



CONTRIBUTION A L'ÉTUDE GÉOLOGIQUE DES ALLUVIONS DU COURS MOYEN DE LA VILAINE. CONSIDÉRATIONS GÉOTECHNIQUES

Alain Jigorel

► To cite this version:

Alain Jigorel. CONTRIBUTION A L'ÉTUDE GÉOLOGIQUE DES ALLUVIONS DU COURS MOYEN DE LA VILAINE. CONSIDÉRATIONS GÉOTECHNIQUES. Géologie appliquée. Université de Rennes, 1978. Français. NNT : . tel-01741837

HAL Id: tel-01741837

<https://insu.hal.science/tel-01741837>

Submitted on 23 Mar 2018

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.

SERIE : C
N° d Ordre : 510
N° de Série : 189

THESE
présentée

DEVANT L'UNIVERSITE DE RENNES
U.E.R. Structures et Propriétés de la Matière

pour obtenir

le titre de DOCTEUR en TROISIEME CYCLE

Spécialité : GEOLOGIE

Option : GEOLOGIE CONTINENTALE

Par

Alain JIGOREL

Sujet de la Thèse :

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE GÉOLOGIQUE DES ALLUVIONS
DU COURS MOYEN DE LA VILAINE. CONSIDÉRATIONS GÉOTECHNIQUES

Soutenue le : 13 Décembre 1978 devant la Commission d'Examen

Melle S. DURAND

Président

Mme J. ESTEOULE-CHOUX

MM. J. PERRIAUX

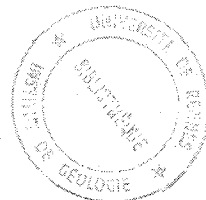
J. ESTEOULE

L. PRIMEL

P. HUET

Examineurs

- 4 DEC. 1979



SERIE : C
N° d Ordre : 510
N° de Série : 189

INSTITUT de GÉOLOGIE de RENNES	
Numero d'inventaire Bibliothèque	1612

THESE
présentée

DEVANT L'UNIVERSITE DE RENNES
U.E.R. Structures et Propriétés de la Matière

pour obtenir

le titre de DOCTEUR en TROISIEME CYCLE

Spécialité : GEOLOGIE

Option : GEOLOGIE CONTINENTALE

Par

Alain JIGOREL

Sujet de la Thèse :

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE GÉOLOGIQUE DES ALLUVIONS
DU COURS MOYEN DE LA VILAINE. CONSIDÉRATIONS GÉOTECHNIQUES

Soutenue le : 13 Décembre 1978 devant la Commission d'Examen

Melle S. DURAND

Président

Mme J. ESTEOULE-CHOUX

MM. J. PERRIAUX

J. ESTEOULE

L. PRIMEL

P. HUET

Examineurs

 U.E.R. "SCIENCES ET PHILOSOPHIE"

Doyens Honoraires

M. MILON Y.
 M. TREHIN R.
 M. LE MOAL H.
 M. MARTIN Y.
 M. BOCLÉ J.

Professeurs Honoraires

M. FREYMANN R.
 M. ROHMER R.
 M. TREHIN R.
 M. SALMON-LEGAGNEUR F.
 M. MILON Y.
 M. VENE J.
 M. VACHER M.
 Melle CHARPENTIER M.

Maîtres de Conférences Honoraires

M. GRILLET L.
 Melle HAMON M.R.

ProfesseursMaîtres de Conférences & Chargés de Cours Docteurs d'Etat inscrits sur la LAMCMATHEMATIQUES

M. GUERINDON Jean
 M. GIORGIUTTI Italo
 M. MIGNOT Alain
 M. RUGET Gabriel
 M. BERTHELOT Pierre
 M. GUIVARC'H Yves
 M. CONZE Jean-Pierre
 M. TOUGERON Jean-Claude
 M. KEANE Mickaël
 M. BOULAYE Guy
 M. HOUDEBINE Jean
 M. CAMUS Jacques
 M. LEGOUPIL Jean
 M. VERJUS Jean-Pierre

M. FERRAND Daniel
 M. BREEN Lawrence
 M. LERMAN Israël
 M. JACOD Jean
 M. LENFANT Jacques
 M. TRILLING Laurent
 M. CROUZEIX Michel

PHYSIQUE

M. VIGNERON Léopold
 M. LE BOT Jean
 Mme ROBIN Simone née Salomond
 M. ROBIN Stéphane
 M. MEVEL Jean-Yves
 M. MEINNEL Jean
 M. BRUN Pierre
 M. LEROUX Emile
 M. DUBOST Gérard
 M. ARQUES Pierre-Yves
 M. HAEUSLER Claude
 M. DECAMPS Edmond-Antoine
 M. GUIDINI Josech

M. DURAND Alain
 M. VEZZOSI Georges

M. DAUDE André
 M. GOULPEAU Louis
 M. BERTEL Louis
 M. LANGOUET Loïc
 M. LE FLOCH Albert
 M. LE TRAON André
 M. PRIOL Marcel
 M. STEPHAN Guy
 M. TANGUY Pierre
 M. TERRET Claude
 M. CHARBONNEAU Guy

CHIMIE

M. LE MOAL Henri
M. LEVAS Emile
M. PELTIER Daniel
M. PRIGENT Jacques
M. FOUCAUD André
M. LANG Jean
M. CARRIE Robert
M. GUERILLOT Claude, Roger
M. KERFANTO Michel (ENSCR)
M. DABARD René
M. GRANDJEAN Daniel
M. LUCAS Jacques
M. MARTIN Guy (ENSCR)
M. TALLEC André

M. HAMELIN Jack

M. AUFFREDIC Jean-Paul
M. CAILLET Paul
M. CAREL Claude
M. DANION Daniel
Mme DANION Renée née Bougot
M. DIXNEUF Pierre
M. FAYAT Christian
M. GORGUES Alain
M. JUBAULT Michel
M. LAURENT Yves
M. LE CORRE Maurice
M. LISSILOUR Roland
M. ROBERT Albert
M. ROBIN Roger
M. NICOLLON des ABBAYES H.
M. MEYER André
M. PATIN Henri
Mme LOUER Mochèle née Gaudin
M. MOINET Claude
M. POULAIN Marcel
M. DARCHEN André
M. RAPHALEN Désiré (ENSCR)
M. MAUNAYE Marcel (ENSCR)

CHIMIE BIOLOGIQUE

M. JOUAN Pierre
M. DUVAL Jacques

M. VALOTAIRE

GEOLOGIE

M. COGNÉ Jean
Mlle DURAND Suzanne

M. BONHOMMET Norbert
M. CHOUKROUNE Pierre

M. CHAUVEL Jean-Jacques
Mme ESTEOULE J. née Choux

ZOOLOGIE

M. MAILLET Pierre
M. RAZET Pierre
M. FOLLIOT Roger
M. ALLEGRET Paul
M. MANIEY Jacques
M. JOLY Jean-Marie
M. LEFEUVRE Jean-Claude
M. CALLEC Jean-Jacques

M. GOURANTON Jean
M. TREHEN Paul

M. BARBIER Roger
M. BERNARD Jean
M. DAGUZAN Jacques
M. GAUTIER Jean-Yves
M. MICHEL Raoul
M. PICHERAL Bertrand
Mme URVOY J. née Le Masson
M. GUYOMARCH Jean-Charles
M. COILLOT Jean-Pierre
M. GUILLET Jean-Claude
M. BOISSEAU Claude

BOTANIQUE

M. VILLERET Serge
M. CLAUSTRES Georges
Mlle GOAS G.
Mlle GOAS M.
Mme LEMOINE Cécile
M. TOUFFET Jean

M. HUON André

M. LARHER François
M. BERTRU Georges
M. STRULLU Désiré

PHILOSOPHIE

M. ORTIGUES Edmond
M. BEYSSADE Jean-Marie
M. JACQUES Francis

M. CLAIR André

PERSONNELS C.N.R.S.

Directeurs de Recherche

Maîtres de Recherche

Chargés de Recherche, Docteurs d'Etat
inscrits sur la LAMC

CHIMIE

M. BIGORGNE Michaël (ENSCR)

M. JAOUEN Gérard
M. SERGENT Marcel

M. GUYADER Jean
M. LOUER Daniel

GEOLOGIE

M. CAPDEVILLA Raymond

M. VIDAL Philippe

ZOOLOGIE

Mme GAUTIER Annie née Hion

ANTHROPOLOGIE

M. GIOT Pierre-Roland

M. BRIARD Jacques

AVANT - PROPOS

Cherchant du travail à la fin de mes études de licence, j'ai eu la chance de trouver un emploi au laboratoire de Minéralogie et Géotechnique de l'I.N.S.A. de RENNES ; ceci m'a permis de me familiariser avec les travaux de géotechnique et les applications des Sciences de la Terre au Génie Civil, tout en terminant mes études à l'Institut de Géologie.

Lorsque je manifestai le désir d'entreprendre un travail de recherche personnel à côté des tâches quotidiennes du laboratoire, parmi les sujets que me proposa alors Monsieur ESTEOULE, Professeur de Minéralogie et Géotechnique à l'I.N.S.A. de RENNES, je choisis l'étude des alluvions de la Vilaine en relation avec leur utilisation comme granulats dans les travaux publics. Je le remercie du soin qu'il a pris à orienter mon travail et de la critique rigoureuse dont j'ai bénéficié auprès de lui.

A l'Institut de Géologie, j'ai trouvé le meilleur accueil auprès de Mademoiselle DURAND, Professeur, et de ses collaborateurs ; je lui suis très reconnaissant d'avoir bien voulu m'inscrire dans son laboratoire et présider le jury. Au début de mon travail, j'ai trouvé une aide précieuse auprès de Madame ESTEOULE-CHOUX qui m'a guidé dans les gravières et présenté aux exploitants ; elle a bien voulu diriger mon travail en me faisant bénéficier de ses connaissances sur la géologie des argiles et sur la sédimentologie du Tertiaire et du Quaternaire en Bretagne, et faire partie du jury.

Monsieur Le Professeur PERRIAUX de l'Université de GRENOBLE, à bien voulu examiner mon manuscrit et faire partie du jury, me faisant ainsi bénéficier de sa grande connaissance des séries détritiques.

Monsieur PRIMEL, chargé de mission au Département de Géotechnique du Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées, pour qui les ressources en granulats constituent une de ses préoccupations professionnelles, m'a apporté le point de vue du géologue praticien.

Au cours de ce travail, Monsieur LEYES puis Monsieur HUET, Directeur de la Société Rennaise de Dragages, intéressés par toutes les données susceptibles de contribuer au développement de leur entreprise, m'ont toujours réservé un accueil bienveillant. J'ai toujours eu de bons contacts avec les chefs de chantier de la Société Rennaise de Dragages, aussi bien lors des relevés de terrain que lors des visites des exploitations avec les élèves ingénieurs du Département de Génie Civil de l'I.N.S.A.

Que Mademoiselle DURAND, Madame ESTEOULE-CHOUX, Messieurs PERRIAUX, ESTEOULE, PRIMEL et HUET trouvent ici l'expression de mes bien vifs remerciements.

J'ai trouvé le meilleur accueil au centre de microscopie électronique à balayage où j'ai pu apprécier l'efficacité de la collaboration technique de Monsieur LE LANNIC.

Enfin, je saisis cette occasion de dire toute mon amitié à mes collègues du laboratoire de Minéralogie et Géotechnique, compagnons de travail de tous les jours : Messieurs GUYADER, PERRET, JAUBERTHIE, ESMENJAUD, MONOT ainsi que Madame CHOLLET.

Que tout le personnel de l'I.N.S.A. qui à des titres divers m'a aidé et à contribué à la préparation et à l'impression de ce mémoire, soit ici remercié.

INTRODUCTION

Le développement de l'activité économique et les exigences de la vie moderne du point de vue du confort des habitations et de l'amélioration de la qualité des services publics conduisent à l'édification de nombreux bâtiments privés ou publics et à la construction d'importants ouvrages. Leur réalisation entraîne une consommation sans cesse croissante de granulats qui sont fournis soit par le concassage de roches massives, soit par l'exploitation et le traitement de formations sédimentaires meubles. S'il n'existe pas de problèmes quantitatifs dans les grands bassins alluviaux (bassin de la Seine, couloir rhodanien etc...), il n'en demeure pas moins que l'exploitation des quantités énormes nécessaires pose des problèmes au niveau du développement urbain, de la gestion des ressources en eau, problèmes qui ne peuvent être traités rationnellement qu'avec une bonne connaissance du cadre géologique dans lequel ils s'insèrent. En Bretagne, et principalement pour l'agglomération rennaise, ces problèmes généraux subsistent, mais leur acuité se trouve renforcée par la pauvreté du Massif Armoricaïn en bassins alluviaux importants.

Ces considérations démontreraient s'il en était besoin, la nécessité impérieuse d'une étude générale des alluvions du cours moyen de la Vilaine, de manière à fixer clairement les paramètres géologiques qui sont à la base des problèmes posés par le développement de l'agglomération rennaise. Or, aucune étude générale relative à la géologie de ces formations alluviales n'a été entreprise à ce jour ; seules quelques études ponctuelles ont eu pour objet les dépôts alluviaux de la région de Rennes (Kerforne 1917, Berthois 1946) et de la région de Redon (Sobotha 1952, Durand et Kerfourn 1963). Il faut également mentionner les études sédimentologiques des dépôts du cours actuel de la Vilaine (Lafond 1953 et 1961).

Ceci m'a amené à entreprendre une première étude générale des dépôts alluviaux du cours moyen de la Vilaine, de manière à les caractériser objectivement et à en déterminer le mode de mise en place. Outre qu'ils fixent un certain nombre de paramètres utiles pour une prospection et une exploitation rationnelle des graves dans la région rennaise, les résultats de ce mémoire pourraient fournir un modèle sédimentaire applicable aux petits bassins intérieurs du Massif Armoricaïn.

PREMIERE PARTIE METHODES D'ETUDE

- I. CHOIX ET DESCRIPTION DES COUPES
- II. GRANULOMÉTRIE
- III. MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT DES GRANULATS
- IV. PÉTROGRAPHIE DES GALETS ET GRAVIERS
- V. ÉTUDE DES MINÉRAUX LOURDS
- VI. ÉTUDE DE LA FRACTION ARGILEUSE
- VII. ESSAI D'ÉQUIVALENT DE SABLE
- VIII. ESSAI DE FRAGMENTATION DYNAMIQUE

Ce travail a nécessité l'utilisation de méthodes d'analyse propres à la géologie notamment à la sédimentologie et des méthodes particulières à la géotechnique destinées à tester les qualités du matériau. Ces deux types de méthodes se complètent harmonieusement et leur emploi simultané apporte des éléments nouveaux aussi bien pour la reconstitution géologique que pour traiter les problèmes liés à des préoccupations géotechniques.

I. CHOIX ET DESCRIPTION DES COUPES

Les échantillons ont été prélevés dans les anciennes gravières ainsi que dans les gravières actuellement exploitées. Les coupes ont été choisies sur les fronts d'extraction. L'hétérogénéité verticale et horizontale des alluvions étant importante, j'ai prélevé, lorsque cela a été possible, un grand nombre d'échantillons par coupe et souvent plusieurs coupes par gravière. La qualité de l'échantillonnage dépend beaucoup du mode d'extraction. Ainsi, dans la basse terrasse, la majeure partie des alluvions étant située naturellement au-dessous de la nappe phréatique, l'échantillonnage est limité à la partie supérieure des coupes si la nappe n'est pas rabattue par pompage.

Les échantillons récoltés sont notés selon un code propre au laboratoire. Ex : LH 101 ou PDR 201

- Deux ou trois lettres indiquent le lieu de prélèvement ou le nom de la gravière.
- Le premier chiffre, le numéro de la coupe,
- Les deux derniers chiffres, le numéro de l'échantillon dans la coupe.

II. GRANULOMETRIE

Le poids à tamiser est fonction de la granulométrie du matériau. J'ai essayé de suivre la règle du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (par la suite seul le sigle L.C.P.C. sera utilisé) qui spécifie : "Le poids à tamiser, en grammes, doit être compris entre 200 et 500 fois le diamètre en millimètres du plus gros élément". Ainsi, si les élé-

ments les plus grossiers ont 50 mm ou 80 mm, il faut au minimum tamiser respectivement 10 kg et 16 kg. Il apparaît dans la pratique que les granulométries effectuées en laboratoire pour des éléments ayant un diamètre supérieur à 80 mm n'ont plus de signification; il faut alors utiliser des méthodes applicables sur le terrain, telle la méthode linéaire de Cailleux (1947) qui consiste à mesurer les cailloux et les blocs directement sur le front de taille ; les éléments supérieurs à 80 mm étant exceptionnels ou en trop petit nombre, je n'ai jamais eu à utiliser cette méthode.

Les granulométries ont été faites à l'aide d'une série AFNOR. La classification granulométrique utilisée est la suivante :

Dimension D des grains en mm	Fractions granulométriques
D > 200	Blocs
20 < D < 200	Galets ou cailloux
2 < D < 20	Graviers
0,2 < D < 2	Gros sables
0,05 < D < 0,2	Sables fins
0,02 < D < 0,05	Limons grossiers
0,002 < D < 0,02	Limons fins
D < 0,002	Argiles

Nota - En géotechnique, la fraction $< 80 \mu$ est groupée sous le nom de fines et lorsque le matériau est destiné à la confection de bétons, la fraction sableuse va jusqu'à 5 mm.

Granulométrie des galets

L'utilisation de tamis ayant une ouverture de maille supérieure à 20 mm n'étant pas pratique, la mesure des galets un à un au pied à coulisse fastidieuse, j'ai préféré effectuer un calibrage des galets à l'aide d'une plaque perforée dont le côté de chacun des trous fait suite à la série de tamis AFNOR utilisée pour les sables et graviers (Fig. 1).

L'échantillon global, débarrassé de sa fraction fine par décantation est passé sur un tamis de 20 mm. Les galets de diamètre supérieur à 20 mm pris un à un sont présentés à chacun des trous en commençant par les plus petits jusqu'à ce qu'ils passent suivant la dimension la plus favorable, c'est à dire, la grosseur. Chaque classe granulométrique est recueillie dans une boîte située au-dessous de chacun des trous. Cette méthode a l'avantage d'être rapide et précise.

Granulométrie des sables et graviers (0,05 mm - 20 mm) -

Cette fraction est tamisée mécaniquement pendant 30 minutes sur une série de tamis AFNOR. J'ai utilisé un tamis sur deux pour la fraction 50μ - 2 mm, et tous les tamis au-dessus de 2 mm.

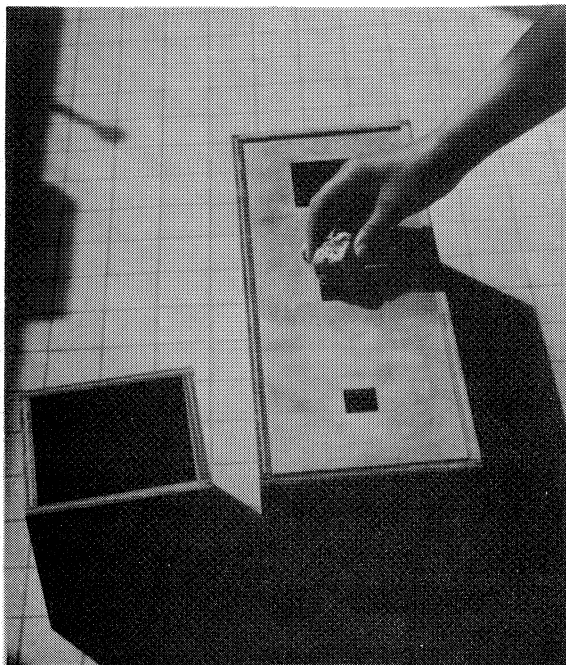


Figure 1 - Calibre de laboratoire utilisé pour la granulométrie des galets.

Granulométrie de la fraction < 50 μ

L'analyse granulométrique par sédimentométrie a été utilisée pour les limons de la découverte et pour les fractions inférieures à 50 μ des sables et graviers lorsque celle-ci est apparue importante.

Dix ou vingt grammes de la fraction passant à la passoire de 2 mm sont dispersés dans une solution d'hexamétaphosphate de sodium (Demolon 1952) et des prélèvements sont faits à la pipette de Robinson pour les fractions dont les particules correspondent à des diamètres équivalents de 2 μ , 5 μ , 10 μ et 20 μ . Les fractions supérieures à 20 μ sont tamisées manuellement après lavage.

Expression des résultats

Les résultats granulométriques sont présentés sous forme de courbes cumulatives tracées sur papier semi-logarithmique. Les indices de Trask calculés à partir des quartiles (Q_1 et Q_3) et du médian (Q_2) ont été choisis dans ce travail essentiellement parce qu'ils sont le plus communément utilisés, ce qui permet de mieux situer les résultats obtenus par rapport à d'autres études sédimentologiques.

- La dispersion (Sorting index) $S_o = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$ défini par Trask (1930) ; cet indice

caractérise la dispersion autour du grain moyen. Les limites suivantes sont proposées (in Bietlot 1940).

$S_o < 2,5$	sédiment très bien classé
$2,5 < S_o < 3,5$	sédiment normalement classé
$3,5 < S_o < 4,5$	sédiment assez bien classé
$5,5 < S_o$	sédiment mal classé

- L'asymétrie (Skewness) $S_K = \frac{Q_1 \cdot Q_3}{Q_2^2}$ (TRASK, 1930)

Ce coefficient exprime la symétrie par rapport au médian.

- $S_K = 1$ Le mode coïncide avec le médian
- $S_K > 1$ Le classement est maximal du côté fin
- $S_K < 1$ Le classement est maximal du côté grossier

Plus le coefficient S_K est éloigné de l'unité, plus le mode diffère du médian Q_2 .

III. MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT DES GRANULATS

La forme d'un granulat peut être définie par trois dimensions :

- La longueur L
- L'épaisseur E
- La grosseur G (ou largeur)

La grosseur G est la dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe le granulat. La mesure du coefficient d'aplatissement consiste à effectuer un double tamisage :

- L'échantillon étudié est classé en différentes classes d/D (avec $D = 1,25 d$) suivant leur grosseur G par le tamisage sur tamis à maille carrée effectué pour la granulométrie. Dans ce cas, la classe d/D correspond à la quantité de matériau recueillie sur chacun des tamis de la série AFNOR.

- L'épaisseur E est déterminée par tamisage des différentes classes granulaires d/D sur des grilles à fentes parallèles d'écartement $\frac{d}{1,56}$ (Fig. 2).

Le coefficient d'aplatissement A d'un lot de granulats est par définition le pourcentage des éléments tels que (Mode opératoire L.C.P.C., G 11, 1971) :

$$\frac{G}{E} > 1,56$$

Si : W_G = poids de la classe granulaire d/D en grammes

$$W = \sum W_G$$

W_E = Poids des éléments de la classe granulaire d/D passant sur la grille correspondante

Le coefficient d'aplatissement de chaque classe granulaire est :

$$A = \frac{W_E}{W_G} \times 100$$

Il correspond au passant du tamisage sur la grille à fente exprimé en %.
Le coefficient d'aplatissement global A d'un lot de granulats est :

$$A = \Sigma \frac{W_E}{W} \times 100$$

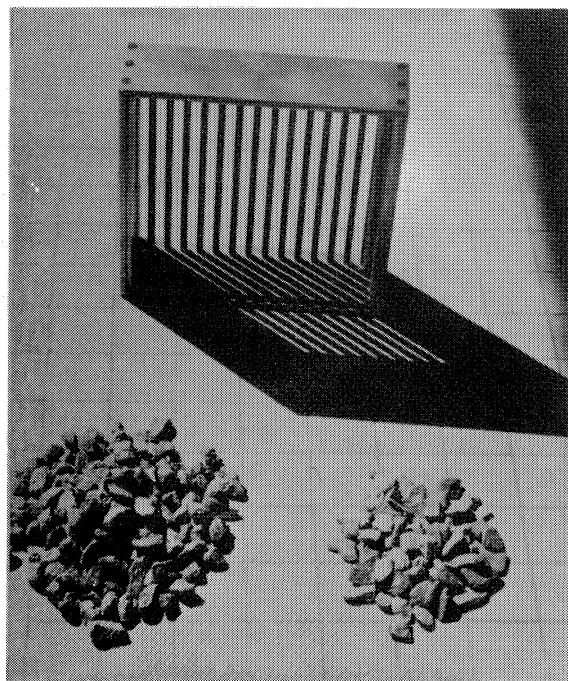


Figure 2 - Grille de laboratoire utilisée pour la mesure du coefficient d'aplatissement.
Refus et passant de la classe 12,5 - 16 mm. à la grille de 8 mm. d'écartement.

Les granulats entrant dans la composition des bétons ou des matériaux utilisés en technique routière doivent satisfaire à certaines conditions relatives à leur forme : ils ne doivent pas comporter d'éléments en forme de plaquettes ou d'aiguilles.

IV. PETROGRAPHIE DES GALETS ET GRAVIERS

La connaissance de la nature pétrographique des éléments présente un intérêt double : préciser l'origine du matériau et en prévoir les qualités géotechniques.

Les graves sont constituées par un assemblage de roches de nature et d'origine variées. Après étude en lame mince au microscope pétrographique, les éléments ont été classés dans trois familles : les quartz et quartzites, les grès et les schistes.

Les quartz et quartzites :

De couleur variable, blancs, jaunâtres, roses, bleutés ou noirs, les quartz constituent les éléments les plus résistants. Ils présentent le plus souvent des arêtes anguleuses ou à peine émoussées. Leur surface montre de nombreuses fissures et vacuoles.

En lame mince les galets de quartz apparaissent formés de cristaux souvent très orientés selon une direction dominante, ou avec parfois un agencement losangique. L'ex-

tion est toujours fortement ondulante. Les grains très imbriqués présentent des bords crénelés ou granuleux. Un important réseau de fissures parfois colmatées par des hydroxydes de fer ainsi que des vacuoles de dimension très variable sont mises en évidence. Des inclusions (argiles, chlorite, rutile) sont parfois observées.

Les quartzites généralement jaunes ou roses, sont mieux arrondis que les quartz. En lame mince, ils apparaissent constitués de grains de quartz très imbriqués, peu ou pas orientés. Le bord des galets présente un réseau dense de fissures soulignées par des hydroxydes de fer.

Les grès

Les grès forment une famille très hétérogène qui regroupe les grès briovériens et tous les grès paléozoïques du Synclinorium Median et des synclinaux du sud de Rennes : les grès pourprés, les grès armoricains, les grès du Châtelier, les grès de Cahard et de St-Germain.

Les formations briovériennes constituées d'une alternance de schistes et de grès fournissent une part non négligeable des grès rencontrés dans les alluvions. Ces grès ont toujours des teintes foncées verdâtres ou grises.

En lame mince, la matrice généralement abondante qui peut atteindre 30 à 40 % du volume de la roche apparaît formée de quartz microgranulaire et surtout de phyllites. Les éléments figurés, de dimension variable, sont constitués de quartz et dans une proportion moindre de feldspaths et de micas ainsi que de fragments lithiques.

Les grès provenant du Synclinorium Médian et des synclinaux du sud de Rennes, forment un ensemble qui regroupe des grès quartzeux, des grès micacés, feldspathiques et ferrugineux.

En lame mince, le quartz apparaît toujours l'élément dominant et représente très souvent plus de 80 % du volume total de la roche. Les feldspaths et la muscovite dans des proportions variables, forment les autres éléments figurés. Les minéraux accessoires sont la tourmaline, le zircon, le rutile et les oxydes de fer. La matrice généralement réduite à du quartz microgranulaire ou à un film phylliteux peut représenter dans quelques cas exceptionnels plus de 20 % du volume de la roche. Elle contient les mêmes éléments que l'ensemble de la roche, et des minéraux argileux. Dans certains cas, les oxydes de fer forment la majeure partie de la matrice des grès. Tous ces grès montrent en coupe un cortex d'altération plus ou moins développé et le plus souvent souligné par la présence d'oxydes de fer.

Les grès pourprés sont faciles à distinguer des autres grès du fait de leur couleur violacée. Les galets sont rarement de grande dimension (20 mm). Ils sont bien usés et de forme légèrement aplatie selon leur plan de schistosité. Ils sont caractérisés par une grande variation de l'importance de la matrice qui peut atteindre 60 à 70 % du volume de la roche. La matrice est formée de quartz microgranulaire et de minéraux phylliteux, l'ensemble possédant une pigmentation hématitique qui donne la couleur de la roche. Les éléments figurés sont essentiellement le quartz de dimension variable (0,1 mm à plusieurs mm), les fragments lithiques et les micas.

Les schistes

Les schistes proviennent des formations briovériennes et des séries paléozoïques (principalement les schistes ardoisiers d'Angers et de Riadan). Les galets présentent des formes très aplaties ou en aiguilles.

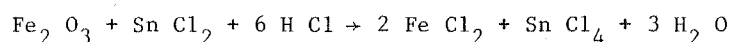
Les schistes issus des formations briovériennes sont constitués de chlorite et de micas associés à du quartz (ESTEIOULE - CHOUX, 1967). Parfois jaunes ou blanchâtres, ils sont en voie d'altération et sont alors très friables.

Les schistes ardoisiers sont beaucoup plus sains. Ils sont constitués de quartz très fin, de phyllites micacées et de chlorite. Leur schistosité très bien développée favorise un débit en plaquettes, l'usure donnant ensuite des aiguilles.

V. ETUDE DES MINERAUX LOURDS

Le bromoforme, liqueur de densité 2,9 permet de séparer par décantation les minéraux lourds des minéraux légers. (Duplaix 1948 ; Parfenoff, Pomerol, Tourenq 1970).

L'extraction se fait après cuisson des sables dans une solution d'acide chlorhydrique au demi à laquelle quelques grains d'étain ont été ajoutés pour favoriser, par réduction, la mise en solution du fer toujours très abondant, selon la réaction :



La séparation des minéraux lourds est effectuée dans trois classes granulométriques :

α 315 - 500 μ

β 160 - 315 μ

γ 50 - 160 μ

Les comptages des minéraux lourds ont été réalisés systématiquement dans les fractions β et γ . La fraction α ne possédant pas un nombre suffisant de minéraux transparents pour effectuer des comptages significatifs, n'a pas fait l'objet d'une étude quantitative.

J'ai effectué un comptage par ligne (Parfenoff, Pomerol, Tourenq 1970) de 100 à 200 minéraux transparents dans chaque classe granulométrique.

Les résultats sont rassemblés dans un tableau où sont indiqués :

- les pourcentages en poids des minéraux lourds par rapport au poids de départ ;
- Les pourcentages en nombre, d'opakes par rapport aux transparents ;
- les pourcentages en nombre, d'altérés par rapport aux transparents ;
- les pourcentages de chaque espèce minéralogique par rapport à l'ensemble des transparents.

VI. ETUDE DE LA FRACTION ARGILEUSE

Sur tous les échantillons récoltés, une étude de la fraction fine a été effectuée par diffraction des rayons X, en vue de déterminer la nature des minéraux argileux et des hydroxydes qui ont une grande importance tant du point de vue géologique que géotechnique.

- Diagrammes d'agrégats orientés :

Quelques gouttes de la suspension argileuse saturée au calcium sont déposées sur une lame de verre. Les minéraux phylliteux se déposent selon leur plan (00L). La plaquette est placée sur le goniomètre utilisé selon le montage de Bragg - Brentano. Les plans réticulaires basaux des minéraux phylliteux qui se présentent toujours suivant les conditions de Bragg, diffractent ensemble ; sont alors enregistrés les diagrammes de l'échantillon naturel à 20° C, puis de l'échantillon naturel chauffé à 550° C pendant une heure, enfin de l'échantillon glycolé à 80° C pendant deux heures sous pression de vapeur saturante.

- Diagrammes de poudre :

Quelques diagrammes de poudre ont été effectués pour déterminer la nature des oxydes et des hydroxydes. La diffraction est faite sur une poudre fine obtenue par broyage et tamisage ; les minéraux étant orientés au hasard, les diagrammes donnent les réflexions (h, k, l). Cette méthode a parfois été complétée par des analyses thermiques différentielles ou par des analyses thermopondérales.

VII. ESSAI D'EQUIVALENT DE SABLE

Cet essai s'applique aux sols peu plastiques ; il est fréquemment utilisé pour le contrôle des sols, des sables à bétons et des granulats pour enrobés. Il constitue un critère de propreté. (Mode opératoire L.C.P.C., G 6, 1970).

Cet essai mesure un rapport volumétrique entre les éléments sableux et les fines flocculées dans une solution normalisée. Par fines, nous entendons les éléments inférieurs à 80 µ.

L'équivalent de sable est par définition (Mode opératoire L.C.P.C., G 6, 1970) :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

- h_2 : hauteur du sable qui peut être déterminée soit directement à vue soit en appliquant un piston taré sur le sédiment ;
- h_1 : hauteur du niveau supérieur du floculat.

L'équivalent de sable varie de 0 à 100. Il dépend à la fois de la teneur en fines et de l'activité de ces fines.

Deux essais sont effectués par échantillon. Un écart de deux unités est toléré entre les deux essais. Toutefois, si l'écart est supérieur, il faut alors faire deux nouveaux essais et prendre la moyenne des résultats.

Les recommandations suivantes sont données pour les utilisations les plus fréquentes :

- Couches de chaussée
 - couche drainante $ES > 40$
 - couche de fondation $ES > 30$
 - couche de base $ES > 30$

- Matériaux tout venant pour enrobés
ES > 50
- Sables pour bétons
ES > 70

VIII. ESSAI DE FRAGMENTATION DYNAMIQUE

Cet essai a pour but de déterminer la résistance aux chocs de granulats ; il a été conçu de façon à trouver sur un même matériau un résultat aussi proche que possible du coefficient Los Angeles. Bien qu'il ne remplace pas l'essai Los Angeles, l'essai de fragmentation dynamique est très utilisé car il est rapide et facile à mettre en oeuvre.

L'essai de fragmentation dynamique consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm de diamètre, produite par une dame d'acier de 14 kg que l'on fait tomber régulièrement d'une hauteur de 40 cm, sur une prise d'essai de 350 grammes introduite dans un moule cylindrique normalisé. (Mode opératoire, L.C.P.C., G 19, 1973).

Le nombre de coups de dame est fonction de la classe granulométrique.

- 16 coups pour la classe 4 - 6,3 mm
- 22 coups pour la classe 6,3 - 10 mm
- 28 coups pour la classe 10 - 14 mm

Le coefficient de fractionnement dynamique est par définition :

$$CFD = 100 \frac{P}{350}$$

$$P = 350 - P'$$

P' étant le poids en grammes de la prise d'essai passant au tamis de 1,6 mm après l'essai.

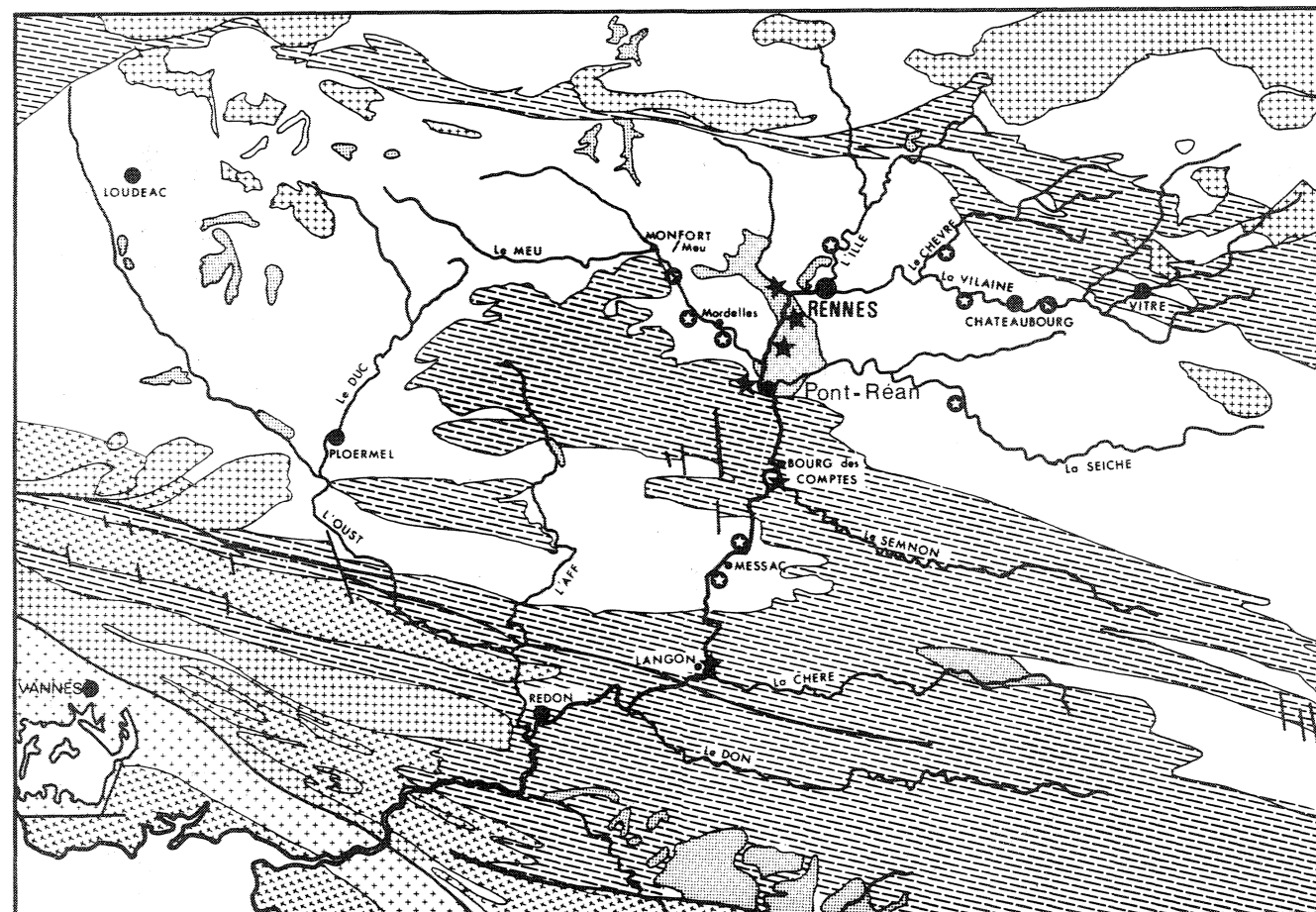
Bien évidemment, il existe une bonne corrélation entre l'essai de fragmentation dynamique et l'essai Los Angeles. Toutefois, les roches tendres résistent mieux à la fragmentation dynamique qu'au Los Angeles (Tourenq et Maldonado, 1972).

