaines selon la dose d'accélérateur. L'induration doit se faire dans un milieu bien ventilé.

Le débitage de l'échantillon en plaquette.

A l'aide de la tronçonneuse munie du grand disque. Les plaquettes doivent faire 6 mm d'épaisseur, 5,5 cm de largeur et 13 cm de longueur pour une lame de verre dont les dimensions font 7x14 cm .

Collage des plaquettes sur un porte-objet provisoire :

** Préparation du porte-objet provisoire :*

- Prendre trois porte-objets provisoires (lames de verres), de préférence de même épaisseur.
- Rôder et biseauter les angles et les bords des lames sur la table de polissage

** Le collage des plaquettes sur le porte-objet provisoire :*

- Nettoyer à l'aide d'un chiffon inbibé d'acétone les porte-objets provisoires.
- Coller les plaquettes sur les porte-objets à l'aide de quatre points de colle.

** Rectification en machine de la face libre des plaquettes*

La rectification :

- Lorsque chaque face a bien été attaquée, monter la meule fine de la rectifieuse et procéder à une rectification plus fine de 25 µm en réglant la jauge micrométrique.
- **Noter la dernière valeur atteinte sur la graduation de la jauge micrométrique**, puis reculer la meule de quelques microns à l'aide de la manivelle située au devant de la machine, puis stopper le plateau, la meule et l'arrosage.

Préparation du porte-objet définitif :

- Placer les porte-objets dans les logements du plateau. Suivre la même procédure que prcédemment
- Approcher manuellement la meule à environ 0,5 mm des porte-objets grâce à la manivelle située au devant la rectifieuse
- Régler la jauge micrométrique de façon à ce que chaque lame de verre soit rectifiée (environ 1450 - 1500 µm).

Collage des plaquettes sur le porte-objet définitif

- Nettoyer à l'acétone les faces rectifiées des portes-objets définitifs.
- Poser les portes-objets définitifs (face rectifiée au-dessus) sur une surface propre et horizontale.
- Enduire la face rectifiée des plaquettes, d'une **épaisseur régulière** de la préparation suivante : 10 ml de résine + 1 ml de styrène (facultatif) + 5 à 6 gouttes de catalyseur + 1 à 2 gouttes d'accélérateur.
- Poser la plaquette enduite de colle sur une feuille d'aluminium elle-même posée sur une surface plane, et appliquer la lame de verre sur la plaquette. Pour éviter les bulles d'air, poser la lame de biais et l'abaisser progressivement jusqu'à recouvrement total de la plaquette.
- Recouvrir d'une feuille d'aluminium.
- Placer sous presse, face libre de la plaquette en dessous.
- Attendre 2 à 3 heures.

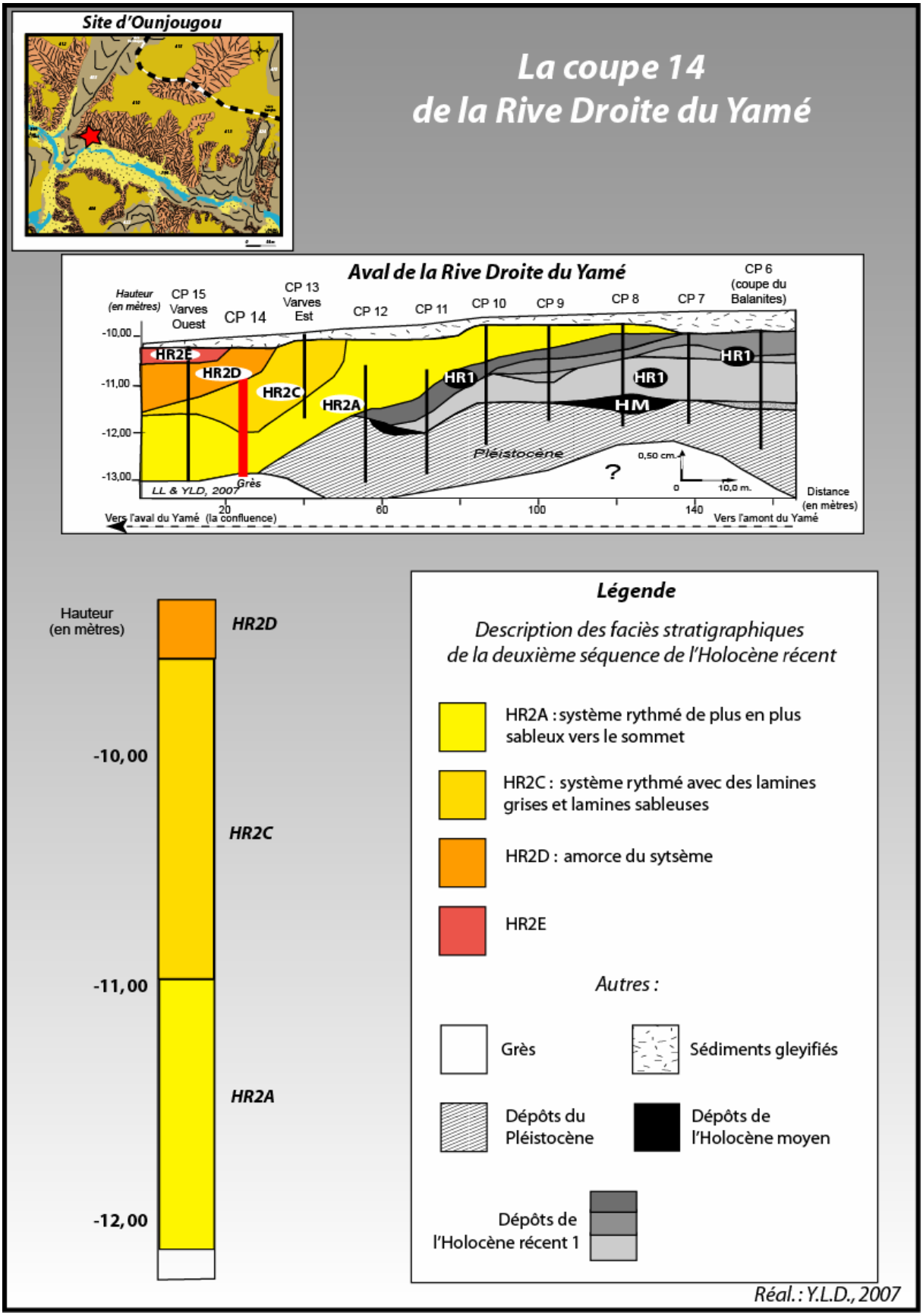
La rectification de la deuxième face de la plaquette jusqu'aux quartz blancs-gris :

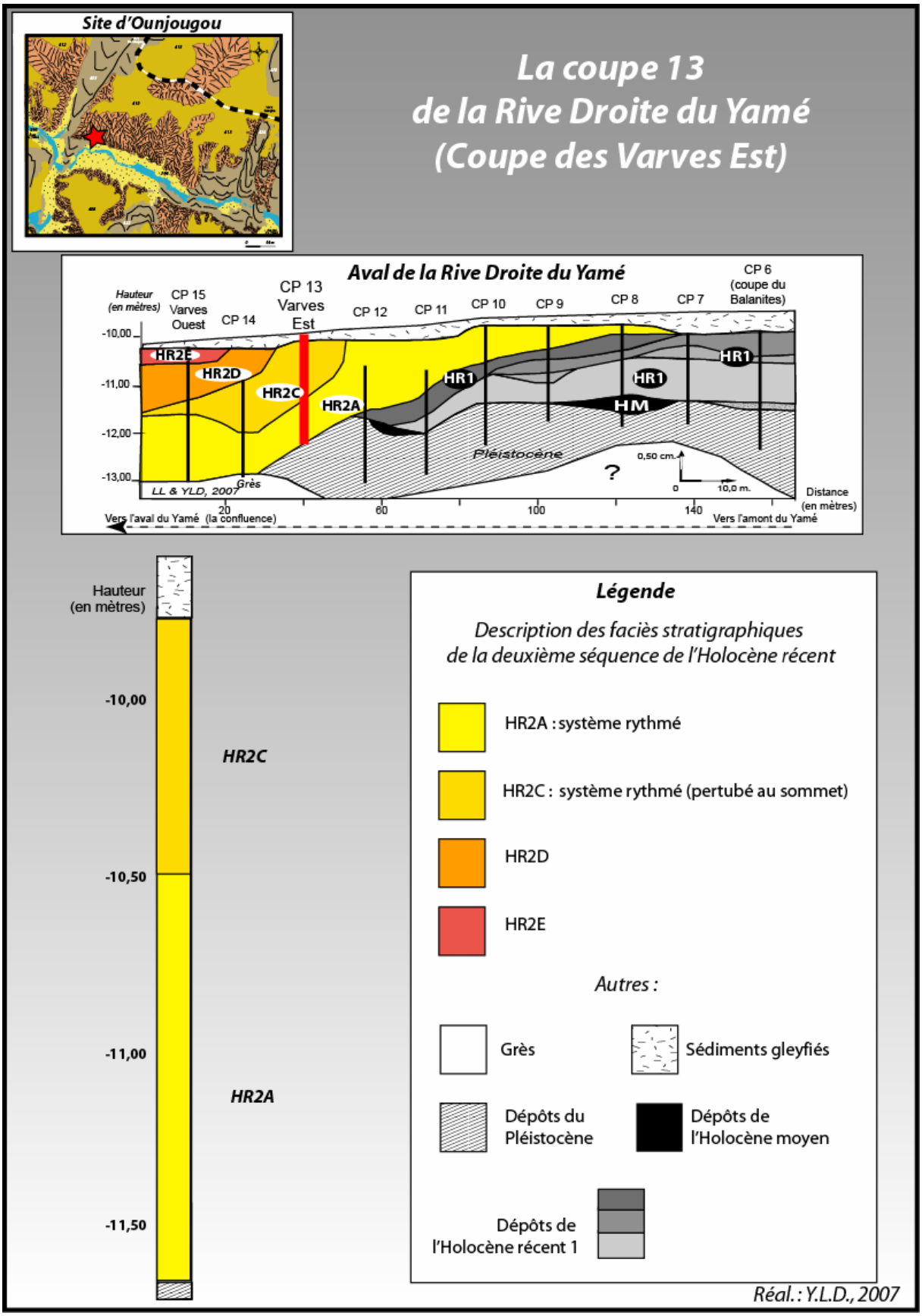
- Placer les échantillons dans les logements du plateau.
- Approcher manuellement la meule au plus prés des échantillons grâce à la manivelle située au devant la rectifieuse et Régler la jauge sur la valeur de 1650-1700 µm.
- Les lames minces devraient être à la bonne épaisseur aux alentours de 1500 µm, tout dépend de l'épaisseur de la lame de verre et surtout de la colle. L'apparition assez nette des sillons du plateau par transparence des lames indique que l'épaisseur voulue est proche, il faut alors vérifier l'épaisseur des lames minces sous le microscope.
- Sous le microscope en lumière polarisé analysée, si les quartz sont de couleur blanc-gris, la lame mince est à la bonne épaisseur (l'épaisseur théorique de la plaquette est alors de 20-25µm).

Protocole pour de la Palynologie
par Faegri & Iversen (1975)

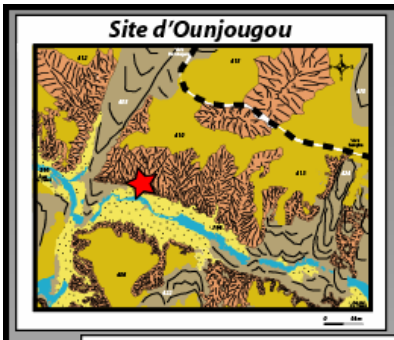
- Peser 20 g de sédiments
- Tamiser à 10 et 200 µm
- Récupérer la fraction tamiser > à 10 µm, et transvaser dans des tubes à centrifugation
- Ajouter de l'***eau*** sur fraction > 10 µm (centrifuger & décanter)
- Ajouter du ***HCl*** & chauffer (centrifuger & décanter)
- Ajouter quelques ml de ***HF***, chauffer, centrifuger & décanter (répéter si échantillons sableux) = élimination de la silice
- Ajouter du ***HCl***, chauffer, centrifuger & décanter (élimination des fluorures)
- Ajouter du ***KOH***, chauffer, centrifuger & décanter (élimination de la matière organique résiduelle)
- Laver à l'***eau***, centrifuger & décanter
- Tamiser le culot sur 10 µm jusqu'à élimination des argiles
- Récupérer la fraction > 10 µm, laver, centrifuger & décanter
- Ajouter des gouttes ***d'eau glycérinée*** (ou huile) et verser dans pilulier
- Agiter le contenu des piluliers
- Numéroter les lames
- Déposer quelques gouttes sur les lames palynologiques en verre
- Placer la lamelle en verre
- Coller à l'aide de vernis
- Ranger les lames dans une boite palynologique (à la verticale)

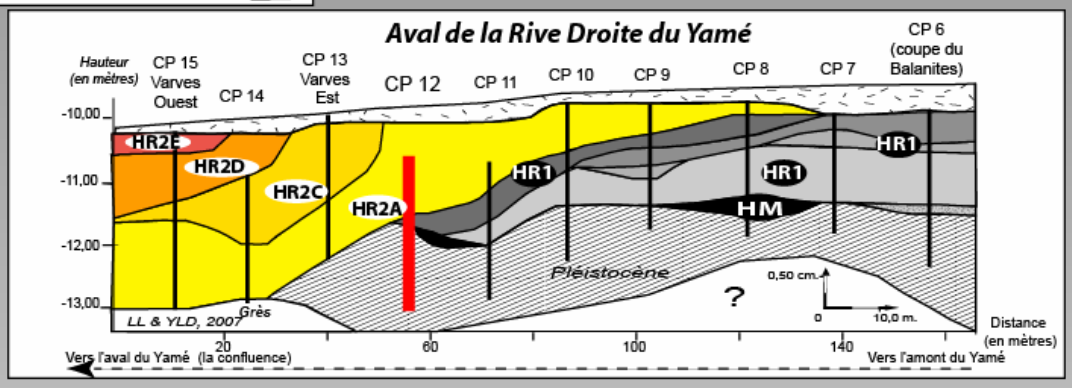
Coupes chronostratigraphiques des Rives Droite et Gauche du Yamé

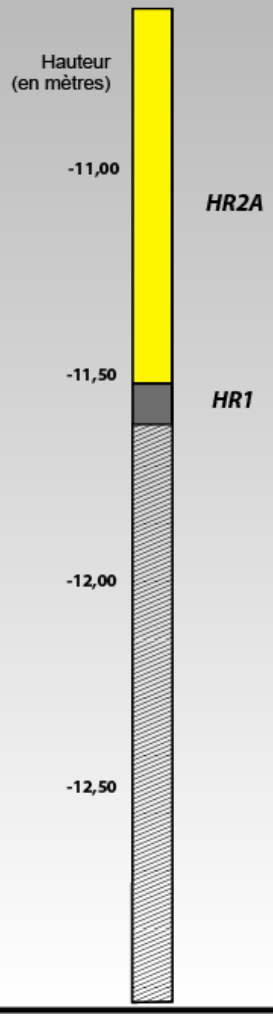



Site d'Ounjougou
La coupe 13
de la Rive Droite du Yamé
(Coupe des Varves Est)
Aval de la Rive Droite du Yamé
Hauteur (en mètres)
CP 15 Varves Ouest
CP 14
CP 13 Varves Est
CP 12
CP 11
CP 10
CP 9
CP 8
CP 7
CP 6 (coupe du Balanites)
-10,00
-11,00
-12,00
-13,00
HR2E
HR2D
HR2C
HR2A
HR1
HM
Pléistocène
?
0,50 cm.
0
10,0 m.
Grès
LL & YLD, 2007
20
60
100
140
Distance (en mètres)
Vers l'aval du Yamé (la confluence)
Vers l'amont du Yamé
Hauteur (en mètres)
-10,00
-10,50
-11,00
-11,50
HR2C
HR2A
Légende
Description des faciès stratigraphiques de la deuxième séquence de l'Holocène récent
HR2A : système rythmé
HR2C : système rythmé (pertubé au sommet)
HR2D
HR2E
Autres :
Grès
Sédiments gleyfiés
Dépôts du Pléistocène
Dépôts de l'Holocène moyen
Dépôts de l'Holocène récent 1
Réal. : Y.L.D., 2007

La coupe 12 de la Rive Droite du Yamé







Légende

Description des faciès stratigraphiques de la deuxième séquence de l'Holocène récent

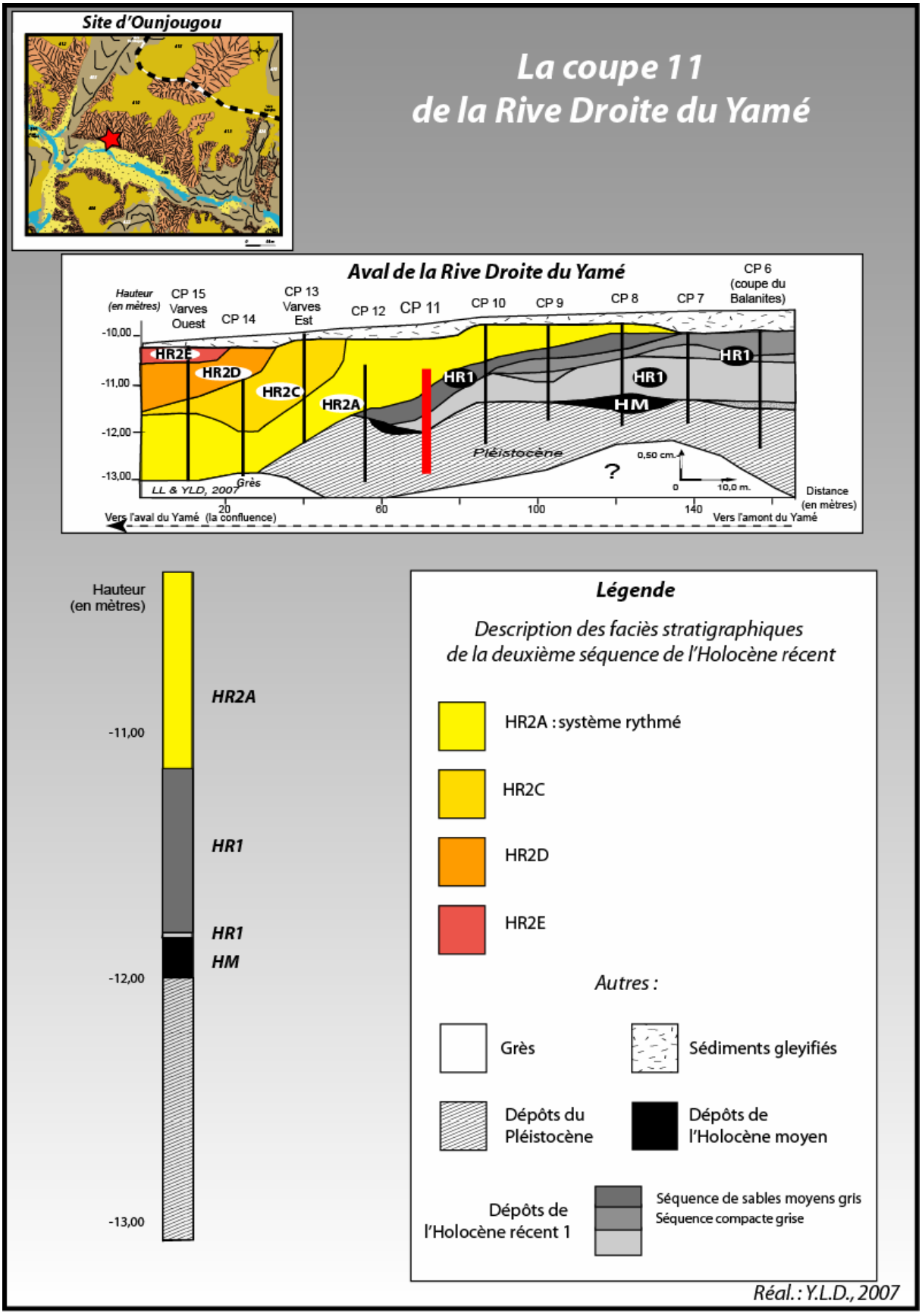
- HR2A : système rythmé
- HR2C
- HR2D
- HR2E

Autres :

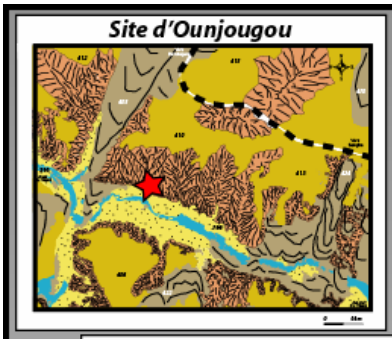
- Grès
- Sédiments gleyifiés
- Dépôts du Pléistocène
- Dépôts de l'Holocène moyen
- Dépôts de l'Holocène récent 1
- Séquence de sables moyens gris

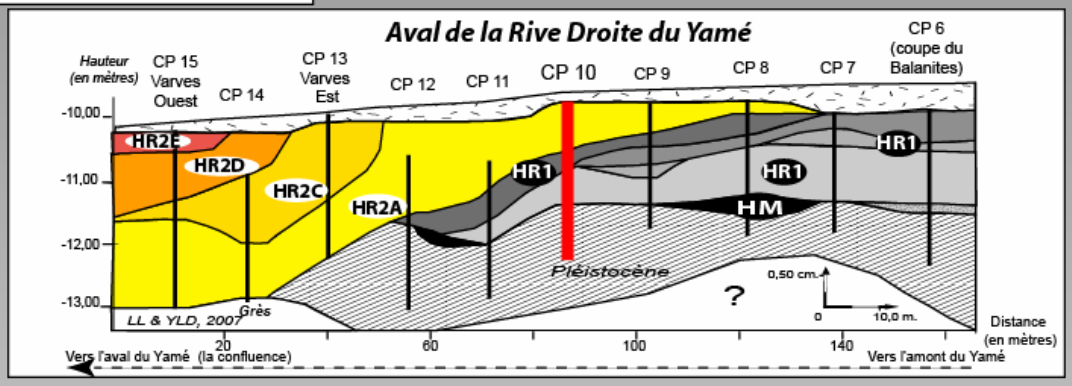
Réal. : Y.L.D., 2007

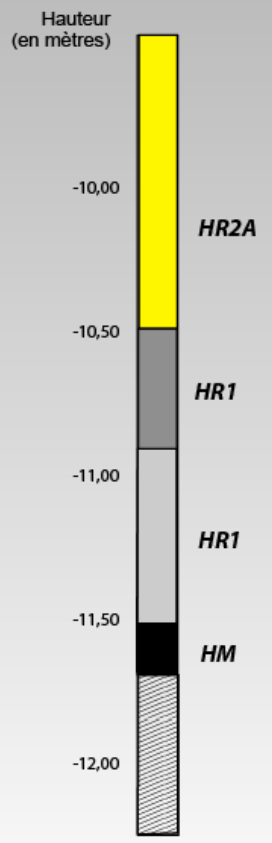
La coupe 11 de la Rive Droite du Yamé



La coupe 10 de la Rive Droite du Yamé







Légende

Description des faciès stratigraphiques de la deuxième séquence de l'Holocène récent

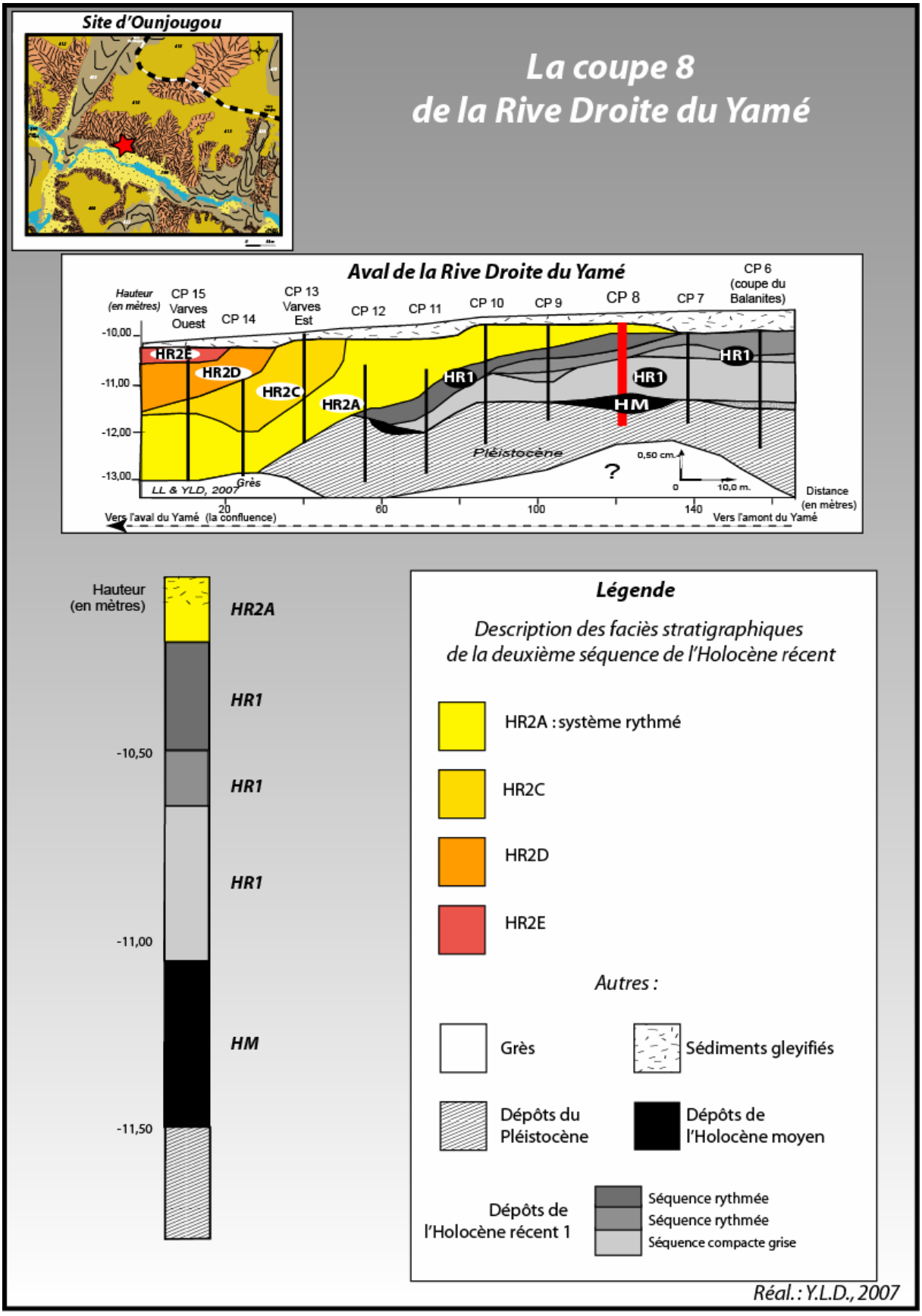
- HR2A : système rythmé
- HR2C
- HR2D
- HR2E

Autres :

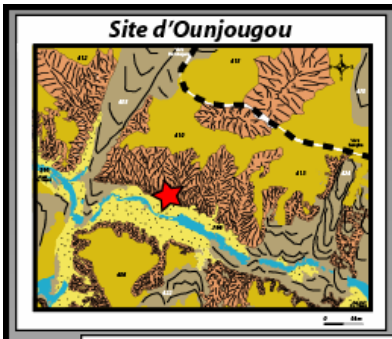
- Grès
- Sédiments gleyifiés
- Dépôts du Pléistocène
- Dépôts de l'Holocène moyen
- Dépôts de l'Holocène récent 1
- Séquence rythmée
- Séquence compacte grise