DEUXIEME PARTIE LES FAITS

- I. LES ALLUVIONS DE LA VILAINE DE VITRÉ À RENNES
- II. LES ALLUVIONS DE LA VILAINE DANS LE BASSIN DE RENNES
- III. LES ALLUVIONS DE LA VILAINE DANS LES SYNCLINAUX DU SUD
DE RENNES
- IV. LES ALLUVIONS DE LA VILAINE DANS LA RÉGION DE LANGON

Figure 3 - La Vallée de la Vilaine : formations géologiques traversées, et localisation des sites étudiés.

Tracés effectués d'après les cartes géologiques de Rennes - Cherbourg et de Nantes au 1/320.000, 2ème édition.



- Dépôts tertiaires.
- Paléozoïque sédimentaire.
- Schistes cristallins et granites gneissiques.
- Migmatites et granites d'anatexie.
- Granites.
- Formations briovériennes.

- ★ Localisation des gravières étudiées.
- ☆ Localisation des prélèvements qui ont fait l'objet d'études partielles.

La Vilaine qui a une longueur totale de 225 km prend sa source dans la région de Saint-Pierre-des-Landes à une altitude de 147 mètres. Elle devient relativement importante à partir de Vitré, après avoir collecté de nombreuses rivières. Son lit, de direction Est-Ouest en amont, s'accroît considérablement dans le bassin de Rennes par l'apport de l'Ille, de la Flume, du Meu et de la Seiche et prend une direction Nord-Sud pour traverser en cluse les formations paléozoïques du Sud de Rennes.

Le cours de la Vilaine peut être divisé en trois parties :

- Le cours supérieur va de la source à la région de Vitré ; l'altitude décroît assez rapidement par une série de ruptures de pente ; le fleuve y est peu important et les dépôts alluviaux sont limités au fond de la vallée actuelle.

- Le cours moyen s'étend de Vitré au sud de Langon. La pente du fleuve est faible et régulière : 40 m à Saint-Jean-sur Vilaine, 23 m à Rennes, 14 m au Boël, 4 m à Messac. Les dépôts alluviaux qui couvrent de vastes étendues sont activement exploités dans de nombreuses gravières.

- L'estuaire de la Vilaine prend naissance au nord de Redon. Les alluvions grossières du fleuve sont recouvertes par un important dépôt de vase considéré tantôt comme étant d'origine fluviale (Lafond 1953) tantôt d'origine marine (Lafond 1961, Durand et Kerfourn 1963).

La faible étendue des dépôts dans la partie amont, la présence des vases estuariennes au-dessus des alluvions sablo-graveleuses dans la partie aval d'une part, et la proximité de l'agglomération Rennaise d'autre part, ont guidé notre étude vers le cours moyen de la Vilaine qui est économiquement le plus intéressant (Figure 3).

L'étude a été divisée en quatre zones géographiques :

- la zone comprise entre Vitré et Rennes
- le bassin de Rennes
- la traversée des synclinaux du Sud de Rennes
- les bassins de Messac et Langon

I. LES ALLUVIONS DE LA VILAINE DE VITRE A RENNES

De Vitré à Rennes, les affleurements sont peu nombreux et les alluvions sans doute jugées peu abondantes ont été délaissées. Aucune gravière importante n'exploite les alluvions dans cette région.

De Vitré à Châteaubourg, la vallée est étroite et les versants bien qu'ayant une pente relativement faible, se relèvent toutefois dès les abords immédiats du fleuve. Le fond de la vallée est occupé par un limon gris, bleuté en profondeur, qui repose sur un niveau de sables et graviers gris discontinu et de faible extension.

En aval de Châteaubourg, la vallée s'élargit légèrement puis devient importante

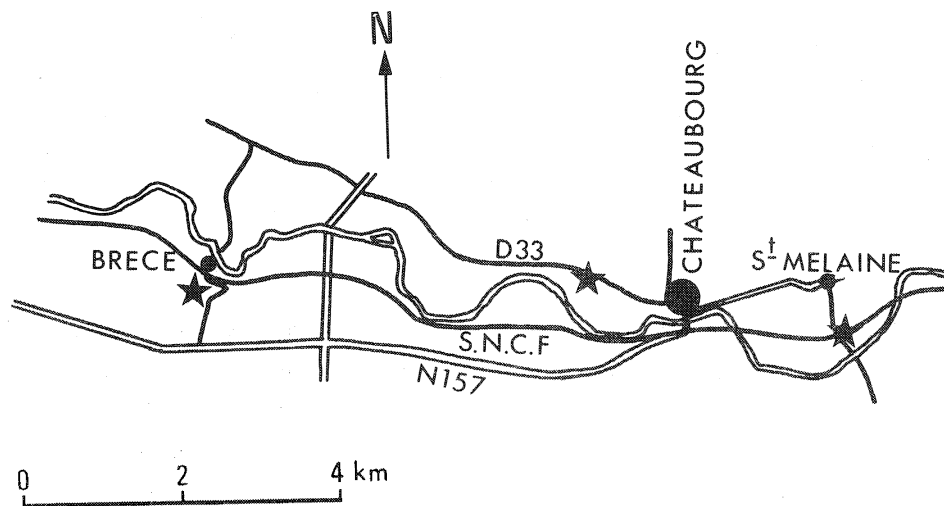


Figure 4 - Situation des affleurements de St Melaine, Châteaubourg et Brécé.

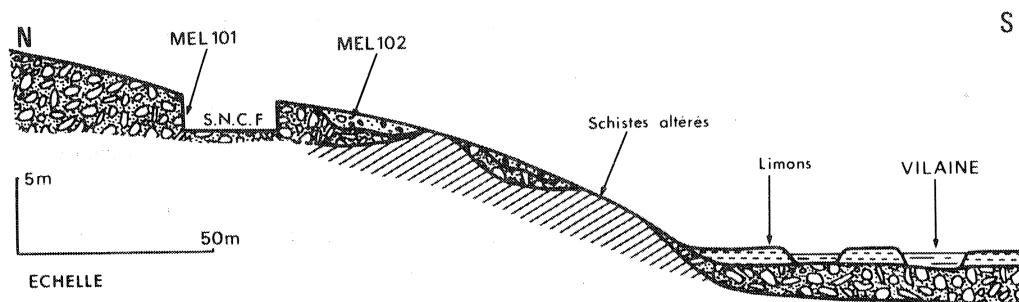


Figure 5 - Coupe schématique de l'affleurement de St Melaine montrant les deux niveaux d'alluvions. Le niveau inférieur qui occupe le fond de la vallée est formé de sables et graviers gris surmontés de limons de débordement. Le niveau supérieur situé à une dizaine de mètres au-dessus est formé de sables et graviers rouges (MEL 101), remaniés en surface et de couleur grise (MEL 102).

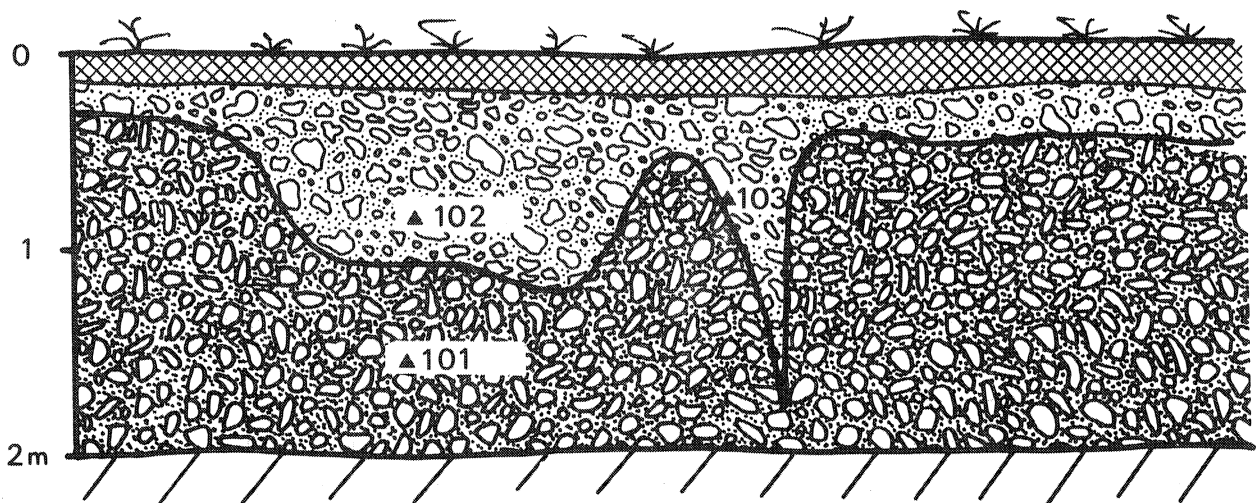


Figure 6 - Coupe schématique de l'affleurement de Châteaubourg montrant les alluvions sablo-graveleuses rouges (CHA 101) surmontées par des alluvions remaniées de couleur grise (CHA 102 et CHA 103).

à partir d'Acigné. A l'aval de cette localité, les dépôts alluviaux sont suffisamment étendus et puissants pour présenter un intérêt économique réel, la largeur de la vallée atteignant localement 800 mètres. Des formations sont cartographiées "alluvions anciennes" sur la carte géologique au 1/80.000 (Feuille de Laval) au sud de S^t Melaine, de part et d'autre de la route D 33 qui relie Châteaubourg à Servon-sur-Vilaine et près de Brécé (Figure 4). Ce sont des placages gravelo-argileux situés sur les flancs de la vallée qui ont parfois été exploités pour les besoins locaux. J'ai prélevé quelques échantillons à la faveur de déblais ou de petites excavations dans chacun de ces gisements.

Affleurement de S^t Melaine

Cet affleurement se situe au sud de l'agglomération, près du passage à niveau 176 en bordure de la route qui relie S^t Melaine et S^t Didier. La ligne S.N.C.F. entaille sur une hauteur de 2 mètres une formation alluvionnaire à sables, graviers et cailloux cimentés par de l'argile et des oxydes de fer. L'ensemble très compact (MEL 101) homogène sur toute la hauteur de la coupe présente une couleur rouge avec quelques veines argileuses blanchâtres. Un niveau gris à limons et cailloux (MEL 102) vient recouvrir en biseau la formation rouge (Figure 5). Cette formation rouge est visible le long du talus sur une distance de 200 mètres environ. Dans la topographie, une rupture de pente est située à ce niveau.

Affleurement de Châteaubourg

Un matériau très médiocre utilisé comme remblais pour les chemins ruraux a été extrait dans plusieurs excavations situées en bordure de la route reliant Châteaubourg à Servon-sur-Vilaine.

Dans l'une de ces excavations située à environ 1 kilomètre à l'Ouest de Châteaubourg, il est possible de voir les formations suivantes (Figure 6) :

- 30 cm de terre végétale de texture limoneuse.
- niveau à sables, graviers et cailloux (CHA 102 et CHA 103), emballés dans une matrice argilo-limoneuse grise. La limite entre ce niveau et la formation sous-jacente est très irrégulière : une large poche ainsi qu'une fente en coin entaillent largement le niveau rouge sous-jacent.
- niveau à sables, graviers et cailloux alignés noyés dans une matrice ferri-argileuse. L'ensemble est très compact et de couleur rouge brique (CHA 101). Ce niveau repose sur le schiste vert briovérien qui se débite ici en plaquettes.

Affleurement de Brécé

La route qui va de Brécé à la Nationale N 157 entaille à la sortie du bourg, une formation à sables et graviers noyés dans une matrice ferri-argileuse de couleur rouge brique (BRE 201). Cette formation remplit une poche creusée à la partie supérieure du schiste vert briovérien qui se débite en plaquettes. Cet affleurement se situe à environ 50 m du cours actuel de la Vilaine à un niveau où l'on peut observer une rupture de pente analogue à celle de S^t Melaine. Bien que de faible amplitude, elle est très marquée.

1 - Analyse granulométrique :

Les courbes cumulatives des deux formations de l'affleurement de Châteaubourg sont présentées sur la figure 7.

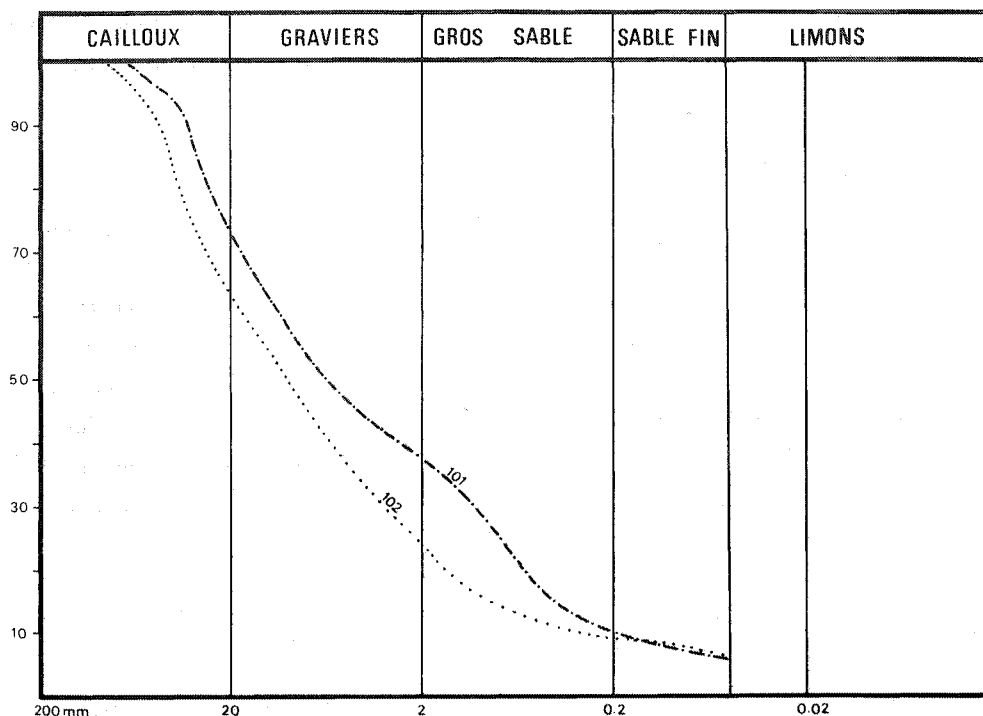


Figure 7 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de Châteaubourg

Bien que de couleurs différentes, les deux niveaux (CHA 101 et CHA 102) présentent des courbes cumulatives assez semblables. Ce sont des sédiments composés essentiellement de sables, graviers et galets, mal classés ($S_o = 5,2$ et $3,9$), le classement s'effectuant surtout dans la fraction grossière ($S_K = 0,45$ et $0,69$). Le médian est situé dans la fraction graveleuse ($Q_2 = 6$ mm et $9,8$ mm). La courbe de l'échantillon CHA 101 présente une bosse nette entre $0,5$ et 2 mm. Dans les deux cas, la fraction fine inférieure à 50μ représente environ 6 % de la masse totale de l'échantillon.

2 - Pétrographie de la fraction graveleuse :

Les pourcentages pondéraux des quartz et quartzites (Q) des grès (G) et des schistes (S) ont été effectués dans trois classes granulométriques de la fraction graveleuse (Tableau 1).

Le tableau 1 montre qu'il n'apparaît pas de différence significative dans la composition pétrographique des deux formations.

- Les quartz et quartzites forment 50 à 60 % de la masse du dépôt ; ils sont la plupart du temps blanc laiteux, parfois bleutés ou roses. Les quartz qui ont le plus souvent une forme anguleuse, des arêtes à peine émoussées et parfois une gangue schis-

teuse sur l'une des faces, ont subi un transport faible ou peuvent même avoir une origine locale. Ils proviennent essentiellement des multiples filonnets de quartz du socle briovérien de cette région ainsi que des formations paléozoïques du Synclinorium Médian.

- Les grès de couleur noire ou jaune ont des arêtes émoussées qui peuvent être très arrondies. Leur origine doit être recherchée localement (grès briovérien) et surtout dans les formations ordoviciennes (grès de S^t Germain) et dévoniennes (grès à Dalmanella monnieri) du Synclinorium Médian.

- Les schistes peu abondants (5 à 10%) se présentent sous forme de plaquettes altérées de couleur blanchâtre en voie de kaolinisation.

Fractions granulométriques	5 - 6,3 mm			10 - 12,5 mm			16 - 20 mm		
Nature pétrographique	Q	G	S	Q	G	S	Q	G	S
CHA 102 (Alluvions remaniées de couleur grise)	51,2	39,7	9,1	61,9	32,2	5,9	62,6	37,4	-
CHA 101 (Alluvions rouges)	50,6	36,1	13,3	53,4	37,6	9,0	67,2	29,9	2,9

Tableau 1 - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse.

(Q = quartz et quartzites, G = grès, S = schistes).

La fraction grossière de la formation rouge est recouverte d'une gangue ferri argileuse qui donne la couleur à l'ensemble. Cette gangue difficile à laver, laisse apparaître de nombreux "points noirs" d'oxyde de manganèse. Cette particularité est également vérifiée sur les autres formations rouges observées à S^t Melaine et à Brécé.

3. Les minéraux lourds :

Les comptages des minéraux lourds transparents ont été effectués pour les échantillons de Châteaubourg dans les fractions β et γ . Les résultats sont rassemblés dans le tableau 2. Le cortège des minéraux lourds est qualitativement identique dans la formation grise et dans la formation rouge. Il est constitué de minéraux ubiquistes (zircon, rutile, anatase, brookite, sphène) associé à de la tourmaline, et des minéraux plus ou moins fragiles : épidote, zoïsite et clinozoïsite, hornblende.

L'association zoïsite, clinozoïsite et épidote constitue une part importante du cortège des minéraux lourds. Ces minéraux peuvent se former dans les zones supérieures du métamorphisme régional (green schist facies) et au cours de la saussuritisation des plagioclases sous l'action de solutions hydrothermales (Parfenoff, Pomerol, Tourenq 1970).

En l'absence de tout métamorphisme régional, il faut plutôt rechercher l'origine de ces minéraux, dans les filons microgranulitiques et de diabase qui sillonnent les schistes précambriens au Sud et au Sud-Ouest de Vitré.

La zoïsite a également été mise en évidence au Sud de Laval dans des niveaux à volcanoclastites interstratifiés dans les formations briovériennes (Plaine 1976). Quant à la hornblende, elle provient vraisemblablement des filons de diabase.

Echantillons	Classes granulométriques	Zircon	Rutile	Anatase - Brookite Sphène - Corindon	Tourmaline	Staurotide	Andalousite	Grenat - Sillimanite Disthène	Epidote	Zoïsite - Clinozoïsite	Hornblende	Pyroxènes	Opakes Transparents	Altérés	% pondéral des minéraux lourds
CHA 102	γ	4,5	0,8	8,3	34,6		2,3	3,8	28,6	10,5	5,3	1,5	1030	6	0,68
	β		3,9		42,9	7,8	3,9	9,1	29,9	1,3	1,3		1383	9,1	0,87
CHA 101	γ	29,6	4,4	8,1	13,3		0,7	0,7	22,2	15,6	3,7	1,5	889	3,7	0,82
	β	6,6	8,2	1,6	39,3	26,2	6,6	4,9	4,9	1,6			1869	3,3	1,52

Tableau 2 - Minéraux lourds de l'affleurement de Châteaubourg. (Chaque chiffre correspond à un pourcentage).

4 - Les minéraux argileux

Les résultats de l'étude des minéraux argileux sont rassemblés dans le tableau 3.

Alluvions remaniées de couleur grise	CHA 103	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifiés Mica-Vermiculite</i>	Pyrophyllite (Lépidocrocite)
	CHA 102	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifiés Mica-Vermiculite</i>	Pyrophyllite
	MEL 102	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifiés Mica-Vermiculite</i>	Pyrophyllite
Alluvions rouges	BRE 201	Argile micacée, kaolinite <i>Vermiculite, trace d'interstratifiés</i>	Pyrophyllite
	CHA 101	Argile micacée, kaolinite <i>Vermiculite, interstratifiés Mica-Vermiculite</i>	Pyrophyllite (Lépidocrocite)
	MEL 101	Argile micacée, kaolinite <i>Vermiculite, traces d'interstratifiés</i>	Pyrophyllite

Tableau 3 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations alluviales situées à l'Est de Rennes. Les caractères utilisés montrent l'abondance relative des différents minéraux : minéraux dominants, minéraux bien représentés, minéraux présents en faible quantité.

En résumé, dans la zone comprise entre Vitré et Rennes, deux niveaux d'alluvions ont été mis en évidence.

Le bas niveau qui occupe toute l'étendue du lit majeur de la Vilaine apparaît constitué de limons qui recouvrent des sables et graviers discontinus et peu épais jusqu'à Châteaubourg, plus abondants à l'aval de cette localité.

Du haut niveau situé une dizaine de mètres au-dessus du précédent, il ne reste que quelques lambeaux (S^t Melaine, Châteaubourg, Brécé). Il est formé de sables, graviers et galets emballés dans une matrice ferri-argileuse rouge. La partie supérieure des sables et graviers qui possède une teinte grise a subi des remaniements dûs à des phénomènes péri-glaciaires et à des colluvionnements ; le cortège des minéraux argileux s'enrichit alors de chlorite.

II. LES ALLUVIONS DE LA VILAINE DANS LE BASSIN DE RENNES

Le lit moyen de la Vilaine s'élargit considérablement dans le bassin de Rennes entre Acigné et Pont Réan. La zone alluvionnaire cartographiée a^2 sur la carte géologique (feuille de Rennes au 1/80.000) a une largeur comprise entre 0,5 km et 2,5 km, les étendues les plus vastes étant situées aux confluent de la Vilaine avec ses principaux affluents qui sont : l'Ille, la Flume, le Meu et la Seiche.

Dans toute cette zone, sous une découverte argilo-limoneuse d'épaisseur très variable qui peut atteindre 4 mètres, les graviers sont rencontrés sur toute l'étendue du lit majeur.

De plus, un certain nombre de placages gravelo-argileux situés environ 15 à 20 mètres au-dessus du lit actuel de la Vilaine, bien développés à l'aérodrome de St Jacques de la Lande, le long de la route D 177 qui relie Rennes à Pont-Réan et enfin sur la butte d'Apigné aux carrières de la Heuzardière et de la Freslonnière, sont parfois considérés comme des alluvions anciennes de la Vilaine.

La proximité de l'agglomération rennaise et l'importance de dépôts alluvionnaires ont favorisé l'implantation de nombreuses gravières exploitées très activement. Les fronts d'extraction se déplaçant très rapidement, l'observation sur le terrain et l'échantillonnage en sont facilités.

Cinq gravières ont été étudiées en détail. Trois sont localisées en bordure de la Vilaine (le Houx, la Moustière et la Grande Feuillée) tandis que les deux autres sont situées sur la butte d'Apigné (la Heuzardière et la Freslonnière). Des observations ponctuelles ont également été faites, à la faveur de sondages ou d'anciennes gravières, sur les principaux affluents de la Vilaine : le Chevré, l'Ille, le Meu et la Seiche.

I. LA GRAVIERE DU HOUX :

a) Situation (Figure 8)

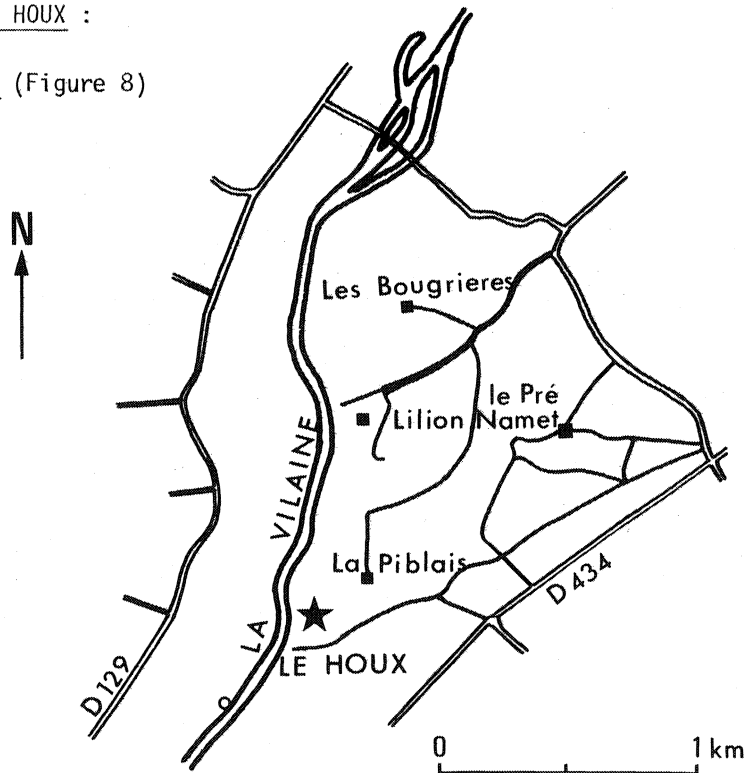


Figure 8 - Situation de la gravière du Houx.

Cette gravière est située sur la rive gauche de la Vilaine, en bordure de l'aérodrome de Saint-Jacques-de-la-Lande, près du lieu dit La Piblais. L'extraction du matériau se fait hors de l'eau, la nappe étant rabattue par pompage. Les fronts d'extraction s'étendent sur plusieurs centaines de mètres. L'épaisseur des sables et graviers exploités varie rapidement (2 à 7 mètres). Cette formation alluviale repose sur un sable jaune parfois ocre, argileux en profondeur, lui-même exploité sur une hauteur de 6 à 7 mètres. J'ai choisi de décrire et d'étudier une coupe située à un endroit où la puissance des graviers est maximale. L'extraction du matériau se fait à 2 niveaux séparés par un replat de 25 à 30 mètres, situé approximativement à la limite des graviers et du sable jaune sous-jacent.

b) Description de la coupe LH 100 (Figure 9)

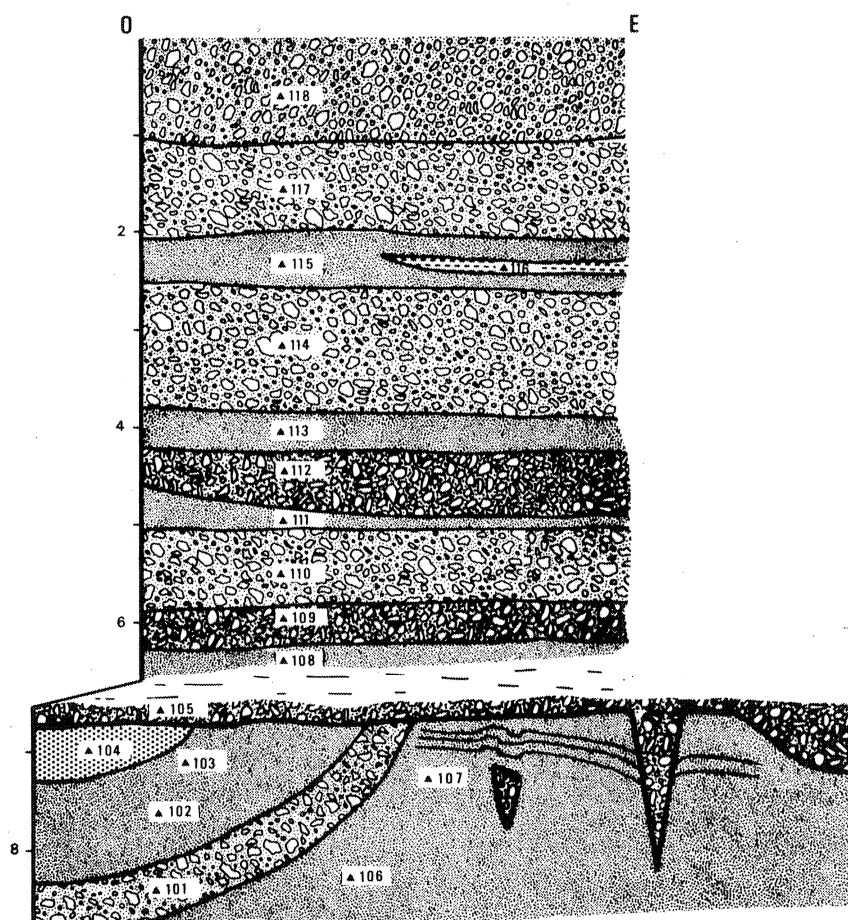


Figure 9 - Le Houx - Schéma de la coupe LH 100 montrant les différentes formations : sables pliocènes (LH 106 - 107), niveau intermédiaire occupant le chenal (LH 101 - 102 - 103) et alluvions sablo-graveleuses grises (LH 104 - 105 et LH 108 à 118).

De haut en bas, les formations suivantes sont rencontrées :

- LH 118 - sables et graviers gris stratifiés horizontalement
- LH 117 - sables, graviers et quelques cailloux stratifiés horizontalement
- LH 116 - lentille sablo-limoneuse blanche, bordée de rouge
- LH 115 - sables et graviers gris
- LH 114 - sables, graviers et quelques cailloux gris stratifiés horizontalement
- LH 113 - sables et graviers gris à stratifications obliques
- LH 112 - niveau granoclassé à sables, graviers et cailloux gris. Les cailloux situés à la base du niveau peuvent avoir 15 cm de diamètre.
- LH 111 - lentille de sables et graviers gris
- LH 110 - sables, graviers et cailloux gris
- LH 109 - niveau noir à graviers et galets bien lavés très imbriqués
- LH 108 - lentille sableuse avec quelques graviers gris
- LH 105 - lit sableux à gros cailloux gris abondants à la base. Ce niveau ravine toutes les formations sous-jacentes
- LH 104 - sables et graviers gris
- LH 102 - 103 - gros sable jaune très propre à stratifications obliques soulignées par des graviers alignés
- LH 101 - sables et graviers jaunâtres, quelques cailloux
- LH 106 - 107 - sables grossiers, jaune-ocre à stratifications entrecroisées soulignées localement par des hydroxydes de fer. Ces hydroxydes peuvent être indurés et forment alors des petits lits qui font saillie à la surface du sable. Ce niveau très épais (7 - 8 m) jaune, rouge ou noir selon l'abondance relative des hydroxydes de fer et de manganèse, repose sur un calcaire coquiller d'âge redonien visible au centre de la gravière.

L'ensemble des dépôts présente une très grande hétérogénéité granulométrique tant verticale qu'horizontale. Cependant, il est possible de distinguer nettement par la couleur et la granulométrie, deux formations :

- à la base, une formation sableuse jaune, ocre, parfois noire, à stratifications entrecroisées, relativement homogène du point de vue granulométrique. Sa puissance atteint 7 à 8 mètres ;
- au-dessus, une formation grise très hétérogène quant à la granulométrie, mais dans l'ensemble beaucoup plus grossière que la précédente. Sa puissance varie de 3 à 6 mètres.

La limite entre la formation jaune et la formation grise est nette, mais irrégulière. Les graviers gris ravinent le sable jaune en dessinant de vastes chenaux orientés le plus souvent N. NE - S. SO, donc parallèles à la Vilaine actuelle. Cependant, localement, les deux formations sont séparées par un niveau présentant des caractères (couleur, granulométrie) intermédiaires (LH 101 - LH 102 - LH 103).

J' ai pu observer deux fentes en coin remplies d'alluvions grises et entaillant profondément le sable jaune (Figure 9). L'une contient des graviers et cailloux imbriqués et orientés, l'autre est comblée par du matériau plus fin : sables et petits graviers. Au contact des fentes, les joints de stratification du sable, soulignés par des hydroxydes de fer sont rebroussés vers le bas.

c) Analyse granulométrique (Figures 10, 11, 12)

Les résultats relatifs à l'analyse granulométrique sont consignés dans le tableau 4.

- La formation jaune (Figure 10). Cette formation (échantillon LH 107) est constituée d'un sable grossier ($Q_2 = 0,55$) très bien classé dont le mode coïncide avec le médian ($S_K = 0,99$). La granulométrie est fortement modifiée par la présence d'hydroxydes de fer indurés (LH 106).

- Le niveau intermédiaire (LH 101 - 102 - 103) (Figure 10). Il est légèrement plus riche en éléments grossiers et l'indice de classement S_o se détériore légèrement.

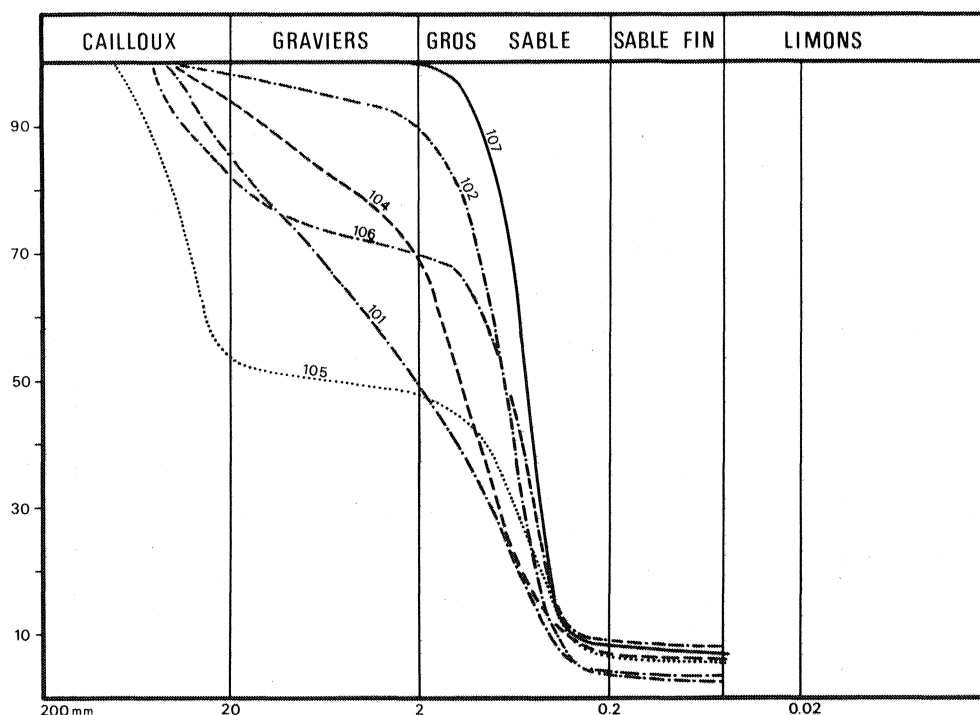


Figure 10 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la gravière du Houx : sables pliocènes (LH 106 - 107), niveau intermédiaire (LH 101 - 102 - 103) et lits de la base des alluvions sablo-graveleuses grises (LH 104 - 105).
(La courbe cumulative de l'échantillon LH 103 est identique à celle de LH 102).

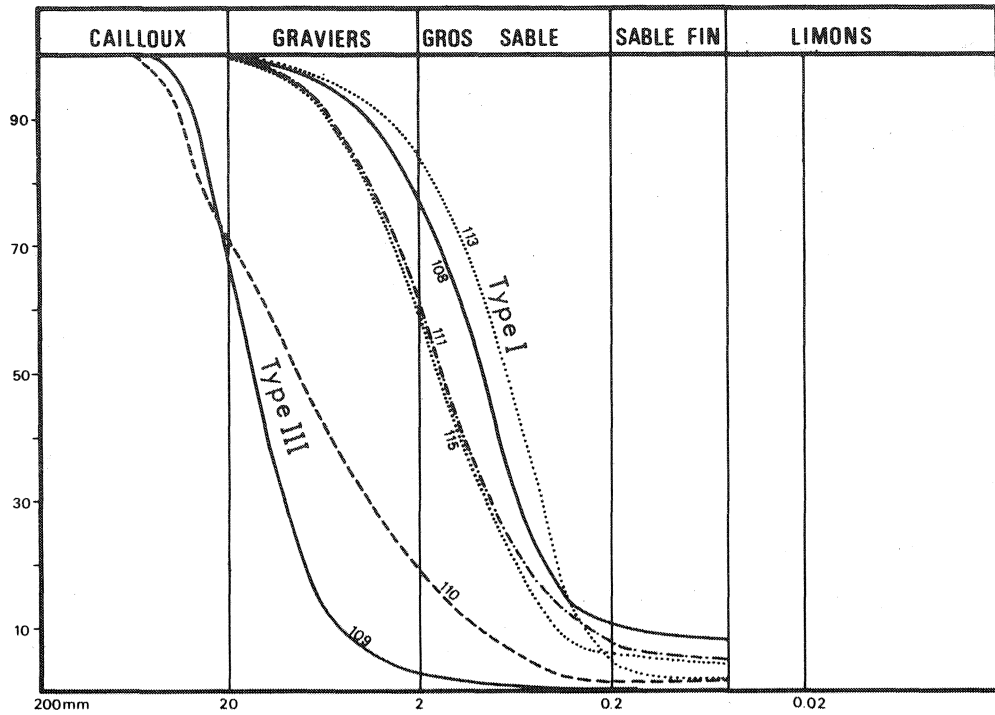


Figure 11 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la gravière du Houx : courbes de type I et de type III.

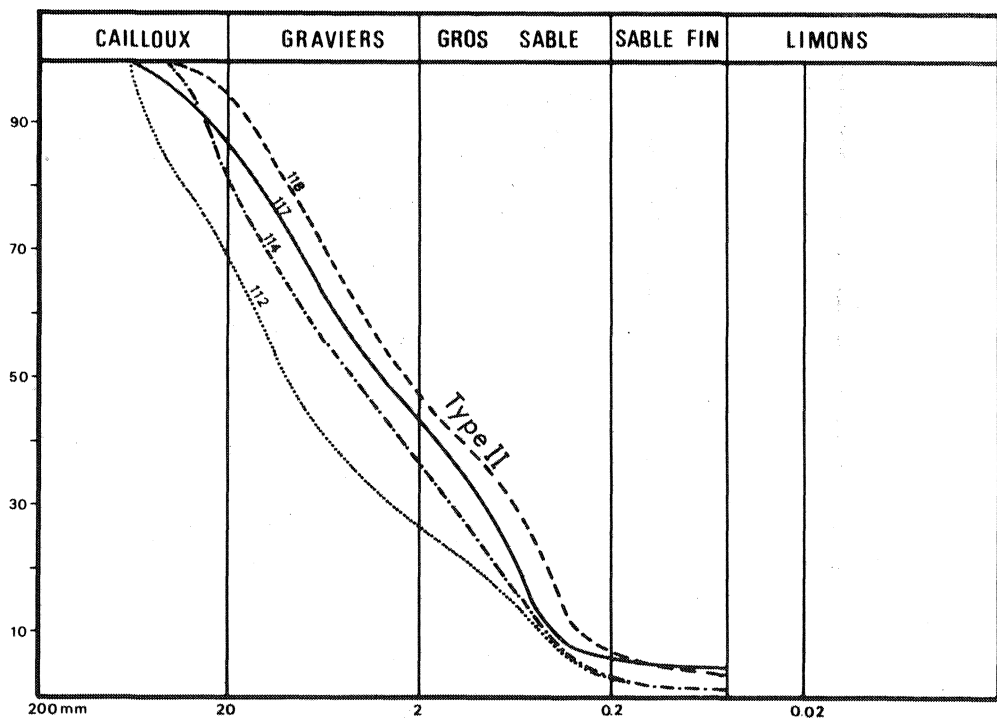


Figure 12 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la gravière du Houx : courbes de type II.

- La formation grise (figures 10, 11, 12). Les courbes granulométriques cumulatives montrent l'hétérogénéité du matériau. Le médian (Q_2) varie beaucoup : $0,7 \text{ mm} < Q_2 < 15 \text{ mm}$.

FORMATIONS	ECHANTILLONS	Q_1	Q_2	Q_3	S_o	S_K
Alluvions sablo-graveleuses grises	LH 118	0,5	2,2	7,5	3,87	0,97
	LH 117	0,75	3	11	3,83	0,92
	LH 115	0,75	1,6	3,2	2,07	0,94
	LH 114	1	4,4	15	3,87	0,77
	LH 113	0,42	0,7	1,35	1,79	1,16
	LH 112	1,6	9,5	25	3,95	0,44
	LH 111	0,75	1,6	3,2	2,07	0,94
	LH 110	3	9	24	2,83	0,89
	LH 109	9,5	15	24	1,59	1,01
	LH 108	0,55	0,95	1,9	1,86	1,16
	LH 105	0,55	6,3	37	8,20	0,51
	LH 104	0,7	1,25	3	2,07	1,34
niveau intermédiaire	LH 103	0,55	0,75	1,1	1,41	1,08
	LH 102	0,55	0,75	1,1	1,41	1,08
	LH 101	0,75	2,2	10,5	3,74	1,63
Sables piocènes	LH 107	0,43	0,55	0,7	1,28	0,99
	LH 106	0,46	0,70	9		

Tableau 4 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la gravière du Houx.

Malgré leur diversité, les courbes cumulatives peuvent être divisées en trois types principaux :

Type I : courbes sigmoïdes ou à légère concavité tournée vers le bas (figure 11)
Elles concernent des lits à nette dominance sableuse (LH 108 - 111 - 113 - 115) très bien classés $1,8 < S_o < 2,1$. L'indice d'asymétrie S_K est voisin de l'unité.

Type II : courbes grossièrement rectilignes (figure 12)

Les niveaux présentant ce type de courbes sont les plus épais. Ils sont très nombreux et forment l'essentiel de la masse du dépôt (LH 112 - 114 - 117 - 118). Les différentes fractions, sables, graviers et cailloux sont également représentées. L'indice de classement S_o est voisin de 4. L'indice d'asymétrie S_K inférieur à l'unité est variable.

Type III : courbes à concavité tournée vers le haut (figure 11)

Ce type de courbes caractérise les lits à graviers et galets bien lavés (LH 109 - 110). Le médian Q_2 se situe dans la fraction graveleuse grossière. Le classement est assez bon ($S_o < 3$). L'indice d'asymétrie S_K est voisin de l'unité.

Le niveau LH 105 est le seul à présenter une courbe bimodale très nette ; le premier mode ($M_1 = 0,63$ mm) est situé dans la fraction sableuse et le second ($M_2 = 31,5$ mm) dans la fraction caillouteuse. Le mélange d'une fraction caillouteuse et d'une fraction sableuse, l'absence totale des graviers pose un problème quant à la mise en place de ce dépôt.

d) Pétrographie de la fraction graveleuse :

Les résultats exprimés en pourcentages pondéraux selon la nature pétrographique des éléments (quartz et quartzites, grès, schistes) sont rassemblés dans le tableau 5.

Fractions granulométriques		5 - 6,3 mm			10 - 12,5 mm			16 - 20 mm		
Nature pétrographique		Q	G	S	Q	G	S	Q	G	S
Alluvions grises	LH 118	79,5	20,5	-	85,8	14,2	-	-	-	-
	LH 117	75,8	23,2	1,0	84,5	15,5	-	80,8	19,2	-
	LH 114	65,7	32,4	1,9	86,2	13,8	-	91,7	8,3	-
	LH 112	69,8	30,2	-	84,5	13,4	2,1	95,4	4,6	-
	LH 109	70,7	28,4	0,9	79,3	20,9	-	84,2	15,8	-
	LH 104	75,4	24,6	-	85,0	15,0	-	-	-	-

Tableau 5 - Le Houx - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse.

(Q = quartz et quartzites, G = grès, S = schistes)

Il apparaît que les graviers sont constitués essentiellement de quartz et quartzites (65 à 95 %), blancs laiteux, jaunes, roses et parfois bleutés. Les grès sont constants et leur importance s'accroît dans la fraction graveleuse fine à l'inverse des quartz et quartzites. Le niveau jaune intermédiaire (LH 101) ainsi que la base des graviers gris (LH 104) contiennent des fragments de concrétions ferrugineuses qui forment une part non négligeable de la fraction graveleuse. Ces fragments aplatis proviennent de la destruction des joints ferrugineux soulignant les stratifications de la formation sableuse jaune sous-jacente. Les hydroxydes de fer peuvent également constituer des sortes de nodules irréguliers de 10 à 15 cm de diamètre, exceptionnellement 40 à 50 cm, formés de couches concentriques limitant une cavité centrale parfois remplie de sable blanchâtre. Ils sont particulièrement abondants dans les niveaux LH 101 et LH 105, et sont composés de lépidocrocite associée à très peu de goethite.

Les grès généralement arrondis, sont parfois altérés. A la base des niveaux grossiers riches en cailloux il faut également noter la présence de quelques blocs de diabase, issus des filons qui recoupent les formations briovériennes.

e) Les minéraux lourds :

Les comptages ont été effectués sur les fractions β et γ . Les résultats sont présentés dans le tableau 6.

Formations	Echantillons	Classe granulométrique	Zircon	Rutile	Anatase brookite Sphène-corindon	Tourmaline	Staurotide	Andalousite	Grenat-Sillimanite Disthène	Epidote	Zoïsite-clinozoïsite	Hornblende	Pyroxènes	Opakes Transparents	Altérés	% pondéral des minéraux lourds
Alluvions sablo-graveleuses grises	LH 118	γ	57,5	10,3	1,4	15,1	2,7	6,8	1,4	2,1	0,7	2,1		548	2,7	2,82
	- - -	β	1,4	9,7	1	19,8	36,4	26,3	5,1	0,5	-	-	-	152	0,9	0,71
	LH 115	γ	22,6	4,8	0,7	30,1	12,3	15,8	8,2	0,7	2	2,7		332	-	0,50
	- - -	β	0,4	3,6	-	33,6	30	25,6	6,1	0,4	-	-	0,4	445	5,8	0,20
	LH 111	γ	26	3,3	2	34	7,3	4,0	3,3	12,7	1,3	6,0		840	2,7	0,70
	- - -	β	0,7	5,4	-	25,7	32,4	24,3	8,1	1,4	0,7	1,4	-	310	8	0,25
	LH 110	γ	32,9	4,9	0,3	35,5	2,0	5,3	2,6	10,2	1,3	4,6	-	547	8,9	0,62
	- - -	β	2,3	3	0,8	20,5	36,4	32,6	3,1	0,8	-	0,8	-	331	29,5	0,46
	LH 109	γ	33,6	4,1	1,4	35,6	5,5	4,8	2,7	9,6	0,7	1,4	-	856	2,7	0,56
	- - -	β	0,6	11,3	-	28,9	32,1	21,4	5,7	-	-	-	-	307	6,9	0,33
	LH 108	γ	27,9	0,8	-	27,1	3,9	3,1	2,3	30,1	3,1	1,5	-	333	2,3	0,31
	- - -	β	2,7	-	-	28,8	20,7	43,2	4,5	-	-	-	-	277	8,1	0,21
	LH 105	γ	33,7	8,3	3,0	22,5	8,3	5,9	1,8	13,0	2,4	1,2	-	242	0,6	0,27
	- - -	β	0,6	2,8	0,6	39,8	15,9	27,8	8,0	1,1	1,1	2,2	-	165	9,7	0,16
	LH 104	γ	17,6	2,3	3,9	24,4	2,3	6,9	0,8	36,6	2,3	3,0	-	359	3,0	0,59
	- - -	β	0,5	7,3	0,5	23	34	34	0,5	-	-	-	-	294	4,7	0,42
Niveau inter-médiaire	LH 103	γ	20,7	4,5	2,3	31,3	9,5	17,9	3,4	7,3	1,1	2,2	-	209	0,6	0,66
	- - -	β	1,9	4,3	-	45,7	22,2	20,4	3,6	-	1,9	-	-	131	9,3	0,34
	LH 102	γ	21,8	0,7	3,0	32,3	9,0	11,3	6,8	12	1,5	1,5	-	263	2,3	0,60
	- - -	β	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sables pliocènes	LH 107	γ	26,7	3,7	8,1	26,7	14,3	11,8	2,5	5	1,2	-	-	88	2,5	0,04
	- - -	β	1	1	3	31,1	14,6	26,2	22,4	-	-	1	-	73	5,8	0,07
	LH 106	γ	27,0	4,1	7,5	25	12,8	13,5	4,1	2,0	0,7	1,4	-	97	2	0,27
	- - -	β	2,4	4,9	-	31,7	20,7	26,8	8,5	1,2	-	3,7	-	85	2,4	0,04

Tableau 6 - Minéraux lourds de la gravière du Houx. (Chaque chiffre correspond à un pourcentage).

Le pourcentage de minéraux lourds est plus important dans le niveau intermédiaire et la formation grise que dans la formation jaune de base. Cette différence est due à une forte augmentation du nombre d'opakes plutôt qu'à une plus grande richesse en minéraux lourds transparents.

Le cortège des minéraux lourds varie peu qualitativement sur toute la hauteur de la coupe. Le zircon (18 à 58 %), la tourmaline jaune et bleue (15 à 36 %), les minéraux de métamorphisme, (staurotite et andalousite essentiellement) la famille de l'épidote (épidote, zoïsite et clinozoïte) sont les principaux minéraux observés dans la fraction γ . Les titanes (rutile, anatase, brookite, sphène) ainsi que la hornblende verte sont toujours présents mais en faible quantité (ils représentent au maximum respectivement 12 et 6 % des minéraux transparents).

Dans la fraction β , le zircon disparaît. La tourmaline et les minéraux de métamorphisme forment la quasi totalité du cortège des minéraux lourds. C'est celui qui se rencontre habituellement dans les sables rouges pliocènes (Durand 1960).

f) Les minéraux argileux :

La répartition et l'association des divers minéraux sont rassemblés dans le tableau 7.

Alluvions	LH 118 LH 117	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifiés Chlorite - Vermiculite</i>	Pyrophyllite
	LH 116	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifiés Chlorite - Vermiculite</i>	Pyrophyllite (Lépidocrocite)
sablo- graveleuses	LH 115 LH 114 LH 113 LH 112 LH 111 LH 110 LH 108	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifiés Chlorite - Vermiculite</i>	Pyrophyllite
	LH 105 LH 104	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifiés Chlorite - Montmorillonite</i>	Pyrophyllite
Niveau inter- médiaire	LH 103 LH 102 LH 101	Argile micacée, kaolinite	Lépidocrocite
Sables pliocènes	LH 107 LH 106	Argile micacée <i>Traces de kaolinite</i>	

Tableau 7 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la gravière du Houx. Les caractères utilisés montrent l'abondance relative des différents minéraux : minéraux dominants, minéraux bien représentés, minéraux présents en faible quantité.

La formation jaune de base est caractérisée par une argile micacée et des traces de kaolinite. Dans le niveau intermédiaire, la kaolinite devient plus abondante et la lépidocrocite apparaît sous forme diffuse.

Dans la formation grise, le cortège des minéraux argileux s'enrichit de chlorite, d'édifices interstratifiés (chlorite-vermiculite ou chlorite-montmorillonite) et de pyrophyllite.

En résumé, l'étude de la gravière du Houx, a permis de mettre en évidence deux formations et de préciser leurs caractères respectifs.

- Des sables grossiers jaune-ocre relativement homogènes, très bien classés. Ils renferment des micas et feldspaths. Les minéraux argileux sont l'argile micacée et la kaolinite. Tous ces caractères permettent de rattacher cette formation aux "sables rouges" pliocènes.

- Un sédiment grossier gris, présentant une grande hétérogénéité verticale et horizontale qui caractérise les dépôts alluvionnaires. Le cortège des minéraux argileux s'enrichit de chlorite, d'édifices interstratifiés et de pyrophyllite.

2. LA GRAVIERE DE LA MOUSTIERE :

a) Situation (figure n° 13)

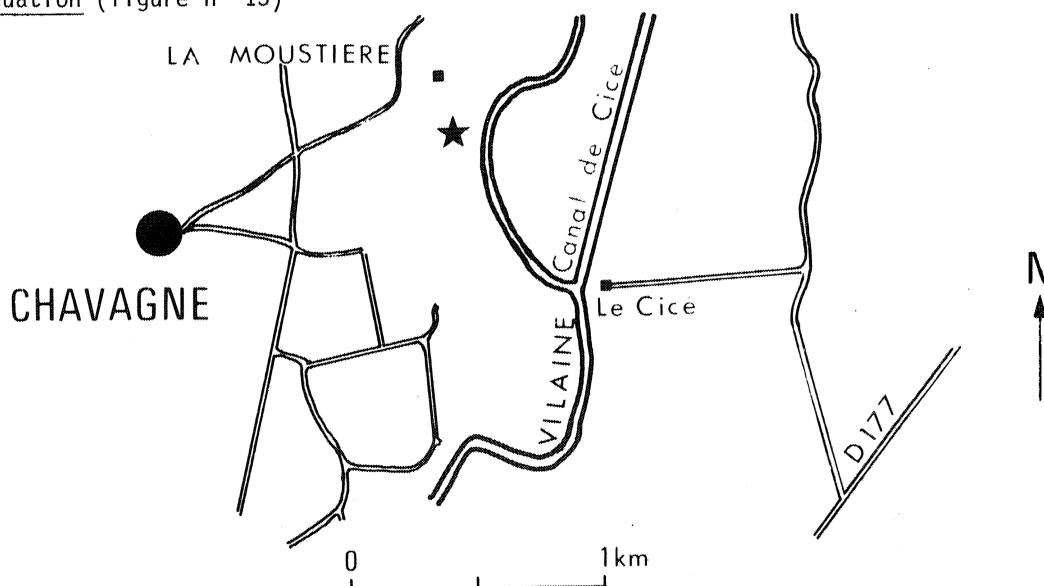


Figure 13 - Situation de la gravière de la Moustière.

Cette gravière est située à quelques centaines de mètres au Nord-Est de Chavagne sur la rive droite de la Vilaine, au niveau du canal de Cicé. La nappe étant rabattue par pompage, l'extraction du matériau alluvionnaire se fait hors d'eau à la pelle équipée en dragline.

J'ai prélevé les échantillons sur les parois d'une fouille importante à une époque où le niveau de la nappe était particulièrement bas.

Les grandes unités observées sont de haut en bas :

- Une découverte limoneuse gris beige ayant une épaisseur de 1,50 mètre environ. Elle est enlevée avant l'extraction des graviers.

- Une formation à graviers et galets gris avec lentilles sableuses intercalées (2,50 m). Elle est entaillée sur toute sa hauteur par un chenal d'une largeur de 25 mètres, rempli alternativement de limons et graviers.

- Un lit graveleux très noir, de faible épaisseur (10 à 20 cm) visible sur tout le pourtour de la fouille. Ce niveau est le plus souvent induré et forme une véritable cuirasse.

- A la base, reposant sur le schiste briovérien qui se débite en plaquettes, un niveau rouge ocre formé de graviers, galets et sables en lentilles (1,5 m).

Les échantillons ont été prélevés sur le front Est de la fouille selon deux coupes verticales.

La première (LM 100) entaille l'ensemble de la formation graveleuse exploitée, la seconde est située au centre du chenal.

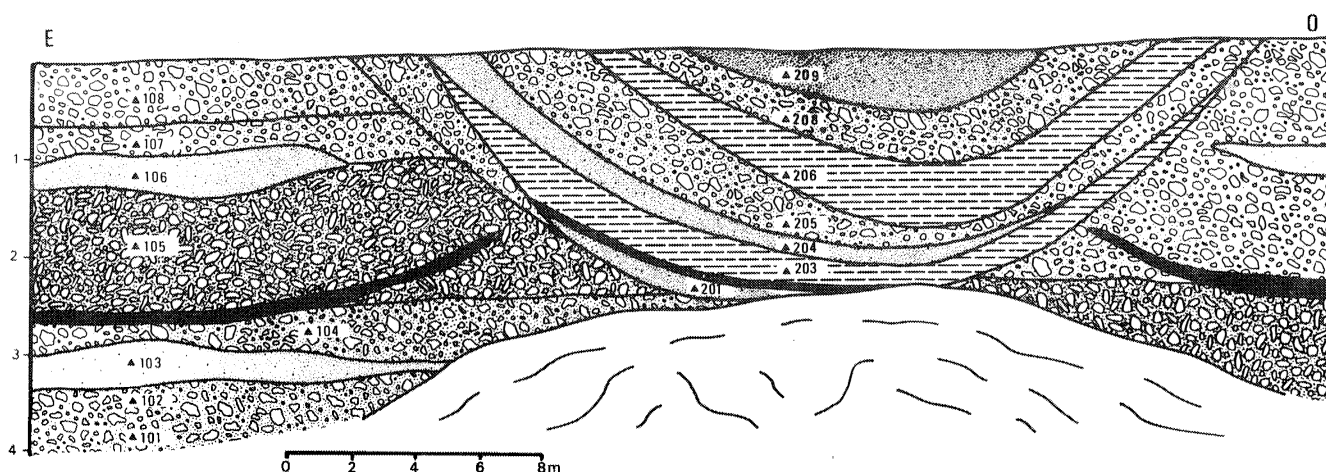


Figure 14 - La Moustière - Schéma des coupes LM 100 et LM 200 montrant la superposition des formations : sables et graviers rouges (LM 101 à LM 104), sables et graviers gris (LM 105 à LM 108) et dépôts du chenal (LM 201 à LM 208).

b) Description de la coupe LM 100 (figure 14)

De haut en bas les niveaux suivants sont rencontrés :

Formation grise	[	- LM 108	sables, graviers et quelques galets gris
		- LM 107	sables et graviers gris
		- LM 106	sables grossiers en lentille à stratifications obliques soulignées par des petits graviers
		- LM 105	sables, graviers et galets gris grossièrement stratifiés horizontalement
		- Niveau à graviers et cailloux enrobés d'une "suie" noire	
Formation rouge	[	- LM 104	sables, graviers et galets rouge ocre
		- LM 103	sables grossiers en lentille
		- LM 102	sables graviers et galets rouge ocre
		- LM 101	sables et graviers ocres

Dans cette coupe, il est possible de distinguer nettement par la couleur, deux formations : à la base, une formation rouge ocre séparée de la formation grise du sommet par un petit niveau noir (10 cm).

c) Analyse granulométrique

Les résultats relatifs à l'analyse granulométrique sont rassemblés dans le tableau 8 et les courbes cumulatives sont présentées sur les figures 15 et 16.

FORMATIONS	ECHANTILLONS	Q_1	Q_2	Q_3	S_o	S_K
Formation sablo-graveleuse grise	LM 108	1,25	4	12	3,10	0,94
	LM 107	0,65	1,7	8	3,51	1,80
	LM 106	0,31	0,42	0,62	1,41	1,09
	LM 105	2,7	11	23	2,92	0,51
Formation sablo-graveleuse rouge.	LM 104	0,42	3	14	5,77	0,65
	LM 103	0,05	0,5	1	4,47	0,20
	LM 102	1	7,5	21	4,58	0,37
	LM 101	0,95	2,5	9	3,08	1,37

Tableau 8 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la coupe LM 100.

Les courbes cumulatives indiquent que la fraction fine inférieure à 50 μ est nettement plus importante dans la formation ocre (5 à 25 % du poids total de l'échantillon) que dans la formation grise (0 à 2 % du poids total de l'échantillon).

Les variations du médian (Q_2) montrent l'hétérogénéité du matériau ($0,5 < Q_2 < 11$ mm). Hormis la teneur en fines les courbes cumulatives présentent sensiblement les mêmes formes dans les deux formations. Dans cette gravière, les courbes peuvent être classées en trois types principaux analogues à ceux du Houx.

Type I : Courbes sigmoïdes ou à faible concavité tournée vers le bas (Figures 15 et 16). Elles concernent les échantillons LM 103 et LM 106. Ce sont des sables grossiers en lentilles. L'indice de classement est moins bon pour LM 103 que pour LM 106. Cette différence est due à l'enrichissement important du niveau rouge ocre en éléments fins ferri-argileux qui représentent 25 % de la masse totale de l'échantillon.

Type II : Courbes grossièrement rectilignes (Figures 15 et 16). Elles se rapportent aux échantillons LM 101 - 102 - 104 - 107 - 108 ; l'indice de classement S_o est supérieur à 3. La courbe cumulative du niveau LM 104 présente une "bosse des sables" très nette.

Type III : Courbes à concavité tournée vers le haut. Seul le niveau LM 105 a une courbe de ce type. Le classement est assez bon ($S_o = 2,9$) et s'effectue dans la fraction grossière ($S_K = 0,51$).

d) Description de la coupe LM 200

Cette coupe située au centre du chenal qui ravine les dépôts de la coupe LM 100 montre, du sommet vers la base, les niveaux suivants :

CHENAL

- LM 209 sables grossiers avec quelques graviers gris. Lit graveleux plus grossier à la base de ce niveau.
- LM 208 sables et graviers gris à stratifications obliques soulignées par quelques galets.
- LM 206 - 207 niveau limoneux bleuté renfermant de minces lentilles argilo-sableuses ocres
- LM 205 sables et graviers gris à stratifications obliques soulignées par quelques galets
- LM 204 sables grossiers gris avec un liseré rouille à la base
- LM 203 limon bleu
- LM 202 sables noirs
- LM 201 sables grossiers gris

La base du chenal est masquée par des éboulis.

e) Analyse granulométrique

Les courbes cumulatives (Figure 17) ainsi que les caractéristiques granulométriques déduites de ces courbes (tableau 9) montrent très nettement trois types de matériaux.

FORMATION	ECHANTILLONS	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ₀	S _K
CHENAL (graviers et limons)	LM 209	0,23	0,36	0,77	1,83	1,37
	LM 208	1,2	4,6	12	3,16	0,68
	LM 206	0,015	0,034	0,070	2,16	0,91
	LM 205	0,85	4,6	13	3,91	0,52
	LM 204	0,36	0,48	0,66	1,35	1,03
	LM 203	0,016	0,036	0,095	2,44	1,17
	LM 201	0,29	0,36	0,5	1,31	1,12

Tableau 9 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la coupe LM 200.

- Les limons (LM 203 - 206) ont un médian voisin de 35 μ , un bon classement ($S_0 < 2,5$) qui s'effectue aussi bien dans la fraction fine que dans la fraction grossière (S_K voisin de 1'unité).

- Les sables grossiers (LM 201 - 204 - 209) ont des courbes cumulatives très redressées. Le classement est très bon ($S_0 < 2$). La fraction fine inférieure à 50 μ est relativement importante (7 % du poids total) dans le niveau LM 209. Ces courbes cumulatives ont des allures caractéristiques des courbes de type I.

- Les niveaux sablo-graveleux (LM 205 - 208) ont le même médian ($Q_2 = 4,6$ mm). Les courbes cumulatives sont grossièrement rectilignes et le classement est médiocre ($S_0 > 3$) ; elles correspondent au type II.

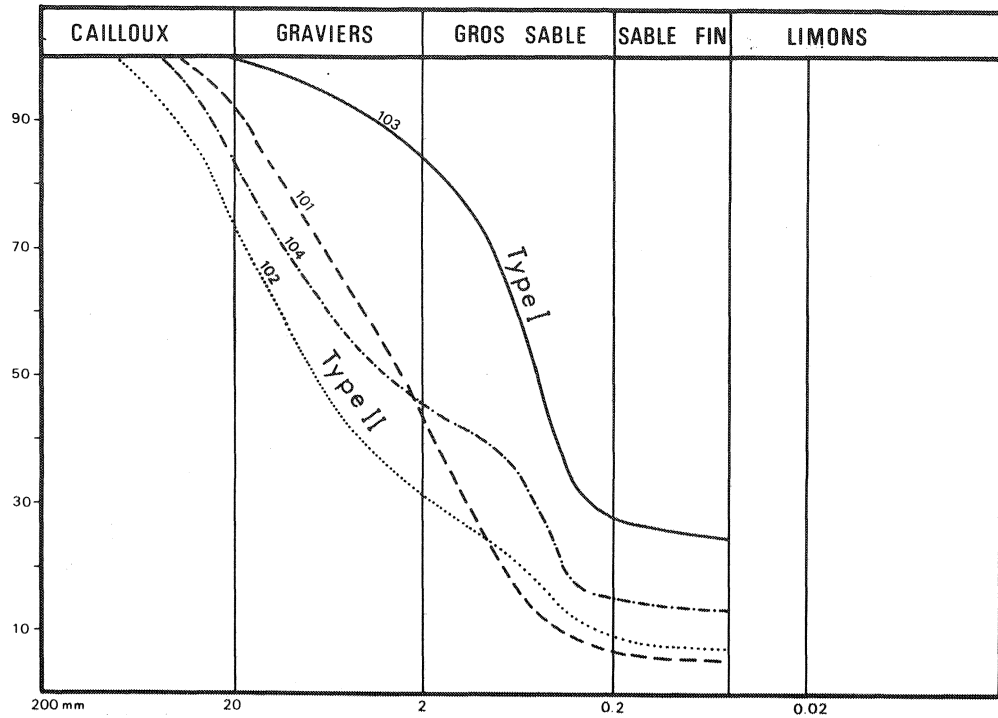


Figure 15 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe LM 100 (alluvions rouges).

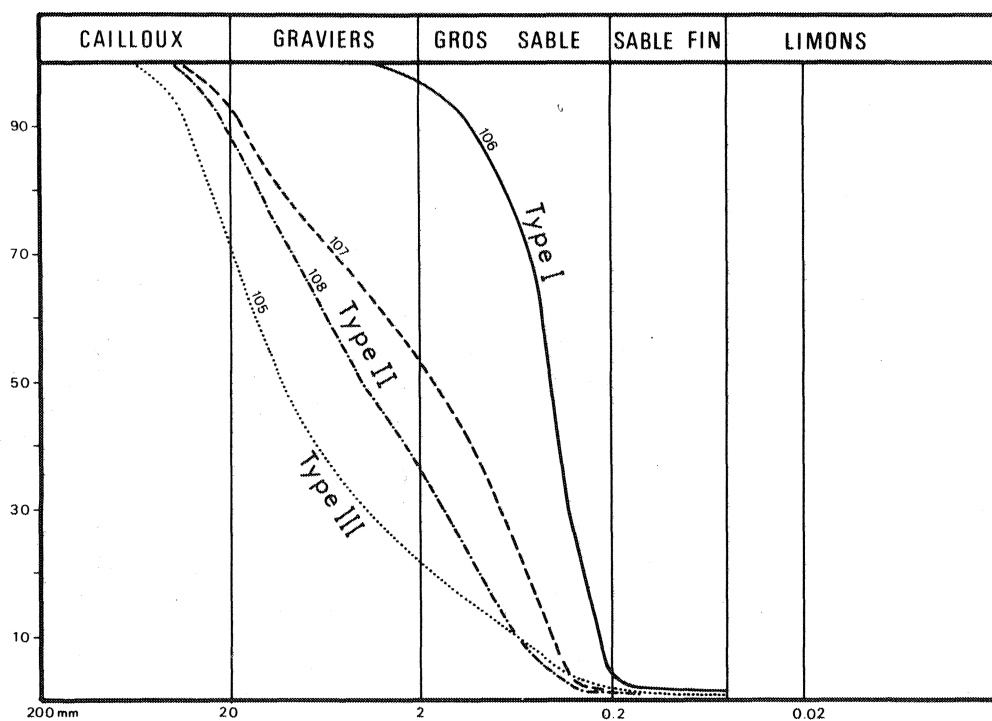


Figure 16 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe LM 100 (alluvions grises).

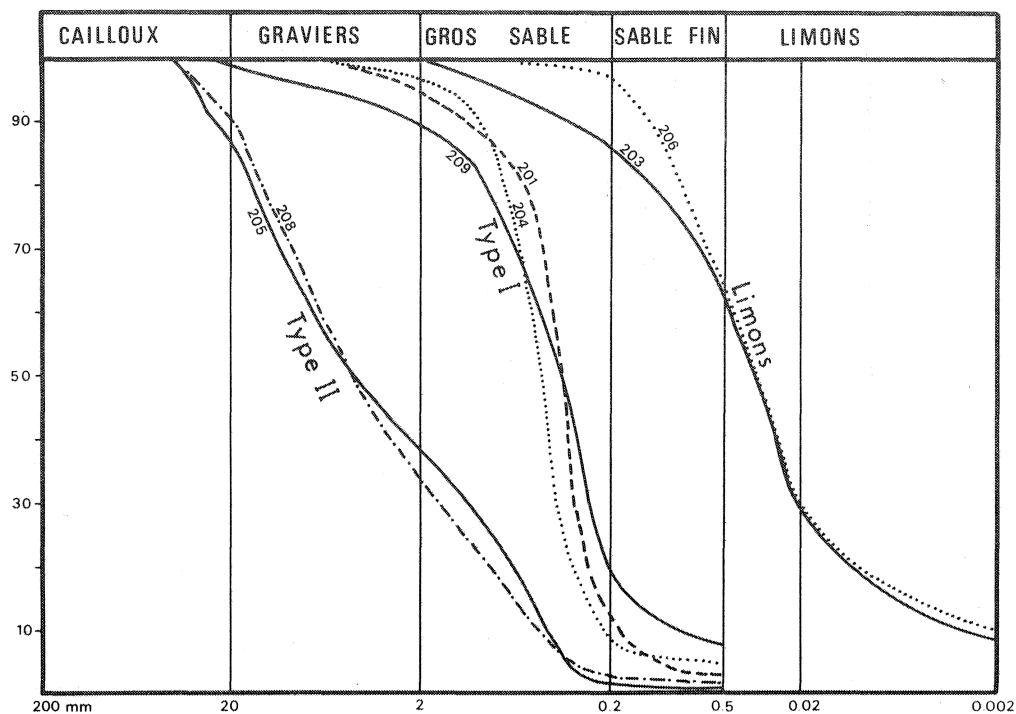


Figure 17 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe LM 200 (chenal).

Les dépôts de ce chenal présentent une originalité vis-à-vis des sédiments encaissants, par la présence de matériaux fins limoneux intercalés dans les sables, graviers et galets. De plus, l'ensemble des dépôts du chenal possède une granulométrie beaucoup plus fine que celle des dépôts de la coupe LM 100.

f) Pétrographie de la fraction graveleuse

Fractions granulométriques		5 - 6,3 mm			10 - 12,5 mm			16 - 20 mm		
Nature pétrographique		Q	G	S	Q	G	S	Q	G	S
Formation grise	LM 108	71,1	27,9	1,0	86,0	14,0	-	81,7	18,3	-
	LM 107	72,9	26,0	1,1	73,6	26,4	-	90,3	9,7	-
	LM 105	72,5	25,9	1,5	80,9	19,1	-	85,7	12,7	1,6
Formation rouge	LM 101	86,3	13,7	-	75,1	24,1	0,8	86,3	13,7	-

Tableau 10 - La Moustière - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse.

(Q = quartz et quartzites, G = grès, S = schistes).

Les résultats exprimés en pourcentages pondéraux selon la nature pétrographique des éléments sont rassemblés dans le tableau 10.

Les quartz et quartzites sont les éléments dominants de la fraction graveleuse et représentent toujours plus de 70 % de la masse totale. Les fractions graveleuses grossières (16 - 20 mm) sont plus riches en quartz et quartzites que les fractions graveleuses fines (5 - 6,3 mm). Les grès sont le plus souvent arrondis, altérés et se désagrègent facilement. A l'inverse des quartz, ils sont mieux représentés dans les fractions graveleuses fines. Il n'existe pas de variations verticales dans la nature pétrographique des éléments et notamment pas de différence entre la formation rouge - ocre de base et la formation grise sus-jacente.

g) Les minéraux lourds

Les comptages ont été effectués dans les fractions β et γ . Les résultats sont présentés dans le tableau 11.

Formations	Echantillons	Classe granulométrique	Zircon	Rutile	Anatase-Brookite Sphène-Corindon	Tourmaline	Staurotide	Andalousite	Grenat-Sillimanite Disthène	Epidote	Zoisite-Clinozoïsité	Hornblende	Pyroxènes	Opacques Transparents	Altérés	% Pondéral des minéraux lourds
Chenal (graviers et limons)	LM 209	γ	33,9	3,5	3,6	22,8	9,4	7,6	3	5,3	5,3	5,8		614	1,2	0,54
		β	-	3,5	-	33,6	18,2	28,7	7	5,6	0,7	2,8		419	0,7	0,20
	LM 206	γ	61,8	6,2	0,6	16,3	3,4	2,8	1,7	3,4	-	3,9		438	3,4	0,5
		β	-	2	-	29,9	22,4	22,4	12,3	6,8	-	2	1,4	401	6,8	0,21
	LM 203	γ	48	2,7	5,5	18,2	4,7	4,7	2,8	6,1	2,7	4,1	0,7	676	2	0,49
		β	0,6	1,7	0,6	40,1	13	26,6	10,2	5,6		1,7		429	2,3	0,23
Formation sablo- graveleuse grise	LM 106	γ	12,3	1,3	0,6	31,8	6,5	13,6	5,8	9,1	-	18,2	0,6	539	4,5	0,95
		β	3,6	-	0,7	44,5	6,6	20,4	5,8	10,2	-	8	0,7	343	6,6	0,28
	LM 105	γ	26,1	6,5	2,9	20,3	8,0	3,6	6,4	7,2	-	18,1	0,7	739	2,2	3,28
		β	-	3,5	-	29,8	31,9	18,4	9,2	5,7	-	1,4	-	220	5	0,57
Formation sablo-graveleuse rouge	LM 104	γ	33,6	8,6	2,6	14,7	1,7	-	7,8	25,9	-	3,4	1,7	1030	6	1,67
		β	0,5	8,2	-	31,3	35,6	13,5	7,2	2,9	-	1	-	322	0,5	1,07
	LM 103	γ	14,5	4,8	-	26,9	0,7	2,8	13,1	27,6	2,8	6,9	-	1100	6,9	0,57
		β	2,9	2,9	0,7	37,2	15,3	21,9	8,8	7,3	-	2,9	-	347	2,9	0,13
	LM 102	γ	19,7	6,3	2,4	18,9	15,7	0,8	7,1	23,6	1,6	1,6	2,4	1283	7,9	1,79
		β	2,7	16,4	3,5	24,7	23,3	9,6	8,2	10,3	-	1,4	-	493	3,4	0,83
	LM 101	γ	39,1	7,9	2	11,9	4,0	7,3	4,6	16,6	0,7	6	-	861	2,6	0,83
		β	1,5	4,6	1,5	28,4	30,9	17	9,1	5,6	-	1,0	-	436	2,1	0,40

Tableau 11 - Minéraux lourds de la gravière de la Moustière.

Le cortège des minéraux lourds ne varie pas qualitativement dans les niveaux étudiés. Il est constitué de zircon, minéraux titanés (rutile, anatase, brookite, sphène) tourmaline, minéraux de métamorphisme (staurotide, andalousite, grenat, sillimanite, disthène), épidote et hornblende.

Le pourcentage de chacun de ces minéraux varie dans un même échantillon selon la fraction granulométrique étudiée (γ ou β). Ainsi, le zircon qui forme entre 12 et 62 % du cortège de la fraction γ est négligeable dans la fraction β et ne dépasse jamais 4 % des minéraux transparents.