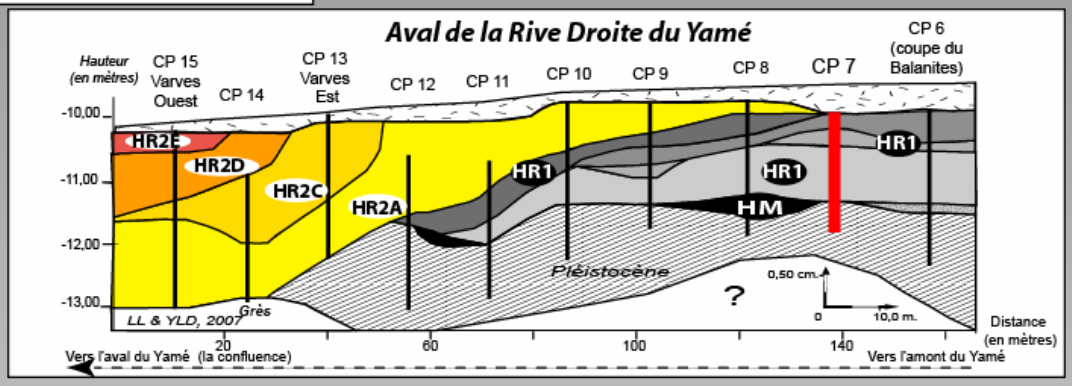
Réal. : Y.L.D., 2007

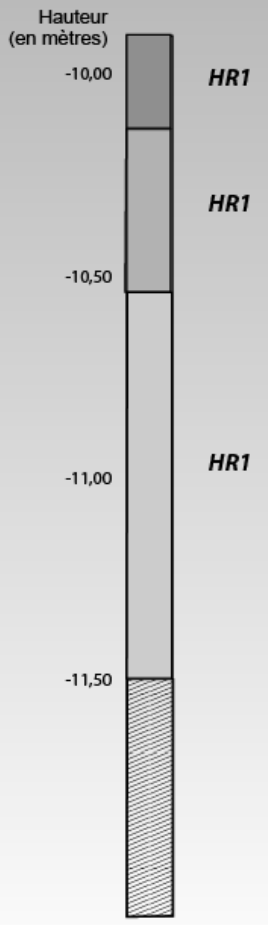
La coupe 8 de la Rive Droite du Yamé

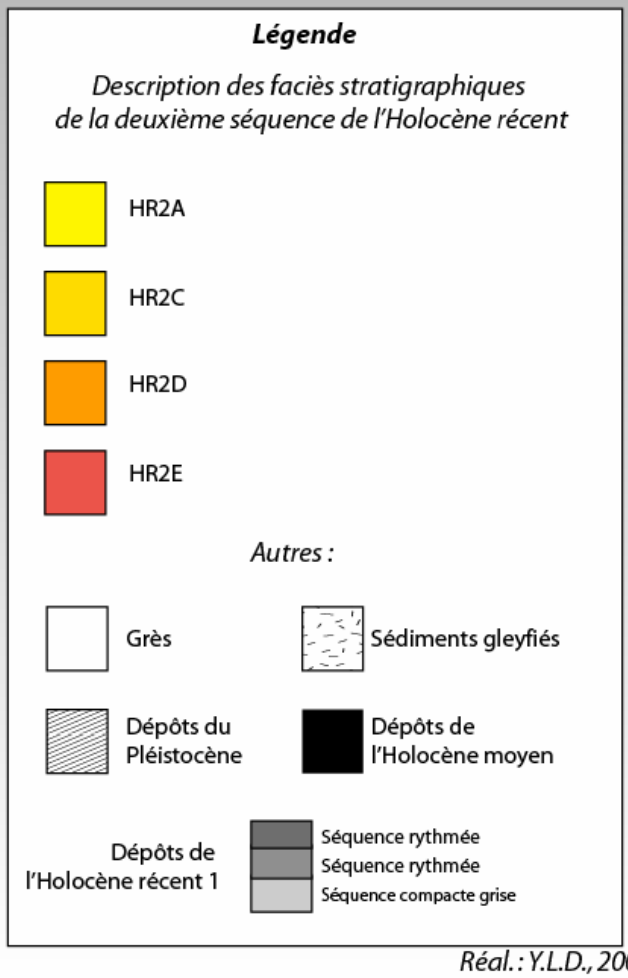


La coupe 7 de la Rive Droite du Yamé



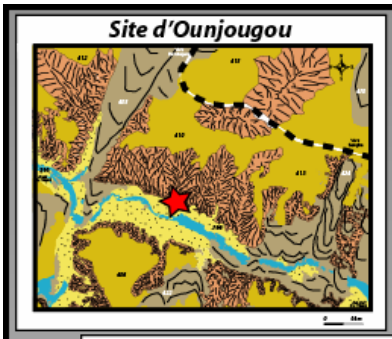


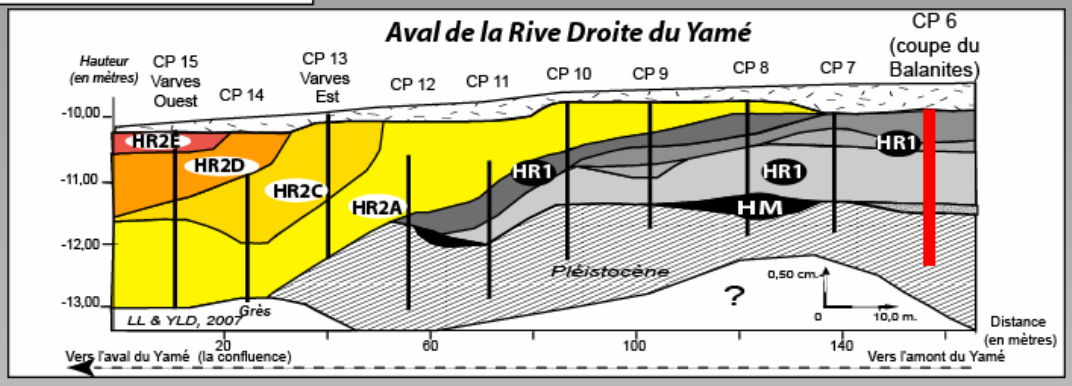


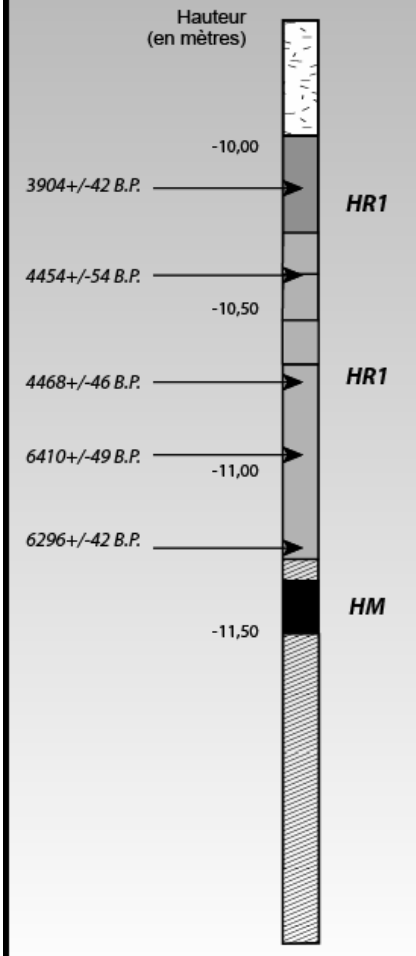


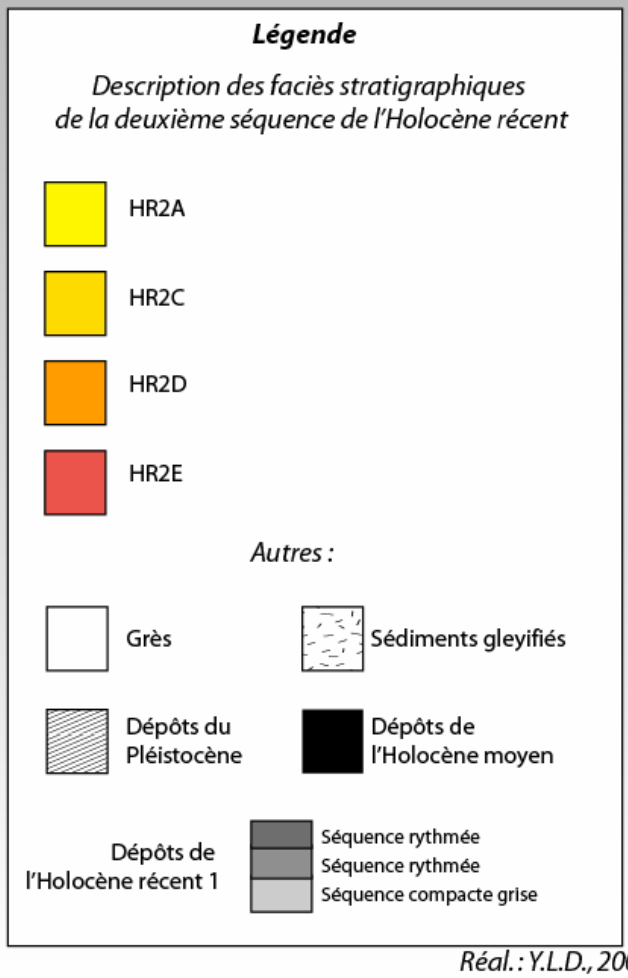
Réal. : Y.L.D., 2007

La coupe 6 de la Rive Droite du Yamé



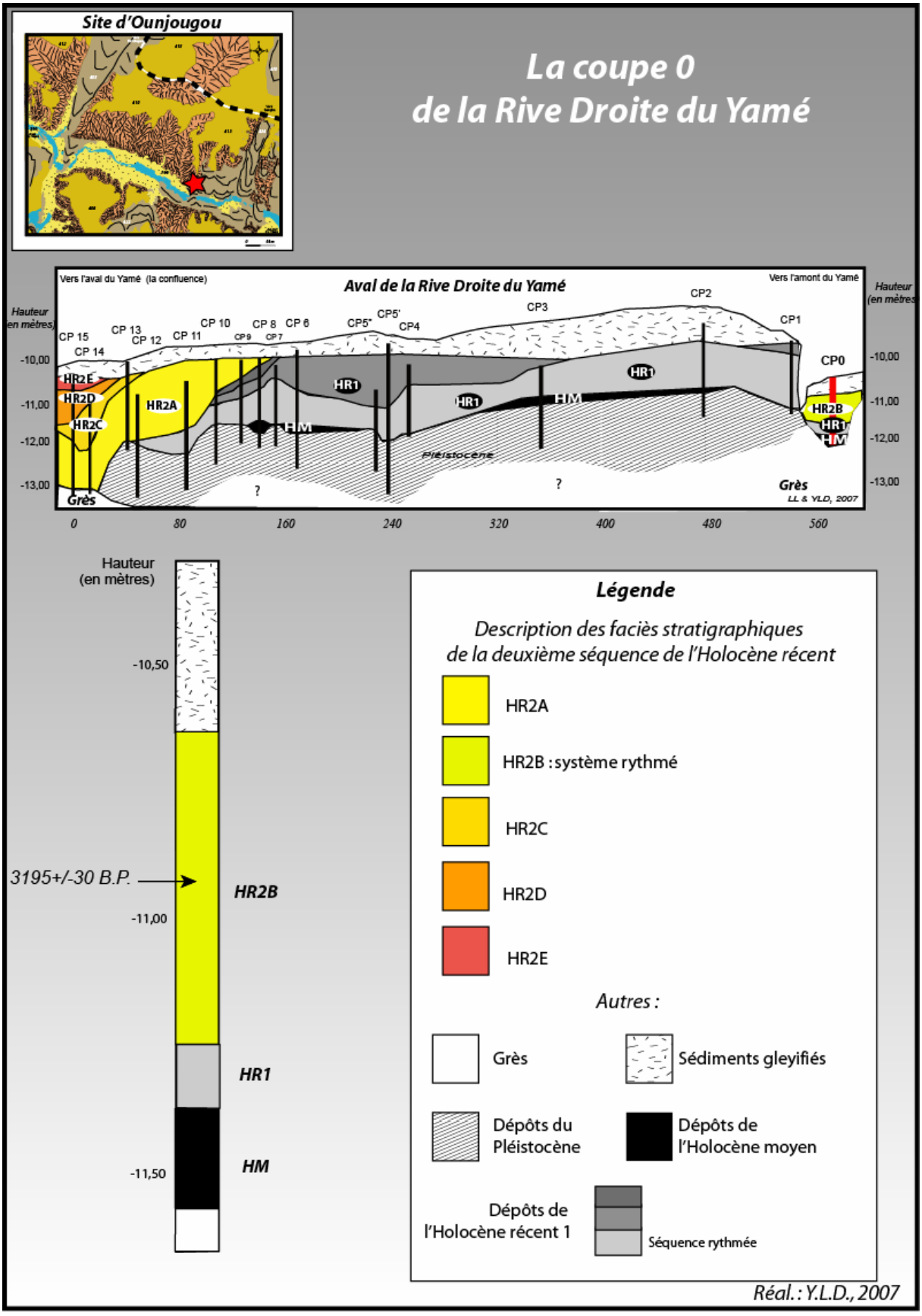




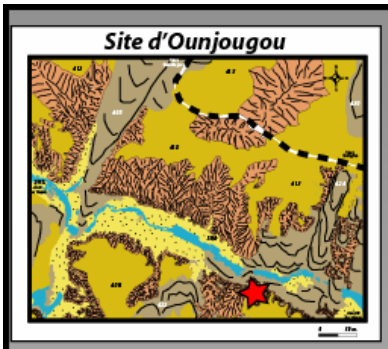


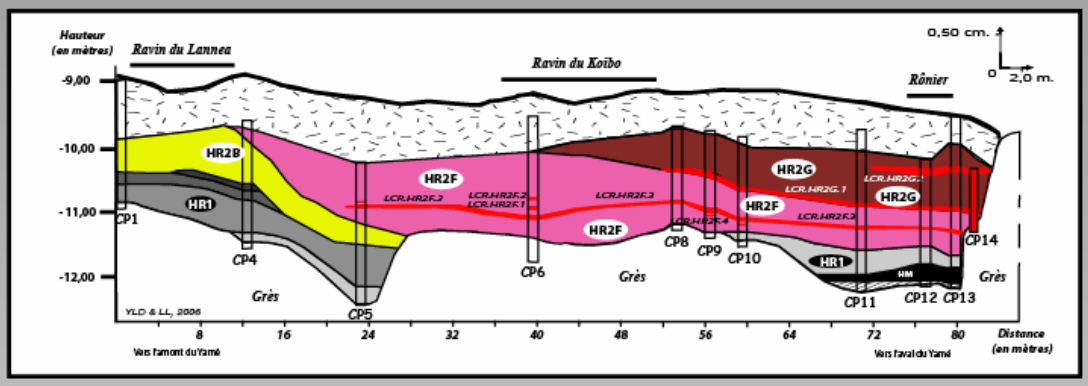
Réal. : Y.L.D., 2007

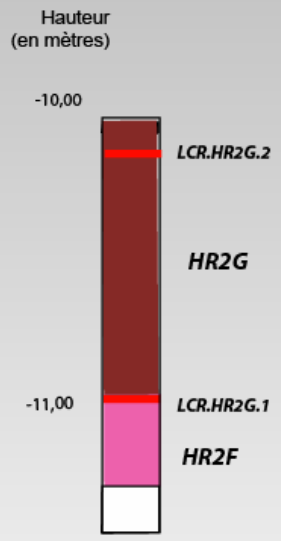
La coupe 0 de la Rive Droite du Yamé



La coupe 14 de la Rive Gauche du Yamé







Légende

Description des faciès stratigraphiques de la deuxième séquence de l'Holocène récent

- HR2B
- HR2F : unité rythmée
- HR2G : unité rythmée
- LCR (Lamine caractéristique de référence)

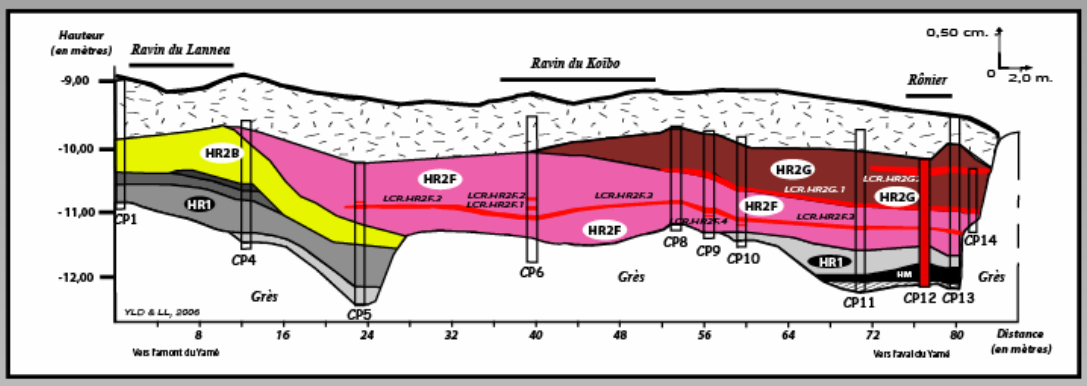
Autres :