Dans la formation rouge - ocre de base, la famille de l'épidote (épidote - zoïsite - clinozoïsite) constitue une part importante (17 à 30 %) des minéraux transparents. Les grains d'épidote, de couleur vert - jaune ou jaune sale sont fréquemment recouverts d'impuretés qui ont tendance à les rendre opaques. La présence de ces impuretés semble indiquer que ces minéraux sont en voie d'altération.

La formation grise sus-jacente est caractérisée par l'augmentation du taux de hornblende qui passe de 7 % dans la formation rouge ocre à 18 %. Parallèlement, le pourcentage d'épidote diminue sensiblement.

L'origine de la hornblende et de l'épidote doit être recherchée dans les filons de dolérite qui sillonnent le substratum. Ces minéraux ont une origine locale. La hornblende a la réputation d'être un minéral fragile qui s'altère facilement en chlorite avec parfois formation d'épidote (Parfenoff, Pomerol, Tourenq 1970). Il est probable qu'une partie de l'épidote provienne de l'altération de la hornblende, ce qui peut expliquer la diminution du taux de hornblende au profit de l'épidote dans la formation rouge-ocre.

Les limons ont des taux de zircon très élevés qui sont respectivement de 48 % pour le niveau LM 203 et 62 % pour le niveau LM 206 (fraction γ).

h) Les minéraux argileux (Tableau 12)

Une argile micacée est toujours l'élément dominant de la formation rouge. Les minéraux à 14 Å qui lui sont associés : chlorite, vermiculite et interstratifiés mica-vermiculite bien représentés à la base (LM 101, 102) ne se trouvent plus qu'à l'état de trace au sommet (LM 103 - 104). La kaolinite est également moins abondante au sommet de la formation rouge.

Dans les sables et graviers gris, l'argile micacée en quantité égale ou légèrement supérieure à la kaolinite est associée à la chlorite, mieux représentée que dans les niveaux ocres, et à un interstratifié mica-vermiculite.

Dans les niveaux de limon (LM 203 - 206) le cortège des minéraux argileux composé habituellement d'argile micacée, de kaolinite et de chlorite s'enrichit de montmorillonite et d'un interstratifié mica-montmorillonite.

La pyrophyllite a été rencontrée dans tous les échantillons en faible quantité. La lépidocrocite présente à l'état de traces dans quelques niveaux (LM 105 - 207 - 208 - 209) devient très importante dans la fraction fine de l'échantillon LM 205.

Les quartz et quartzites sont les éléments dominants de la fraction graveleuse et représentent toujours plus de 70 % de la masse totale. Les fractions graveleuses grossières (16 - 20 mm) sont plus riches en quartz et quartzites que les fractions graveleuses fines (5 - 6,3 mm). Les grès sont le plus souvent arrondis, altérés et se désagrègent facilement. A l'inverse des quartz, ils sont mieux représentés dans les fractions graveleuses fines. Il n'existe pas de variations verticales dans la nature pétrographique des éléments et notamment pas de différence entre la formation rouge - ocre de base et la formation grise sus-jacente.

g) Les minéraux lourds

Les comptages ont été effectués dans les fractions β et γ . Les résultats sont présentés dans le tableau 11.

Formations	Echantillons	Classe granulométrique	Zircon	Rutile	Anatase-Brookite Sphène-Corindon	Tourmaline	Staurotide	Andalousite	Grenat-Sillimanite Disthène	Epidote	Zoisite-Clinozoisite	Hornblende	Pyroxènes	Opacques Transparents	Altérés	% Pondéral des minéraux lourds
Chenal (graviers et limons)	LM 209	γ	33,9	3,5	3,6	22,8	9,4	7,6	3	5,3	5,3	5,8		614	1,2	0,54
		β	-	3,5	-	33,6	18,2	28,7	7	5,6	0,7	2,8		419	0,7	0,20
	LM 206	γ	61,8	6,2	0,6	16,3	3,4	2,8	1,7	3,4	-	3,9		438	3,4	0,5
		β	-	2	-	29,9	22,4	22,4	12,3	6,8	-	2	1,4	401	6,8	0,21
	LM 203	γ	48	2,7	5,5	18,2	4,7	4,7	2,8	6,1	2,7	4,1	0,7	676	2	0,49
		β	0,6	1,7	0,6	40,1	13	26,6	10,2	5,6		1,7		429	2,3	0,23
Formation sablo- graveleuse grise	LM 106	γ	12,3	1,3	0,6	31,8	6,5	13,6	5,8	9,1	-	18,2	0,6	539	4,5	0,95
		β	3,6	-	0,7	44,5	6,6	20,4	5,8	10,2	-	8	0,7	343	6,6	0,28
	LM 105	γ	26,1	6,5	2,9	20,3	8,0	3,6	6,4	7,2	-	18,1	0,7	739	2,2	3,28
		β	-	3,5	-	29,8	31,9	18,4	9,2	5,7	-	1,4	-	220	5	0,57
Formation sablo-graveleuse rouge	LM 104	γ	33,6	8,6	2,6	14,7	1,7	-	7,8	25,9	-	3,4	1,7	1030	6	1,67
		β	0,5	8,2	-	31,3	35,6	13,5	7,2	2,9	-	1	-	322	0,5	1,07
	LM 103	γ	14,5	4,8	-	26,9	0,7	2,8	13,1	27,6	2,8	6,9	-	1100	6,9	0,57
		β	2,9	2,9	0,7	37,2	15,3	21,9	8,8	7,3	-	2,9	-	347	2,9	0,13
	LM 102	γ	19,7	6,3	2,4	18,9	15,7	0,8	7,1	23,6	1,6	1,6	2,4	1283	7,9	1,79
		β	2,7	16,4	3,5	24,7	23,3	9,6	8,2	10,3	-	1,4	-	493	3,4	0,83
	LM 101	γ	39,1	7,9	2	11,9	4,0	7,3	4,6	16,6	0,7	6	-	861	2,6	0,83
		β	1,5	4,6	1,5	28,4	30,9	17	9,1	5,6	-	1,0	-	436	2,1	0,40

Tableau 11 - Minéraux lourds de la gravière de la Moustière.

Le cortège des minéraux lourds ne varie pas qualitativement dans les niveaux étudiés. Il est constitué de zircon, minéraux titanés (rutil, anatase, brookite, sphène) tourmaline, minéraux de métamorphisme (staurotide, andalousite, grenat, sillimanite, disthène), épidote et hornblende.

Le pourcentage de chacun de ces minéraux varie dans un même échantillon selon la fraction granulométrique étudiée (γ ou β). Ainsi, le zircon qui forme entre 12 et 62 % du cortège de la fraction γ est négligeable dans la fraction β et ne dépasse jamais 4 % des minéraux transparents.

Dans la formation rouge - ocre de base, la famille de l'épidote (épidote - zoïsite - clinozoïsite) constitue une part importante (17 à 30 %) des minéraux transparents. Les grains d'épidote, de couleur vert - jaune ou jaune sale sont fréquemment recouverts d'impuretés qui ont tendance à les rendre opaques. La présence de ces impuretés semble indiquer que ces minéraux sont en voie d'altération.

La formation grise sus-jacente est caractérisée par l'augmentation du taux de hornblende qui passe de 7 % dans la formation rouge ocre à 18 %. Parallèlement, le pourcentage d'épidote diminue sensiblement.

L'origine de la hornblende et de l'épidote doit être recherchée dans les filons de dolérite qui sillonnent le substratum. Ces minéraux ont une origine locale. La hornblende a la réputation d'être un minéral fragile qui s'altère facilement en chlorite avec parfois formation d'épidote (Parfenoff, Pomerol, Tourenq 1970). Il est probable qu'une partie de l'épidote provienne de l'altération de la hornblende, ce qui peut expliquer la diminution du taux de hornblende au profit de l'épidote dans la formation rouge-ocre.

Les limons ont des taux de zircon très élevés qui sont respectivement de 48 % pour le niveau LM 203 et 62 % pour le niveau LM 206 (fraction γ).

h) Les minéraux argileux (Tableau 12)

Une argile micacée est toujours l'élément dominant de la formation rouge. Les minéraux à 14 Å qui lui sont associés : chlorite, vermiculite et interstratifiés mica-vermiculite bien représentés à la base (LM 101, 102) ne se trouvent plus qu'à l'état de trace au sommet (LM 103 - 104). La kaolinite est également moins abondante au sommet de la formation rouge.

Dans les sables et graviers gris, l'argile micacée en quantité égale ou légèrement supérieure à la kaolinite est associée à la chlorite, mieux représentée que dans les niveaux ocres, et à un interstratifié mica-vermiculite.

Dans les niveaux de limon (LM 203 - 206) le cortège des minéraux argileux composé habituellement d'argile micacée, de kaolinite et de chlorite s'enrichit de montmorillonite et d'un interstratifié mica-montmorillonite.

La pyrophyllite a été rencontrée dans tous les échantillons en faible quantité. La lépidocrocite présente à l'état de traces dans quelques niveaux (LM 105 - 207 - 208 - 209) devient très importante dans la fraction fine de l'échantillon LM 205.

Chenal (graviers et limons)	LM 206 (Limon)	Argile micacée, kaolinite Chlorite, Montmorillonite <i>Interstratifié mica-montmorillonite</i>	Pyrophyllite
	LM 205	Argile micacée Chlorite, kaolinite <i>Interstratifié mica-vermiculite</i>	Pyrophyllite (Lépidocrocite)
	LM 203 (Limon)	Argile micacée Chlorite, kaolinite, Montmorillonite <i>Interstratifié mica-montmorillonite</i>	Pyrophyllite
	LM 202	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifié mica-vermiculite</i>	Pyrophyllite
Formation sablo- graveleuse grise	LM 107	Argile micacée, kaolinite Chlorite	Pyrophyllite
	LM 105	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifié mica-vermiculite</i>	Pyrophyllite (Lépidocrocite)
Formation sablo-graveleuse rouge	LM 104	Argile micacée Kaolinite	Pyrophyllite
	LM 102	Argile micacée Kaolinite, vermiculite <i>Chlorite</i>	Pyrophyllite
	LM 101	Argile micacée, kaolinite <i>Chlorite, interstratifié mica-vermiculite</i>	Pyrophyllite

Tableau 12 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la gravière de la Moustière. Les caractères utilisés montrent l'abondance relative des différents minéraux : minéraux dominants, minéraux bien représentés, *minéraux présents en faible quantité*.

En résumé, les dépôts alluvionnaires étudiés à la Moustière, bien que présentant dans l'ensemble, les mêmes caractéristiques granulométriques que ceux étudiés à la carrière du Houx, s'en différencient cependant par la présence locale d'une formation rouge-ocre de base riche en éléments ferri-argileux. Les accumulations d'hydroxydes de fer et de manganèse résultent d'une suite de mise en mouvements et d'immobilisations sous la dépendance de processus d'oxydo-réduction. La présence d'un cuirassement important a favorisé la conservation de la formation ocre de base qui correspond vraisemblablement à un lambeau d'alluvions plus anciennes et se rapproche par un certain nombre de caractères (couleur, teneur en fines, nature des argiles) des dépôts décrits à l'Est de Rennes (Châteaubourg, St Melaine, Brécé).

3. LA GRAVIERE DE LA GRANDE FEUILLEE

a) Situation (Figure 18)

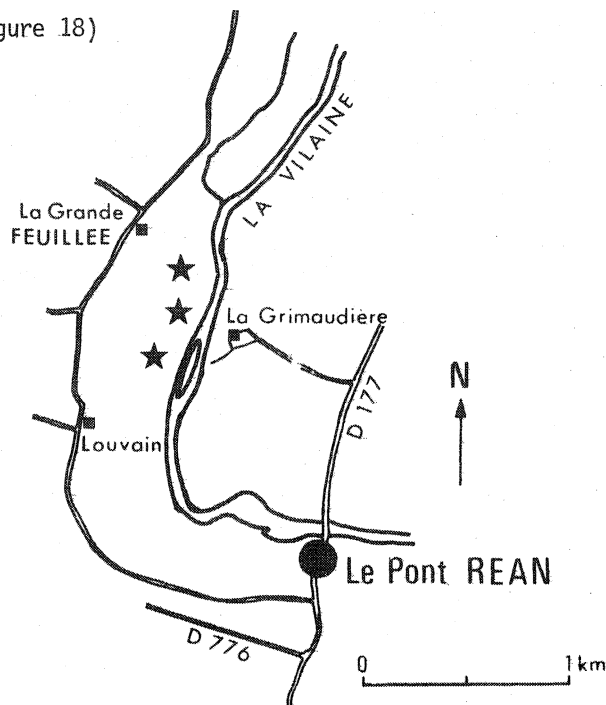


Figure 18 - Situation de la gravière de la Grande Feuillée.

Cette gravière est située sur la rive droite de la Vilaine au Nord Ouest de Pont-Réan. Elle s'étend sur 1,5 km à l'aval du lieu-dit La Grande Feuillée et a une largeur moyenne de 400 mètres. L'extraction des graviers s'effectue à un rythme élevé et les fronts d'exploitation sont nombreux.

b) Caractères généraux :

En amont de Pont-Réan, la plaine alluviale est vaste, sa largeur pouvant dépasser 2,5 km. Les dépôts sont très variables quant à leur puissance, mais dans l'ensemble il apparaît que l'épaisseur des sables et graviers exploitables est moins importante qu'à la gravière du Houx et moins régulière qu'à la Moustière. La découverte argilo-limoneuse a une puissance toujours supérieure à 1 m et peut atteindre localement 4 m.

Le substratum dont la surface est très irrégulière est formé de schistes gris briovériens qui se débitent en petites plaquettes ; localement dans la partie sud de la carrière, il est altéré en un limon argileux bleu. L'épaisseur respective des sables et graviers, et de la découverte varie très rapidement. Sur une longueur de 100 m, l'épaisseur des sables et graviers peut passer de 2 à 6 m.

Deux coupes ont été choisies pour mettre en évidence la diversité des dépôts. La première montre des sables et graviers surmontés d'une découverte limoneuse peu importante, la seconde au contraire possède une puissante découverte argilo-limoneuse (plus de 3 m) au-dessus des sables et graviers peu épais (1,5 m). Les résultats d'analyses granulométriques de la découverte de deux autres coupes sont également rapportés.

c) Description de la coupe GF 100. (Figure 19)

Cette coupe est située au centre d'un vaste banc sablo-graveleux orienté Nord-

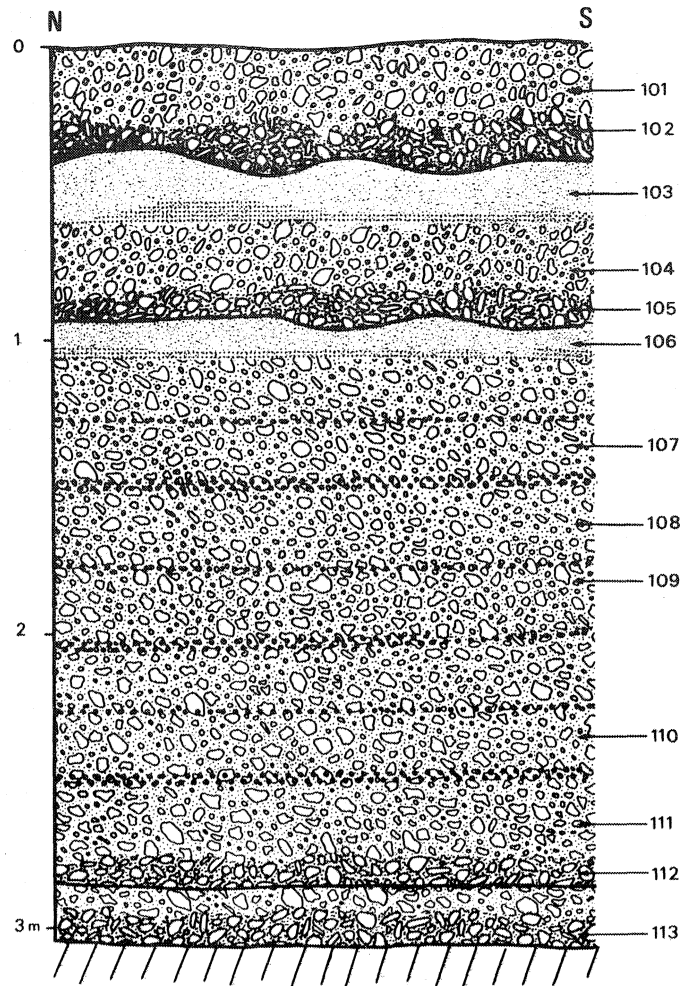


Figure 19 - La Grande Feuillée - Schéma de la coupe GF 100 montrant l'hétérogénéité des alluvions sablo-graveleuses grises.

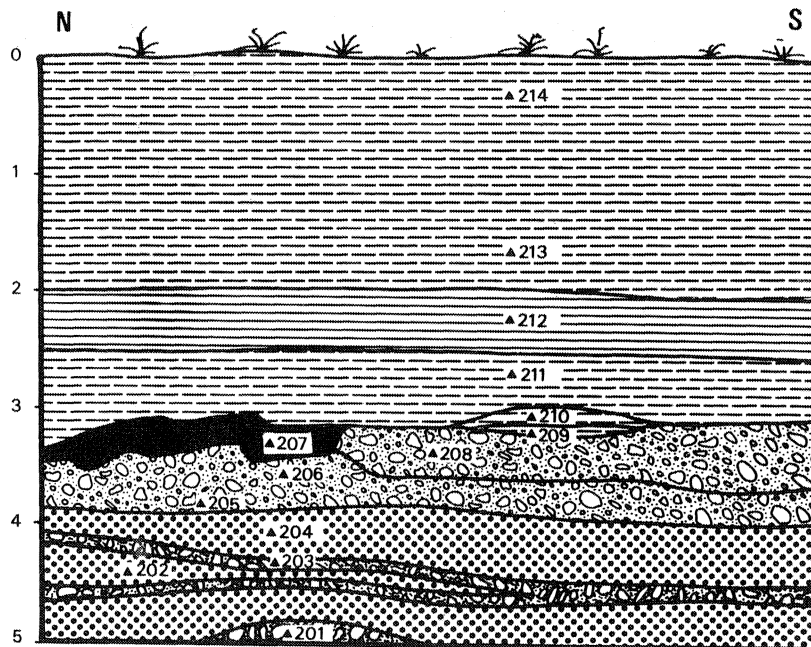


Figure 20 - La Grande Feuillée - Schéma de la coupe GF 200 montrant l'importance de la découverte argilo-limoneuse (GF 209 à GF 214) au-dessus des sables et graviers (GF 201 à GF 208).

Sud, grossièrement parallèle à la Vilaine actuelle. Le banc d'une longueur de 80 m environ, s'ennoie à ses deux extrémités ainsi que sur les côtés, sous une découverte limoneuse importante. Le front d'extraction est parallèle à l'axe du banc et la coupe située à peu près en son centre. La nappe étant rabattue par pompage, les dépôts sont entièrement visibles. La découverte limoneuse a été enlevée avant le prélèvement des échantillons.

Du sommet vers le bas, j'ai pu observer les niveaux suivants :

- GF 101 - Sables et graviers gris
- GF 102 - Niveau grossier granoclassé riche en galets à sa base, graveleux au sommet. Sa limite inférieure est irrégulière, les galets les plus gros sont enfouis dans le sable sous jacent.
- GF 103 - Sables grossiers gris contenant cinq lits de graviers alignés
- GF 104 - Sables, graviers et galets gris
- GF 105 - Niveau à gros galets bien lavés
- GF 106 - Sables grossiers en lentille
- GF 107 - 108 - 109 - Ensemble relativement homogène à sables, graviers et quelques galets grossièrement stratifiés horizontalement. Cette disposition horizontale est soulignée par la présence de quelques lits à graviers alignés.
- GF 110 - Niveau compact gris à sables et graviers riches en éléments fins, stratifiés horizontalement.
- GF 111 - Niveau gris à sables et graviers plus riche en galets à sa base
- GF 112 - Lit à graviers et galets bien lavés, très imbriqués
- GF 113 - Identique à GF 112, mais contient de nombreuses plaquettes de schistes provenant du substratum.

d) Description de la coupe GF 200 (Figure 20)

La coupe décrite ci-dessous est située à l'extrémité sud de la gravière. Les échantillons ont été prélevés sur les parois d'une fouille importante. Du sommet vers la base, les niveaux suivants sont observés.

Découverte argilo- limoneuse	GF 213 - 214 - Limon beige renfermant quelques graviers parfois alignés
	GF 212 - Argile brun foncé craquelée
	GF 211 - Limon argileux bariolé verdâtre et marron
	GF 210 - Limon argileux ocre
	GF 209 - Limon argileux vert, plastique
Sables et graviers	GF 208 - Sables et graviers gris clair
	GF 207 - Sables et graviers enrobés d'une "suie" noire
	GF 206 - Sables, graviers et cailloux ocres, légèrement argileux
	GF 205 - Sables, graviers, cailloux ocres ou verdâtres
	GF 204 - Sables et graviers gris
	GF 203 - Niveau ocre, très humide à gros graviers
	GF 202 - Sables et graviers gris
	GF 201 - Niveau grossier à graviers bien lavés riche en cailloux provenant du substratum

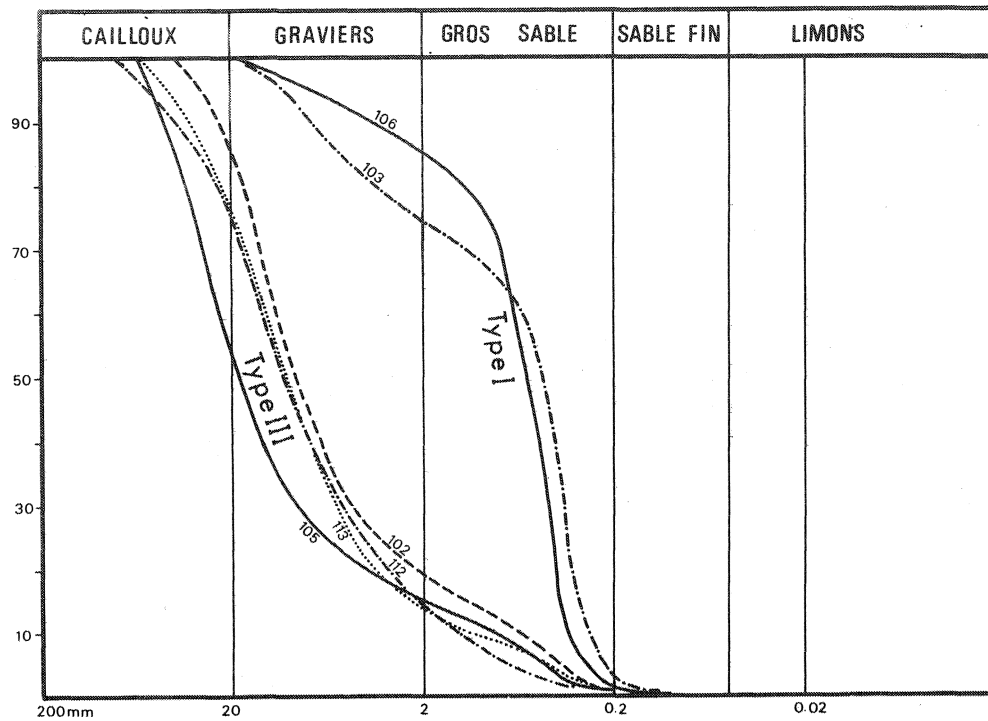


Figure 21 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe GF 100 (types I et III).

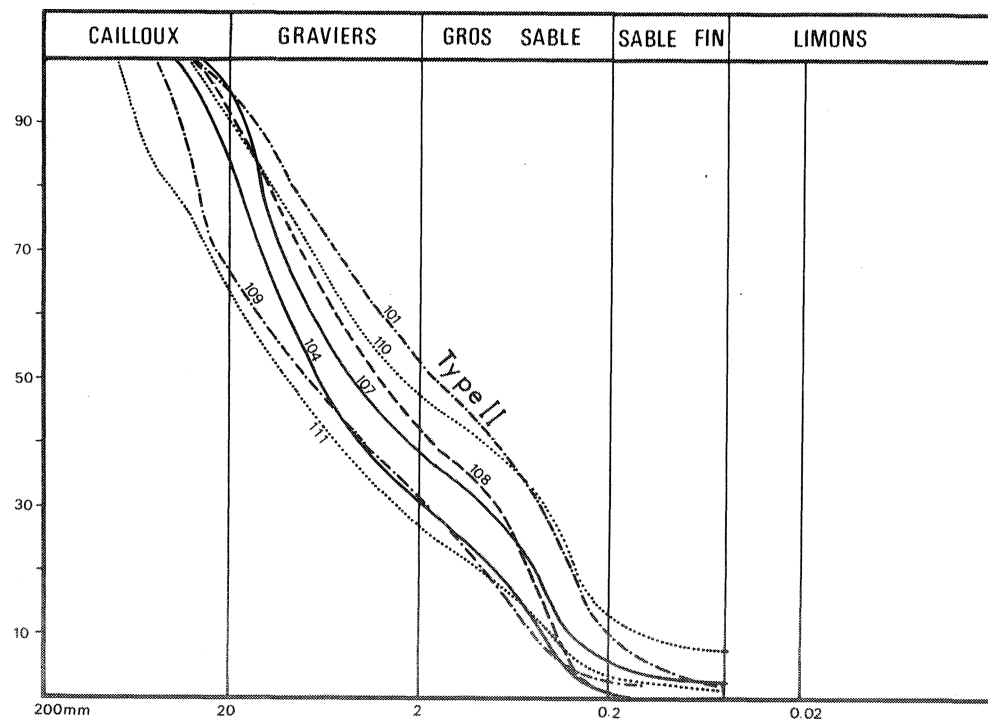


Figure 22 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe GF 100 (type II)

Cette coupe est caractérisée par :

- La faible épaisseur des sables et graviers exploitables ;
- L'importance de la découverte argilo-limoneuse ;
- La présence d'un niveau argileux brun-foncé visible sur tout le pourtour de la fouille.

e) Analyse granulométrique :

1. Les sables et graviers

Les courbes granulométriques sont présentées sur les figures 21, 22, 23, et les coefficients calculés à partir de ces courbes sont rassemblés dans les tableaux 13 et 14. Une seule analyse granulométrique a été effectuée lorsque plusieurs échantillons de couleur différente mais de granulométrie semblable ont été prélevés (GF 206 - 207 - 208).

Comme dans les gravières du Houx ou de la Moustière, les dépôts sablo-graveleux présentent les trois mêmes familles de courbes.

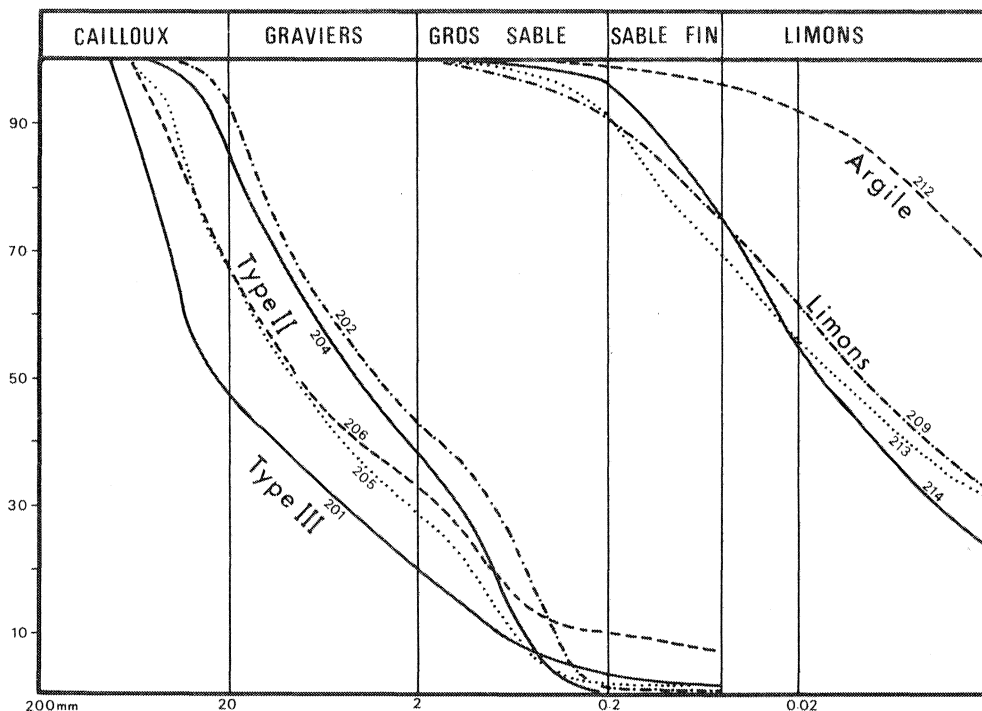


Figure 23 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe GF 200.

Type I - Courbes sigmoïdes ou à légère concavité tournée vers le bas. Elles correspondent seulement à deux échantillons (GF 103 - 106, Figure 21). Ce sont des sables grossiers ($Q_2 = 0,48$ mm et $0,55$ mm) bien classés ($S_o < 2,5$), le classement étant meilleur dans la fraction sableuse que dans la fraction graveleuse ($S_K > 1$). Ces niveaux sont peu étendus et lenticulaires.

Type II - Courbes grossièrement rectilignes (Figures 22 et 23). Elles sont très nombreuses (GF 101 - 104 - 107 - 108 - 109 - 110 - 111 - 202 - 204 - 205 - 206). Le médian varie de $1,8$ mm à 11 mm. Le classement est médiocre (S_o voisin de 4). Les dépôts donnant ce type de courbe, forment des niveaux parfois puissants et relativement continus (il est possible de les suivre sur toute la longueur d'une fouille (100 mètres). Quelques courbes

présentent une "bosse des sables". Le classement s'effectue préférentiellement dans la fraction grossière ($S_K < 1$).

Type III - Courbes à concavité tournée vers le haut (Figures 21 et 23). Elles se rapportent aux lits de graviers et galets ($Q_2 > 9$ mm) bien lavés, très imbriqués, situés à la base des coupes (GF 112 - 113 - 201), mais aussi au sommet (GF 102 - 105). Le classement de ces dépôts est très bon (S_O voisin de 2) ; toutefois il se détériore légèrement pour le niveau GF 201, les conditions de dépôts étant sans doute modifiées par les irrégularités du substratum.

FORMATIONS	ECHANTILLONS	Q_1	Q_2	Q_3	S_O	S_K
Alluvions Sablo-graveleuses grises	GF 101	0,4	1,8	8	4,47	0,99
	GF 102	3,6	9,5	16	2,11	0,64
	GF 103	0,35	0,48	2,3	2,56	3,49
	GF 104	1,3	7	16	3,51	0,42
	GF 105	7	19	32	2,14	0,62
	GF 106	0,42	0,55	0,9	1,46	1,25
	GF 107	0,7	5	13	4,31	0,36
	GF 108	0,65	3,4	11	4,11	0,62
	GF 109	1,4	8,5	29	4,55	0,56
	GF 110	0,4	2,5	11	5,24	0,70
	GF 111	1,8	11	34	4,35	0,51
	GF 112	4,2	11	20	2,18	0,69
	GF 113	4,8	10,5	21	2,09	0,91

Tableau 13 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la coupe GF 100

FORMATIONS	ECHANTILLONS	Q_1	Q_2	Q_3	S_O	S_K
Découverte Argilo-limoneuse	GF 407	0,009	0,032	0,075	2,89	0,66
	GF 406	0,009	0,027	0,070	2,79	0,86
Découverte Argilo-limoneuse	GF 310	0,004	0,021	0,044	3,32	0,40
	GF 309	0,0048	0,022	0,048	3,16	0,48
	GF 308	0,0060	0,032	0,100	4,08	0,59
Découverte Argilo-limoneuse	GF 214	0,0025	0,015	0,050	4,47	0,56
	GF 213	0,0012	0,0125	0,080	8,16	0,61
	GF 211	0,0014	0,009	0,055	6,27	0,95
	GF 209	0,0011	0,0085	0,050	6,74	0,76
Alluvions Sablo-graveleuses	GF 206	1,1	8,5	25	4,8	0,38
	GF 205	1,5	9	27	4,2	0,50
	GF 204	1	4,2	13,5	3,7	0,77
	GF 202	0,65	3,2	11	4,1	0,70
	GF 201	3,15	23	45	3,8	0,27

Tableau 14 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la coupe GF 200 et de la découverte des coupes GF 300 et GF 400.

2. La découverte argilo-limoneuse

J'ai effectué les analyses granulométriques des échantillons provenant de la découverte des coupes GF 200, 300, 400. Les courbes granulométriques sont tracées pour la fraction inférieure à 1,6 mm.

Coupe GF 200 (Figure 23 et tableau 14)

Une famille de courbes (GF 209 - 211 - 213 - 214) présente une légère concavité vers le bas. La fraction inférieure à 1,6 mm forme plus de 97 % de la masse totale de l'échantillon. Le médian est situé entre 8,5 et 15 microns. La fraction argileuse est importante et représente 30 % de la masse totale. Ces niveaux ont une texture limono-argileuse, l'indice de classement est mauvais ($S_o > 4,5$).

Le niveau argileux brun foncé (échantillon GF 212) possède une fraction argileuse très importante : 68 % d'éléments inférieurs à 2 μ .

Coupes GF 300 - 400 (Figure 24 et tableau 14)

Les courbes cumulatives sont sensiblement différentes de celles se rapportant à la coupe GF 200. A une diminution de la fraction argileuse correspond un accroissement de la fraction limoneuse grossière. Les courbes cumulatives sont plus redressées et le classement bien que médiocre ($2,8 < S_o < 4$) est nettement meilleur que celui des échantillons de limons de la coupe GF 200. Le médian varie peu ($21 \mu < Q_2 < 32 \mu$) et se situe dans la fraction limoneuse grossière.

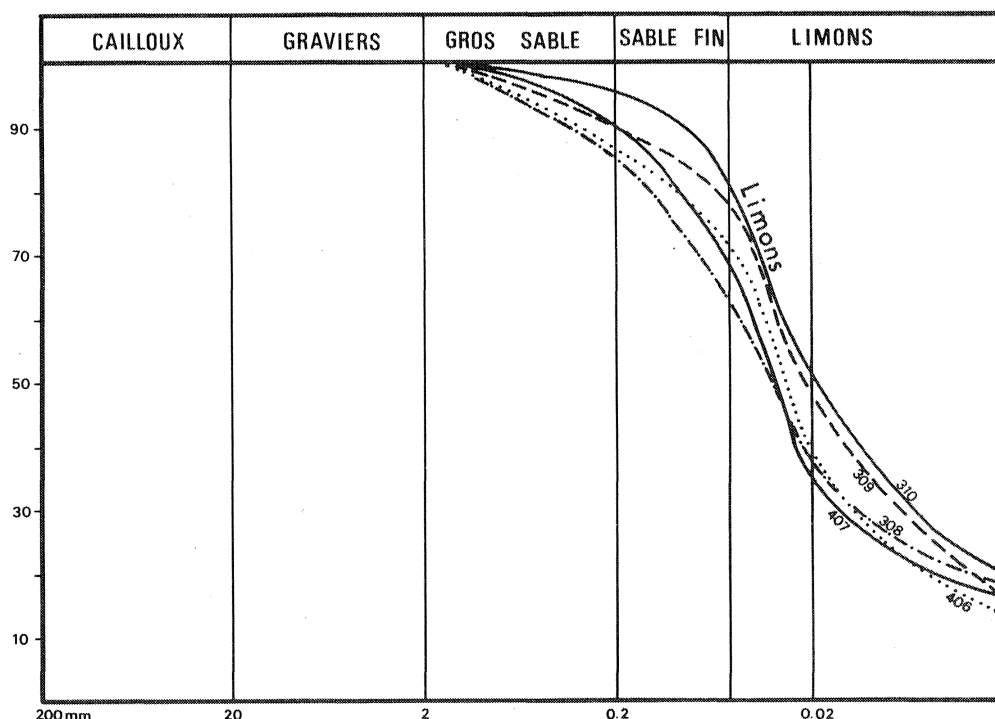


Figure 24 - Courbes granulométriques cumulatives de la découverte des coupes GF 300 et GF 400.

f) Pétrographie de la fraction graveleuse :

Les résultats, exprimés en pourcentages pondéraux selon la nature pétrographique des éléments, rassemblés dans le tableau 15 font apparaître des variations importantes dans la répartition verticale des différents constituants.

Fractions granulométriques		5 - 6,3 mm			10 - 12,5 mm			16 - 20 mm		
Nature pétrographique		Q	G	S	Q	G	S	Q	G	S
Alluvions sablo-graveleuses	GF 205	53,8	42,5	3,7	67,9	24,2	7,9	59,8	38,4	1,9
	GF 204	57,2	39,6	3,3	64,2	27,7	8,1	76,8	10,9	12,3
	GF 201	47,4	50,1	2,6	55,8	31,1	13,1	52,3	29,7	18,0
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	GF 102				80,4	18,9	0,7	85,1	14,9	
	GF 105	66,8	32,4	0,8	74,0	26,0		78,9	21,1	
	GF 107	70,4	28,8	0,9	76,8	22,8	0,4	91,3	8,7	
	GF 109	62,8	35,2	2,0	66,5	30,3	3,2			
	GF 110	49,6	42,2	8,1	65,9	32,5	1,6	90,0	10,0	
	GF 111	50,6	47,6	1,8	75,8	22	2,3			
	GF 112				68,1	31,5	0,4	85,1	14,9	
	GF 113	42,4	31,6	26	45,9	26,6	27,4	56,11	35,3	8,6

Tableau 15 - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse

(Q = quartz et quartzites, G = grès, S = schistes)

- Les plaquettes schisteuses fragiles, parfois altérées sont abondantes à la base des coupes. Elles proviennent directement du substratum sous-jacent. Leur abondance à tous les niveaux de la coupe GF 200 est vraisemblablement due à l'érosion d'éperons schisteux situés immédiatement en amont.