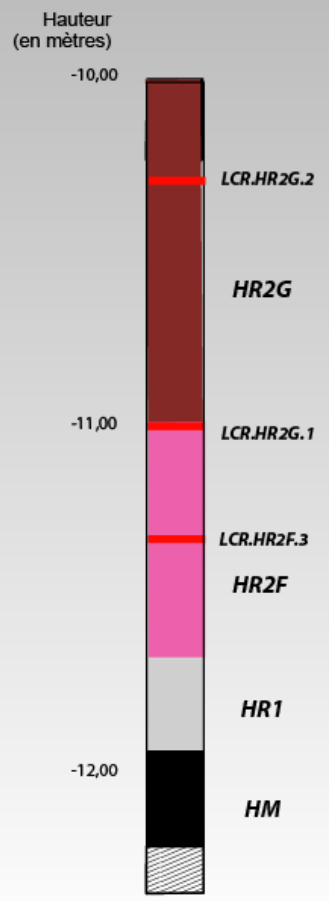
- Grès
- Sédiments gleyifiés
- Dépôts du Pléistocène
- Dépôts de l'Holocène moyen
- Dépôts de l'Holocène récent 1

Réal. : Y.L.D., 2007

Site d'Ounjougou

La coupe 12 de la Rive Gauche du Yamé





Légende

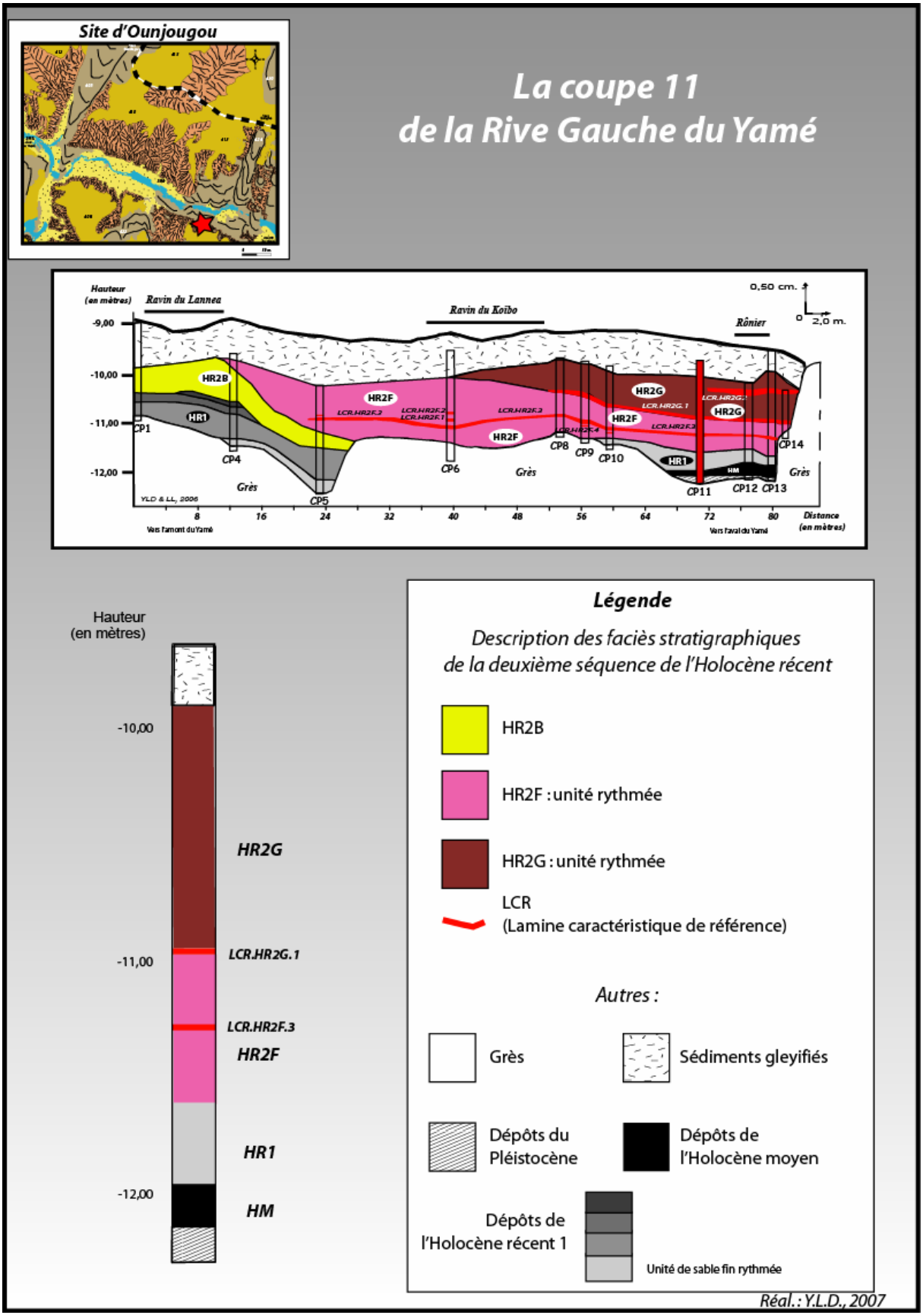
Description des faciès stratigraphiques de la deuxième séquence de l'Holocène récent

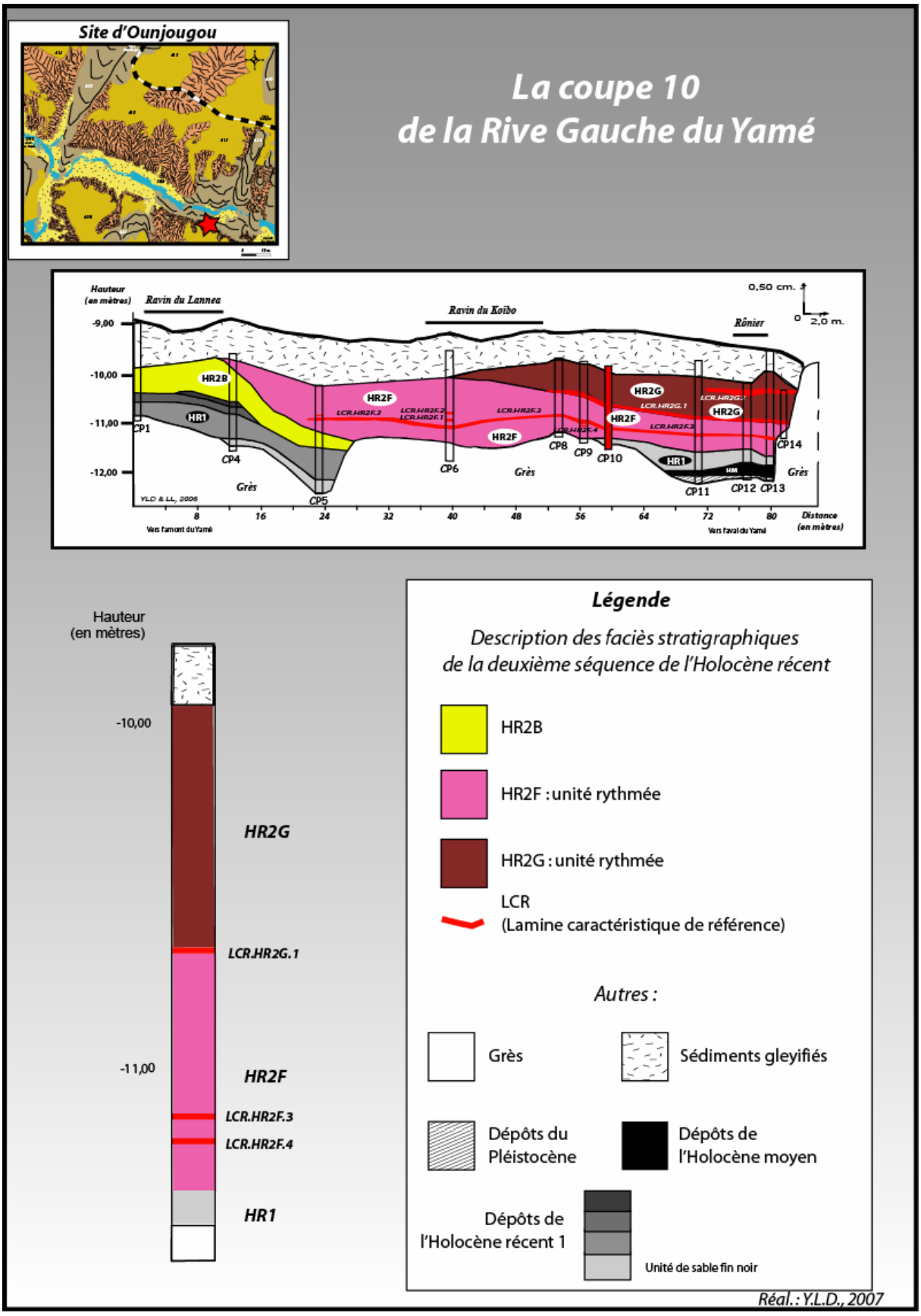
- HR2B
- HR2F : unité rythmée
- HR2G : unité rythmée
- LCR (Lamine caractéristique de référence)

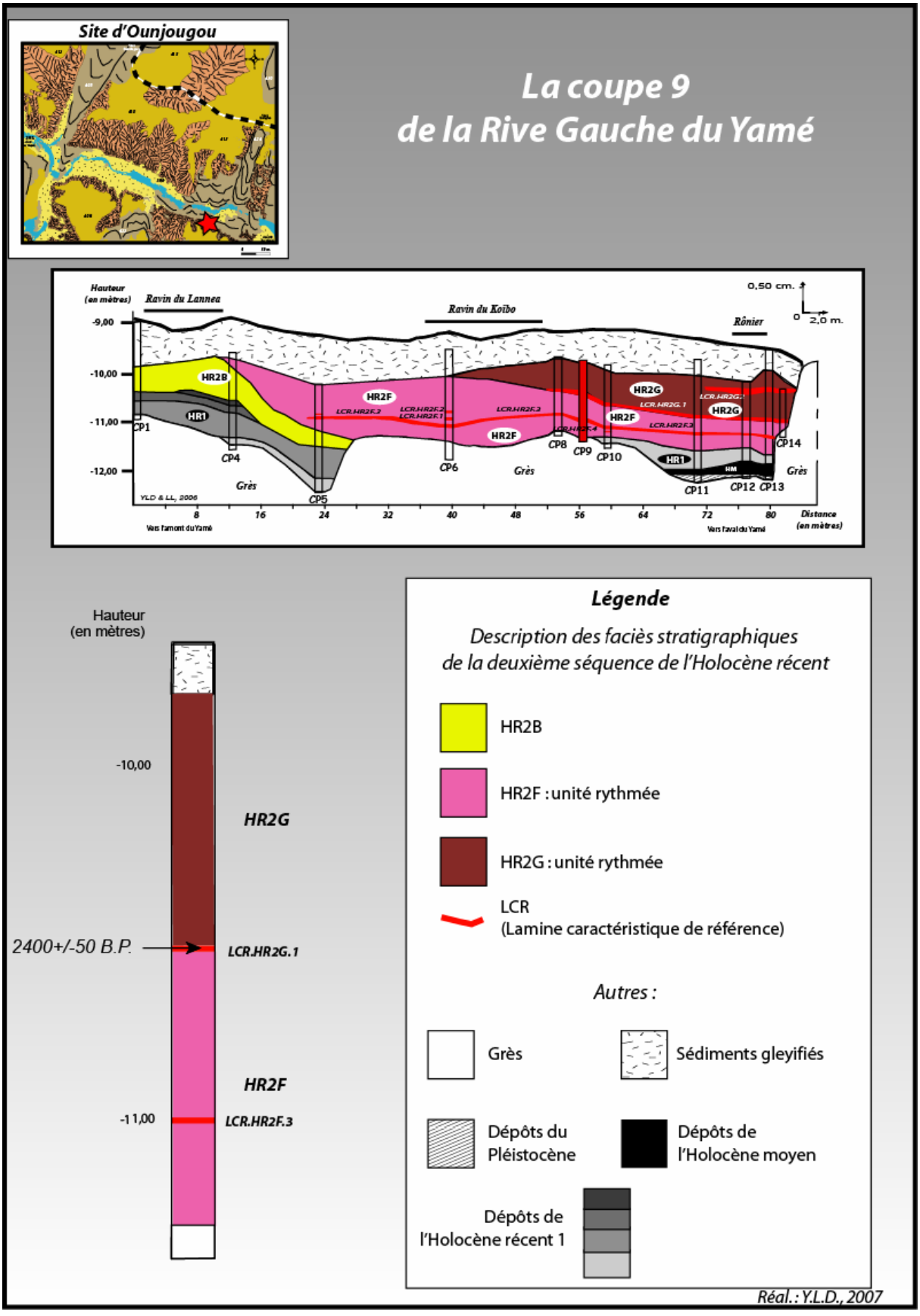
Autres :

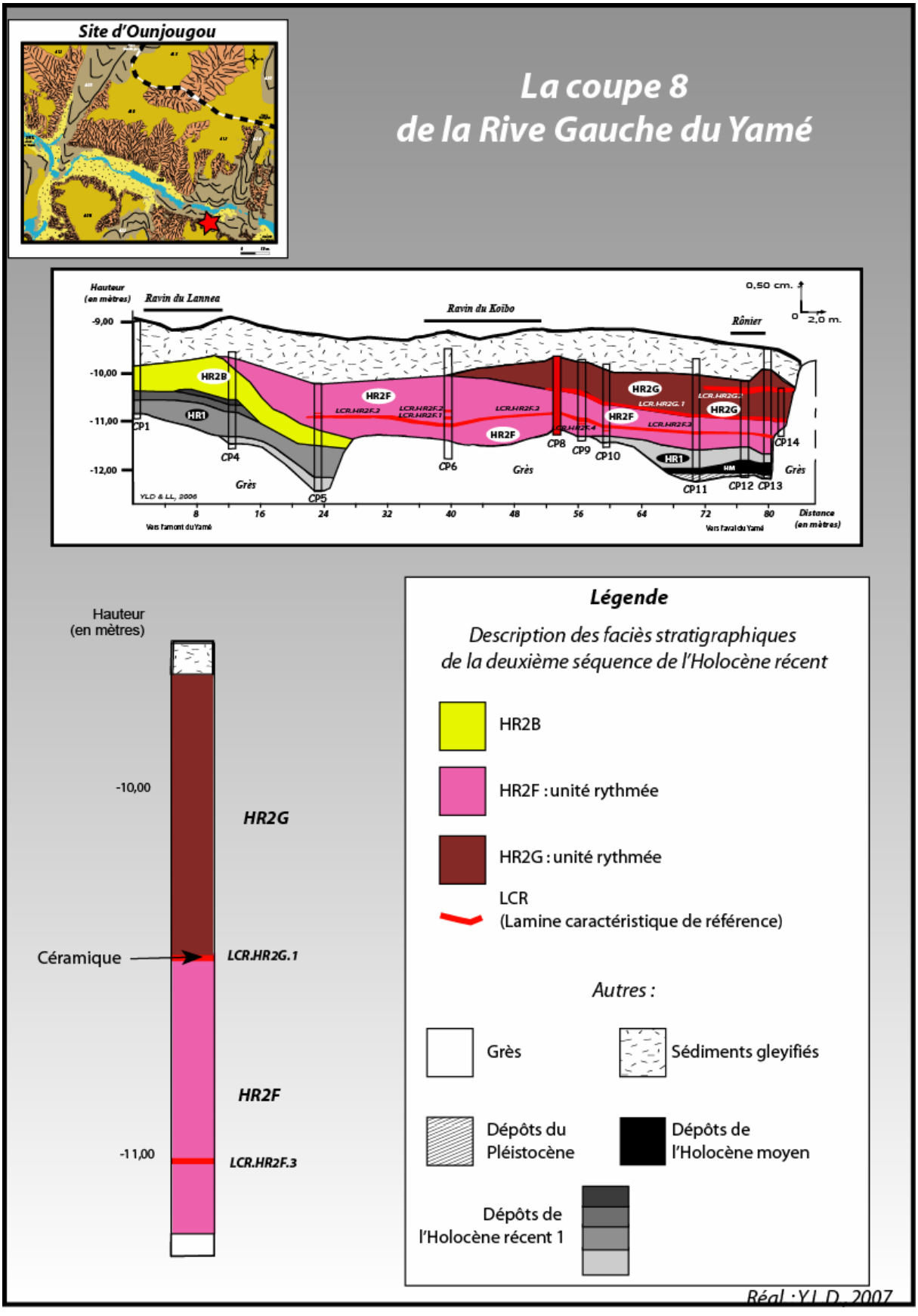
- Grès
- Sédiments gleyifiés
- Dépôts du Pléistocène
- Dépôts de l'Holocène moyen
- Dépôts de l'Holocène récent 1
- Unité de sable fin rythmée