- Les grès sont plus nombreux que dans les gravières du Houx et de la Moustière. Aux grès provenant du Briovérien vient s'ajouter un fort pourcentage de grès pourprés cambriens bien usés, légèrement aplatis. La présence de ces derniers, absents en amont, s'explique ici par l'apport du Meu qui draine toute la partie Nord du plateau de Guichen, où ces grès sont particulièrement bien représentés, et aussi par l'action de petits ruisseaux qui descendent de la butte de Pont Réan, formée de grès pourprés, pour rejoindre la Vilaine au niveau de la Grande Feuillée. Les quartz et quartzites, s'ils sont dans l'ensemble moins importants qu'aux gravières du Houx ou de la Moustière sont toujours les éléments dominants dans la fraction graveleuse fine (5 - 6,3 mm). Ils représentent 50 % en poids des éléments. Ce pourcentage augmente sensiblement dans les niveaux supérieurs de la coupe GF 100.

g) Les minéraux argileux

L'étude minéralogique de la fraction fine a été effectuée pour tous les échantillons récoltés dans la gravière. Seuls les résultats de la coupe GF 200 sont présentés dans le tableau 16. Ils sont identiques à ceux des autres coupes de la Grande Feuillée dont la description n'est pas faite ici.

Découverte argilo-limoneuse	GF 214 GF 213	Vermiculite, kaolinite, argile micacée Chlorite <i>Interstratifiés chlorite-montmorillonite</i>	Pyrophyllite
	GF 212 (Argile)	Montmorillonite Argile micacée, kaolinite <i>Interstratifiés chlorite gonflante-montmorillonite</i>	Traces de Pyrophyllite
	GF 211	Montmorillonite Argile micacée, kaolinite <i>Chlorite gonflante</i>	Traces de pyrophyllite
	GF 210	Montmorillonite Argile micacée, kaolinite	
	GF 209	Montmorillonite <i>Traces d'argile micacée et de kaolinite</i>	Traces de pyrophyllite
Alluvions sablo-graveleuses	GF 208	Kaolinite, chlorite, argile micacée <i>Interstratifié chlorite-vermiculite</i>	Pyrophyllite
	GF 207	Argile micacée, kaolinite <i>Interstratifiés mica-chlorite et chlorite-vermiculite</i>	Traces de pyrophyllite
	GF 206	Argile micacée, kaolinite	
	GF 205	Chlorite <i>Interstratifié chlorite-vermiculite</i>	Pyrophyllite
	GF 204	Argile micacée, kaolinite	
	GF 203	Chlorite	
	GF 202	<i>Interstratifié chlorite-montmorillonite</i>	Pyrophyllite
	GF 201	Argile micacée Chlorite <i>Interstratifié chlorite-montmorillonite</i>	

Tableau 16 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la gravière de la Grande Feuillée (coupe GF 200). Les caractères utilisés montrent l'abondance relative des différents minéraux : minéraux dominants, minéraux bien représentés, *minéraux présents en faible quantité*.

Les minéraux phylliteux des sables et graviers sont constitués d'argile micacée et de kaolinite, associées à un peu de chlorite, à des édifices interstratifiés chlorite - montmorillonite ou chlorite - vermiculite et à de la pyrophyllite.

Les limons argileux bariolés (GF 209, 210, 211) ainsi que le niveau argileux brun foncé (GF 212) sont constitués de montmorillonite dominante, d'argile micacée et de kaolinite auxquelles peuvent s'ajouter la chlorite gonflante (GF 211) ou un interstratifié chlorite gonflante-montmorillonite (GF 212). La pyrophyllite est présente sous forme de traces.

Dans les limons beiges du sommet (GF 213, 214) à la vermiculite, la kaolinite et l'argile micacée, minéraux dominants, sont associés un peu de chlorite et un interstratifié chlorite-montmorillonite. La pyrophyllite est également bien représentée. Ce cortège minéralogique semble influencé par la pédogénèse actuelle, la vermiculite est en effet considérée par bon nombre d'auteurs (Camez 1962 ; Millot et Camez, 1963) ; Guyader 1967 ; Estéoule, Guyader et Touffet, 1971) comme le minéral caractéristique des sols dans nos régions.

En résumé, à la Grande Feuillée, les deux formations visibles en carrière, se distinguent nettement tant par leurs caractéristiques granulométriques que minéralogiques :

- Les sables et graviers exploités activement sont constitués par un enchevêtrement de lentilles de matériau de granulométrie différente (trois familles de courbes granulométriques). Le taux important d'éléments fragiles (grès altérés, plaquettes schisteuses, grès pourprés) va influencer sur la qualité géotechnique des matériaux. Les minéraux argileux sont une argile micacée, la kaolinite, la chlorite et une faible quantité d'interstratifiés.

- La découverte est formée de niveaux argileux et de limons de débordement. L'ensemble de ces sédiments fins a tendance à se grouper autour du pôle limon. Le cortège des minéraux argileux s'enrichit de montmorillonite dans la partie inférieure de la découverte et de vermiculite au sommet, ces deux minéraux étant toujours dominants.

4. LES CARRIÈRES DE LA HEUZARDIERE ET DE LA FRESLONNIERE

a) Situation

Ces deux carrières sont situées de part et d'autre de la route nationale 24 entre Rennes et les Landes d'Apigné (Figure 25). Le matériau extrait dans les deux carrières est identique. Il s'agit d'une formation sableuse très puissante surmontée d'une formation graveleuse. Ces deux carrières ont déjà fait l'objet de recherches antérieures (Kerforne 1917, Berthois 1946). Si tous les auteurs s'accordent pour rattacher la formation sableuse aux "sables rouges" du Pliocène et lui attribuer une origine marine, les niveaux à graviers et galets du sommet sont tantôt considérés comme le faciès de régression de la mer pliocène (Durand 1960) tantôt comme des alluvions anciennes de la Flume, rivière qui longe ces deux gisements avant de se jeter dans la Vilaine (Berthois 1946). Par ailleurs des analyses sédimentologiques de ces formations ont été effectuées dans le cadre de D.E.A. (Guillou 1966, Le Borgn' 1966).

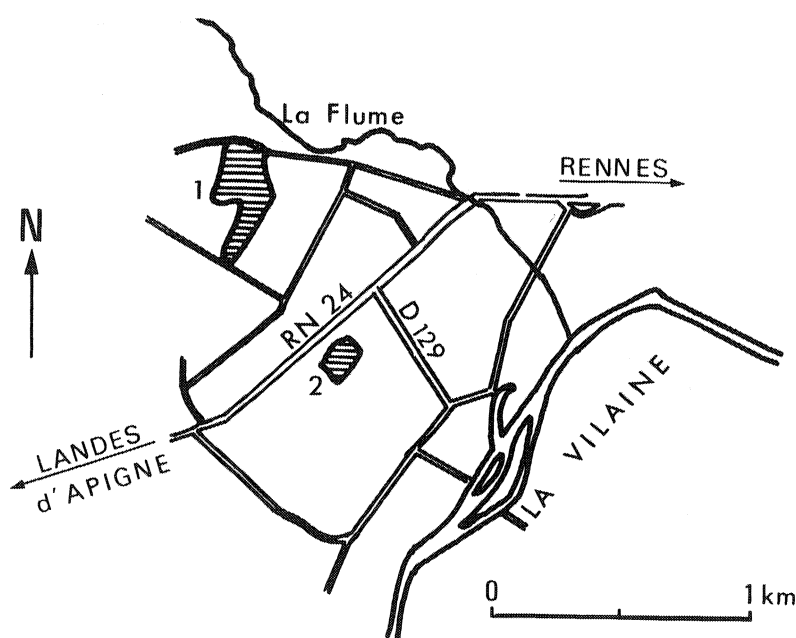


Figure 25 - Situation des carrières de la Freslonnière et de la Heuzardière.

1 = La Freslonnière. 2 = La Heuzardière.

b) La Heuzardière - Description de la coupe HEU 200 (Figure 26)

L'extraction du matériau se faisant en butte, l'observation des formations est particulièrement aisée. Le front d'extraction situé face à l'entrée de la carrière montre du sommet vers le bas :

- HEU 208 - Sous 20 cm de terre végétale, niveau homogène à sables et graviers de couleur rouge brique qui ravine les niveaux sous jacents.
- HEU 207 - Banc sablo-graveleux riche en argile bariolée ocre et jaune à limite inférieure diffuse.
- HEU 206 - Niveau graveleux riche en argile, ocre et gris. La stratification grossièrement horizontale est soulignée par les éléments les plus grossiers.
- HEU 204 - Niveaux hétérogènes de couleur rouge brique à gros graviers et cailloux stratifiés horizontalement. Des lentilles sableuses ayant une épaisseur de quelques décimètres et une longueur de quelques mètres sont intercalées dans ces niveaux.
- HEU 203 - Sables moyens, feldspathiques, à larges stratifications entrecroisées, homogènes quant à la granulométrie sur toute la hauteur de la coupe. La couleur du sable varie sensiblement, de blanchâtre à la base de la coupe (HEU 201) elle devient progressivement jaunâtre (HEU 202) puis rouge brique (HEU 203) au contact des graviers.

L'exploitation actuelle n'atteint pas la base de la formation sableuse.

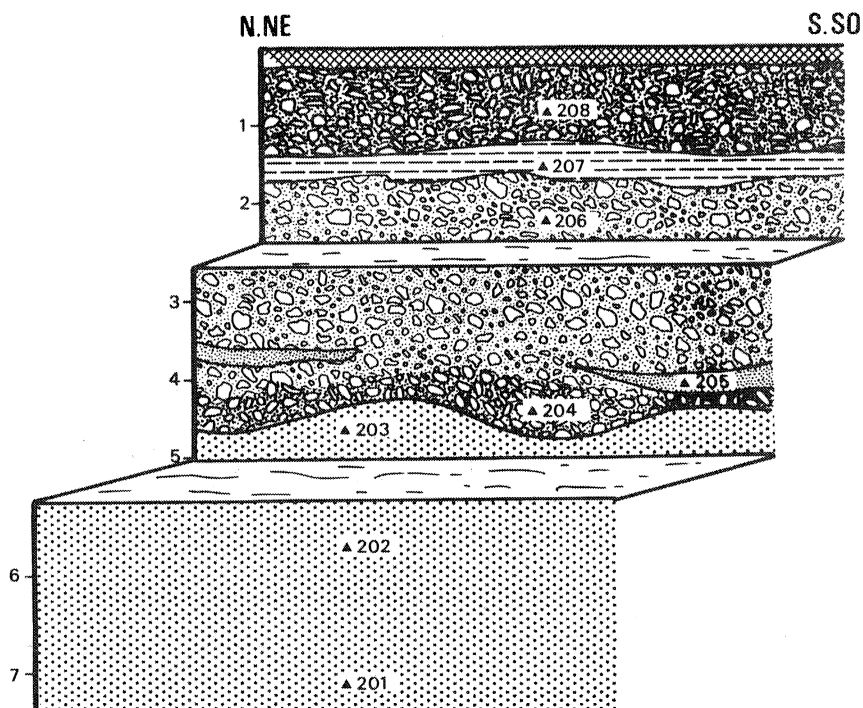


Figure 26 - La Heuzardière - Schéma de la coupe HEU 200 montrant les alluvions sablo-graveleuses rouges (HEU 204 à HEU 208) au-dessus des sables pliocènes (HEU 201 à HEU 203)

c) Description de la carrière de la Freslonnière

Les formations observées à la Freslonnière sont pratiquement identiques à celles de la Heuzardière. La carrière étant en cours de remblaiement, les fronts d'extraction visibles diminuent. Cependant il est possible de discerner partout la même superposition de formations.

Au sommet, sous une découverte limoneuse parfois importante (50 cm à 3 m), une puissante formation graveleuse grossière riche en fines, de couleur rouge brique (FRE 103) ravine par de vastes chenaux la formation sableuse sous jacente (FRE 101 et FRE 102).

La formation graveleuse (FRE 103) présente localement des hétérogénéités granulométriques : lentilles sableuses ou lits graveleux grossiers; toutefois, cette formation est plus homogène qu'à la Heuzardière. Le sable jaune pliocène (FRE 101 et FRE 102) repose sur les schistes briovériens qui sont le plus souvent très altérés en une argile blanche, bleue ou rose.

d) Analyse granulométrique

Les caractéristiques granulométriques sont rassemblées dans le tableau 17

FORMATIONS	ECHANTILLONS	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ₀	S _K
Alluvions rouge-ocre	FRE 103	0,38	2	6	3,97	0,57
Sables pliocènes	FRE 102	0,23	0,30	0,34	1,48	0,87
	FRE 101	0,30	0,34	0,37	1,11	0,96
Alluvions sablo-graveleuses rouge-ocre	HEU 208	0,65	3,8	14	4,64	0,63
	HEU 207	0,044	0,53	7	12,61	1,10
	HEU 206	0,35	2,2	9,5	5,21	0,69
	HEU 205	0,35	0,45	0,7	1,41	1,21
	HEU 204	1,1	7,5	18	4,05	0,35
Sables pliocènes	HEU 203	0,28	0,38	0,46	1,28	0,89
	HEU 202	0,28	0,36	0,42	1,22	0,91
	HEU 201	0,30	0,41	0,49	1,28	0,87

Tableau 17 - Caractéristiques granulométriques des échantillons des carrières de la Heuzardière et de la Freslonnière

- Les "sables rouges" (Figures 27 et 29)

Les analyses montrent une remarquable homogénéité granulométrique des "sables rouges". Il s'agit d'un sable grossier ($0,3 < Q_2 < 0,4$ mm), très bien classé ($1,1 < S_0 < 1,5$). Seule la teneur en fines varie d'une manière sensible et augmente régulièrement de la base vers le sommet des coupes pour atteindre 12 % (Fraction inférieure à 50 μ) de la masse totale du sable (FRE 102). L'indice d'asymétrie demeure constant et voisin de 1.

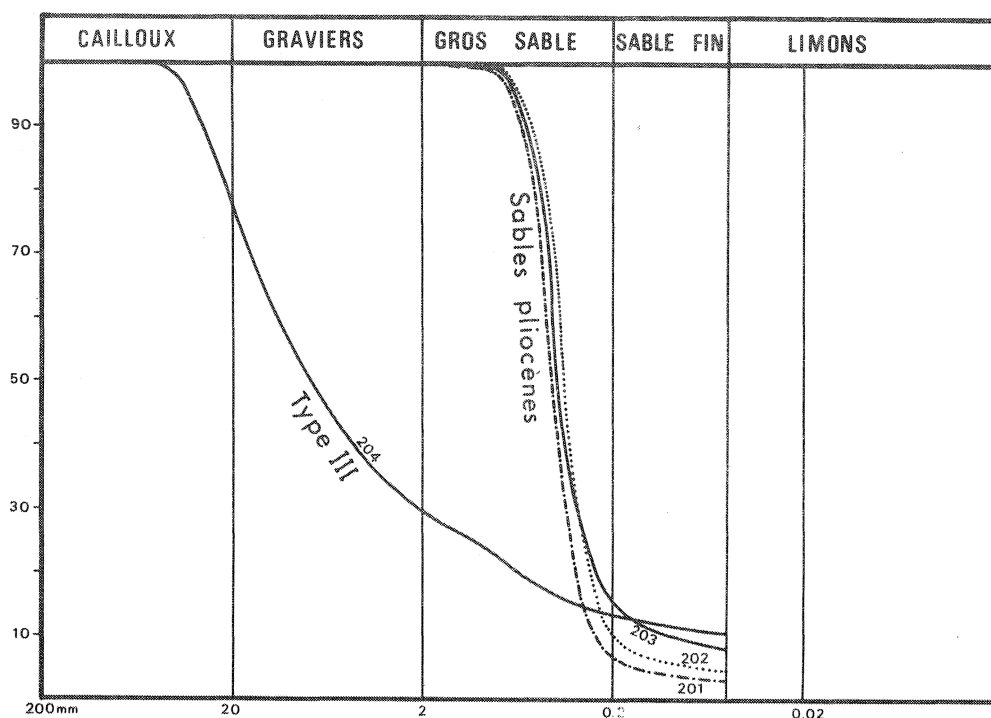


Figure 27 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe HEU 200 : sables pliocènes (HEU 201, 202, 203) et niveau inférieur des alluvions sablo-graveleuses rouges (HEU 204).

- Les graviers (Figures 27, 28 et 29)

Les échantillons des formations graveleuses présentent les trois types de courbes déjà rencontrées : des courbes à concavité tournée vers le haut (HEU 204), des courbes rectilignes (HEU 206, 207, 208 et FRE 103) présentant parfois une bosse des sables, et des courbes sigmoïdes ou à légère concavité tournée vers le bas (HEU 205). La valeur du médian varie beaucoup et se situe indifféremment dans la fraction sableuse ou graveleuse. L'indice de classement voisin de 4 ou 5 dans les niveaux graveleux se détériore nettement lorsque la fraction fine devient très importante ($S_0 = 12,6$ pour HEU 207).

e) Pétrographie de la fraction graveleuse

Les résultats exprimés en pourcentages pondéraux selon la nature pétrographique des éléments sont rassemblés dans le tableau 18.

Alluvions sablo-graveleuses rouge-ocre	Fractions granulométriques	5 - 6,3 mm			10 - 12,5 mm			16 - 20 mm		
	Nature pétrographique	Q	G	S	Q	G	S	Q	G	S
	HEU 208	85,0	15,0	-	87,4	12,6	-	95,0	5,0	-
	HEU 204	89,2	10,8	-	94,7	5,3	-	96,8	3,2	-
	FRE 103	92,0	8,0	-	94,2	5,8	-	100	-	-

Tableau 18 - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse (Q = quartz et quartzites, G = grès, S = schistes).

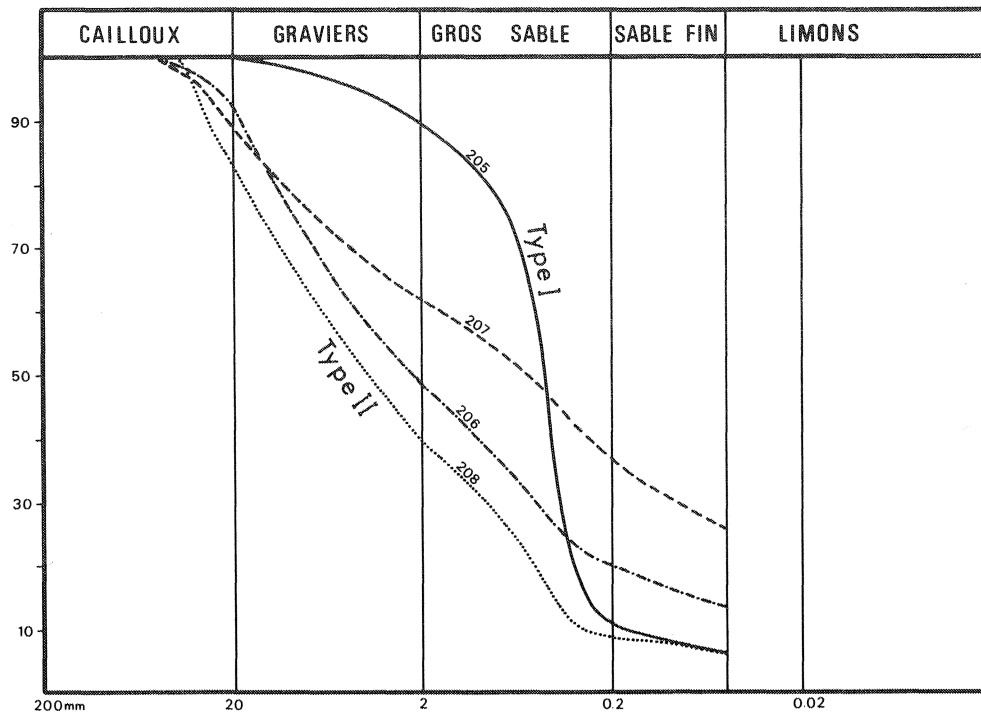


Figure 28 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe HEU 200 : alluvions sablo-graveleuses rouges.

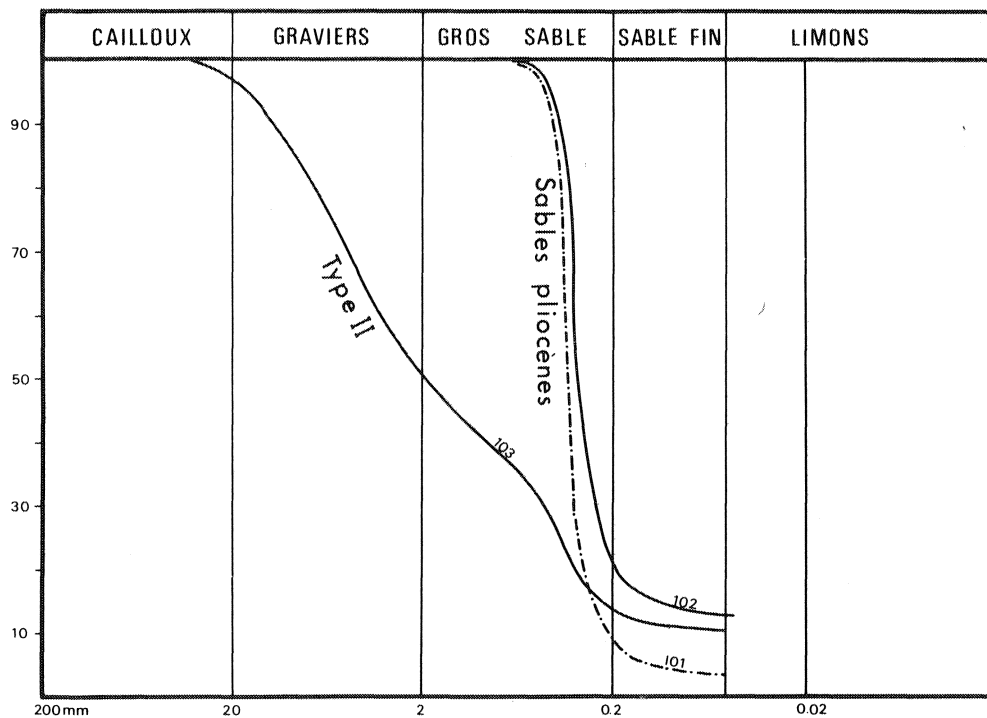


Figure 29 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la Freslonnière : sables pliocènes (FRE 101, 102) et alluvions sablo-graveleuses rouges (FRE 103).

f) Les minéraux argileux

Les résultats de l'étude des argiles de la Heuzardière sont consignés dans le tableau 19.

Kaolinite et argile micacée en proportions équivalentes dominent dans les sables pliocènes. Les autres minéraux argileux sont la vermiculite et un édifice interstratifié mica-vermiculite qui apparaissent seulement dans la partie supérieure des sables caractérisée par des couleurs vives (jaune et rouge brique) et une teneur en fines plus élevée.

Tous les niveaux alluvionnaires sablo-graveleux ont le même cortège : kaolinite, argile micacée et un peu de vermiculite. Au sommet de la coupe (HEU 208), la vermiculite devient plus abondante et est associée à une faible quantité d'un édifice interstratifié mica-vermiculite.

Alluvions sablo-graveleuses rouge-ocre	HEU 208	Kaolinite Argile micacée, vermiculite <i>Interstratifié mica-vermiculite</i>	(Lépidocrocite)
	HEU 207	Kaolinite Argile micacée <i>Vermiculite</i>	
	HEU 205	Kaolinite, argile micacée Vermiculite	
	HEU 204	Kaolinite Argile micacée <i>Vermiculite</i>	
Sables pliocènes	HEU 203	Kaolinite Argile micacée <i>Vermiculite, interstratifié mica-vermiculite</i>	
	HEU 202	Kaolinite, argile micacée <i>Vermiculite</i>	
	HEU 201	Kaolinite, argile micacée	

Tableau 19 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la Heuzardière. Les caractères utilisés montrent l'abondance relative des différents minéraux : minéraux dominants, minéraux bien représentés, *minéraux présents en faible quantité*.

En résumé, l'étude des carrières de la Heuzardière et de la Freslonnière, permet de préciser les caractéristiques de deux formations : les sables pliocènes et les graviers fluviatiles qui les surmontent.

Les sables pliocènes sont semblables à ceux étudiés à la gravière du Houx. Ce sont des sables grossiers très bien classés contenant une faible proportion de feldspaths et de micas, homogènes sur une grande épaisseur, fortement altérés dans leur partie supérieure. Cette altération se traduit par une rubéfaction, une augmentation de la teneur en particules fines et l'apparition de la vermiculite et d'un édifice interstratifié mica-vermiculite dans le cortège des minéraux argileux.

La formation graveleuse qui surmonte les sables présente tous les caractères des dépôts alluviaux étudiés dans la vallée de la Vilaine. Il faut toutefois noter la teneur en fines relativement importante de certains niveaux (25 % d'éléments inférieurs à 50 μ dans HEU 207).

III. LES ALLUVIONS DE LA VILAINE DANS LES SYNCLINAUX DU SUD DE RENNES

Au niveau de l'agglomération de Pont-Réan, la Vilaine prend sur une faible distance une direction Ouest-Est avant de s'engager, selon une orientation Nord-Sud, dans les cluses creusées à travers les formations hercyniennes. A partir du Boël, la vallée qui s'est considérablement rétrécie présente des flancs abrupts. Le fleuve dépose très peu d'alluvions pendant la traversée des formations gréseuses (schistes pourprés et grès armoricain), puis sur les formations schisteuses (schistes d'Angers et schistes de Riadan), il décrit quelques méandres plus favorables aux dépôts d'alluvions. Sans être très étendus, ces dépôts présentent dans la région de Bourg-des-Comptes, un intérêt économique local certain. Deux gravières situées près des lieux-dits la Courbe et le Mortier ont été étudiées dans le cadre de ce travail (Figure 30).

1. LA GRAVIERE DE LA COURBE :

a) Situation

Une série de fouilles localisées sur la rive convexe d'un méandre, ont été ouvertes de part et d'autre du chemin reliant la Courbe à Glanret et permettent d'observer le matériau alluvionnaire en place. Plutôt que de décrire toutes les coupes étudiées, j'ai préféré établir une coupe synthétique montrant les différents faciès observés sur le terrain. Cette coupe orientée Est-Ouest est perpendiculaire au fleuve.

La puissance des graviers qui atteint 4 mètres aux abords immédiats du lit actuel du fleuve n'est plus que de 1 mètre environ à 100 mètres de celui-ci. Les schistes de Riadan constituent le substratum qui affleure très vite quand on s'éloigne du fleuve. La rive concave est formée d'une falaise abrupte qui surplombe la Vilaine d'environ 15 mètres (Figure 31)

b) Description des faciès sédimentologiques (Figure 31)

L'ensemble des caractéristiques granulométriques est présenté dans le tableau 20. et les courbes granulométriques cumulatives rassemblées sur la figure 32.

FORMATIONS	ECHANTILLONS	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ₀	S _K
Colluvions de couleur brun-ocre	COU 203	0,023	0,42	4	13,18	0,52
	COU 202	0,021	0,40	2,3	10,46	0,30
Alluvions sablo- graveleuses grises	COU 200	1	7	16	4	0,33
	COU 303	0,2	0,32	0,50	1,58	0,98
	COU 102	0,023	0,044	0,080	1,86	0,95
	COU 401	1,4	8,5	24	4,14	0,46

Tableau 20 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la gravière de la Courbe.

Figure 30 - Situation des gravières de la Courbe et du Mortier.

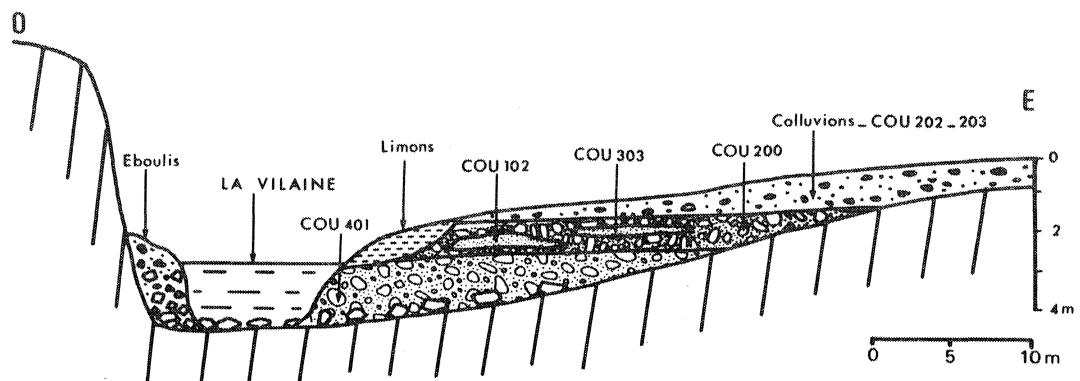
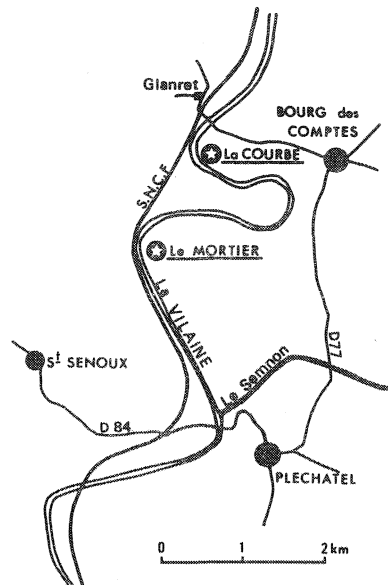


Figure 31 - Coupe schématique du méandre de la Courbe : les alluvions sablo-graveleuses déposées sur la rive convexe sont surmontées par des colluvions (COU 202 - 203); les limons de débordement très peu étendus sont situés en bordure du lit actuel.

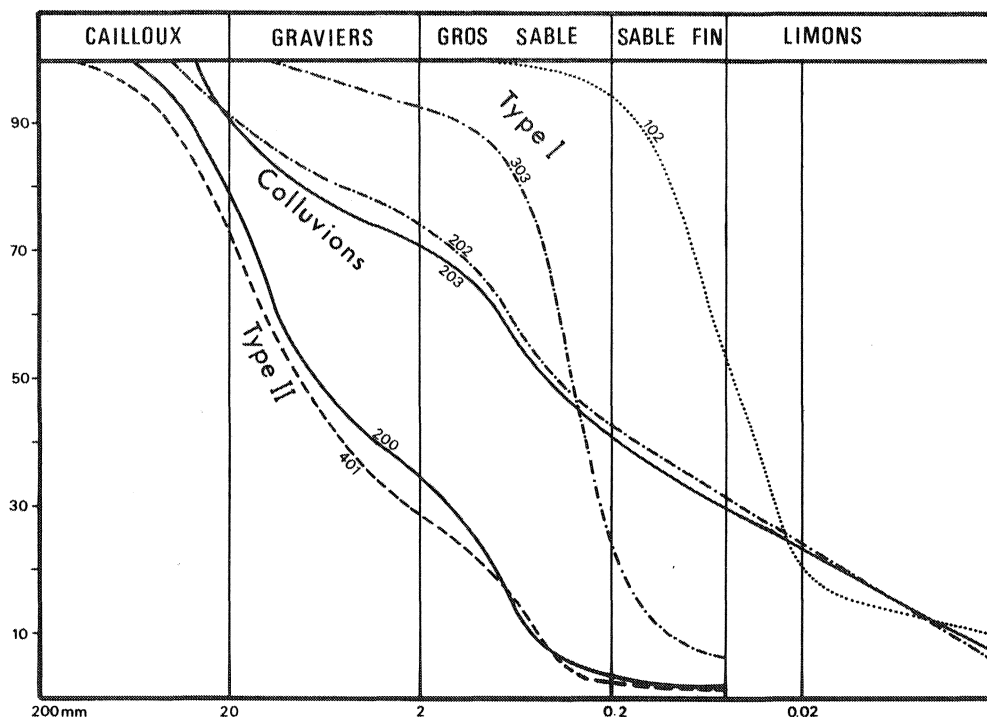


Figure 32 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la gravière de la Courbe : dépôt grossier de base (COU 401), sables et graviers (COU 200), lentilles sablo-limoneuses (COU 102 - 303), colluvions (COU 202 - 203).

Les colluvions

Une formation très hétérogène (COU 202 - 203) de couleur brun-ocre, riche en graviers roulés à sa base surmonte les sables et graviers gris. Son épaisseur qui est de 1 mètre au début de la coupe (COU 202 - 203) diminue régulièrement en formant un biseau qui se termine à proximité du fleuve. Cette formation qui apparaît constituée d'un mélange de limons (30 %) de sables (40 %) et de graviers (30 %), possède un très mauvais classement ($S_o > 10$). Sa fraction graveleuse importante et son mauvais classement permettent de la distinguer aisément des limons de débordement observés dans le bassin de Rennes.

Les sables et graviers (COU 200) :

Les sables et graviers gris forment une unité relativement homogène d'une puissance maximale de 3 mètres. Ce niveau est constitué d'une alternance de lits, à dominance sableuse ou graveleuse, aux limites diffuses, parfois affectés de stratification entrecroisées. La courbe granulométrique grossièrement rectiligne (type II), présente une bosse nette dans la fraction sableuse grossière (Figure 32). Le classement médiocre ($S_o = 4$) s'effectue surtout dans la fraction graveleuse ($S_K = 0,33$).

Les lentilles sableuses (COU 303) ou sablo-limoneuses (COU 102) :

Ces lentilles sableuses intercalées dans les graviers présentent des courbes cumulatives sigmoïdes (type I). Le classement ($S_o < 2$) est bien meilleur que dans la formation sablo-graveleuse. L'indice d'asymétrie S_K est voisin de l'unité. La mise en place de ces niveaux fins très bien classés, intercalés dans les graviers observés ici pour la première fois, sera étudiée dans la troisième partie.

La formation de base (COU 401)

La formation de base possède une forte proportion d'éléments grossiers (cailloux : 30 %). La courbe cumulative grossièrement rectiligne présente une légère bosse au niveau des sables (type II). Le classement est médiocre ($S_o > 4$) et s'effectue surtout dans la fraction grossière ($S_K = 0,46$). Ce niveau grossier contient quelques blocs de grès pourprés et de grès armoricain laissés sur place lors de l'extraction des graviers.

En bordure de la route qui relie Bourg-des-Comptes à Glanret, à 300 mètres de la Vilaine, affleure une formation graveleuse marmorisée rouge et grise, indurée, très hétérogène, contenant une forte proportion de cailloux et de blocs. Ce dépôt par son aspect et sa position au-dessus des alluvions grises est à rapprocher des formations rouges déjà observées à Châteaubourg, Saint Melaine et Brécé.

c) Les minéraux lourds

Les comptages des minéraux lourds ont été faits pour les sables et graviers de la Courbe ainsi que pour les colluvions qui les surmontent. Les résultats sont rassemblés dans la tableau 21.

Formations	Echantillons	Classes granulométriques	Zircon	Rutile	Anatase-Brookite Sphène-Corindon	Tourmaline	Staurotide	Andalousite	Grenat-Sillimanite Disthène	Epidote	Zoïsite-Clinozoïsite	Hornblende	Opakes Transparents	Altérés	% pondéral des minéraux lourds
Colluvions	COU 203	β	0,9	6,8	-	24,7	40,9	17	6,9	2,6	-	0,4	625	4	0,61
		γ	32,8	3,1	3,1	23,4	5,4	7,8	4,6	15,6	-	3,8	1092	6,2	1,61
	COU 202	β	-	5,1	-	35,8	27	24,8	5,8	1,5	-	-	740	5,1	1
Graviers gris	COU 200	γ	26,1	13	1,8	23,6	14,3	11,8	4,3	3,7	1,2	-	1397	2,5	3,83
		β	0,7	3,7	-	23,7	37,8	23,7	8,9	0,7	-	0,7	556	4,4	0,96

Tableau 21 - Minéraux lourds de la gravière de la Courbe.

Par rapport aux sables et graviers, les colluvions présentent une légère augmentation du taux de zircon ; il en est de même pour les minéraux de la famille de l'épidote dans la fraction γ et pour la tourmaline dans la fraction β. Les minéraux de métamorphisme dominant nettement et représentent plus de 50 % du cortège de la fraction β. La richesse relative des sables en minéraux lourds est surtout due à la grande proportion de minéraux opaques.

d) Les minéraux argileux (Tableau 22)

Les colluvions de couleur brun-ocre ont dans la partie inférieure, un cortège minéralogique identique à celui des sables et il faut noter la présence de chlorite et d'un édifice interstratifié mica-vermiculite. A ces minéraux, il faut ajouter la vermiculite qui apparaît dans la partie superficielle des colluvions.

Dans les sables et graviers gris, la chlorite est bien représentée aux côtés de la kaolinite et d'une argile micacée d'importance sensiblement égale. La pyrophyllite est présente en petites quantités.

Les minéraux argileux de la formation rouge observée près de Glanret sont ceux rencontrés dans les formations équivalentes à l'Est de Rennes (Châteaubourg, Saint Melaine, Brécé) l'argile micacée et la kaolinite en quantités égales sont associées à la vermiculite et à un édifice interstratifié mica-vermiculite. Comme dans ces formations, l'absence de chlorite est à noter.

Colluvions de couleur brun-ocre	COU 203	Kaolinite, argile micacée Vermiculite <i>Traces de chlorite et d'interstratifiés</i>	<i>Traces de pyrophyllite</i>
	COU 202	Kaolinite, argile micacée Chlorite <i>Interstratifié mica-vermiculite</i>	<i>Traces de pyrophyllite</i>
Alluvions sablo-graveleuses grises	COU 201	Kaolinite, argile micacée Chlorite <i>Traces d'interstratifiés</i>	<i>Pyrophyllite</i>
Alluvions grossières rouges	GLANRET	Kaolinite, argile micacée Vermiculite <i>Interstratifié mica-vermiculite</i>	(Lepidocrocite)

Tableau 22 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la Courbe. Les caractères utilisés montrent l'abondance relative des différents minéraux : minéraux dominants, minéraux bien représentés, minéraux présents en faible quantité.