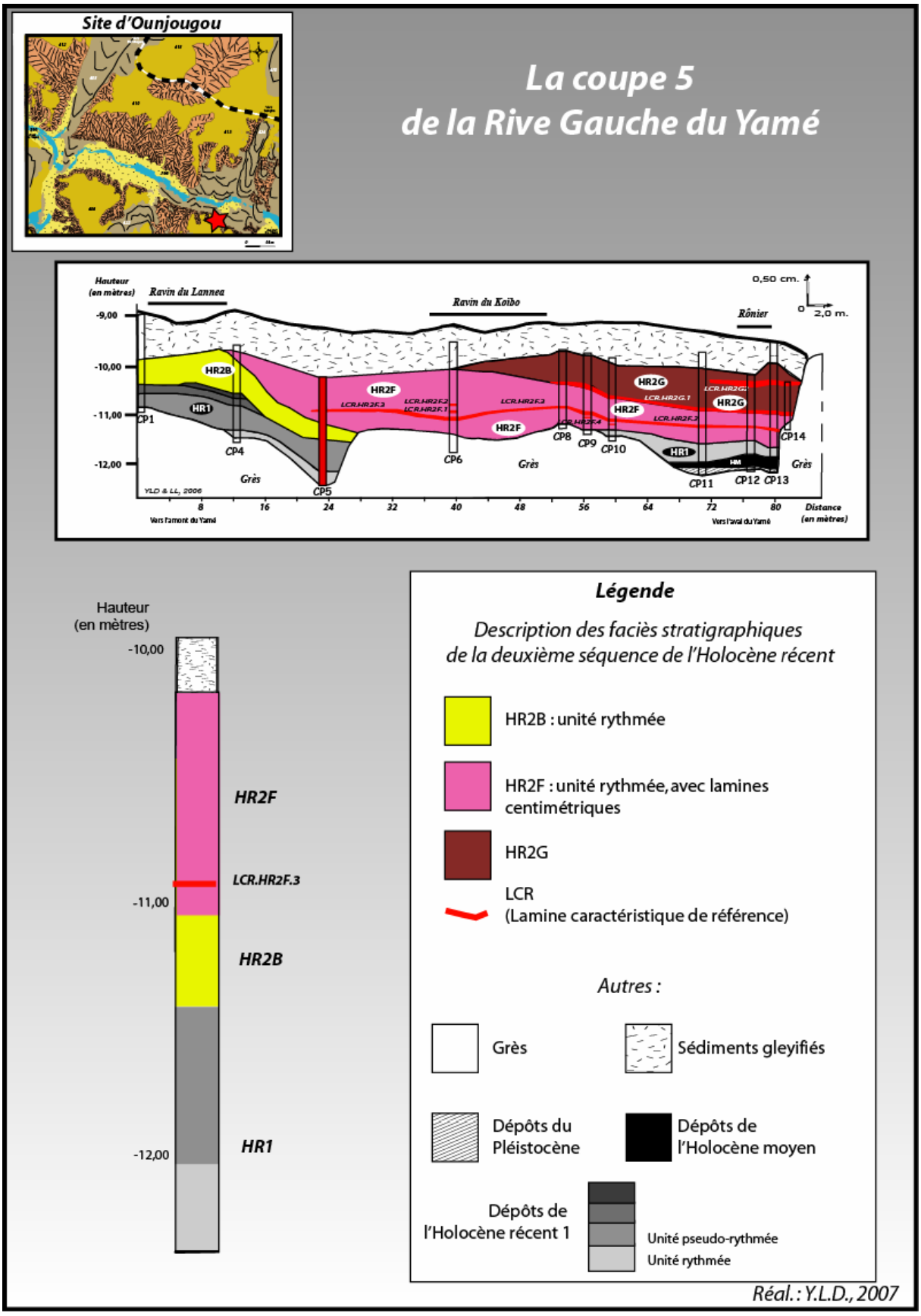
Réal. : Y.L.D., 2007


Site d'Ounjougou
La coupe 11
de la Rive Gauche du Yamé
Hauteur
(en mètres)
Ravin du Lannea
Ravin du Koïbo
Rônier
0,50 cm.
0 2,0 m.
-9,00
-10,00
-11,00
-12,00
HR2B
HR1
HR2F
HR2G
LCR.HR2F.2
LCR.HR2F.1
LCR.HR2F.3
LCR.HR2F.4
LCR.HR2G.1
CP1
CP4
CP5
CP6
CP8
CP9
CP10
CP11
CP12
CP13
CP14
Grès
HM
YLD & LL, 2006
8
16
24
32
40
48
56
64
72
80
Distance
(en mètres)
Vers l'amont du Yamé
Vers l'aval du Yamé
Hauteur
(en mètres)
-10,00
-11,00
-12,00
HR2G
LCR.HR2G.1
LCR.HR2F.3
HR2F
HR1
HM
Légende
Description des faciès stratigraphiques
de la deuxième séquence de l'Holocène récent
HR2B
HR2F : unité rythmée
HR2G : unité rythmée
LCR
(Lamine caractéristique de référence)
Autres :
Grès
Sédiments gleyifiés
Dépôts du
Pléistocène
Dépôts de
l'Holocène moyen
Dépôts de
l'Holocène récent 1
Unité de sable fin rythmée
Réal. : Y.L.D., 2007


Site d'Ounjougou
La coupe 10
de la Rive Gauche du Yamé
Hauteur
(en mètres)
Ravin du Lannea
Ravin du Koïbo
Rônier
0,50 cm.
0 2,0 m.
-9,00
-10,00
-11,00
-12,00
HR2B
HR1
HR2F
HR2G
LCR.HR2F.2
LCR.HR2F.1
LCR.HR2F.3
LCR.HR2F.4
LCR.HR2G.1
CP1
CP4
CP5
CP6
CP8
CP9
CP10
CP11
CP12
CP13
CP14
Grès
HM
YLD & LL, 2006
8
16
24
32
40
48
56
64
72
80
Distance
(en mètres)
Vers l'amont du Yamé
Vers l'aval du Yamé
Hauteur
(en mètres)
-10,00
-11,00
HR2G
LCR.HR2G.1
HR2F
LCR.HR2F.3
LCR.HR2F.4
HR1
Légende
Description des faciès stratigraphiques
de la deuxième séquence de l'Holocène récent
HR2B
HR2F : unité rythmée
HR2G : unité rythmée
LCR
(Lamine caractéristique de référence)
Autres :
Grès
Sédiments gleyifiés
Dépôts du
Pléistocène
Dépôts de
l'Holocène moyen
Dépôts de
l'Holocène récent 1
Unité de sable fin noir
Réal. : Y.L.D., 2007

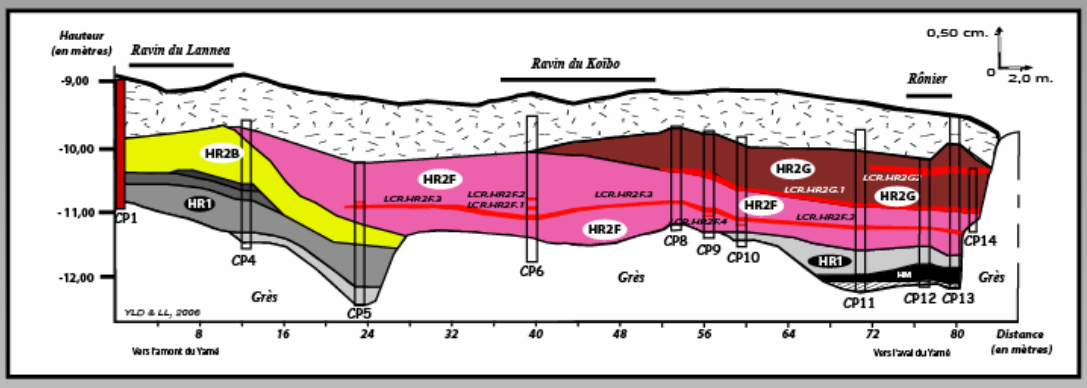

Site d'Ounjougou
La coupe 9
de la Rive Gauche du Yamé
Hauteur
(en mètres)
Ravin du Lannea
Ravin du Koïbo
Rônier
0,50 cm.
0
2,0 m.
-9,00
-10,00
-11,00
-12,00
HR2B
HR1
HR2F
HR2G
LCR.HR2F.2
LCR.HR2F.1
LCR.HR2F.3
LCR.HR2F.4
LCR.HR2G.1
CP1
CP4
CP5
CP6
CP8
CP9
CP10
CP11
CP12
CP13
CP14
Grès
HM
YLD & LL, 2006
8
16
24
32
40
48
56
64
72
80
Vers l'amont du Yamé
Vers l'aval du Yamé
Distance
(en mètres)
Hauteur
(en mètres)
-10,00
-11,00
HR2G
HR2F
2400+/-50 B.P.
LCR.HR2G.1
LCR.HR2F.3
Légende
Description des faciès stratigraphiques
de la deuxième séquence de l'Holocène récent
HR2B
HR2F : unité rythmée
HR2G : unité rythmée
LCR
(Lamine caractéristique de référence)
Autres :
Grès
Sédiments gleyifiés
Dépôts du
Pléistocène
Dépôts de
l'Holocène moyen
Dépôts de
l'Holocène récent 1
Réal. : Y.L.D., 2007

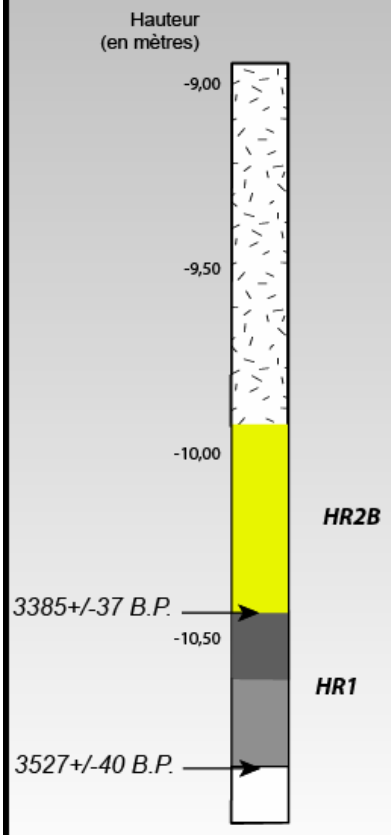

Site d'Ounjougou
La coupe 8
de la Rive Gauche du Yamé
Hauteur
(en mètres)
Ravin du Lannea
Ravin du Koïbo
Rônier
0,50 cm.
0
2,0 m.
-9,00
-10,00
-11,00
-12,00
HR2B
HR1
HR2F
HR2G
LCR.HR2F.3
LCR.HR2F.2
LCR.HR2F.1
LCR.HR2F.4
LCR.HR2G.1
CP1
CP4
CP5
CP6
CP8
CP9
CP10
CP11
CP12
CP13
CP14
Grès
HM
YLD & LL, 2006
8
16
24
32
40
48
56
64
72
80
Vers l'amont du Yamé
Vers l'aval du Yamé
Distance
(en mètres)
Hauteur
(en mètres)
-10,00
-11,00
HR2G
LCR.HR2G.1
Céramique
HR2F
LCR.HR2F.3
Légende
Description des faciès stratigraphiques
de la deuxième séquence de l'Holocène récent
HR2B
HR2F : unité rythmée
HR2G : unité rythmée
LCR
(Lamine caractéristique de référence)
Autres :
Grès
Sédiments gleyifiés
Dépôts du
Pléistocène
Dépôts de
l'Holocène moyen
Dépôts de
l'Holocène récent 1
Réal : Y.L.D., 2007


Site d'Ounjougou
La coupe 5
de la Rive Gauche du Yamé
Hauteur
(en mètres)
Ravin du Lannea
Ravin du Koïbo
Rônier
0,50 cm.
0
2,0 m.
-9,00
-10,00
-11,00
-12,00
HR2B
HR1
HR2F
HR2G
LCR.HR2F.2
LCR.HR2F.3
LCR.HR2F.1
LCR.HR2F.4
LCR.HR2G.1
CP1
CP4
CP5
CP6
CP8
CP9
CP10
CP11
CP12
CP13
CP14
Grès
HM
YLD & LL, 2006
8
16
24
32
40
48
56
64
72
80
Distance
(en mètres)
Vers l'amont du Yamé
Vers l'aval du Yamé
Hauteur
(en mètres)
-10,00
-11,00
-12,00
HR2F
LCR.HR2F.3
HR2B
HR1
Légende
Description des faciès stratigraphiques
de la deuxième séquence de l'Holocène récent
HR2B : unité rythmée
HR2F : unité rythmée, avec lamines centimétriques
HR2G
LCR
(Lamine caractéristique de référence)
Autres :
Grès
Sédiments gleyifiés
Dépôts du Pléistocène
Dépôts de l'Holocène moyen
Dépôts de l'Holocène récent 1
Unité pseudo-rythmée
Unité rythmée
Réal. : Y.L.D., 2007

Site d'Ounjougou

La coupe 1 de la Rive Gauche du Yamé (Coupe du Lannea)





Légende

Description des faciès stratigraphiques de la deuxième séquence de l'Holocène récent

- HR2B : unité rythmée (lamine grossière beige & lamine fine grise)
- HR2F
- HR2G
- LCR (Lamine caractéristique de référence)

Autres :

- Grès
- Sédiments gleyifiés
- Dépôts du Pléistocène
- Dépôts de l'Holocène moyen
- Dépôts de l'Holocène récent 1
  - Unité rythmée
  - Unité rythmée

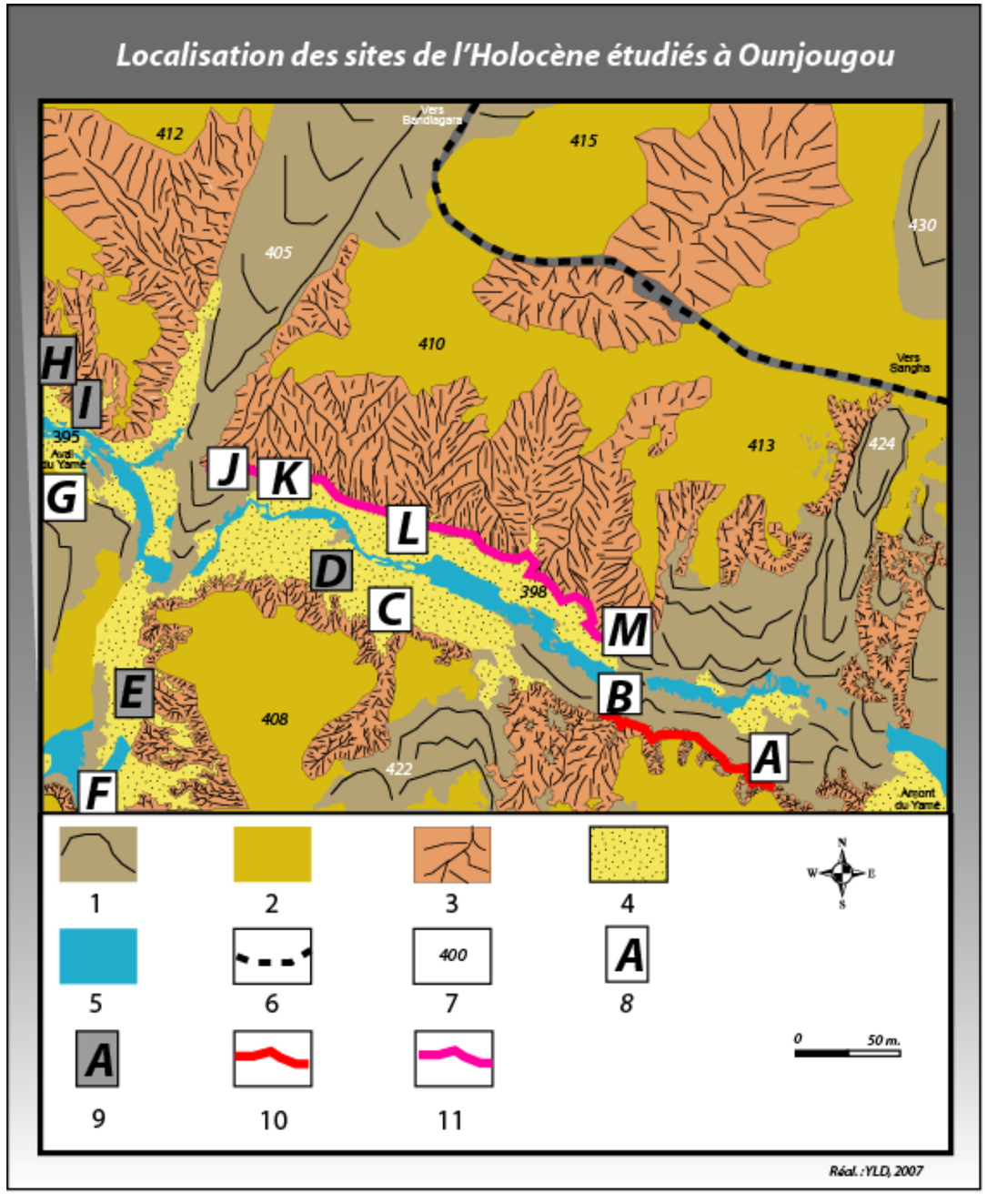
Réal. : Y.L.D., 2007

Lexique des espèces végétales (noms français, latin, dogon)

Nom binominal	*Nom normalisé (bambara)*	*Nom normalisé (dogon de la vallée amont du Yamé)*	*Nom vernaculaire*
Acacia albida	balansan	ségné	
Acacia ataxantha	bonzoni	wolo pinu	
Acacia macrostachya	gwenijè	wolo golonno	
Acacia nilotica	baanan	bakala	
Acacia senegal	donkori	banakolo	
Acacia seyal	sagiè		
Acacia sieberana	baki	sèngè nambilé	
Acacia tortilis		pogu	
Adenium obesum		tégédu	baobab du chacal
Anarcadium occidentale		somo	anarcadier
Ancylobotrys amoena		diébala	
Andansonia digitata	sira	oro	baobab
Andira inermis	kinedu	kali kanera	
Annona senegalensis	daga	kunu	
Annona squamosa	tubabu sunsun	sun sun	
Anogeissus leiocarpus	nkalama	sigili	
Azadirachta indica	sa-furani	nim	
Balanites aegytiaca	nsègènè	molo	
Bauhinia rufescens	geseme	koïbo (sa delle)	
Bombax costatum	bumu	togodo	faux kapokier
Borassus aethiopum		sim	palmier rônier
Boscia angustifolia	kesebere	siel	
Boscia senegalensis	bere		
Breonadia salicina		tékotu	
Calotropis procera	tumfafiya	pum pum	
Capparis decidua	diatekifora	koulouman	
Carica papaya	manje	mandie	papayer
Cassia alata	kotaba		
Cassia occidentales	nbalafin	kangala dengele	
Ceiba pentendra		dium	
Ceiba pentendra	banan	giu	fromager ou kapokier
Cissus quadrangularis		diané diané diaru	
Citrus limon		nemburo	citronnier
Cola cordifolia	ntaba	kumbu	
Combretum aculeatum		yigi tele	
Combretum glutinosum	cangara	goudapeli	
Combretum lecardii		lakata ana	
Combretum micranthum	ngolobe	kéké	
Combretum nigricans	samabali	gomodu	
Combretum nioroense		ténié	
Commiphora africana	barakanté	inu wanomo	myrrhier du sahel
Commiphora pedunculata	barakanté	inu-wanomo-ana	myrrhier soudanien
Crateva adansonii	suname (bani jugu)	bela (anawe)	
Dalbergia melanoxylon	janafin (farakalaye)	yanga	ébène
Dalbergia sissoo		molo	
Daniella oliveri	sanan	kéké	
Detarium microcarpum	ntamanjalen	pondu	

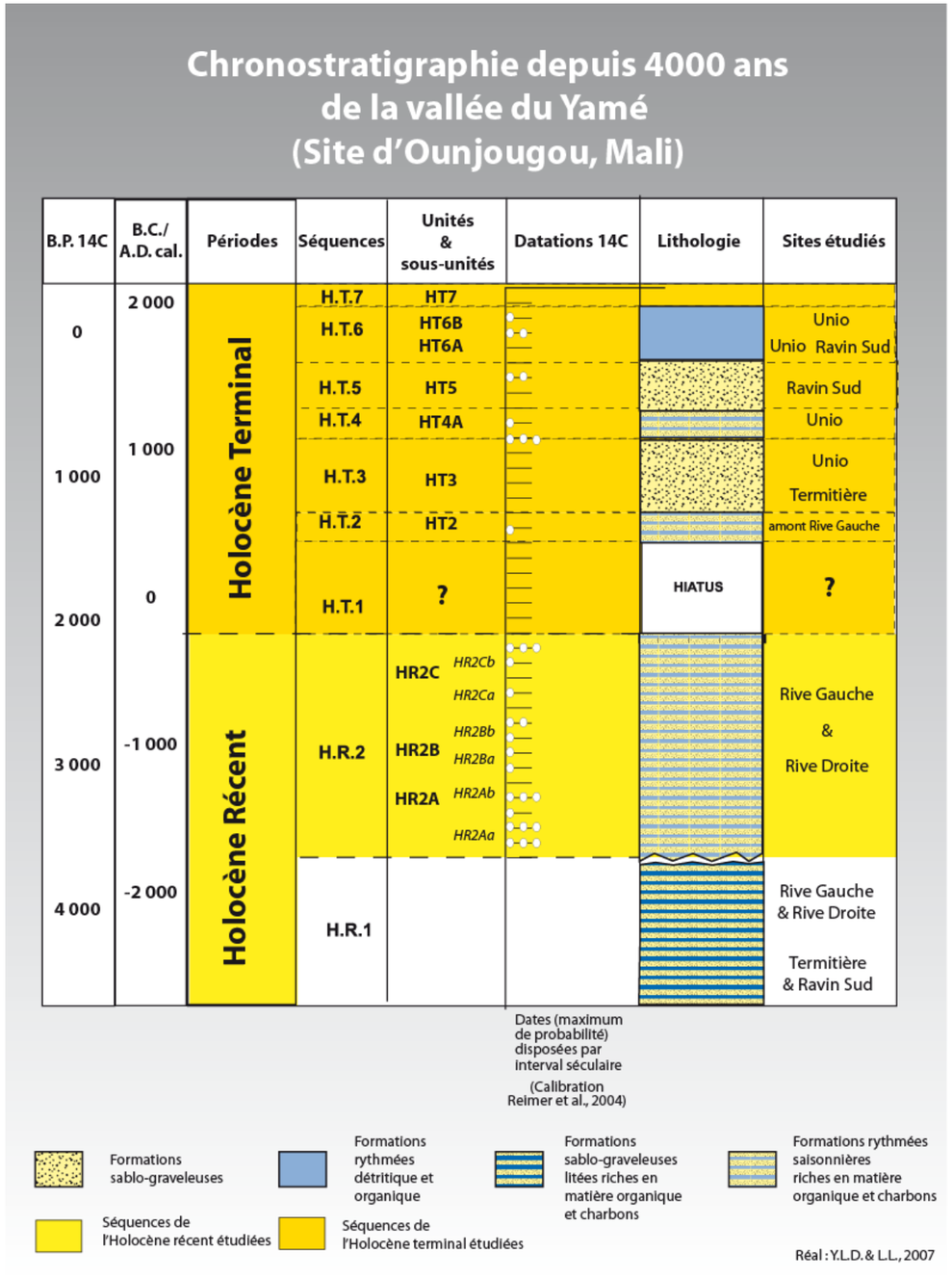
Detarium senegalense	ntamankunda	poundou	
Diospyros mespiliformis	sunsun	anu komo (ane-jum-comebo)	ébénier
Entada africana	dissi jama	oualan gonu	
Entada africana	samanéré		
Erythrina senegalensis		nimabé ala	Erythrine du Sénégal
Eucalyptus camaldulensis		sino badé timé	
Euphorbia balsamifera		gumoto	
Euphorbia paganorum		tenie	
Ficus abutifolia		kumbu	ficus
Ficus asperifolia		ka	ficus
Ficus capreafolia		ga	ficus
Ficus cordata		uendie	ficus
Ficus dicranostyla	nsoro	gumbopilè (gaapila)	
Ficus glumosa		kumbu	ficus
Ficus ingens		gaako	ficus
Ficus integrifolia	kamina	sié	
Ficus natalensis		omalabalé	ficus
Ficus platyphylla		gaaguyo	ficus
Ficus sycomorus	sutaro (toroule)	gaa	ficus
Ficus sycomorus	toroulé (toro)	ngaa	
Ficus thonnigii	dubalen	giribé	ficus
Grewia bicolor		uoro	
Grewia lasiodiscus		undiu	
Guiera senegalensis	kunje	gorobu	
Hexalobus monopelatus	nfuganyan	gonedio	
Khaya senegalensis	jala (ou galama)	pelu	caïlcédrat ou acajou
Lannea acida	bembenogo	saa mende	raisinier acide
Lannea microcarpa	npebuba (ou bembeba)	oumbou (saa)	raisinier
Leptadenia pyrotechnica		kamokoala	
Lophira lanceolata	mana	panhan	
lotus		kulu	
Maerua angolensis	belebele	bili kolo golo	
Mangifera indica	mangoro	mango	manguier
Maranthes polyandra	tutu		
Margaritaria discoidea	badulafen	vengé	Phyllanthus
Maytenus senegalensis	ngege		
mil		keriu	
Moringa oleifeira	masa yiri		
Mytragina inermis	jun	saa déné	
Ochna afzelii	manakeni		
Opilia celttidifolia	koronge kuriruni	tiné galu	
Parinari curatellifolia	tutu ntamba	undiu	
Parkia biglobosa	néré	yulo	néré
Parkinsonia aculeata		dunu degele	
Phyllathus reticulatus	balanbalan	ségédéré	
Pilostigma reticulatum		koïbo	
Prosopis africana	gwele	kilé	
Psidium guajava	goyaki (biaki)	buyavu	goyavier
Ptelepsis suberosa		gomotu	
Pterocarpus erinaceus	gweni (goni)	pelu (waya)	
Punica granatum		néménati	grenadier
Sclerocarya birrea	nkunan (kuntan)	bi	
Secuidaca longepedunculata	joro		
Spondias monbin	minkon	éné	prunier monbin

Sygizium guineense	kokisa (kuri)	basselem gondio (alukile)	
Tamarindus indica	ntomi	omolu	tamarinier
Terminalia albida	wolodje	yana ana (senebile)	
Terminalia macroptera	wolofira (woloba)	kuko	
Uapaca togoensis	somon	kumbu	
Vernonia colorata	ko safune	dendé	
Vitellaria paradoxa	si	mundiu	karité
Vitex doniana	koro ba	mo	
Vitex madiensis	koro (ou dankele)	moa	
Vitex simplicifolia	koronin	alumi dunulyo	
Vitex simplificifolia		diembere	
Ximenia americana	ntonke	omala bane	
Zizyphus lotus		dégandé	
Zizyphus micronata	surukuntomolo	tara segande	jujubier



Carte des sites de l'Holocène étudiés dans la vallée du Yamé

Légende : 1. : Barres de grès ; 2. : Glacis ; 3. : Zones érodées ; 4. : Bas fonds sableux ; 5. : Cours d'eau ; 6. : Piste actuelle ; 7. : Points cotés ; 8. : coupes de la deuxième séquence de l'Holocène récent et terminal ; 9. : coupes de l'Holocène ancien et moyen ; 10. : Rive Gauche étudiée ; 11. : Rive Droite étudiée.
A.: Coupe 1 (du Lannea) Rive Gauche ; B.: Coupe 13 (du Rônier) Rive Gauche ; C.: Chenal du Detarium ; D.: Ravin du Vitex ; E.: Ravin Sud ; F.: Unio ; G.: Termitière ; H.: Ravin du Hibou ; I.: Ravin de la Mouche ; J.: Coupe 15 (Varves Ouest) Rive Droite ; K.: Coupe 13 (Varves Est) Rive Droite ; L.: Coupe 6 (du Balanites) Rive Droite ; M.: Coupe 0 Rive Droite