2. LA GRAVIERE DU MORTIER

a) Situation (Figure 30)

Cette carrière située à environ 1,5 km au Sud-Ouest de Bourg-des-Comptes, près du lieu-dit Le Mortier a été ouverte sur la rive convexe d'un des méandres de la Vilaine. L'extraction des graves se faisant en butte entièrement hors d'eau, leur observation est particulièrement aisée.

La coupe étudiée située approximativement au centre d'un méandre, est perpendiculaire au lit du fleuve actuel. La largeur du lit majeur n'excède pas 100 mètres ; ses limites sont sur la rive concave une falaise rocheuse abrupte et sur la rive convexe une rupture de pente importante située à la limite de la zone d'extraction des graviers. La hauteur maximale des sables et graviers exploités atteint 6 à 7 mètres.

b) Description des faciès sédimentologiques (Figure 33)

Les courbes granulométriques cumulatives sont présentées sur la figure 34 et les indices calculés à partir de ces courbes rassemblés dans le tableau 23.

FORMATIONS	ECHANTILLONS	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ₀	S _K
Colluvions	MOR 105	0,08	0,33	2	5	1,47
Graviers	MOR 102	0,95	5,5	14	3,84	0,44
	MOR 103	0,6	3,6	20	5,77	0,93
Faciès à chenaux imbriqués	MOR 1	0,17	0,2	0,235	1,2	1
	MOR 2	0,008	0,039	0,070	3	0,37
	MOR 3	0,115	0,160	0,2	1,3	0,9
	MOR 4	0,32	0,4	0,5	1,25	1
	MOR 5	0,19	0,3	0,48	1,6	1

Tableau 23 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la gravière du Mortier.

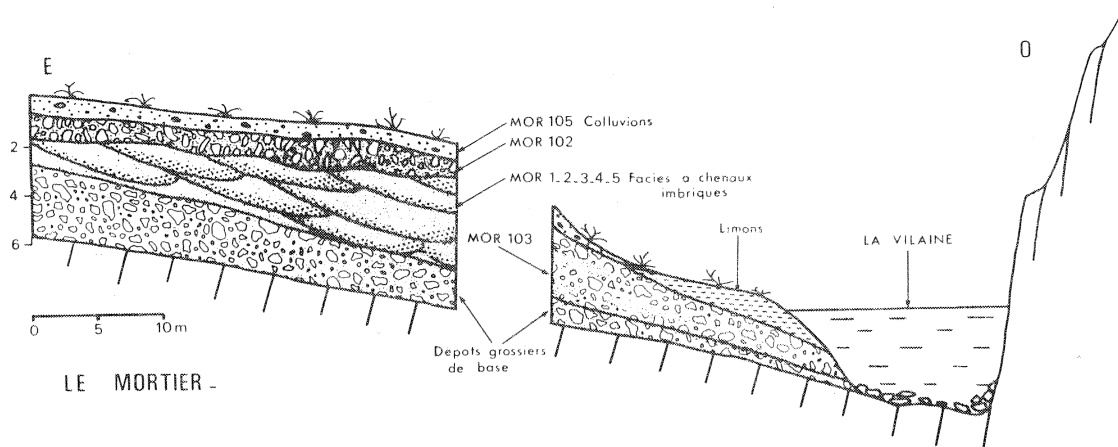


Figure 33 - Coupe schématique du méandre du Mortier montrant les dépôts grossiers de base, le faciès à chenaux imbriqués qui passe latéralement et verticalement à des sables et graviers plus ou moins grossiers, les colluvions dans la partie haute du méandre et les limons de débordement en bordure du fleuve.

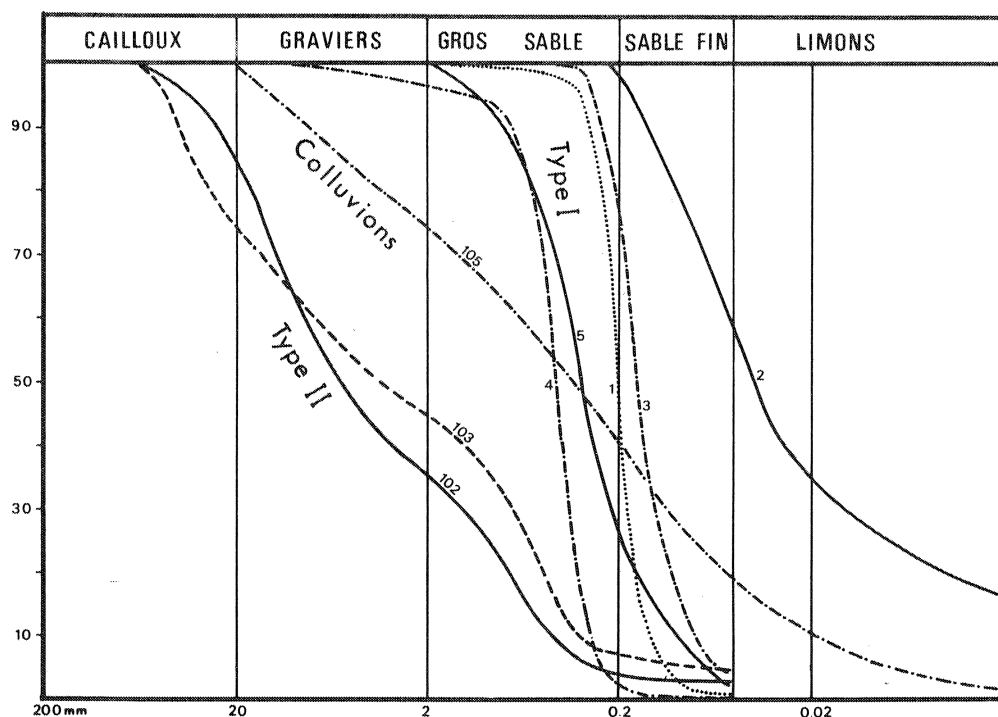


Figure 34 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la gravière du Mortier : alluvions sablo-graveleuses (MOR 102 - 103), sables et limons des chenaux (MOR 1 - 2 - 3 - 4 - 5), colluvions (MOR 105).

Du sommet de la coupe vers la base, quatre formations peuvent être distinguées.

Les colluvions (MOR 105)

Il s'agit d'un niveau de couleur brun-ocre très hétérogène, à sables et graviers bien roulés noyés dans une matrice limoneuse abondante. L'importance des éléments grossiers croît vers la base. Ces dépôts recouvrent les sables et graviers sous-jacents sur toute la longueur de la coupe, quelque soit le niveau topographique. Leur épaisseur qui est de 0,40 mètre au sommet de la gravière atteint 0,80 mètre en bas de pente.

Par son aspect, sa granulométrie, son mauvais classement ($S_o = 5$), cette formation de surface est à rapprocher des colluvions rencontrées à la Courbe.

Sables, graviers et galets gris grossièrement stratifiés horizontalement (MOR 102)

Ce dépôt ravine toutes les formations sous jacentes. Sa limite inférieure assez nette est soulignée localement par un fort pourcentage d'éléments grossiers bien lavés.

Bien qu'ayant un classement médiocre ($S_o = 3,8$), ce niveau se rapproche par son aspect et sa forte teneur en graviers bien lavés, des dépôts présentant une courbe de type III.

Faciès à chenaux imbrigués (MOR 1, 2, 3, 4, 5)

Ce niveau en biseau a une puissance de 3,5 mètres du côté concave, et de 1 mètre du côté convexe. Il est formé d'un empilement de chenaux remplis de sédiments fins. Chacun de ces chenaux a une largeur de 5 à 10 mètres et une hauteur de 0,5 à 1 mètre environ. Ils ont en coupe une forme très dissymétrique : le côté concave raviné par le chenal sus-jacent présente une pente abrupte tandis que le côté convexe mieux développé présente une légère pente vers le lit du fleuve. Le fond du chenal est tapissé d'un lit de graviers bien lavés. Les sédiments déposés dans ces chenaux se distinguent nettement des niveaux encaissants. Dans ces derniers, les gros graviers et les cailloux forment une part importante du sédiment, tandis que les dépôts de chenaux sont essentiellement constitués de sables grossiers, de sables fins et de limons (MOR 1, 2, 3, 4, 5). Dans chaque chenal existe un granoclassement horizontal, les éléments les plus grossiers (sables grossiers et petits graviers) étant situés du côté concave et les plus fins (limons et sables fins) du côté convexe. Quelle que soit la granulométrie des sables, le classement est toujours très bon ($1,2 < S_o < 1,6$). Dans les lits de granulométrie plus fine, riches en argile (16 %), fréquemment rencontrés du côté convexe du chenal (MOR 2), le classement se détériore ($S_o = 3$) et s'effectue préférentiellement dans la fraction grossière ($S_K = 0,37$). Les courbes granulométriques cumulatives sont toutes du type I.

Le front d'extraction avançant régulièrement, j'ai pu constater que ce faciès à chenaux imbrigués n'est pas toujours aussi bien développé. Il peut passer latéralement à des dépôts plus grossiers à graviers, cailloux et lentilles sableuses intercalées qui entraînent l'apparition d'une "bosse des sables" sur la courbe cumulative de type II, (MOR 103). Le classement est mauvais ($S_o = 5,77$).

Dépôts grossiers de base

Ces dépôts constitués de blocs, de cailloux, de graviers et d'un peu de sable ont une épaisseur, de 3 mètres du côté convexe du méandre, qui décroît en allant vers le fleuve pour n'atteindre plus que 1 mètre à la limite du lit majeur.

Etant donné la dimension importante des cailloux et des blocs, il a été impossible d'effectuer une analyse granulométrique de ces dépôts. Les cailloux et les blocs présentent des arêtes vives et parfois on trouve quelques blocs de schiste profondément fracturés et peu cohérents. Ces derniers qui manifestement n'ont subi aucun transport proviennent directement de la falaise de la rive concave et les autres proviennent des séries paléozoïques traversées immédiatement en amont (grès pourprés, grès armoricains et grès du Chatellier, schistes d'Angers et de Riadan).

c) Pétrographie de la fraction graveleuse des gravières de la Courbe et du Mortier :

Les résultats des pourcentages pondéraux selon la nature pétrographique des constituants sont rassemblés dans le tableau 24.

Fractions granulométriques	5 - 6,3 mm			10 - 12,5 mm			16 - 20 mm		
Nature pétrographique	Q	G	S	Q	G	S	Q	G	S
COU 200	55,8	31,4	12,8	62,7	32,0	5,3	76,5	17,2	6,3
COU 401	52,0	34,3	13,7	59,9	33,1	7,0	70,2	26,6	3,1
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
MOR 102				56,7	30,5	12,8	48,6	41,5	10,0
MOR 103	53,9	38,2	7,9	63,8	26,6	9,6	77,2	18	4,8

Tableau 24 - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse.

(Q = quartz et quartzites, G = grès, S = schistes)

Il apparaît que le quartz est l'élément dominant de la fraction graveleuse. Il est plus abondant dans la fraction graveleuse grossière et passe de 52 % dans la fraction 5 - 6,3 mm à 77 % dans la fraction 16 - 20 mm. Les quartz sont le plus souvent blancs laiteux, bleutés ou roses, peu roulés et présentent de nombreuses vacuoles. Quelques uns au contraire très arrondis, montrent qu'ils ont subi une usure importante. Cette usure n'est pas due à l'action du fleuve, mais elle est antérieure ; ce sont vraisemblablement des éléments remaniés provenant des poudingues de Gourin ou de Montfort.

A l'inverse des quartz, les grès sont plus abondants dans les fractions graveleuses fines. Toutefois, l'échantillon MOR 103 prélevé dans la partie médiane de la coupe présente un pourcentage très élevé de grès dans la fraction grossière. Les gros éléments ont une origine locale ; ils proviennent d'éboulis de pente qui ont été repris par le fleuve.

Les schistes forment 13 % de la fraction 5 - 6,3 mm. Leur faible résistance à l'usure explique leur présence plus importante dans les petites dimensions. L'apport des schistes est assuré par le fleuve lui-même, mais aussi par plusieurs ruisseaux de faible importance qui sillonnent les schistes paléozoïques (schistes d'Angers et schistes de Riadan).

En résumé, l'étude des gravières de la Courbe et du Mortier montre que, dans la région de Bourg-des-Comptes, l'hétérogénéité des alluvions est plus accentuée que dans le bassin de Rennes. Les lits de graviers et galets bien lavés toujours présents à la base des coupes dans le bassin de Rennes, sont remplacés par des dépôts grossiers de base. De plus, un niveau colluvial d'épaisseur variable surmonte les sables et graviers. Les limons de débordement bien développés dans le bassin de Rennes, forment ici un dépôt peu important dont l'extension est limitée à quelques mètres en bordure du lit du fleuve.

Toutes ces variations témoignent de conditions de dépôts sensiblement différentes de celles qui ont régné dans le bassin de Rennes. Elles seront envisagées dans la troisième partie.

IV. LES ALLUVIONS DE LA VILAINE DANS LE REGION DE LANGON

Après avoir traversé les formations du Briovérien dans la région de Messac, la Vilaine rencontre à nouveau les formations paléozoïques au sud de Guipry. A cet endroit, la vallée est étroite et les versants abrupts. Toutefois, à partir de Port-de-Roche, le lit majeur s'élargit nettement dans le bassin de Langon. Dans ce bassin, les dépôts alluviaux puissants reposent sur les formations paléozoïques et surtout sur les formations tertiaires. Les alluvions sablo-graveleuses grossières sont surmontées par des limons dont l'épaisseur atteint fréquemment 2 mètres. Ces gisements sont situés à la limite nord de la zone d'influence des plus grandes marées.

1. LA CARRIERE DE PORT-DE-ROCHE :

a) Situation (Figure 35)

Cette carrière se trouve sur la rive droite de la Vilaine au sud du lieu-dit Port-de-Roche en bordure de la route qui relie cette localité à Langon. Elle contient des sables et graviers attribués au Pliocène (feuille de Redon au 1/80 000 3ème édition). Ces dépôts sont situés sur un versant relativement abrupt de la vallée et dominent la plaine alluviale de plus de 10 mètres.

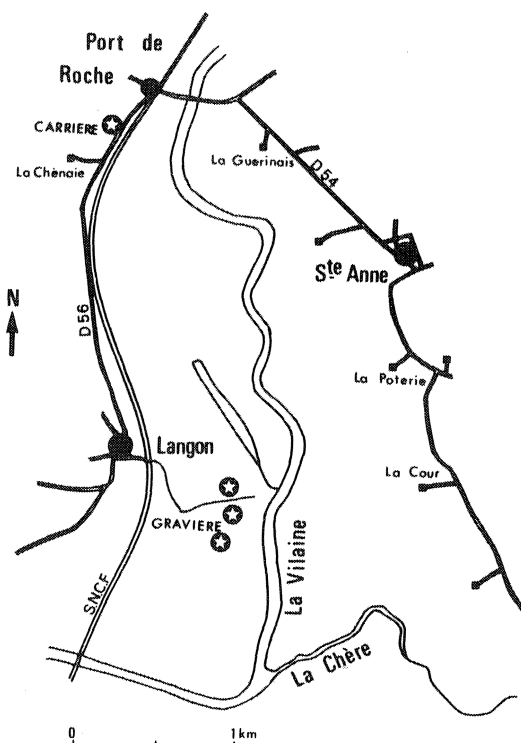


Figure 35 - Situation de la carrière de Port-de-Roche

b) Description des coupes :

Les échantillons ont été prélevés sur deux fronts d'extraction actuellement abandonnés. Le premier orienté Nord-Sud (coupe PdR 200) assez bien conservé, permet de distinguer nettement les différentes formations. Le second orienté Est-Ouest (coupe PdR 100) est par contre partiellement masqué par la végétation et des éboulis. Son étude permet de mieux saisir les variations des caractéristiques des formations sablo-graveleuses.

Front d'extraction orienté Nord-Sud (Figure 36)

- PdR 205 - Limons gris clair contenant quelques graviers et cailloux.
 PdR 204 - Argiles sableuses marmorisées rouges et grises avec trainées argileuses verticales grises.
 PdR 203 - Limons sableux ocre bariolé.
 PdR 202 - Zone graveleuse rouge à lits sableux et niveaux graveleux noirs (hydroxydes de manganèse).
 PdR 201 - Sables grossiers feldspathiques et micacés jaunes à stratifications entrecroisées.

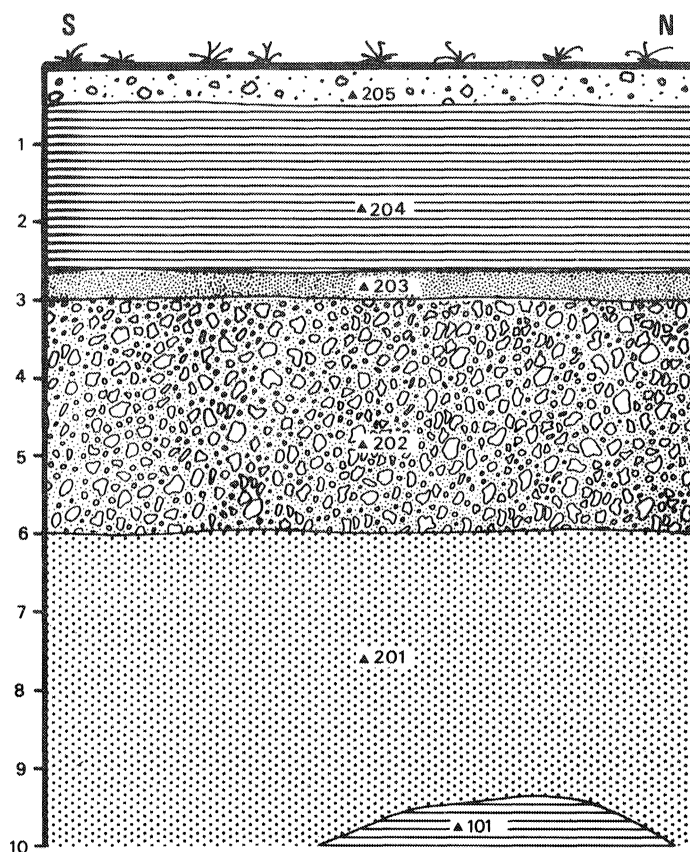


Figure 36 - Coupe schématique de la carrière de Port-de-Roche montrant la succession des formations : argile oligocène (PdR 101), sables pliocènes (PdR 201), alluvions sablo-graveleuses rouges (PdR 202 - 203), niveau argileux bariolé (PdR 204) et colluvions (PdR 205).

Front d'extraction orienté Est-Ouest

Ce front d'extraction abandonné depuis longtemps est masqué partiellement par des éboulis.

- PdR 109 - Limons gris clair à graviers et cailloux anguleux, identiques à ceux du niveau PdR 205.
 PdR 108 - Limons argileux jaune ocre, masqués par des éboulis à leur partie inférieure.

- PdR 107 - Sables et graviers jaune ocre.
 PdR 106 - Lit de graviers enrobés d'oxydes de manganèse.
 PdR 105 - Sables et graviers jaune ocre, recouverts d'éboulis à leur base.
 PdR 104 - Sables, graviers et galets gris très bien lavés à stratifications obliques.
 PdR 103 - Sables et graviers gris à stratifications obliques. Lit caillouteux à la base de ce niveau.
 PdR 102 - Sables grossiers jaunes à stratifications entrecroisées semblables à ceux de PdR 201.
 PdR 101 - Affleurement d'argile verte.

c) Analyse granulométrique :

Les caractéristiques granulométriques sont rassemblées dans le tableau 25 et les courbes cumulatives sont présentées sur les figures 37 et 38.

FORMATIONS	ECHANTILLONS	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ₀	S _K
Colluvions	PdR 205	0,020	0,095	2,4	11	5,32
Argiles, sables et graviers rouges	PdR 204		0,018			
	PdR 203	0,024	0,042	0,078	1,8	1,06
	PdR 202	1	6,5	23	4,8	0,54
Sables pliocènes	PdR 201	0,4	0,53	0,65	1,27	0,93
Alluvions sablo-graveleuses jaune-ocre au sommet, grises à la base	PdR 108		0,0018			
	PdR 107	0,078	0,5	4,4	7,51	1,37
	PdR 105	0,4	1,5	9,5	4,87	1,69
	PdR 104	3	9	18	2,45	0,67
	PdR 103	0,75	2,1	7	3	1,19

Tableau 25 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la carrière de Port de Roche.

Les horizons gris de surface (PdR 205 - PdR 109) sont formés de limons, sables et graviers. L'indice de classement très élevé $S_0 = 11$ montre qu'il s'agit d'un matériau très mal trié. Les fractions grossières comportent des éléments anguleux et des éléments roulés. Ce sont des colluvions qui reprennent des éboulis et des alluvions.

Le puissant horizon marmorisé rouge et gris (PdR 204) est caractérisé par sa teneur en argile (40 %) et l'absence de limons. Il est à rapprocher du niveau PdR 108 qui a également une teneur en argile importante (51 %), toutefois, dans ce dernier la fraction limoneuse est bien représentée (34 %). La couleur rouge est due aux enrobements ferri-argileux. Le fort pourcentage d'argile, la structure prismatique soulignée par les trainées

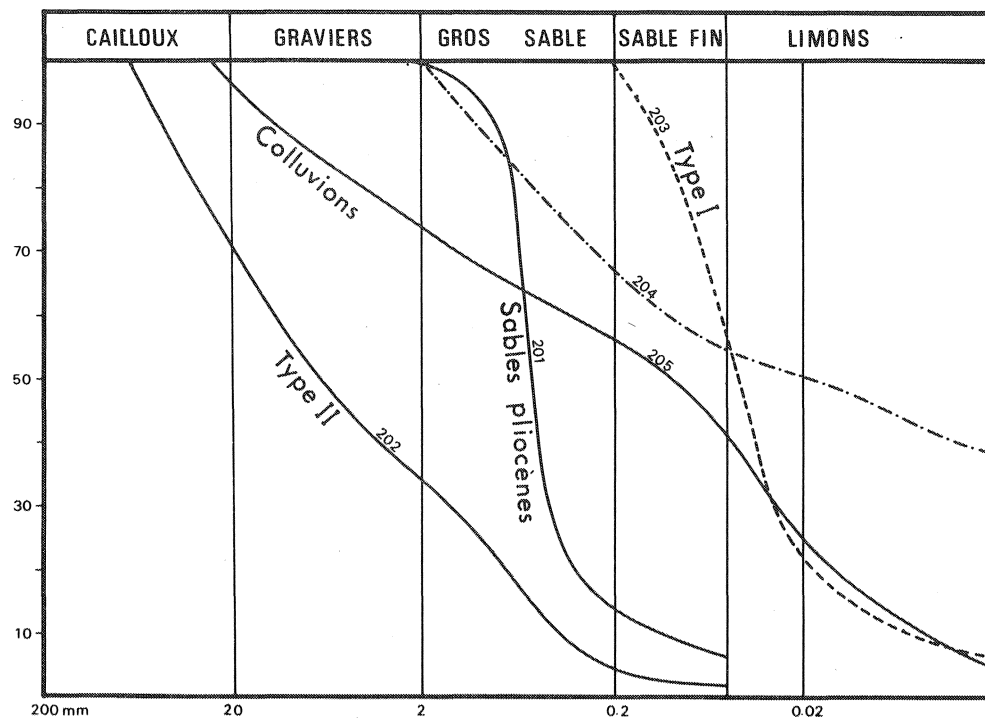


Figure 37 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe PdR 200 : sables pliocènes (PdR 201), alluvions sablo-graveleuses rouges (PdR 202 - 203) niveau argileux bariolé (PdR 204) et colluvions (PdR 205).

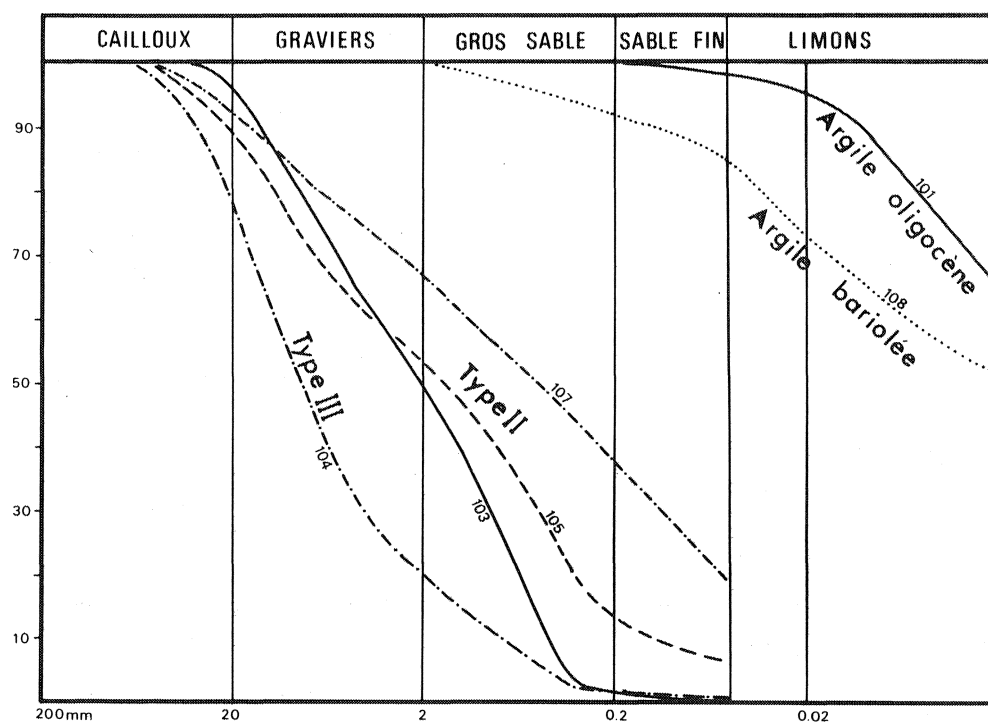


Figure 38 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe PdR 100 : argile oligocène (PdR 101), alluvions sablo-graveleuses (PdR 103 à 107), niveau argileux bariolé (PdR 108).

argileuses verticales grises montrent que ce niveau peut être vraisemblablement considéré comme un horizon B fossile d'un sol hydromorphe dégradé.

Le niveau sableux (PdR 203) situé au dessous, est formé de limons grossiers et de sables fins ($Q_2 = 42 \mu$). La courbe cumulative est de forme sigmoïde (type I). Le classement est bon ($S_0 = 1,8$).

Les niveaux de sables et graviers sont caractérisés par le fait que leur teneur en particules inférieures à 50μ diminue régulièrement vers la base; ainsi l'échantillon PdR 107 contient 19 % d'éléments inférieurs à 50μ tandis que les échantillons PdR 202, 103 et 104 ont tous une teneur en éléments inférieurs à 50μ très faible (inférieure à 2 %). En liaison avec l'augmentation de la teneur en fines, le classement se détériore. L'indice S_0 inférieur ou égal à 3 pour les échantillons PdR 103 et 104, passe à 4,8 pour PdR 202 et 105 puis à 7,51 pour PdR 107. L'ensemble de ces courbes cumulatives peut se rapporter au type II précédemment défini, à l'exception de PdR 104 qui se rapproche plutôt du type III.

L'important dépôt de sable jaune (PdR 201 et 102) est remarquable par son homogénéité et son très bon classement ($S_0 = 1,27$). Il contient une forte proportion de feldspaths potassiques ainsi qu'un peu de glauconie non altérée. L'ensemble de ces caractères permet de lui attribuer une origine marine et de le rattacher aux sables pliocènes.

L'affleurement argileux situé sous les sables (PdR 101) contient 65 % de particules inférieures à 2μ . Ce niveau qui a été rencontré plusieurs fois en sondages dans ce bassin (Estéoule-Choux, 1967) est à rapporter à l'Oligocène.

d) Pétrographie de la fraction graveleuse :

Les tris selon la nature pétrographique ont été effectués pour 3 échantillons. Les pourcentages pondéraux sont rassemblés dans le tableau 26.

Fractions granulométriques	5 - 6,3 mm			10 - 12,5 mm			16 - 20 mm		
Nature Pétrographique	Q	G	S	Q	G	S	Q	G	S
PdR 202	53,8	28,1	18,0	49,9	35,6	14,5	46,0	41,2	12,8
PdR 104	39,1	36,7	24,2	38,4	43,4	18,2	38,8	44,6	16,6
PdR 103	42,1	33,9	24	42,1	49,8	8,1			

Tableau 26 - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse.

(Q = quartz et quartzites, G = grès, S = schistes)

Bien qu'il soit l'un des principaux constituants, le quartz représente une part nettement moins importante que dans le bassin de Rennes et les pourcentages varient peu selon les fractions granulométriques (38 à 54 %).

Les quartzites sont peu usés. Les grès quartzueux, ferrugineux ou psammitiques, légèrement altérés sont plus arrondis et ils montrent en coupe, un cortex d'altération de couleur rouille. Tous ces grès sont d'origine locale et proviennent des formations paléozoïques.

A l'inverse des grès, les schistes sont plus abondants dans les fractions graveleuses fines. Ils sont généralement très usés et de forme aplatie. Ils peuvent provenir du bassin briovérien de Messac, tout proche, mais aussi de la formation des schistes d'Angers particulièrement bien développée dans la région.

e) Les minéraux lourds

Les minéraux lourds exprimés en pourcent sont présentés dans le tableau 27.

Formations	Echantillons	Classes granulométriques	Zircon	Rutile	Anatase - Brookite Sphène - Corindon	Tourmaline	Staurotide	Andalousite	Grenat - Sillimanite Disthène	Epidote	Zoisite - Clinozoisite	Hornblende	Opacques Transparents	Altérés	% pondéral des minéraux lourds
Colluvions	PdR 205	γ	36,9	5	5,7	22,5	10,6	12,5	1,9	2,5		2,5	319	1,3	0,33
		β	1,6	4,4	6,8	36,5	22,9	18,1	8,8	0,4		0,4	187	2,4	0,20
Niveau argileux bariolé	PdR 204	γ	40,9	4,1	8,7	24	10,5	7,6	3	0,6	0,6		96	1,2	0,07
		β		0,4	2,6	55,5	8,4	12,8	19,4			0,4	72	1,8	0,05
Alluvions sablo-graveleuses rouges au sommet, grises à la base	PdR 202	γ	21,1	12,3	3	25,7	20,5	8,2	4,7	4,1	0,6		892		2,31
		β	0,6	3,9	1,7	27,8	32,2	27,8	5	0,6		0,6	297	2,8	0,77
	PdR 104	γ	28,1	12	2,5	22,4	12	14,1	3,6	3,6	0,5	1	1041	1	0,99
		β	0,7	9,5	2,1	23,4	34,3	21,9	7,3	0,7			248		0,51
	PdR 103	γ													
		β	0,3	2,3	1,3	20,8	48,5	14,9	11,5			0,3	110	0,3	1,39
Sables jaunes pliocènes	PdR 201	γ	24,6	4,3	5,3	29,9	19,3	13,9	2,7				107	0,5	0,27
		β		0,8	0,4	44,4	26,2	20,2	7,6				36,7	2	0,17

Tableau 27 - Minéraux lourds de la carrière de Port-de-Roche.

La quantité en poids de minéraux lourds extraits varie beaucoup selon les niveaux. Ainsi, de 0,07 % dans le niveau argileux bariolé (PdR 204) elle passe à 2,31 % dans les graviers (PdR 202). Cette différence est due d'une part au nombre d'opacques très important dans

les niveaux graveleux mais aussi à l'altération des minéraux transparents les plus fragiles dans l'horizon PdR 204. Cet horizon est un horizon B de sol hydromorphe dégradé dans lequel l'altération particulièrement intense a pu détruire les minéraux les plus fragiles, au profit des plus résistants : zircon dans la fraction γ et tourmaline dans la fraction β .

Les faibles variations verticales du cortège des minéraux lourds transparents montrent qu'il existe une interdépendance nette entre ces formations, du moins en ce qui concerne la fraction sableuse. Il faut noter par rapport au cortège rencontré dans le bassin de Rennes, le net recul de la famille de l'épidote et de la hornblende.

f) Les Minéraux argileux (Tableau 28)

Colluvions	PdR 205	Argile micacée, kaolinite Chlorite	
Niveaux argileux bariolés	PdR 108	Kaolinite Argile micacée <i>Traces d'interstratifié mica-vermiculite</i>	
	PdR 204	Argile micacée, kaolinite <i>Interstratifié mica-vermiculite</i>	
Alluvions sablo- graveleuses rouges au sommet grises à la base	PdR 203	Argile micacée Kaolinite, vermiculite <i>Interstratifié mica-vermiculite</i>	<i>Pyrophyllite (Lepidocrocite)</i>
	PdR 202	Argile micacée, kaolinite Vermiculite <i>Traces de chlorite</i>	
	PdR 103	Argile micacée, kaolinite Vermiculite <i>Traces d'interstratifiés mica-vermiculite</i>	
Sables jaunes pliocènes	PdR 201	Kaolinite Argile micacée	
Argile verte oligocène	PdR 101	Illite Kaolinite	

Tableau 28 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de Port-de-Roche. Les caractères utilisés montrent l'abondance relative des différents minéraux : minéraux dominants, minéraux bien représentés, minéraux présents en faible quantité.

L'argile des formations d'âge tertiaire situées sous les sables et graviers alluviaux est constituée de minéraux à 10 Å et de kaolinite. L'illite est dominante dans le niveau d'argile verte oligocène (PdR 101), tandis que la kaolinite est plus abondante dans les sables jaunes pliocènes (PdR 201). Ces résultats sont en accord avec ceux déjà publiés pour les formations équivalentes du bassin de Langon (Estéoule - Choux, 1967).

Dans la formation graveleuse (PdR 202 - 203 - 103) aux côtés de l'argile micacée très abondante et de la kaolinite, apparaît un complexe à 14 Å, constitué de vermiculite,

d'un interstratifié mica-vermiculite et parfois d'une faible quantité de chlorite (PdR 202). La pyrophyllite est présente sous forme de trace dans un seul échantillon (PdR 203).

Dans les niveaux argileux du sommet (PdR 204 - 108), les minéraux à 14 Å ont pratiquement disparu et ne sont plus représentés que par des traces d'un interstratifié mica-vermiculite. L'argile micacée nettement moins abondante que dans les graviers est associée à la kaolinite qui peut devenir dominante (PdR 108).

Les colluvions de surface (PdR 205) ont un cortège composé d'argile micacée, de kaolinite et d'un peu de chlorite.

En résumé, l'étude des caractéristiques granulométriques et de la nature des minéraux argileux des dépôts de la carrière de Port-de-Roche permet de distinguer trois formations et de préciser leur nature :

- L'argile verte oligocène de la base de la coupe : les minéraux argileux qu'elle contient sont l'illite et la kaolinite.
- Les sables marins pliocènes : ils sont très bien classés, renferment de la glauconie non altérée et des feldspaths potassiques ; les minéraux argileux sont la kaolinite et une argile micacée.
- Les formations sus-jacentes qui par leur aspect, leur granulométrie, leurs hétérogénéités verticale et horizontale présentent tous les caractères de dépôts alluviaux. Leur position (plus de 10 mètres au-dessus du lit actuel du fleuve), leur couleur rouge et ocre, la nature des minéraux argileux permet de les rapprocher des formations rouges déjà observées à Brécé, St Melaine, Châteaubourg, la Heuzardière, Glanret.

2. LA GRAVIERE DE LANGON

a) Situation et description :

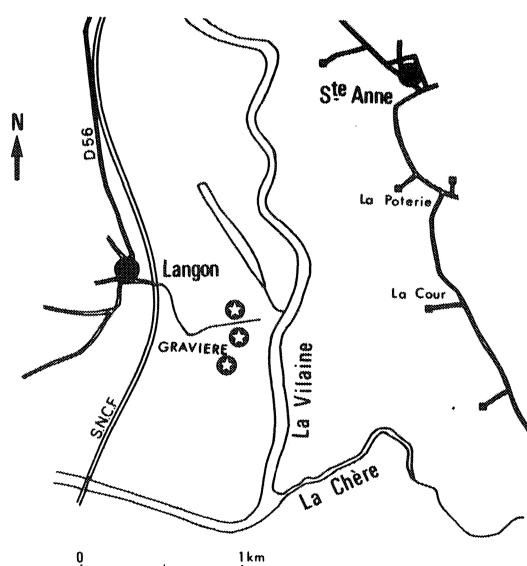


Figure 39 - Situation de la gravière de Langon.

Située à l'Est de Langon, cette gravière borde le lit actuel de la Vilaine (Figure 39). L'extraction du matériau se fait en butte, la nappe étant rabattue par pompage. La puissance des sables et graviers extraits varie entre 4 et 7 m ; ils sont surmontés d'une découverte limoneuse de 1,50 m d'épaisseur.

Le matériau extrait apparaît très hétérogène, toutefois il est possible de distinguer plusieurs niveaux présentant des caractéristiques granulométriques sensiblement différentes.

Une coupe orientée Nord-Sud montre la succession suivante (Figure 40) :

- LAN 103 - Limon gris beige
- LAN 102 - Alternance de lits sableux et de lits graveleux ayant une puissance de 20 à 40 cm. Ces lits de granulométrie différente sont très imbriqués.
- LAN 101 - Niveau graveleux grossièrement stratifié horizontalement. Quelques lits sableux lenticulaires. La base de ce niveau contient une forte proportion de gros cailloux peu roulés de quartz et de grès.
- LAN 100 - Sable fin jaune micacé. Le substratum formé de schiste vert briovérien présente de fortes irrégularités et c'est dans l'une des poches du substratum qu'affleure ce niveau de sable jaune.

Les niveaux LAN 101 et LAN 102 sont ravinés par des dépôts de chenaux (LAN 201, LAN 203 et LAN 204) dont la granulométrie est très différente de celle des dépôts encaissants (LAN 202). Ces chenaux qui ont une hauteur de 1,50 m et une largeur de 3 à 4 mètres sont comblés par des sables fins.

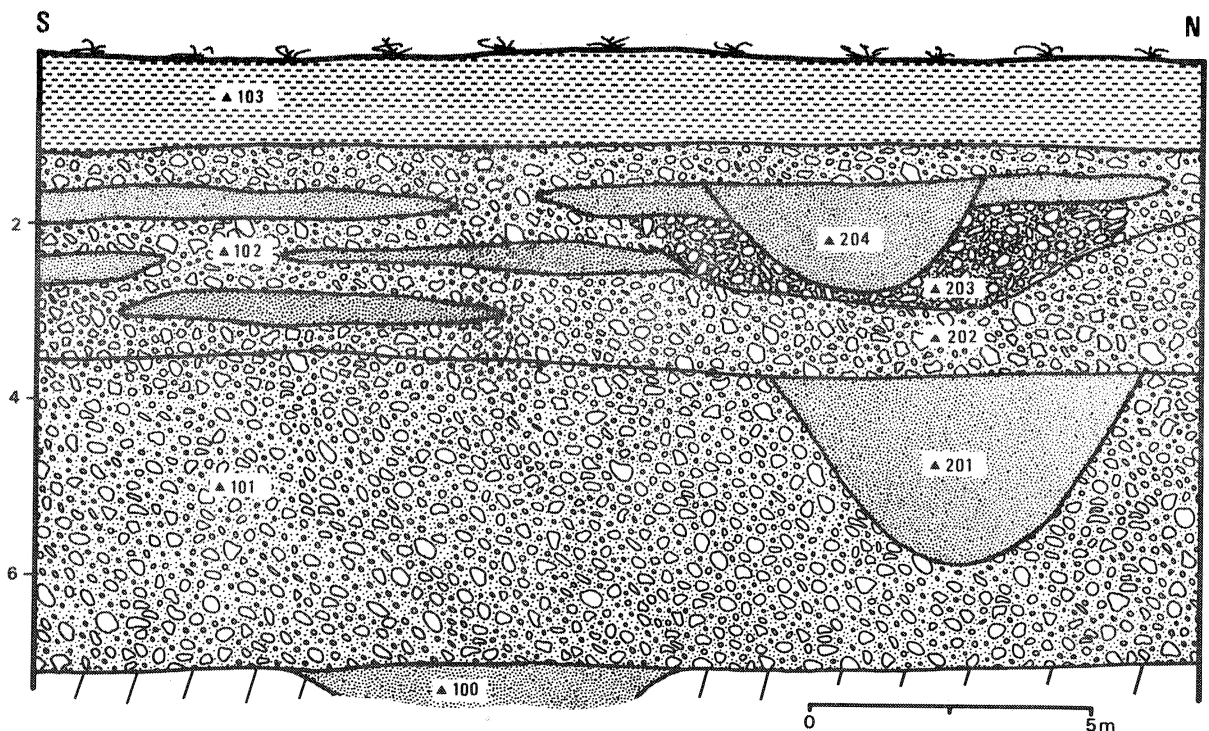


Figure 40 - Coupe schématique de la gravière de Langon montrant les différentes formations : poche de sable pliocène (LAN 100), alluvions sablo-graveleuses grises (LAN 101 - 102 - 202 - 203) ravinées par des chenaux comblés de sables fins (LAN 201 - 204), limons de la découverte (LAN 103).

b) Granulométrie :

Les caractéristiques granulométriques sont rassemblées dans le tableau 29 et les courbes cumulatives sont présentées sur les figures 41 et 42.

Le limon gris beige de la découverte présente une courbe cumulative sigmoïde peu redressée. Le classement assez bon ($S_o = 2,3$) s'effectue dans la fraction limoneuse grossière ($S_K = 0,67$). Le taux d'argile (11 %) est relativement faible.

Les sables et graviers présentent les types de courbes cumulatives rencontrées habituellement : courbes sigmoïdes (type I), courbes grossièrement rectilignes (type II) et courbes à concavité tournée vers le haut (type III).

Les sables des chenaux possèdent des courbes sigmoïdes très redressées (LAN 201 et 204). Ils sont très bien classés ($S_o = 1,2$), le classement s'effectuant indifféremment dans la fraction fine ou la fraction grossière ($S_K = 1$), le médian se situe à la limite des sables fins et des sables grossiers ($Q_2 = 0,27$ mm et 0,18 mm).

Le niveau de graviers bien lavés situé à la base du chenal supérieur (LAN 203) a une courbe cumulative à concavité tournée vers le haut. Le médian se situe dans la fraction graveleuse ($Q_2 = 7,3$ mm) et le classement très bon ($S_o = 2,2$) s'effectue surtout dans la fraction grossière ($S_K = 0,76$).

Les graviers (101, 102 et 202) ont une courbe cumulative grossièrement rectiligne. Les courbes des niveaux LAN 101 et 202 présentent une bosse très nette dans la fraction sableuse. Le classement médiocre ($S_o > 4$) s'effectue surtout dans la fraction grossière ($S_K < 1$). Les graviers du sommet (LAN 102) ont une courbe cumulative rectiligne. Le classement se détériore ($S_o = 6,9$) et la fraction inférieure à 50 μ augmente nettement pour représenter 12 % du poids total de l'échantillon.

FORMATIONS	ECHANTILLONS	Q_1	Q_2	Q_3	S_o	S_K
Découverte limoneuse	LAN 103	0,012	0,034	0,065	2,33	0,67
Alluvions sablo-graveleuses grises, sables des chenaux	LAN 102	0,23	1,65	11	6,92	0,93
	LAN 204	0,165	0,185	0,21	1,13	1,01
	LAN 203	2,9	7,3	14	2,2	0,76
	LAN 202	0,9	9,5	23	5,06	0,23
	LAN 201	0,23	0,27	0,33	1,2	1,04
	LAN 101	0,7	5,5	16	4,78	0,37
Sables pliocènes	LAN 100	0,135	0,185	0,215	1,26	0,85

Tableau 29 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la gravière de Langon.

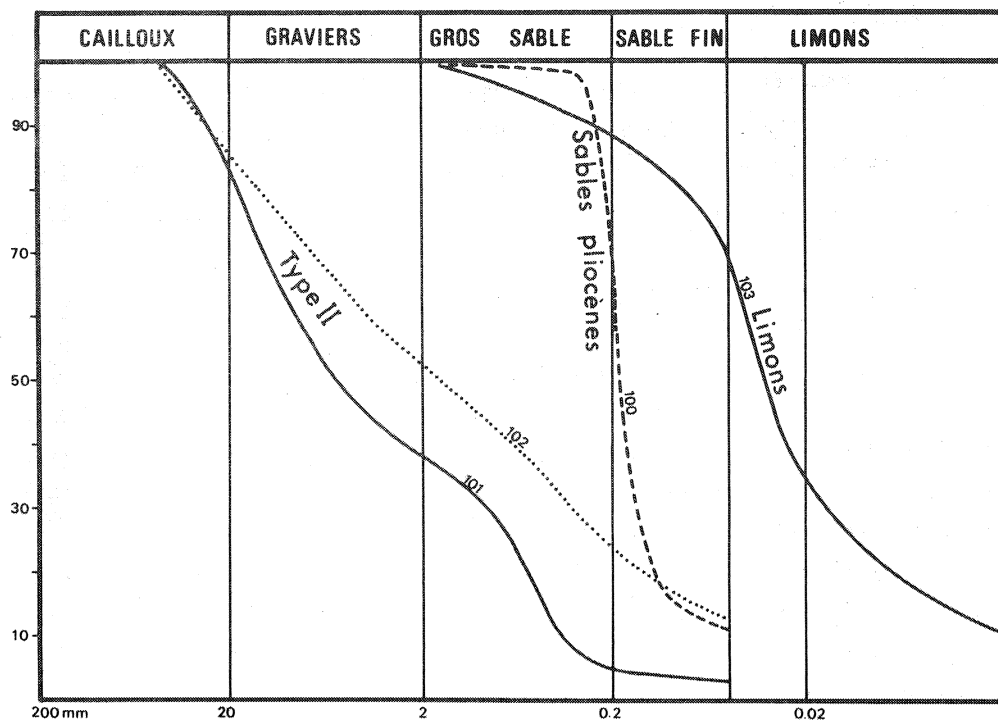


Figure 41 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe LAN 100 : sables pliocènes (LAN 100), alluvions sablo-graveleuses grises (LAN 101 - 102) et limons de la découverte (LAN 103).

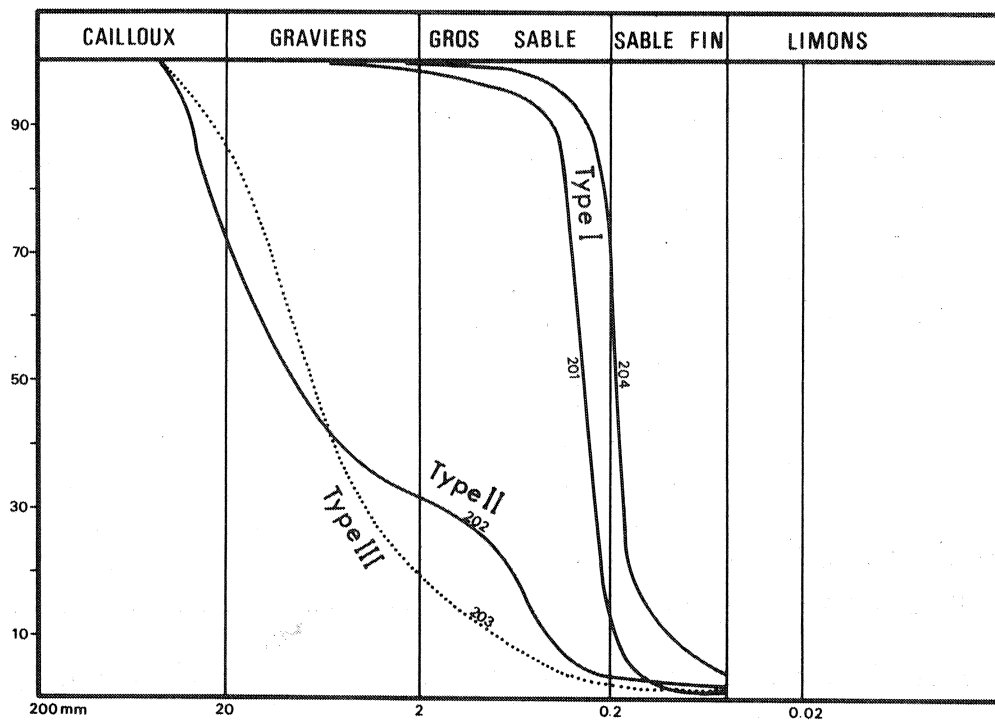


Figure 42 - Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe LAN 200 : alluvions grossières sablo-graveleuses grises (LAN 202 - 203), et sables des chenaux (LAN 201 - 204).

La poche de sable fin jaune a une courbe sigmoïde très redressée ($S_o = 1,3$), du même type que celles des sables des chenaux. Toutefois, la fraction fine inférieure à 50 μ plus importante atteint 11 % de la masse de l'échantillon (LAN 100).

c) Pétrographie de la fraction graveleuse :

Les comptages ont été effectués pour trois échantillons, les résultats sont rassemblés dans le tableau 30.

Fractions granulométriques		5 - 6,3 mm			10 - 12,5 mm			16 - 20 mm		
Nature Pétrographique		Q	G	S	Q	G	S	Q	G	S
Alluvions sablo-graveleuses grises	LAN 102				61,9	30,1	8,0			
	LAN 203	46,4	28,7	24,9	48,3	35,3	16,4	54,9	42,4	2,6
	LAN 202				43,3	37,5	19,2	44,6	38,6	16,8
	LAN 101	44,9	26,9	28,2	48,3	33	18,7	52,2	33,1	14,7

Tableau 30 - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse
(Q = quartz et quartzites, G = grès, S = schistes)

Le pourcentage de quartz et quartzite est d'autant plus élevé que la granulométrie est grossière, mais ne représente jamais plus de 55 % de la masse d'une fraction granulométrique, ce qui est très inférieur aux pourcentages trouvés dans le Bassin de Rennes.

Par contre, les schistes, peu altérés, sous forme de plaquettes ou d'aiguilles forment une part importante de la fraction graveleuse. Ces schistes proviennent du substratum briovérien, mais surtout des formations de l'Ordovicien moyen (Schistes d'Angers) particulièrement bien représentées dans cette région. De nombreuses empreintes fossilières peuvent être observées sur les graviers et galets. L'apport des schistes d'Angers est assuré par la Vilaine qui traverse cette formation, mais surtout par deux affluents : la Chère et le ruisseau de Gras qui drainent presque exclusivement d'Est en Ouest, sur une longue distance, les dépressions formées par ces schistes ardoisiers.

Les grès parfois arrondis sont le plus souvent anguleux et peuvent présenter des arêtes vives. Ils sont mieux représentés dans la fraction graveleuse grossière (16 - 20 mm) que dans la fraction graveleuse fine (5 - 6,3 mm). Ceci montre que ces grès sont d'origine locale et qu'ils n'ont subi qu'un faible transport. Les grès pourprés sont peu abondants et ne constituent qu'une faible part de la fraction gréseuse.

d) Les minéraux lourds :

Les résultats des comptages sont présentés dans le tableau 31.

Il apparaît que les minéraux lourds sont peu importants en poids par rapport aux minéraux légers et les variations des pourcentages sont dues à la plus ou moins grande abondance des opaques.

Formations	Echantillons	Classes granulométriques	Zircon	Rutile	Anatase - Brookite Sphène - Corindon	Tourmaline	Staurotite	Andalousite	Grenat - Sillimanite Disthène	Epidote	Zoïsite - Clinozoïsite	Hornblende	Pyroxènes	Opaques Transparents	Altérés	% pondéral des minéraux lourds
Découverte limoneuse	LAN 103	γ	53,1	10,9	7,9	6,3	7	1,6	1,6	4,7	3,1	3,9	-	547	1,6	0,34
		β		5,5	1,8	37,3	25,5	24,6	3,6		0,9	0,9	-	1245	10,9	0,47
Alluvions sablo- graveleuses grises, sables des chenaux	LAN 204	γ	8,6	5,4	1,1	32,3	17,2	20,4	6,5	6,5	1,1	1,1	-	1473	3,2	0,40
		β	-	-	-	35,1	11	51	0,8	1,5	-	0,8	-	1026	13,4	0,14
	LAN 203	γ	42,7	15,5	1,9	11,7	17,5	3,9	1	2,9	1	1,9	-	2281	5,8	1,04
		β	-	9,6	-	14,5	45,8	21,7	7,2	-	-	-	1,2	639	12	0,25
	LAN 202	γ	34	16,3	6,3	15,6	14,9	7,1	1,4	2,1	0,7	1,4	-	1645	1,4	1,72
		β	0,6	5,6	-	14	54,2	22,9	2,9	-	-	-	-	282	1,7	2,08
	LAN 201	γ	5,6	2,8	1,8	36,1	19,4	25	3,7	3,7	-	1,9	-	940	10,2	0,15
		β	-	1,5	-	28,8	16,7	42,4	3	-	-	6,1	1,5	841	24,2	0,45
Sables jaunes pliocènes	LAN 100	γ	5,7	2,4	19,9	28	21,3	10	5,7	0,5	-	6,6	-	55	-	0,88
		β	-	0,4	8,8	45,6	10,1	25	4	-	-	6	-	23	1,2	0,08

Tableau 31 - Minéraux lourds de la gravière de Langon

Le cortège des minéraux lourds de la formation alluvionnaire grise (limons, sables et graviers) est constitué des variétés habituellement rencontrées : ubiquistes, minéraux de métamorphisme et tourmaline essentiellement. Les variations sont surtout dues à des tris granulométriques. La similitude des cortèges est remarquable dans les niveaux de granulométrie semblable : cortège de LAN 201 semblable à celui de LAN 204 et cortège de LAN 202 semblable à celui de LAN 203. La fraction γ du limon de la découverte possède un fort pourcentage de zircon auquel correspond une diminution des minéraux de métamorphisme.

Le sable jaune situé à la base des sables et graviers gris se différencie nettement de ces formations alluvionnaires par le très faible pourcentage d'opaques et surtout par la présence de sphène dans la fraction γ (16 % des minéraux transparents) que l'on retrouve sous forme de traces dans les alluvions.

e) Les minéraux argileux (Tableau 32)

Les minéraux de la découverte sont ceux rencontrés habituellement : argile mica-cée et kaolinite dominantes avec la chlorite particulièrement bien représentée et la vermiculite.

Dans les sables et graviers la vermiculite disparaît au profit d'une faible quantité d'un interstratifié mica-vermiculite. La pyrophyllite est présente sous forme de traces.

Le sable jaune situé à la base des sables et graviers contient par ordre d'importance : montmorillonite, argile micacée et kaolinite.

Découverte limoneuse	LAN 103	Argile micacée, kaolinite Chlorite, vermiculite	
Alluvions sablo-graveleuses grises	LAN 102	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifié mica-vermiculite</i>	<i>Traces de pyrophyllite</i>
	LAN 101	Argile micacée, kaolinite Chlorite <i>Interstratifié mica-vermiculite</i>	<i>Pyrophyllite</i>
Sables jaunes pliocènes	LAN 100	Montmorillonite Argile micacée, kaolinite	

Tableau 32 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la gravière de Langon. Les caractères utilisés montrent l'abondance relative des différents minéraux : minéraux dominants, minéraux bien représentés, minéraux présents en faible quantité.

En résumé, l'étude de la gravière de Langon montre que le niveau sableux jaune de base possède des caractères qui le différencient nettement des sables et graviers gris sus-jacents. La granulométrie, l'homogénéité du dépôt, le très bon classement, la nature des minéraux argileux et des minéraux lourds permettent de lui attribuer une origine marine et de le rapporter aux sables pliocènes de la région. Les sables et graviers gris présentent tous les caractères des alluvions rencontrées jusqu'alors et notamment une grande hétérogénéité granulométrique. L'ensemble du dépôt est constitué par un assemblage de lentilles de matériaux ayant des granulométries légèrement différentes. Ces lentilles très imbriquées ont des limites diffuses et seuls les sables très bien classés des chenaux se distinguent de la masse du sédiment.

CONCLUSION

Les observations faites dans le cours moyen de la Vilaine m'ont permis de préciser l'ensemble des caractères sédimentologiques et minéralogiques des alluvions. Elles sont formées dans tous les cas, de dépôts grossiers sablo-graveleux qui sont surmontés soit par des limons de débordement soit par des colluvions.

Peu importantes en amont de Châteaubourg, les alluvions sablo-graveleuses occupent de vastes étendues surtout dans le bassin de Rennes, mais également dans ceux de Messac et Langon. Les sables et graviers se rencontrent sur toute l'étendue du lit majeur et sont surmontés par des limons d'épaisseur variable. Lorsqu'ils sont présents au-delà du lit majeur (à quelques mètres en altitude relative), ils sont alors recouverts de colluvions. Dans la région de Bourg-des-Comptes, la majeure partie des alluvions s'est déposée sur les rives convexes des méandres. Les limons de débordement s'étendent à peine sur quelques dizaines de mètres en bordure du fleuve et partout ailleurs les colluvions recouvrent les sables et graviers. L'ensemble des dépôts (limons, sables et graviers) est le plus souvent de couleur grise et présente un aspect terne. Les sables et graviers sont constitués d'un enchevêtrement de lits de granulométrie différente et d'épaisseur variable (1 à 8 m) : ils présentent de grandes hétérogénéités verticales et horizontales.

Quelques lambeaux d'alluvions situés 10 à 20 mètres au-dessus de la vallée actuelle de la Vilaine ont été rencontrés. Bien que ces dépôts présentent de nombreux caractères communs avec les précédents (granulométrie, hétérogénéités verticale et horizontale), ils s'en différencient cependant par leurs teintes vives, jaune, ocre ou rouge brique, par une teneur en fines plus importante et par la nature des argiles. La partie supérieure des dépôts sablo-graveleux est parfois surmontée par des limons (Port-de-Roche), mais le plus souvent par des alluvions remaniées et des colluvions.

De plus, des observations ont été faites à la faveur de sondages sur les principaux affluents de la Vilaine : sur le Chevré à la Gretais, sur l'Ille à Saint-Grégoire, sur Le Meu à Cramoux, Mordelles et Talensac et enfin sur la Seiche à Amanlis. Les résultats de l'étude de ces dépôts n'ont pas été rapportés ici, mais sont en bon accord avec ceux qui ont été exposés en détail. Les alluvions sablo-graveleuses présentent toujours les mêmes caractéristiques granulométriques. Il en est de même pour les limons de débordement du Meu ou de l'Ille qui sont identiques à ceux de la Vilaine. Enfin, des placages d'alluvions situés à 10 mètres ou plus au dessus du lit des rivières (sur le Meu à Mordelles et Talensac, sur la Seiche à Amanlis et Piré-sur-Seiche), présentent les mêmes caractères que les alluvions de couleurs vives rencontrées en bordure de la Vilaine (St Melaine, Châteaubourg, Port-de-Roche) et de la Flume (La Heuzardière, La Freslonnière).

TRISIEME PARTIE INTERPRETATION

- I. LES CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES FORMATIONS DU COURS MOYEN
DE LA VILAINE ET LEURS RELATIONS
- II. MISE EN PLACE DES DÉPÔTS. INTERPRÉTATIONS DES DIFFÉRENTS FACIÈS
- III. ESSAI DE SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE
- IV. CONSIDÉRATIONS GÉOTECHNIQUES

Les résultats analytiques et les faits d'observation rapportés dans la deuxième partie de ce mémoire permettent tout d'abord de caractériser de manière objective les diverses formations en présence et d'apprécier leurs relations mutuelles.

Ensuite les divers processus qui ont présidé aux dépôts des alluvions, pour lesquelles on dispose d'un ensemble de résultats suffisamment important, vont être examinés. Tous ces résultats et conclusions seront alors replacés dans leur cadre géologique.

Enfin, la caractérisation des diverses formations en présence et une meilleure connaissance des processus de dépôt fournissent des éléments en vue d'une conduite rationnelle de l'exploitation de ces alluvions en fonction de leurs aptitudes géotechniques.

I. LES CARACTERES GENERAUX DES FORMATIONS DU COURS MOYEN DE LA VILAINE ET LEURS RELATIONS.

Outre les formations briovériennes et paléozoïques et leurs faciès d'altération, les formations rencontrées sur le cours moyen de la Vilaine sont :

- les sables marins pliocènes
- les alluvions sablo-graveleuses rouges
- les alluvions sablo-graveleuses grises
- les limons de débordement
- les colluvions et alluvions remaniées

Après avoir caractérisé chacune de ces formations, leurs traits distinctifs et leurs relations mutuelles seront examinés.

A - LES CARACTERES PROPRES A CHACUNE DES FORMATIONS

I. Les sables marins pliocènes

Les sables pliocènes qui affleurent dans de nombreux gisements dispersés, n'ont pas été étudiés de façon systématique. Toutefois, quelques analyses de ces sables ont été effectuées lorsqu'ils ont été rencontrés sous les formations alluviales notamment dans les bassins de Rennes (la Freslonnière, la Heuzardière, le Houx, les Bougrières) et de Langon. Il importait en effet de bien les caractériser afin de les distinguer des alluvions et de voir leurs relations mutuelles.

Les sables pliocènes ont déjà fait l'objet de nombreuses études. Leur origine marine reconnue depuis longtemps (Milon 1929, Milon et Lucas 1933, Milon 1937) a été largement confirmée depuis (Choux 1956, Durand 1960, Estéoule - Choux 1967). La légende de la carte géologique (feuille de Rennes au 1/80.000, 3ème édition) précise que ce sont des "sables glauconieux rouges par oxydation" à "lits de graviers et galets ... plus développés vers le sommet, ... parfois considérés comme des alluvions anciennes". La limite entre les deux formations n'ayant pas été toujours clairement définie, certains dépôts graveleux situés au-dessus des sables pliocènes ont parfois été abusivement attribués au Pliocène.

Afin de mieux situer les échantillons étudiés, dans leur contexte régional, j'ai fait une comparaison avec d'autres échantillons provenant de divers gisements étudiés dans le passé (Choux 1956) ou en cours d'étude. Enfin, des données plus directement en relation avec la vallée de la Vilaine, sont fournies pour les carrières de la Freslonnière et de la Heuzardière (Berthois 1946, Le Borgn' 1966, Guillou 1966) ainsi que pour les dépôts pliocènes du bassin de Langon (Estéoule - Choux 1967) : elles permettent de compléter les résultats obtenus.

Les sables pliocènes rencontrés dans la région du cours moyen de la Vilaine ont des couleurs variables. Ils sont le plus souvent blancs ou jaunâtres en profondeur, mais peuvent être rouges (présence d'hydroxydes de fer) ou noirs (présence d'oxydes et d'hydroxydes de manganèse) surtout près de la surface. Le principal hydroxyde de fer est la lépidocrocite associée à un peu de goethite. Ils sont présents sous forme diffuse dans la masse sableuse et peuvent apparaître aussi sous forme de concrétions situées préférentiellement dans les plans de stratification (le Houx, la Freslonnière) ou de fractures (la Freslonnière).

Courbes granulométriques

Les caractères granulométriques des sables pliocènes de la région du cours moyen de la Vilaine sont rassemblés dans le tableau 33. Ils sont comparés à ceux d'autres gisements de la région.

Les résultats montrent que les sables pliocènes présentent des caractéristiques semblables sur une vaste étendue. Ils possèdent toujours une fraction graveleuse faible ou nulle. Les valeurs du médian indiquent qu'il existe des variations granulométriques d'un gisement à un autre ($0,18 < Q_2 < 0,55$ mm), mais aussi dans un même gisement (ex : Q_2 passe de 0,18 mm à 0,44 mm à Fougères). Toutefois ces variations dans la granulométrie ne font pas varier l'indice de classement S_0 qui reste toujours très bon, inférieur à 1,5. Le classement se fait aussi bien dans les sables grossiers que dans les sables fins comme le

CARRIERES	ECHANTILLON	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ₀	S _K
La Freslonnière	FRE 101	0,3	0,34	0,37	1,11	0,96
	FRE 102	0,23	0,30	0,34	1,48	0,87
La Heuzardière	HEU 203	0,28	0,38	0,46	1,28	0,89
	HEU 202	0,28	0,36	0,42	1,22	0,91
	HEU 201	0,30	0,41	0,49	1,28	0,87
Le Houx	LH 107	0,43	0,55	0,7	1,28	0,99
	LH	0,42	0,52	0,7	1,29	1,09
Port de Roche	PdR 201	0,40	0,53	0,65	1,27	0,93
Langon	LAN 100	0,135	0,185	0,215	1,26	0,85
* St Jouan	S J	0,15	0,17	0,194	1,14	1,01
* Moulin des Bois	M B	0,35	0,40	0,42	1,09	0,92
* Gare de Caulnes	C	0,185	0,24	0,30	1,27	0,96
+ Fougères	F ₆	0,3	0,44	0,62	1,44	0,96
	F ₅	0,125	0,18	0,23	1,36	0,89

Tableau 33 - Comparaison des indices granulométriques caractéristiques des sables pliocènes situés sous les alluvions de la Vilaine avec ceux d'autres gisements de la région (*d'après les résultats de J. Choux 1956 - *d'après J. Estéoule - Choux, travaux en cours).

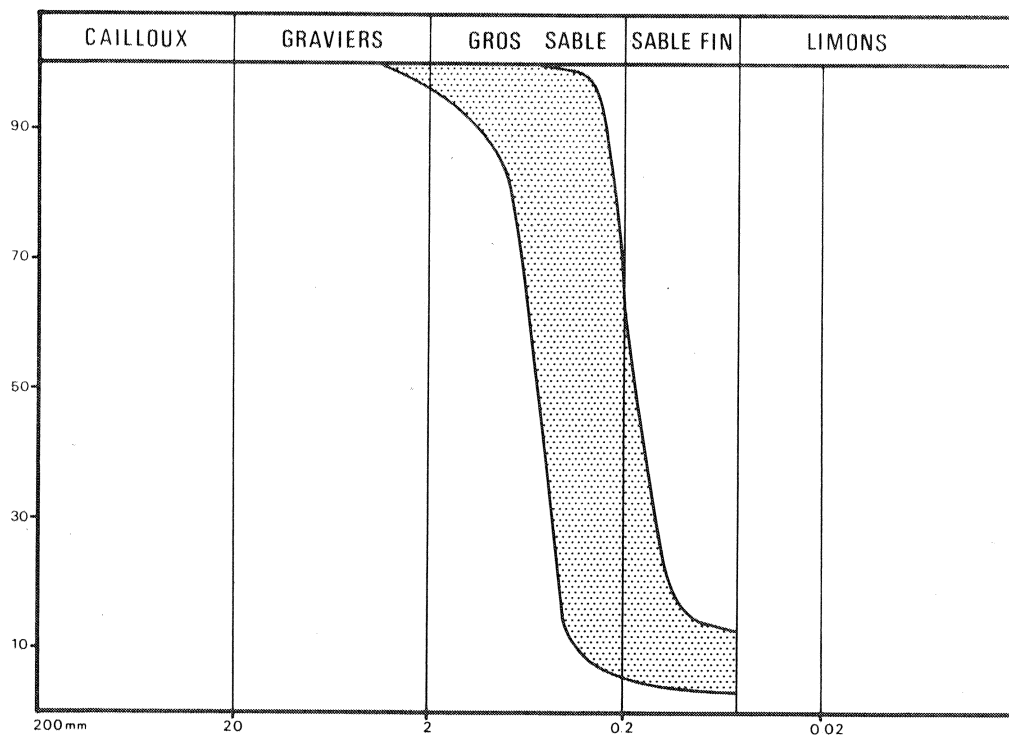


Figure 43 - Fuseau granulométrique des sables pliocènes

montre l'indice d'asymétrie S_K toujours voisin de l'unité. Les courbes cumulatives qui sont de forme sigmoïde, très redressées s'insèrent dans un "domaine granulométrique" relativement étroit (Figure 43).

La fraction sableuse

Les éléments légers

La fraction sableuse grossière (1,25 - 2 mm) a été observée à la loupe binoculaire et dans certains cas au microscope optique après inclusion des sables dans une résine pour permettre la taille de lames minces. Elle apparaît constituée essentiellement de quartz (75 à 90 %), de quartzites (5 à 25 %) et d'une faible proportion (inférieure à 10 %) de roches diverses (surtout de grès) et de feldspaths potassiques. A ces principaux constituants viennent s'ajouter dans les petites dimensions, des grains de glauconie et des paillettes de muscovite relativement abondantes dans les sables du bassin de Langon.

Des études morphoscopiques (Berthois 1946, Choux 1956, Durand 1960 et Le Borgn' 1966) ont montré que les quartz comportaient un taux important de grains usés (émoussés luisants et quelques ronds-mâts) fréquemment supérieur à 80 % dans les fractions supérieures à 400 μ . Ce taux élevé de grains usés constitue un argument important pour attribuer une origine marine à ces sables. Bien qu'ayant observé les quartz à la binoculaire, je n'ai pas effectué de comptages systématiques, car une étude au microscope électronique à balayage* a été entreprise pour donner des précisions sur le milieu évolutif de ces sables. Après quelques observations, il apparaît déjà que la forme des quartz de la fraction sableuse est l'un des caractères qui permet de distinguer les sables pliocènes des sables fluviatiles. Dans les sables pliocènes, les arêtes des quartz sont toujours usées, quelques grains pouvant même apparaître très arrondis. Ils présentent toujours de très nombreuses traces d'action mécanique. Les traces de choc observées sur les faces des grains ont le plus souvent des formes en "V" ou en croissant. Les bords des cassures sont toujours émoussés. L'usure importante des quartz et la densité des traces de chocs (Margolis et Kennet 1971) confirment l'origine marine des sables pliocènes. Ceux-ci ont vraisemblablement été déposés dans un milieu très agité peu profond.

Les minéraux lourds

Les comptages des minéraux lourds ont été effectués seulement sur quelques échantillons. Le cortège est celui rencontré habituellement dans les sables pliocènes (Berthois 1946, Choux 1956, Durand 1960). Il est constitué d'ubiquistes (zircon, rutil, anatase, brookite, sphène, corindon), de tourmaline toujours bien représentée, de minéraux de métamorphisme (staurotide, andalousite, disthène, sillimanite) et d'une faible quantité (inférieure à 5 %) de minéraux relativement fragiles (épidote, zoïsite, et parfois un peu de hornblende).

*Une étude au microscope électronique à balayage a été entreprise pour les quartz des sédiments pliocènes et des dépôts quaternaires. Les résultats seront exposés dans la partie consacrée à l'origine du matériau.

Le zircon présent en quantité variable (5 à 25 %) dans la fraction γ disparaît totalement dans la fraction β . Les minéraux de métamorphisme (staurotide et andalousite principalement) forment l'essentiel du cortège de la fraction β . La hornblende rencontrée parfois à l'état de traces représente 6 % des minéraux transparents à Langon ; ce taux relativement élevé est vraisemblablement dû à un apport du substratum local.

La nature des minéraux lourds ainsi que la présence de feldspaths potassiques indiquent que ces sables marins sont le produit du remaniement d'arènes formées sous le climat tempéré et humide du Pliocène.

Les minéraux argileux

Les sables pliocènes contiennent une argile micacée et de la kaolinite en proportions variables selon les affleurements auxquelles vient s'ajouter la montmorillonite à Langon. Ce cortège est celui rencontré habituellement dans les sables pliocènes de cette région (Estéoule - Choux 1967). Lorsque les sables pliocènes sont altérés et rubéfiés dans leur partie supérieure, le cortège s'enrichit d'une très faible quantité de vermiculite et d'interstratifiés (la Heuzardière) qui provient du lessivage vertical des alluvions sus-jacentes. La pyrophyllite n'a jamais été rencontrée dans les sables pliocènes.

2 - Les alluvions sablo-graveleuses rouges

Les dépôts que j'ai appelés alluvions rouges en raison de leur couleur généralement vive, rouge brique, ocre ou bariolée rouge et grise sont parfois cartographiés sous le nom d'alluvions anciennes (a¹ des feuilles de Laval au 1/80.000 2^{ème} édition et de Redon au 1/80.000 3^{ème} édition). La précision de la cartographie varie selon les cartes. De plus dans certains cas il y a confusion entre les alluvions rouges et les dépôts marins pliocènes. Enfin aucune distinction n'est faite entre les différentes alluvions, si ce n'est de mentionner plusieurs niveaux d'après leur altitude relative par rapport au lit du fleuve.

Les alluvions rouges forment des lambeaux très localisés. Leur altitude relative au-dessus des alluvions grises varie de moins de dix mètres (Châteaubourg, St Melaine, Brécé, Mordelles) à une vingtaine de mètres maximum (Talensac, la Freslonnière, la Heuzardière). Une rupture de pente généralement bien marquée indique la limite entre les deux niveaux d'alluvions.

Caractères granulométriques

Les alluvions sablo-graveleuses rouges présentent de grandes hétérogénéités verticales et horizontales. Trois types de courbes cumulatives ont été mis en évidence : des courbes sigmoïdes ou à légère concavité vers le bas (type I), des courbes grossièrement rectilignes avec parfois une bosse des sables (type II) et enfin des courbes à concavité vers le haut (type III).

Les lentilles sableuses présentent des courbes de type I (courbes sigmoïdes) : l'indice de classement peu élevé ($S_o < 2$) se détériore nettement lorsque la fraction fine devient importante ($S_o > 4$).

L'essentiel de la masse du dépôt présente des courbes de type II (courbes rectilignes). Le médian Q_2 se situe le plus souvent dans la fraction graveleuse et quelquefois dans la fraction sableuse grossière. L'indice de classement S_o voisin de 4 ou 5 peut devenir supérieur à 10 dans les niveaux riches en fines (HEU 207).

Les niveaux qui présentent une courbe de type III (courbes à concavité vers le haut) sont rencontrés surtout à la base des coupes (la Heuzardière, Port de Roche). Leur teneur en fines (particules inférieures à 50 μ) variable peut devenir très faible et même inférieure à 2 % : le matériau présente alors des teintes ternes ou est faiblement coloré. Le classement se fait préférentiellement dans la fraction grossière ($S_K < 1$).

La fraction fine des alluvions sablo-graveleuses rouges.

L'une des caractéristiques des alluvions rouges est le taux élevé d'éléments inférieurs à 50 μ fréquemment supérieur à 10 % et qui peut atteindre dans certains cas 25 % de la masse totale du dépôt. Lors de la préparation du matériau pour les analyses granulométriques, il était apparu que les sables, graviers et galets étaient enrobés d'une gangue ferri-argileuse rouge ou ocre très tenace qui ne disparaissait qu'après ébullition à l'acide chlorhydrique au demi en présence d'étain. L'examen d'une lame mince taillée après inclusion montre que le matériau possède d'abondants revêtements. En utilisant la terminologie de Brewer (1964), cette plaque peut être décrite de la manière suivante (Figures 57 et 58, p. 147)

Le squelette est constitué d'un entassement de graviers et de sables ; il comprend des quartz peu usés et des quartzites (80 %), des fragments de roches diverses (grès, grès ferrugineux et quelques schistes) généralement arrondis. Il faut noter la présence de grains d'oxydes et d'hydroxydes de fer, de quelques minéraux lourds et de feldspaths.

Le plasma qui représente 10 à 20 % du volume du squelette est constitué de couches concentriques très orientées de fer et d'argile dont la couleur varie du jaune à l'orange et devient même rouge brique dans les couches riches en fer. Ces revêtements de ferri-argilanes qui sont continus, enrobent bien les grains et peuvent être très épais. Les vides sont également limités par des cutanes d'argile et de fer très orientés qui présentent une extinction perpendiculaire aux bords des vides. Quelques vides apparaissent comblés.