Chronostratigraphie depuis 4 000 ans dans la vallée du Yamé

Table des figures

Figure n° 1 : Localisation de la zone d'étude ……. 14
Figure n° 2 : Hydrologie et topographie du Mali ….…….. 20
Figure n° 3 : Transects du Pays dogon……. ……..……. 21
Figure n° 4 : Les grands ensembles topographiques & géomorphologiques de la vallée du Yamé…….. 24
figure n° 5 : Présentation géomorphologique du site d'Ounjougou..…… ……..……..… 25
Figure n° 6 : Coupe synthétique des formes et formations du Pléistocène et de l'Holocène ……..... 27
Figure n° 7 : Conditions des circulations atmosphériques en janvier et juillet en Afrique de l'Ouest..…. 29
Figure n° 8 : Données climatiques de Bandiagara ...……..... 31
Figure n° 9 : Moyennes pluviométriques de Bandiagara au 20ème siècle ……..…… 31
Figure n° 10 : Réseau hydrographique de la partie amont du Yamé ……..…… 34
Figure n° 11 : L'écoulement superficiel et souterrain du Plateau dogon..……..…. 38
Figure n° 12 : Caractérisation des milieux hydrosédimentaires du Yamé et de ses affluents……. 40
Figure n° 13 : Les paysages végétaux du Mali …….. 42
Figure n° 14 : Les paysages autour du Plateau dogon …… 44
Figure n° 15 : Les paysages végétaux actuels d'Ounjougou …… …….. 48
Figure n° 16 : Localisation du site d'Ounjougou …… 51
Figure n° 17 : Localisation des sites archéologiques à Ounjougou …… 60
Figure n° 18 : Localisation des différents sites en Afrique de l'Ouest……..…….. 62
Figure n° 19 : Phases chronoculturelles depuis 4 000 ans à Ounjougou……..…..… 65
Figure n° 20 : Les méthodes de terrain et de laboratoire …… ……..... 81
Figure n° 21 : Prélèvements des pluies polliniques en septembre 2005…… 83
Figure n° 22 : Prospections autour d'Ounjougou pendant les missions de terrain…..……. 84
Figure n° 23 : Du croisement de données à la réalisation d'1 cartographie thématique et diachronique… 90
Figure n° 24 : Terminologie stratigraphique des dépôts sédimentaires de la vallée du Yamé …… 112
Figure n° 25 : Localisation des sites de l'Holocène étudiés dans la vallée du Yamé …… 113
Figure n° 26 : Cartographie des sites de l'Holocène étudiés à Ounjougou …… 117
Figure n° 27 : Coupe 6 Rive Droite…….. …… 121
Figure n° 28 : Coupe 9 Rive Droite ……..…… 123
Figure n° 29 : Coupe 15 Rive Droite ……..……..…… 128
Figure n° 30 : Coupe stratigraphique Rive Droite..…… 131
Figure n° 31 : Coupe 4 Rive Gauche ……..…… 133
Figure n° 32 : Coupe 6 Rive Gauche ……..…… 136
Figure n° 33 : Coupe 13 Rive Gauche ……..…… 140
Figure n° 34 : Coupe stratigraphique Rive Gauche ……..……. 144
Figure n° 35 : Essai de reconstitution spatiale des espaces fluvio-palustres 2000 avant notre ère…… 145
Figure n° 36 : Transect de la Coupe 0 Rive Droite à la Coupe 14 Rive Gauche…… 146
Figure n° 37 : Coupe du Chenal du Detarium ……..…… 149
Figure n° 38 : Coupe 1 des Unio…… ……..…… 151
Figure n° 39 : Coupes 2 à 5 du site des Unio…… 154
Figure n° 40 : Coupes 6 à 8 du site des Unio …… 156
Figure n° 41 : Chronostratigraphie du site des Unio…… 158
Figure n° 42 : Coupe stratigraphique du ravin Sud…… 160
Figure n° 43 : essai de reconstitution spatiale des espaces fluvio-palustres des deux derniers millénaires 161
Figure n° 44 : Chronostratigraphie de l'Holocène à Ounjougou……. …… 163
Figure n° 45 : Chronostratigraphie depuis 4000 ans de la vallée du Yamé…….. 165
Figure n° 46 : Localisation des sédiments actuels...……..…… 172
Figure n° 47 : Localisation de la Coupe 13 Rive Gauche ……..…… 174
Figure n° 48 : Distribution moyenne des particules analysées……..…… 175
Figure n° 49 : Diamètre des grains de sable Coupe 13…… 175
Figure n° 50 : Images C.M. des sédiments de l'Holocène……..…… 177
Figure n° 51 : Image CM des sédiments de l'Holocène récent……..…… 178
Figure n° 52 : Etudes micromorphologiques……..…… …… 181
Figure n° 53 : Etudes micromorphologiques, du prélèvement à la lame mince...……..…… 183
Figure n° 54 : faciès sédimentaire et matière organique……...……..…… 188
Figure n° 55 : Réalisation du modèle de référence……..…… …..... 192
Figure n° 56 : Modèle saisonnier……...…… 194

Figure n° 57 : Modélisation de HA-HM…… 199
Figure n° 58 : Localisation de HR2Aa1…… 200
Figure n° 59 : Localisation de HR2Ab…… 203
Figure n° 60 : Localisation de HR2Ba …… 206
Figure n° 61 : Localisation de HR2Bb…… 209
Figure n° 62 : Localisation de HR2Ca …… 211
Figure n° 63 : Localisation de HR2Cb …… 214
Figure n° 64 : Modélisation de HR2…… 217
Figure n° 65 : synthèse des données micromorphologiques …… 218
Figure n° 66 : Localisation du chenal du Detarium…… 222
Figure n° 67 : Localisation de HT4 (Unio)…… 224
Figure n° 68 : Localisation de HT6B …… 226
Figure n° 69 : Modélisation de HT…… 227
Figure n° 70 : Synthèse des données hydrosédimentaires …… 229
Figure n° 71 : Cartes topographiques diachroniques à l'amont de la confluence entre 1953 et 2006 …… 236
Figure n° 72 : Dynamiques des individus arbustifs et arborés entre 1953 et 2006 …… 237
Figure n° 73 : Représentation des individus arborés et arbustifs par espèces biogéographiques en 2006…. 240
Figure n° 74 : Méthodologies de la palynologie…… 248
Figure n° 75 : Etudes palynologiques…… 249
Figure n° 76 : Synthèse des données palynologiques des pluies actuelles…… 252
Figure n° 77 : Diagramme palynologique de la Termitière…… 258
Figure n° 78 : : Diagramme palynologique du ravin Sud …… 260
Figure n° 79 : Diagramme palynologique des varves Ouest …… 262
Figure n° 80 : Diagramme palynologique du Rônier …… 264
Figure n° 81 : Méthodologies de la paléo-anthracologie…… 267
Figure n° 82 : Synthèses des données anthracologiques…… 269
Figure n° 83 : Evolution des particules charbonneuses sur le site de Ficko…… 270
Figure n° 84 : Les méthodologies du signal incendie…… 276
Figure n° 85 : Caractérisation des particules charbonneuses…… 287
Figure n° 86 : Caractérisation des incendies au HR2…… 288
Figure n° 87 : Synthèse du signal incendie…… 298
Figure n° 88 : Diagramme palynologique synthétique du HR …… 303
Figure n° 89 : Dynamique des paysages végétaux depuis 4 000 ans dans la vallée du Yamé…… 307
Figure n° 90 : Chronostratigraphie & synthèse des données en Afrique de l'Ouest…… 315
Figure n° 91 : Synthèse des dynamiques paysagères de la vallée du Yamé…… 342
Figure n° 92 : Les paysages de la vallée avant 2000 BC…… 343
Figure n° 93 : Les paysages de la vallée au HR2 en saison sèche et des pluies …… 347
Figure n° 94 : Les paysages de la vallée entre HT et 2006…… 351
Figure n° 95 : Les paysages de la vallée depuis 4000 ans…… 359

Tables des planches Photographiques

Planche photographique n° 1 : Les paysages en saison sèche et en saison des pluies à Ounjougou …… 36
Planche photographique n° 2 : Photographies des conséquences de l'hivernage 2007 …… 55
Planche photographique n° 3 : Coupe 6 Rive Droite…… 121
Planche photographique n° 4 : Coupe 8,9 & 10 Rive Droite…… …… 124
Planche photographique n° 5 : Empreintes & restes foliaires dans les sédiments de la vallée du Yamé ….. 127
Planche photographique n° 6 : Coupe 15 Rive Droite……..…… 129
Planche photographique n° 7 : Coupe 4,5,8,9,10,11,& 14 Rive Gauche…..…… 134
Planche photographique n° 8 : Coupe 1 & 6 Rive gauche……..……..…… 137
Planche photographique n° 9 : Coupe 13 Rive Gauche…..……..……..…… 141
Planche photographique n° 10 : Site des Unio…..…… …… 152
Planche photographique n° 11 : Prélèvements d'un bloc dans une mare permanent du Yamé …… 173
Planche photographique n° 12 : Bioperturbation…..……... …… 186
Planche photographique n° 13 : Lames minces de HR2Aa1…..…….. …… 202
Planche photographique n° 14 : Lames minces de HR2Ab …..…….. 204
Planche photographique n° 15 : Lames minces de HR2Ba…..……... …… 208
Planche photographique n° 16 : Lames minces de HR2Bb ……..……. 210
Planche photographique n° 17 : Lames minces de HR2Ca ……..……. 213
Planche photographique n° 18 : Lames minces de HR2Cb……..……. 216
Planche photographique n° 19 : Lames minces de sédiments pédogenéisés…… 221
Planche photographique n° 20 : Lames minces de HT4…… 223
Planche photographique n° 21 : Lames minces de HT4 (Unio)……....…… 225
Planche photographique n° 22 : Lames minces de la sous unité HT6B ……. 227
Planche photographique n° 23 : Paysages actuels de la vallée du Yamé…… 242
Planche photographique n° 25 : Photographies SEM de charbons de bois ……..... 266
Planche photographique n° 26 : Morphologie des particules charbonneuses …… 278
Planche photographique n° 27 : caractérisation des degrés de réflectance …… 280
Planche photographique n° 28 : Caractérisation de la morphologie & degrés de réflectance pour HR2 .. 283
Planche photographique n° 28 : Caractérisation de la morphologie & degrés de réflectance HA, HM & HT 297

Table des matières

Remerciements 3

Sommaire 5

Introduction générale 7

1 *Cadre géographique et contextes d'études* **18**

1. Cadre et contexte d'étude : le Plateau dogon ***4***
1.1. Cadre géologique et géomorphologique du plateau *6*
1.2.1. Présentation d'ensemble : 6
1.2.2. Les formations superficielles du Plateau dogon : 10

1.2. Les conditions hydroclimatiques du Plateau dogon *13*
1.2.1. Le cadre climatique : 13
1.2.2. Le réseau hydrographique : 17
1.2.3. Le régime hydrologique du Yamé : 19
1.2.4. La contribution de pseudo-karst du grès aux écoulements sur le Plateau de Bandiagara : 21
1.2.5. Le régime hydro-sédimentaire de la vallée du Yamé : 23
1.3. Les paysages du Pays dogon *26*
1.3.1. Les paysages végétaux : 26
1.3.2. Les Dogon et leur paysage 29

2. Le site d'étude d'Ounjougou ***35***
2.1. Présentation du site *35*
2.2. Un espace mobile *36*

3. Le programme de recherches "Peuplement humain et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest" ***41***
3.1. Présentation du programme *41*
3.2. Présentation des données archéologiques *43*
3.2.1. Des données archéologiques, dès le Paléolithique à Ounjougou : 44
3.2.2. Ounjougou et le "Néolithique africain" : 45
• La notion de "Néolithique africain" : 45
• Réflexion sur es débuts de l'agriculture et l'élevage : 45
• Ounjougou et la mise en place du "Néolithique africain" : 47
• Le Néolithique récent du Plateau dogon, pulsations sahariennes et premiers cultivateurs (3500-500 B.C.) : 48
• Une occupation Pré-dogon & Dogon dans la vallée du Yamé : 51

4. Une démarche géographique et géoarchéologique ***57***
4.1. Le "Paysage" des géographes *57*
4.2. L'approche géoarchéologique *61*
4.3. Les emboîtements d'échelles spatio-temporelles *63*
4.4. Les approches méthodologiques *64*
4.4.1. Les missions de terrain 65
• Support et sources de connaissance du géographe 65
• Quatre missions 66
• Une étude du milieu environnant : les prospections 68
• Une étude des traditions orales et de la mémoire : les enquêtes 70
• Une analyse des archives et des fonds de bibliothèque 70

4.4.2. Les analyses de laboratoire 71
• Les traitements des échantillons 71
• Les laboratoires d'accueil 71
4.4.3. Restitution des données 72
• Apports et intérêts du S.I.G. (Système d'Informations Géographiques) et de la cartographie 72
• Réalisation et intérêts des blocs diagrammes 75

2 *Vers une chronostratigraphie à haute résolution* 93

1. La méthodologie 96
1.1. Un étude spatio-temporelle des dépôts sédimentaires : la stratigraphie 96
1.2. Terminologie des formations stratigraphiques 97
1.3. Chronologie & méthodes de datation 100
1.4. Vers une chronostratigraphie globale de la vallée du Yamé à l'Holocène 101

2. La chronostratigraphie des 2 derniers millénaires avant notre ère 104
2.1. Chronostratigraphie de la Rive Droite du Yamé 104
2.1.1. Les principales coupes chronostratigraphiques de la Rive Droite du Yamé 104
• La Coupe 6 de la Rive Droite du Yamé (dite coupe du Balanites) : 104
• La Coupe 9 de la Rive Droite : 108
• La Coupe 15 de la Rive Droite (dite Coupe des Varves Ouest) : 111
2.1.2. Synthèse chronostratigraphique de la Rive Droite 116
2.2. Chronostratigraphie de la Rive Gauche du Yamé 118
2.2.1. Les principales coupes chronostratigraphiques en amont de la Rive Gauche du Yamé 118
• La coupe 4 de la Rive Gauche : 118
• La coupe 6 de la Rive Gauche, dite coupe du Koïbo : 121
• La coupe 13 de la Rive Gauche, dite coupe du Rônier : 124
2.2.2. Synthèse chronostratigraphique de la Rive Gauche du Yamé 128
2.2.3. Dispositif d'ensemble des deux derniers millénaires avant notre ère 131
• Essai de reconstitution spatiales des zones fluvio-palustres 131
• Essai de reconstitution de la géométrie transversale des zones palustres 132

3 Chronostratigraphie des deux derniers millénaires 134
3.1. Chronostratigraphie du Chenal du Detarium 134
3.2. Chronostratigraphie du Ravin Sud et du site des Unio 136
3.2.1. Les principales coupes chronostratigraphiques du site des Unio 136
• La Coupe 1 du site des Unio 136
• Synthèse chronostratigraphique des coupes 2 à 5 du site des Unio 139
• Synthèse chronostratigraphique des coupes 6 à 8 du site des Unio 141
• Synthèse chronostratigraphique globale du site des Unio 143
3.2.2. Quel remplissage sédimentaire entre le Ravin Sud et le site des Unio ? 145

4. Originalité des quatre derniers millénaires dans la chronostratigraphie globale de l'Holocène 149

3 *Analyses des formations fluvio-palustres et des fonctionnements hydro-sédimentaires* **170**

1.1. La méthodologie **172**
1.2. De l'échantillonnage aux analyses granulométriques *172*
1.3. Caractérisation granulométrique des dépôts laminés *173*
• Analyses des sédiments actuels 173
• Analyses des sédiments du deuxième millénaire avant notre ère (HR2): 176
1.4. Caractérisation des fonctionnements et des milieux hydrosédimentaires *178*

2. Des analyses micromorphologiques
2.1. Méthodologies **181**
2.1.1. Les intérêts de la micromorphologie en géoarchéologie *181*
2.1.2. De l'échantillonnage à l'analyse de lames minces 184
2.2. Caractérisation micromorphologique des dépôts laminés *189*
2.2.1. Les lamines sablo-limoneuses 189
2.2.2. Les transitions entre les lamines sablo-limoneuses et les lamines limono-sableuses 191
2.2.3. Les lamines limono-sableuses 191
2.2.4. Les sommets des lamines limono-sableuses 192

3. Vers l'établissement d'un modèle fluvio-palustre saisonnier **193**
3.1. Des enregistrements saisonniers ? *193*
3.2. Des dépôts rythmés, saisonniers et … varvés ? *197*

4. Différents enregistrements saisonniers depuis les quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé **199**
4.1. Quels sont les enregistrements avant le quatrième millénaire avant notre ère ? *199*
4.1.1. L'Holocène ancien (entre ante 9785+/-70 et 8080+/-55 B.P., soit ante 9400 à 6810 B.C. cal.) : 199
4.1.2. L'Holocène moyen et l'Holocène récent 1 (entre 8080+/-55 et 3450+/-50 B.P., soit 6810-1890 B.C. cal.) : 200
4.2. Quels sont les enregistrements saisonniers durant les deux millénaires avant notre ère ? *201*
4.2.1. L'unité HR2A, entre 3420+/-40 et ante 2840+/-45 B.P, soit 1880 - ante 890 B.C. cal 202
• La sous-unité HR2Aa1, entre 3420+/-40 et 2920+/-60 B.P., soit 1880 - 930 B.C. cal. 202
• La sous-unité HR2Ab, post 2920+/-60 et ante 2840+/-45 B.P., soit post 1310 - ante 890 B.C. cal : 205
4.2.2. L'unité HR2B, entre 2840 +/45 et ante 2510+/-30 B.P., soit 1130 - ante 520 B.C. cal.: 208
• La sous-unité HR2Ba, entre 2840 +/45 et 2800+/-60 B.P., soit 1130 - 820 B.C. cal. 208
• La sous-unité HR2Bb, post 2800+/-60 et ante 2510+/-30 B.P., soit post 1120 - ante 520 B.C. cal. : 211
4.2.3. L'unité HR2C, entre 2510+/-30 et post 2400+/-50 B.P., soit 790 - post 390 cal. B.C.: 213
• La sous-unité HR2Ca, entre 2510+/-30 et ante 2440+/-44 B.P., soit 790 - ante 400 B.C. cal .: 213
• La sous-unité HR2Cb : 2440+/-44 et post 2400+/-50 B.P.(soit 670 - post 390 cal. B.C.) : 216
4.2.4. Synthèse des données micromorphologiques des deux millénaires précédant notre ère : "vers une saisonnalité marquée" 219 219
4.3. Quels sont les enregistrements saisonniers ces deux derniers millénaires ? *222*
4.3.1. Les sédiments pédogénéisés postérieurs à la deuxième séquence de l'Holocène récent (non datés) : 222
4.3.2. L'unité HT4, entre 935+/-33 et 870+/-30 B.P., soit 1020-1260 A.D. cal.: 224
4.3.3. L'unité HT6, entre 255+/-45 et 155+/-30 B.P., soit 1480-1936 A.D. cal.: 227
4.3.4. Synthèse des données micromorphologiques des deux derniers millénaires : 229

4 *Analyses des paysages végétaux et de leurs évolutions* **234**

1. L'émergence récente des paysages végétaux de la vallée du Yamé **236**
1.1. Une approche quantitative de la dynamique des paysages végétaux *236*
1.2. Une approche qualitative de la dynamique des paysages végétaux *240*
1.3. Les facteurs explicatifs *242*
1.3.1. Des "paysages intensément humanisés" 242
1.3.2. Des" paysages protégés" *245*
1.3.3. Des "paysages dégradés" *245*

2. Les analyses paléobotaniques de la vallée du Yamé **247**
2.1. Les analyses palynologiques *247*
2.1.1. Les méthodes 247
2.1.1.1. Les intérêts de la palynologie en géographie *247*
2.1.1.2. De l'échantillonnage à l'analyse des lames palynologiques *249*
2.1.2. Les analyses palynologiques 253
2.1.2.1. L'étude de la pluie pollinique actuelle : 253
• Les résultats : 253
• Commentaires : 253
2.1.2.2. Quels sont les paysages végétaux avant le deuxième millénaire avant notre ère ? 259
• Les analyses palynologiques du site de la Termitière (première séquence de l'Holocène récent : HR1) : 259
• Les analyses palynologiques du site du Ravin Sud (première séquence de l'Holocène récent : HR1) : 261
2.1.2.3. Quels sont les paysages végétaux au deuxième millénaire avant notre ère ? 263
• Les analyses palynologiques de la coupe des Varves Ouest 263
• Les analyses palynologiques de la coupe du Rônier 265
2.2. Les analyses paléo-anthracologiques et carpologiques (résultats des analyses par B. Eichhorn & K. Neumann) *267*
2.2.1. Les méthodes 267
2.2.1.1. Les intérêts de l'anthracologie et de la carpologie 267
2.2.1.2. De l'échantillonnage aux différentes analyses : 269
2.2.2. Les analyses anthracologiques et carpologiques 270
2.2.2.1. Quelles sont les données anthracologiques avant le deuxième millénaire avant notre ère ? 270
2.2.2.2. Quelles sont les données anthracologiques au deuxième millénaire avant notre ère ? 271
2.2.2.3. Quels enregistrements anthracologiques au cours des deux derniers millénaires ? 272

3. Les études du signal incendie **275**
3.1. Les intérêts du signal incendie *275*
3.2. Une approche multi-méthodologique *276*
3.2.1. Une étude des particules opaques en micromorphologie par lumière transmise 278
3.2.2. La méthode par tamisage ("sieving method") : 279
3.2.3. La méthode des lames palynologiques par lumière réfléchie : 279
3.2.4. La méthode des lames minces par lumière réfléchie : 281
3.2.5. Les intérêts de croiser les différentes méthodes 283
3.3. Vers l'établissement d'un modèle saisonnier des feux ? *283*
3.3.1. L'apport initial des études micromorphologiques 283
3.3.2. Les lamines sablo-limoneuses 284
3.3.3. La transition entre les lamines sablo-limoneuses et limono-sableuses 286
3.3.4. Les lamines limono-sableuses 286
3.3.5. Un modèle saisonnier des feux 287
3.4. Quels sont les enregistrements saisonniers des feux depuis 4 000 ans ? *291*
3.4.1.1. Quels sont les enregistrements des incendies avant le deuxième millénaire avant notre ère ? 291
3.4.1.2. Quelle est la régularité des feux durant les deux millénaires avant notre ère ? 292
• La sous-unité HR2Aa1, entre 3420 +/-40 et 2920+/-60 B.P., soit 1880-930 B.C. cal. 293
• La sous-unité HR2Ab, post 2920+/-60 et ante 2840+/-45 B.P., soit post 1310 - ante 890 B.C. cal : 293
• La sous-unité HR2Ba, entre 2840 +/45 et 2800+/-60 B.P., soit 1130 - 820 B.C. cal. 294
• La sous-unité HR2Ca, entre 2510+/-30 et ante 2440+/-44 B.P., soit 790 - ante 400 B.C. cal 294
• La sous-unité HR2Cb, 2440+/-44 et post 2400 B.P., soit 670 - post 390 B.C. cal. : 296
3.4.1.3. Quelles sont les dynamiques des feux au cours des deux derniers millénaires ? 297
• L'unité HT4, entre 935+/-33 et 870+/-30 B.P., soit 1020-1260 A.D. cal. : 297
• L'unité HT6, entre 255+/-45 et 155+/-30 B.P., soit 1480-1936 A.D. cal. : 297
3.5. Interprétations du signal incendie dans la vallée du Yamé *300*

4. Construction d'une histoire des paysages végétaux de la vallée du Yamé 303 ***303***
- *Quels sont les paysages végétaux avant le deuxième millénaire avant notre ère dans la vallée du Yamé ?* *303*
- *Quels sont les paysages végétaux ces quatre derniers millénaires dans la vallée du Yamé ?* *306*

5 *Synthèses spatio-temporelles des dynamiques paysagères* ***311***

1. Du local au global : La vallée du Yamé, un site de référence en Afrique de l'Ouest **315**
1.1. Apports de nos analyses à la connaissance des dynamiques et forçages hydro-climatiques *315*
1.1.1. L'Holocène récent : Vers une aridification du milieu 315
1.1.1.1. Que nous apprennent les recherches paléoenvironnementales de la vallée du Yamé ? 315
1.1.1.2. Comment s'insèrent ces recherches paléoenvironnementales dans le contexte ouest africain ? 318
1.1.2. L'Holocène terminal : vers une instabilité hydro-climatique 310
1.1.2.1. Les recherches paléoenvironnementales de la vallée du Yamé 320
1.1.2.2. Quel contexte ouest africain au cours des derniers millénaires ? 323
1.1.3. Des facteurs explicatifs aux différentes échelles. 325
1.2. Apports de nos analyses à la connaissance des dynamiques et forçages anthropiques *329*
1.2.1. Quelles sont les dynamiques anthropiques du milieu depuis quatre mille ans dans la vallée du Yamé ? 330
1.2.2. Quelles sont les dynamiques anthropiques depuis quatre mille ans en Afrique de l'Ouest ? 333

2. Quatre mille ans de trajectoire des paysages de la vallée du Yamé **340**
2.1. Vers une vallée du Yamé anthropisée … *341*
2.1.1. L'aboutissement d'une histoire ou les débuts d'un nouveau paysage ? 341
2.1.2. Vers une anthropisation des paysages de la vallée du Yamé … 345
2.2. Une vallée du Yamé fortement humanisée et fragilisée *349*
2.2.1. Vers des paysages fortement humanisés 349
2.2.2. Des paysages fragilisés : 351

Conclusion générale **357**

Bibliographie 365

Annexes 399
(Carte A3 : sites de la vallée du Yamé et cadre chrnonostratigraphique depuis 4000 ans) 423

Tables des figures 425

Table des planches photographiques 427

Table des matières 428

Titre : Dynamiques des paysages de la vallée du Yamé depuis 4 000 ans. Contribution à la compréhension d'un géosystème soudano-sahélien (Ounjougou, Pays dogon, Mali)

Résumé :

Etudier les dynamiques des paysages de la vallée du Yamé depuis 4000 ans consiste à comprendre la genèse des paysages et les changements depuis que les sociétés commencent à intervenir de façon intensive sur le milieu. Nous souhaitons à travers cette recherche contribuer à la connaissance des paysages africains en tant qu'entité culturelle en tenant compte des actions anthropiques et bioclimatiques.

La vallée du Yamé, principal cours d'eau du Pays dogon, est localisée dans la zone soudano-sahélienne au Mali. Dans une première partie, nous présentons le cadre et les contextes d'études. La deuxième partie consiste en une présentation du cadre chronostratigraphique à haute résolution. La troisième partie correspond à l'analyse des formations fluvio-palustres et des fonctionnements hydro-sédimentaires. La quatrième partie est une présentation des paysages végétaux et de leur évolution. La cinquième partie repose sur une synthèse des résultats, avec une interprétation spatio-temporelle des paysages.

Cette recherche permet d'observer une ouverture progressive des paysages associée à un changement de physionomie des espèces, liée à une aridification du climat et à la mise en place d'agrosystèmes. La végétation a évolué entre différentes mosaïques de savanes, forêts claires et/ou denses sèches, progressivement à caractère soudano-sahélien. Des espèces pyrophiles se renforcent avec l'émergence d'une agriculture de mil attestée par l'archéobotanique et par des feux anthropiques saisonniers. Nous mettons en évidence l'influence croissante des hommes sur leur environnement, depuis 4000 ans qui aboutit à la construction de véritables paysages culturels à partir de milieux originels.

Mots clés (indexation Rameau) : *Paysages - Yamé, Vallée du (Mali), Archéologie du Paysage, Paysage - Modifications, Ecologie humaine, Feu, Paysages - Afrique occidentale*

Mots cles (Indexation libre) : *Paysages, Dynamique, Feu, Société, Climat, Géosystème, Afrique de l'Ouest*

Tiltle : Landscapes dynamics of the Yame valley since 4 000 years. Contribution to the understanding of a Sudano-Sahelian geosystem (Ounjougou, Pays Dogon, Mali)

Abstarct :

The study of the landscape dynamic of the Yamé valley past four thousand years is to understand the genesis of landscapes and changes since that societies are beginning to intervene intensively on the environment. We hope through this research contribute to the knowledge of African landscapes as a cultural taking into account anthropic and bioclimatic actions.

The Yame Valley, the main rivers of the Dogon Country, is located in the Sudano-Sahelian zone in Mali. In order to respond to our problem, we opted for a thematic plan. In the first section, we present the framework and contexts of study. The second part consists of a chronostratigraphic presentation at high resolution. The third part is the analysis of river-palustral systems and hydro-sedimentary functionning. The fourth part is a presentation of plants landscape and their evolution. The fifth part is a synthesis of results, with a spatial and temporal interpretation of landscape past four thousand years.

This doctoral study can observe a progressive opening of landscapes associated with a change of appearance of species with an aridification climate and the agrosystems establishment in the region. The vegetation has changed between different mosaics of savannas and woodlands and/or dense dry gradually character Sudano-Sahelian. Pyrophiles species reinforce a relationship with the a farming millet emergence attested by the archaeobotanic and seasonal anthropogenic fires. Thus is highlighted the growing the influence of men in their environment in West Africa during the past four millennia leading to the construction of cultural landscapes from the original environments.

Keywords (Rameau Indexing) : Landscape - Yamé river valley (Mali), Landscape archaeology, Landscapes changes, Human ecology, Firemaking, Landscape - West Africa

Keywords (free Indexing) : *Landscape, Fire, Dynamic, Society, Climate, Geosystem, West Africa*

Spécialité : Géographie physique, humaine, économique et régionale

Laboratoire GEOPHEN, Géographie Physique et Environnement
UMR-CNRS LETG 6554
Université de Caen-Basse Normandie
Bâtiment Scolarité (sous-sol)
Esplanade de la Paix
BP 5186
14032 Caen cedex (France)