Ces observations montrent que les alluvions sablo-graveleuses rouges ont subi une altération liée à une pédogenèse postérieure à leur dépôt. Le sommet des alluvions rouges constitue un horizon illuvial fossile. Le lessivage important et l'altération ont eu pour effet d'augmenter sensiblement la teneur en fines de ces alluvions. Les fines forment alors un véritable ciment pour les sables et graviers qui peuvent devenir de ce fait très compacts. Au lessivage des argiles et du fer, il faut y ajouter celui du manganèse qui s'est redéposé par oxydation à certains niveaux, formant une suie noire sur le matériau.

Les minéraux argileux

Le cortège des minéraux argileux des alluvions rouges est caractérisé par l'apparition aux côtés d'une argile micacée et de la kaolinite, du "complexe à 14 Å". Le minéral à 14 Å quasi permanent et souvent le plus abondant est la vermiculite. Ce minéral fréquent dans les sols des zones tempérées humides (Camez, Franc de Ferrière, Lucas et Millot 1960, Camez 1962) est même considéré comme le minéral climax de ces régions (Estéoule, Guyader et Touffet, 1971). La présence de vermiculite confirme l'existence d'une pédogenèse postérieure au dépôt.

La montmorillonite parfois associée en faible quantité à la vermiculite (la Freslonnière) peut devenir le minéral à 14 Å dominant (Mordelles). L'abondance relative de ver-

miculite ou de montmorillonite est liée aux conditions de drainage : la montmorillonite se développe dans les zones mal drainées à hydromorphie permanente, la vermiculite étant plutôt favorisée par un bon drainage (Camez, 1962).

Les autres minéraux à 14 Å rencontrés sont des édifices interstratifiés mica-vermiculite ou mica-montmorillonite toujours présents en quantité variable. La chlorite est exceptionnelle et en faible quantité.

La pyrophyllite bien représentée dans les alluvions rouges en amont de Rennes diminue sensiblement dans le bassin de Rennes et ne se retrouve plus qu'à l'état de traces en aval.

3 - Les alluvions sablo-graveleuses grises

Les sables et graviers gris étant de nos jours activement exploités, il a été possible de les observer dans de nombreuses gravières et de déterminer avec précision leurs caractères.

Peu abondants et discontinus en amont d'Acigné, ils occupent de vastes étendues dans les bassins de Rennes, Messac et Langon. Ils sont alors rencontrés sur toute l'étendue du lit majeur et parfois quelques mètres au-dessus. Dans la région de Bourg des Comptes, les dépôts sont localisés sur les bords convexes des méandres.

Caractères granulométriques

C'est l'hétérogénéité granulométrique verticale et horizontale qui caractérise le plus ce dépôt. En effet, s'il est possible de distinguer des niveaux à dominance sableuse ou graveleuse à côté de lits où sables, graviers et galets semblent être dans des proportions équivalentes, la distribution dans l'espace de ces différents niveaux varie énormément, l'ensemble formant un véritable puzzle.

Les alluvions sablo-graveleuses grises présentent trois types de courbes cumulatives analogues à celles des alluvions rouges. Ces courbes qui ont été décrites dans la 2ème partie sont schématisées sur la figure 44 et les fuseaux enveloppes sont représentés sur la figure 45.

Type I : Courbes granulométriques cumulatives sigmoïdes ou à légère concavité vers le bas.

Cette famille de courbes concerne les niveaux sableux lenticulaires et les dépôts de chenaux secondaires (le Houx, la Moustière, le Mortier, Langon). Si dans tous les cas, l'indice de classement ne dépasse pas 2,5, il apparaît cependant que les sables déposés dans les chenaux sont mieux classés et ont un médian plus petit ($0,15 < Q_2 < 0,8$ mm) que les sables lenticulaires ($0,4 < Q_2 < 1,8$ mm).

Les sables des chenaux possèdent des courbes sigmoïdes très redressées (figures 44 et 45). L'indice de classement S_0 est le plus souvent inférieur à 1,5, toujours inférieur à 2 et l'indice d'asymétrie est très proche de l'unité. A ces dépôts de chenaux il convient de rattacher les dépôts très fins (limons et limons sableux) rencontrés dans les chenaux (le Houx, la Moustière) ainsi que dans les méandres de la région de Bourg des Comptes. Ceux-ci ont un médian situé dans la fraction limoneuse grossière (figure 44). L'indice de classement S_0 moins bon que pour les sables, est toujours inférieur à 3. L'indice d'asymétrie S_K montre alors que le classement se fait mieux dans la fraction grossière ($S_K < 1$).

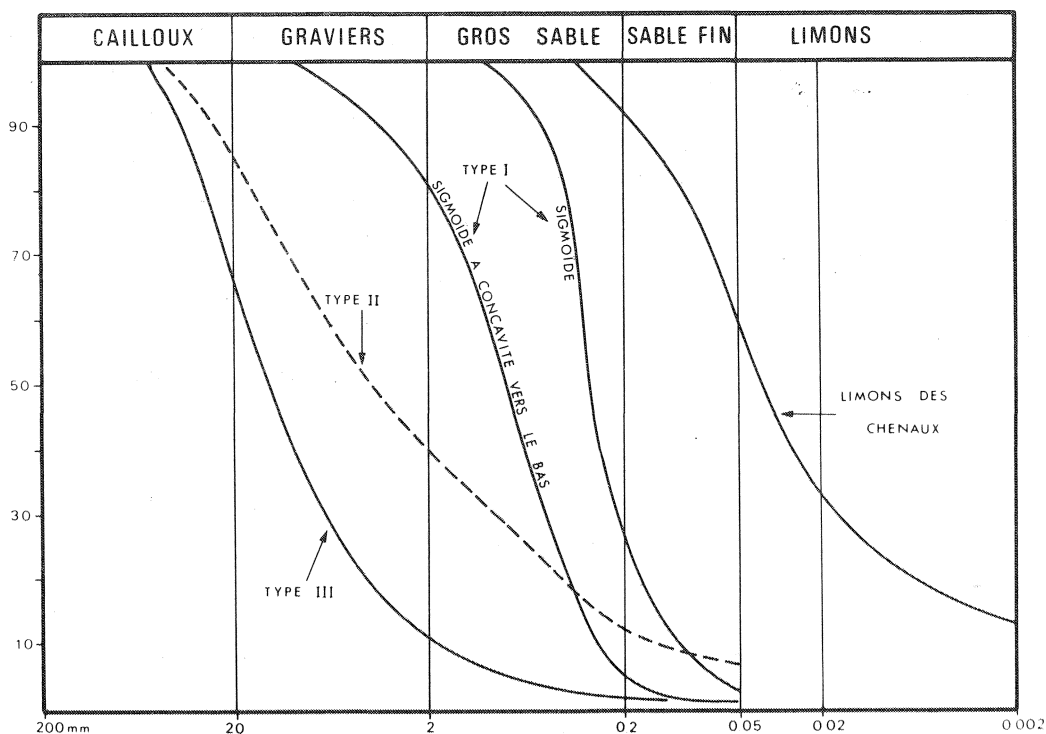


Figure 44 - Schéma montrant les 3 types de courbes granulométriques des alluvions sablo-graveleuses grises (type I : courbes sigmoïdes redressées et à légère concavité vers le bas ; type II : courbes grossièrement rectilignes ; type III : courbes à concavité vers le haut) et la courbe des limons des chenaux.

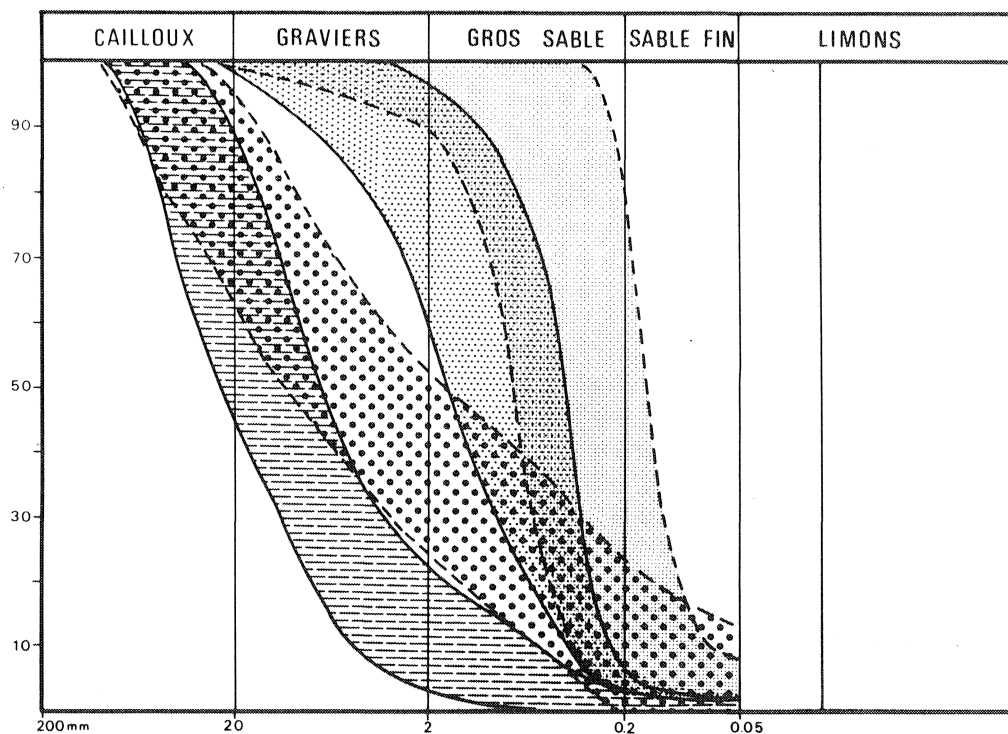


Figure 45 - Fuseaux granulométriques des différents types de dépôts d'alluvions sablo-graveleuses grises :

-  sables des chenaux (courbes de type I, sigmoïde)
-  sables lenticulaires à graviers alignés (courbes de type I, sigmoïde à légère concavité vers le bas).
-  dépôts en masse (courbes de type II).
-  dépôts de graviers et galets imbriqués bien lavés (courbes de type III)

Les sédiments des lentilles sableuses contiennent fréquemment une fraction graveleuse non négligeable qui donne à la courbe cumulative une légère concavité vers le bas. Dans ce cas, l'indice d'asymétrie S_K supérieur à 1 montre que le classement s'effectue préférentiellement dans les éléments fins, c'est-à-dire dans la fraction sableuse. Le grain moyen est situé dans la fraction sableuse grossière $0,4 < Q_2 < 1,8$ mm.

Type II : Courbes granulométriques grossièrement rectilignes

Toutes les courbes granulométriques de ce type s'inscrivent dans le fuseau présenté sur la figure 45. Le médian qui varie de 1,5 mm à 11 mm se situe dans la fraction sableuse grossière ou graveleuse. L'indice de classement S_o toujours supérieur à 3 montre que le classement est mauvais (figure 45). La fraction inférieure à 50 microns souvent très faible ($< 5\%$) peut toutefois atteindre 12 % du poids total. Toutes les courbes ne sont pas parfaitement rectilignes, mais peuvent présenter un accroissement important de la fraction sableuse grossière entre 0,4 mm et 1,5 mm qui se traduit sur la courbe granulométrique par une bosse généralement appelée "bosse des sables". Ce phénomène est très fréquent dans les dépôts alluviaux (Primel, 1969). Le coefficient d'asymétrie S_K toujours inférieur à 1 montre que le classement est meilleur dans la fraction graveleuse que dans la fraction sableuse. Quelques courbes ont une deuxième bosse beaucoup moins nette que celle des sables, dans la fraction graveleuse grossière. Une interprétation sur la mise en place de ce type de dépôts sera envisagée plus loin.

La grande majorité des courbes étudiées montre que la fraction sableuse fine et la fraction limoneuse forment une faible part du dépôt. Il apparaît que les particules commencent à se déposer en masse à partir d'une dimension précise voisine de 0,315 mm.

Les niveaux qui présentent des courbes de type II forment l'essentiel de la masse des alluvions ; L'épaisseur de ces niveaux varie de quelques décimètres à plusieurs mètres. Bien qu'ils soient relativement homogènes, il est possible de discerner dans ces niveaux soit un granoclassement, soit des lits secondaires de granulométrie très légèrement différente. L'ensemble est grossièrement stratifié horizontalement, les stratifications étant soulignées par des graviers et des petits cailloux alignés.

Type III : Courbes granulométriques à concavité vers le haut

Elles ont un médian qui se situe dans la fraction graveleuse grossière ($7 \text{ mm} < Q_2 < 25 \text{ mm}$). Le classement est bon ($S_o < 3$) et s'effectue préférentiellement dans la fraction grossière ($S_K < 1$).

La concavité vers le haut de la courbe montre une ablation importante de la fraction sableuse. Les échantillons appartenant à cette famille de courbes proviennent des niveaux à graviers et galets imbriqués, bien lavés. Ces lits à galets bien lavés ont été rencontrés le plus souvent à la base des coupes reposant directement sur le substratum, mais aussi interstratifiés à différents niveaux dans les dépôts. Ces lits graveleux d'une puissance de quelques décimètres peuvent être observés sur une longueur de quelques dizaines de mètres. Leur limite inférieure nette, généralement irrégulière ravine les niveaux sous-jacents.

Les minéraux lourds

Le cortège des minéraux lourds des sables et graviers gris ne varie pas qualitativement d'une gravière à une autre. Seuls, les pourcentages relatifs des différents minéraux transparents changent.

Le cortège est constitué d'ubiquistes (zircon, rutil, anatase, brookite, sphène, corindon) de tourmaline toujours bien représentée et de minéraux de métamorphisme (staurolite et andalousite essentiellement). Les minéraux les plus fragiles (épidote, zoïsite, clinozoïsite, hornblende) toujours présents dans la fraction γ peuvent devenir très abondants (20 à 30 % des minéraux transparents) dans certaines gravières (le Houx, la Moustière).

Les variations du taux des différents minéraux transparents sont dûes pour une bonne part, à la nature des formations géologiques traversées par le fleuve, mais aussi à des tris de minéraux qui s'effectuent lors du dépôt des sédiments. Ainsi, le rutil qui est toujours présent en faible quantité dans les fractions β et γ devient abondant dans les niveaux à granulométrie grossière (graviers bien lavés de type III).

Les minéraux argileux

Dans les sables et graviers gris, la kaolinite et une argile micacée constituent les minéraux dominants. Les minéraux à 14 Å bien représentés, mais moins abondants que les précédents sont la chlorite et des édifices interstratifiés : chlorite-vermiculite, chlorite-montmorillonite, mica-vermiculite et mica-montmorillonite. La pyrophyllite relativement abondante en amont de Rennes, tend à diminuer nettement dans le bassin de Rennes et ne se trouve plus qu'à l'état de traces au sud de Pont-Réan.

4 - Les limons de débordement

Les limons de débordement occupent toute l'étendue du lit majeur du fleuve actuel. Ils sont particulièrement bien représentés dans les bassins de Rennes et de Langon, mais leur extension diminue beaucoup dans le bassin de Messac où ils sont limités le plus souvent à une zone de quelques dizaines de mètres ou une centaine de mètres maximum de part et d'autre du lit du fleuve. L'étendue des limons peut encore être plus réduite lorsque les rives ont une pente assez forte comme c'est le cas en amont de Rennes ou dans la région de Bourges-Comptes.

L'épaisseur des limons est toujours maximale en bordure du lit du fleuve et peut diminuer rapidement en s'éloignant de celui-ci, lorsque les rives ont une forte pente. Dans le bassin de Rennes, l'épaisseur moyenne est de 1,5 mètre ; parfois inférieure à 1 mètre, elle peut toutefois atteindre localement 4 mètres, ce qui constitue l'épaisseur maximale rencontrée.

Caractères granulométriques

En portant sur un diagramme triangulaire de texture les pourcentages respectifs d'argile, de limons et de sables, de chaque échantillon, il apparaît que l'ensemble des points représentatifs se regroupe autour du pôle limon et que ces dépôts sont plus précisément des limons argileux, des limons fins ou des limons vrais si l'on adopte la classification américaine des textures (figure 46). Le terme limon convient donc bien pour ces formations.

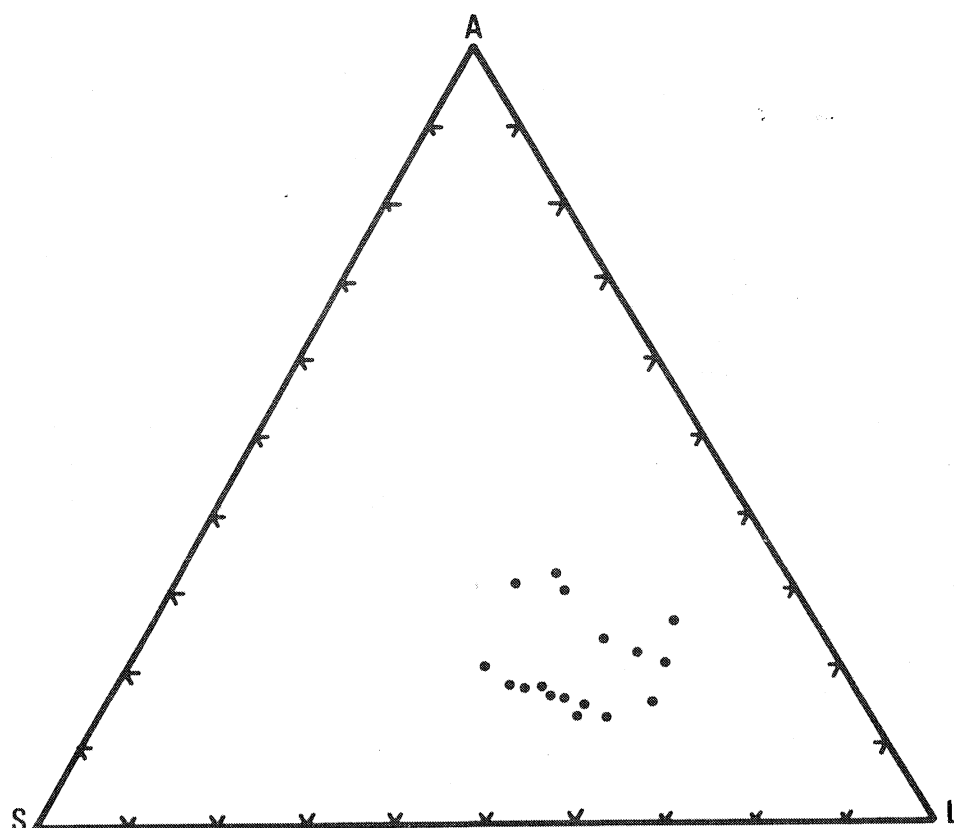


Figure 46 - Diagramme granulométrique des limons de débordement. A : pourcentage d'argile, L : pourcentage de limons, S : pourcentage de sables.

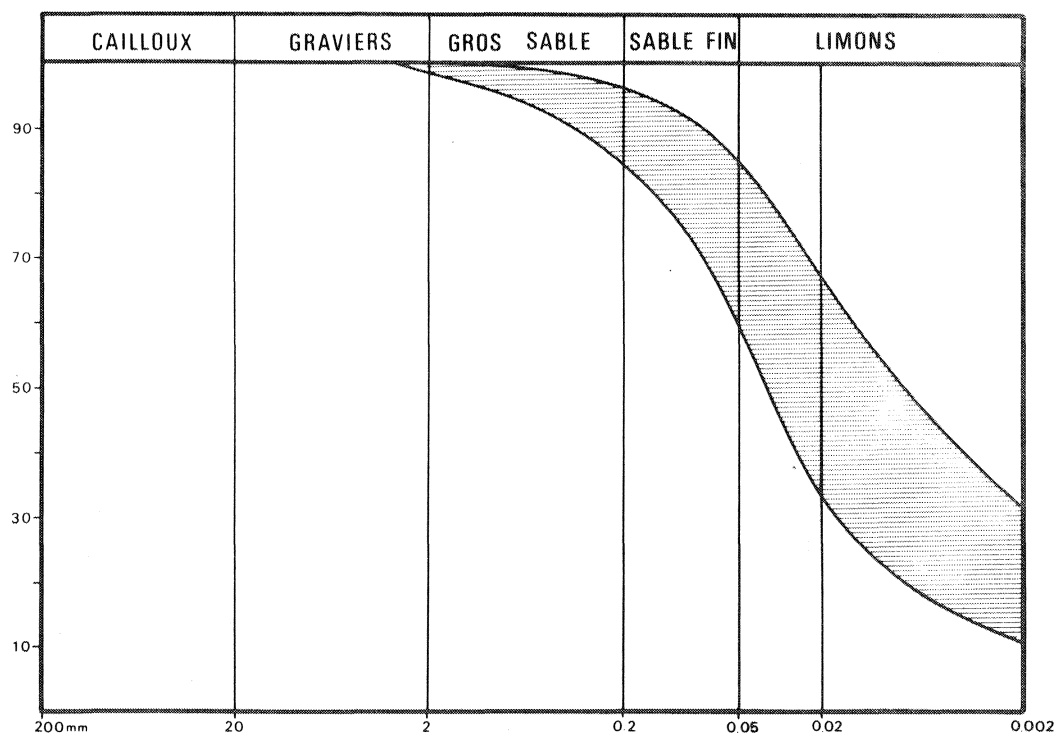


Figure 46 bis - Fuseau granulométrique des limons de débordement.

Les courbes granulométriques de tous les limons étudiés s'insèrent dans le fuseau présenté sur la figure 46 bis. Les indices granulométriques caractéristiques des limons de la Vilaine et du Meu sont rassemblés dans le tableau 34. Ils sont comparés à ceux des limons de la Rance étudiés par ailleurs. Les courbes granulométriques présentent une forme sigmoïde peu redressée. Elles ont tendance à devenir rectilignes avec une concavité vers le bas dans la fraction grossière, lorsque la teneur en argile est importante.

ECHANTILLONS	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ₀	S _K
GF 214	0,0025	0,015	0,050	4,47	0,56
GF 213	0,0012	0,0125	0,080	8,16	0,61
GF 211	0,0014	0,009	0,055	6,27	0,95
GF 209	0,0011	0,0085	0,050	6,74	0,76
GF 310	0,004	0,021	0,044	3,32	0,40
GF 309	0,0048	0,022	0,048	3,16	0,48
GF 308	0,0060	0,032	0,100	4,08	0,59
GF 407	0,0090	0,032	0,075	2,89	0,66
GF 406	0,0090	0,027	0,070	2,79	0,86
GF 513	0,0038	0,019	0,11	5,38	1,16
CR 203	0,0055	0,023	0,067	3,49	0,70
CR 202	0,0028	0,017	0,044	3,96	0,43
CR 201	0,0055	0,032	0,11	4,47	0,59
CR 200	0,0017	0,015	0,036	4,60	0,27
LAN 103	0,012	0,034	0,065	2,33	0,67
BET 203	0,006	0,034	0,095	3,98	0,49
BET 201	0,0053	0,024	0,085	4	0,78

Tableau 34 - Comparaison des indices granulométriques des limons de la découverte de la Vilaine (Grande Feuillée = GF, Langon = LAN) du Meu (Cramoux = CR) et de la Rance (Betineuc = BET).

Le médian se situe indifféremment dans les limons fins ou dans les limons grossiers ($9 \mu < Q_2 < 34 \mu$). Le taux le plus important d'argile dans les horizons profonds de limons entraîne une détérioration de l'indice de classement S_0 qui est déjà médiocre dans les horizons de surface (S_0 voisin de 3 ou 4). Le coefficient d'asymétrie S_K qui est le plus souvent nettement inférieur à 1 montre que le classement se fait mieux dans la fraction grossière.

Tous les sédiments de la découverte ne sont pas des limons francs ; des lits à granulométrie plus fine ou au contraire plus grossière ont pu être rencontrés. Ainsi des dépôts argileux brun-foncé très riches en particules inférieures à 2μ (68 % de la masse du dépôt pour GF 212) intercalés dans les limons, ont pu être observés à plusieurs endroits dans la

gravière de la Grande Feuillée. Ces niveaux qui se distinguent nettement des limons par leur granulométrie et leur minéralogie occupent les zones déprimées disséminées à travers la plaine alluviale.

La limite entre les alluvions sablo-graveleuses et les limons de la découverte n'est pas toujours très nette. J'ai pu observer, dans plusieurs gravières, à la base des limons (sensu stricto), des niveaux assez peu épais (quelques décimètres), riches en fines mais qui possèdent une fraction sableuse ou sablo-graveleuse importante supérieure à 40 % (les limons ne possèdent pas plus de 15 % de sables grossiers et de 2 à 3 % de graviers). L'indice de classement S_o toujours supérieur à 4 montre que ces dépôts sont mal classés. Le classement s'effectue tantôt dans la fraction fine, tantôt dans la fraction grossière. Bien que ne possédant pas de cailloux, ces sédiments se rapprochent des colluvions par la forme des courbes cumulatives et par leur mauvais classement.

Les minéraux lourds

Dans tous les échantillons étudiés le zircon est le minéral le plus abondant de la fraction γ et représente entre 40 et 53 % des minéraux transparents. Les autres minéraux : titanés, tourmaline, minéraux de métamorphisme et minéraux relativement fragiles (épidote, zoïsite, clinozoïsite et hornblende) sont peu abondants. Le cortège de la fraction β est formé presque exclusivement de tourmaline (20 à 40 %) et de minéraux de métamorphisme (staurotide et andalousite essentiellement).

Les minéraux argileux

La fraction argileuse des limons est constituée de minéraux à 14 Å dominants, de kaolinite et d'une argile micacée. Les minéraux à 14 Å sont la vermiculite toujours présente en surface et qui peut être remplacée par la montmorillonite en profondeur, notamment dans le bassin de Rennes. La chlorite est constante et montre parfois un début de transformation en chlorite gonflante. Les édifices interstratifiés chlorite-montmorillonite, chlorite gonflante - montmorillonite, mica-vermiculite sont fréquents mais peu abondants.

5 - Les colluvions et alluvions remaniées

Au-delà du lit majeur du fleuve, les sables et graviers ne sont plus surmontés par des limons, mais par une formation complexe que j'ai appelée colluvions. Elles sont bien développées partout où la plaine alluviale actuelle est peu étendue, c'est-à-dire en amont de Rennes, dans la région de Bourg-des-Comptes et dans le bassin de Messac. Elles sont également rencontrées dans le bassin de Rennes et de Langon au-delà des limons. Les colluvions recouvrent aussi bien les alluvions sablo-graveleuses grises que les rouges. La couleur de ces dépôts est généralement grise ou brune. Leur épaisseur qui varie de 0,20 à 1 mètre est plus importante en bas de pente.

Les colluvions sont constituées de limons, sables et graviers en proportions équivalentes. L'indice de classement très élevé ($S_o > 10$) montre que ces dépôts sont très mal classés et ne peuvent résulter que d'un mélange de matériau de granulométries très différentes, sables et graviers d'une part, argile et limons d'autre part. L'indice d'asymétrie très variable montre que le classement se fait mieux tantôt dans la fraction grossière, tantôt dans la fraction fine. Les courbes granulométriques présentent fréquemment une bosse des sables.

A côté de ces dépôts qui ont subi un certain transport et des remaniements importants sont rencontrés des sédiments dans lesquels les remaniements internes ont été prédominants. Je les ai appelés alluvions remaniées. Les apports extérieurs étant faibles, les sables et graviers remaniés ont des caractéristiques granulométriques voisines des sables et graviers de type II (courbes cumulatives grossièrement rectilignes). Lorsqu'ils surmontent les sables et graviers rouges, ils sont de couleur brun-gris et ont perdu leur "stratification" horizontale mais présentent au contraire des traces de remaniements (fluage, cryoturbation).

Les minéraux argileux des colluvions et des alluvions remaniées proviennent à la fois des sables et graviers sous-jacents et de l'altération du substratum local. Ceci se traduit globalement par une augmentation des minéraux à 14 Å (vermiculite, chlorite et édifices interstratifiés) bien que la kaolinite et une argile micacée demeurent encore les minéraux les plus abondants. Lorsque la pyrophyllite est présente dans les dépôts sablo-graveleux, elle se retrouve également dans les colluvions qui les surmontent.

B - CARACTERES DISTINCTIFS DES DIFFERENTES FORMATIONS

Après avoir précisé les caractères propres à chacune des formations étudiées, leurs caractères distinctifs vont être examinés en détail afin de fournir des critères objectifs de reconnaissance des différentes formations. Les différences entre les sables pliocènes tertiaires et les alluvions sablo-graveleuses quaternaires puis entre les alluvions sablo-graveleuses grises et les rouges et enfin entre la découverte et les dépôts sablo-graveleux vont être envisagées successivement.

Distinction sables pliocènes - alluvions sablo-graveleuses quaternaires

Les sables pliocènes se différencient des alluvions sablo-graveleuses par leurs caractères granulométriques, la morphologie des grains de quartz, la nature des minéraux lourds et le cortège des minéraux argileux.

Partout où les alluvions reposent sur les sables pliocènes, les caractères granulométriques des deux formations apparaissent très différents. A l'affleurement, la limite entre les deux formations est remarquable car la base des alluvions est souvent formée de dépôts très grossiers ($7 \text{ mm} < Q_2 < 25 \text{ mm}$) à graviers et cailloux bien lavés, très imbriqués qui se distinguent aisément des sables pliocènes beaucoup plus fins ($0,17 < Q_2 < 0,55 \text{ mm}$). La limite entre les deux formations apparaît très irrégulière car de nombreux chenaux ravinent les sables pliocènes.

A l'homogénéité des sables pliocènes, s'oppose la grande hétérogénéité des dépôts alluviaux. S'il est possible de voir des variations dans la granulométrie des sables pliocènes, elles sont continues et de faible amplitude tandis que les alluvions présentent sur quelques mètres (voire quelques décimètres), des lits de granulométries très différentes (3 types de courbes dans les sables et graviers avec parfois des limons intercalés). Les alluvions sont grossièrement stratifiées horizontalement avec des stratifications obliques de faible amplitude dans les sables lenticulaires. Les sables pliocènes montrent par contre de vastes stratifications entrecroisées. Tous ces caractères témoignent de conditions de dépôts très différentes. Les alluvions se sont mises en place dans des conditions hydrodynamiques très fluctuantes tandis que les sables pliocènes ont bénéficié de conditions plus stables à la fois dans le temps et dans l'espace.

Des études morphoscopiques effectuées dans le bassin de la Rance ont déjà montré les différences importantes qui existent dans le pourcentage de grains de quartz usés, entre les sables marins pliocènes et les dépôts alluviaux (Choux 1956). Ces derniers font apparaître une nette dominance de grains non usés (plus de 70 % pour les sables grossiers) tandis que les sables pliocènes renferment une très forte proportion de grains usés (émoussés - luisants et quelques ronds - mats) qui représentent souvent plus de 70 % de la fraction sableuse grossière. Les comptages systématiques des quartz n'ont pas été faits dans le cadre de ce travail puisqu'ils ont été observés au microscope à balayage. Les premières observations ont montré des différences très nettes dans la forme des quartz : la fraction sableuse des alluvions renferme un taux très élevé de quartz peu évolués tandis que ceux des sables pliocènes sont plus arrondis et présentent de très nombreuses traces de chocs, témoins d'une évolution plus importante.

Dans quelques gravières (le Houx, la Moustière) le cortège des minéraux lourds des alluvions s'enrichit surtout dans la fraction γ , de minéraux fragiles (épidote, zoïsite, clinozoïsite et hornblende) qui peuvent représenter à certains niveaux 30 à 40 % des minéraux transparents. Ces minéraux proviennent vraisemblablement des filons de "diabase", de "microgranulites" et des diverses roches volcaniques interstratifiées dans le substratum. Leur présence a donc une signification locale et ne peut en aucun cas constituer un critère suffisant pour déterminer l'origine des dépôts. Toutefois il est intéressant de noter que les minéraux fragiles sont trouvés en abondance uniquement dans les alluvions.

L'apparition du "complexe à 14 Å" dans les alluvions permet de les distinguer aisément des sables pliocènes. Le "complexe à 14 Å" est formé de chlorite et parfois de chlorite gonflante, de vermiculite ou de montmorillonite et d'édifices interstratifiés. Il a déjà été mis en évidence dans les limons quaternaires (Estéoule, Estéoule - Choux et Perret 1971 et 1972, Plihon 1974) ainsi que dans les arènes granitiques (Plihon 1974). A ces minéraux argileux, il faut ajouter la pyrophyllite toujours présente dans le bassin de Rennes et plus abondante en amont. Ce minéral n'a jamais été rencontré dans les sables pliocènes, même sous forme de traces.

Distinction alluvions sablo-graveleuses rouges - Alluvions sablo-graveleuses grises.

La distinction entre ces deux formations est délicate, car les caractères qui les différencient ne sont pas dûs aux processus de dépôts, mais à leur évolution postérieure à leur mise en place. En effet, qu'ils soient rouges ou gris, les sables et graviers présentent les trois mêmes types de courbes granulométriques. Cependant la teneur en particules fines inférieure à 50 μ est en général plus importante (souvent supérieure à 10 %) dans les sables et graviers rouges. Elle est due à une altération des éléments les plus fragiles (feldspaths, et schistes) et à la présence d'enrobements ferri-argileux qui forment un véritable ciment pour le matériau.

Sur le terrain, la couleur des dépôts constitue un bon critère de reconnaissance. La formation que j'ai appelée sables et graviers rouges est toujours très rubéfiée dans sa partie supérieure, mais lorsqu'elle est épaisse la couleur a tendance à s'estomper vers le bas.

Dans les deux formations, la kaolinite et une argile micacée sont les minéraux argileux dominants. Cependant dans les sables et graviers rouges, le "complexe à 14 Å" est moins important et la chlorite a disparu ou subsiste à l'état de traces. Elle est remplacée

par la vermiculite ou la montmorillonite selon les conditions de drainage. La disparition de la chlorite due à sa fragilité bien connue (Millot, Camez et Wernert 1957, Camez 1962) est une preuve supplémentaire de l'altération des alluvions rouges.

Distinction alluvions sablo-graveleuses - découverte

Les limons de débordement se distinguent bien évidemment des sables et graviers par la granulométrie mais aussi par les minéraux lourds et par l'abondance et la nature des minéraux argileux. Les minéraux lourds de la fraction γ des limons font apparaître un pourcentage plus important de zircon et de tourmaline que celui des graviers. Les minéraux argileux à 14 Å sont également plus abondants : la vermiculite dans la partie supérieure et la montmorillonite dans les zones à hydromorphie permanente peuvent devenir dominants. Ces deux minéraux qui sont présents en faible quantité dans les sables et graviers rouges n'ont jamais été rencontrés dans les sables et graviers gris.

Les colluvions et alluvions remaniées montrent par rapport aux sables et graviers un enrichissement en particules fines (faible dans le cas des alluvions remaniées, plus important dans le cas des colluvions). Sous l'action de remaniements internes dus aux phénomènes périglaciaires (solifluxion et cryoturbation) ou de transport plus important, ces dépôts ont perdu les caractères propres aux sables et graviers (lits de granulométrie très différente, présence de stratifications horizontale ou oblique). Les minéraux à 14 Å moins abondants que dans les limons sont mieux représentés que dans les sables et graviers.

C - RELATIONS MUTUELLES - ORIGINE DU MATERIAU

L'interdépendance des sables pliocènes et des alluvions quaternaires a été évoquée par différents auteurs (Milon et Sire 1931, Milon 1936, Durand 1960, Durand et Kerfourn 1963). Elle est également mentionnée sur les notices des cartes géologiques (feuille de Rennes et de Redon au 1/80.000) qui soulignent la part importante du remaniement des sables pliocènes dans les alluvions. Ces auteurs tirent argument de la situation géographique des gisements, de la présence de glauconie et de minéraux lourds identiques dans les deux formations. Toutefois, à ces conclusions basées sur des arguments indirects, s'oppose un certain nombre de considérations que l'on peut faire à partir des observations effectuées dans la région du cours moyen de la Vilaine. Les résultats des analyses conduisent à penser que s'il existe bien quelques grains de sables pliocènes remaniés dans les alluvions quaternaires, ils ne constituent qu'une partie négligeable des dépôts fluviatiles.

En effet, l'examen des courbes granulométriques des sables pliocènes montre qu'ils sont très bien classés et ont un grain moyen situé entre 0,180 et 0,550 mm, la fraction supérieure à 1 mm étant toujours très faible. La reprise de ces sables n'a pu fournir la fraction sableuse grossière et graveleuse des alluvions. Donc, 60 à 70 % de la masse des alluvions ne provient certainement pas du remaniement des formations pliocènes.

De plus, les courbes granulométriques des sables et graviers alluviaux présente une bosse des sables importante au voisinage de 2 mm. Cette fraction granulométrique étant négligeable dans les sables pliocènes, il est peu probable qu'elle provienne de leur remaniement.

Enfin, l'examen des grains de quartz au microscope à balayage a été effectuée systématiquement sur des échantillons de sables pliocènes et d'alluvions. L'observation a été conduite sur des grains compris entre 0,315 et 0,500 mm comme cela se fait généralement (Le Ribault 1975) : outre la commodité expérimentale, le choix de cette dimension a l'avant-

tage de bien correspondre à la granularité des sables pliocènes susceptibles de se retrouver dans les alluvions. Toutes les figures (59 à 74) sont jointes en annexe, p. 148).

Les sables pliocènes renferment des grains toujours usés et même très arrondis. Les faces polies des grains montrent de nombreuses traces de chocs qui ont des formes en "V" ou en croissant. Les bords de ces traces de chocs présentent un gradient de polissage, mais sont le plus souvent très arrondis. L'usure importante des grains, la forme caractéristique des nombreuses traces de chocs montrent que ce matériau est très évolué et a été mis en place dans un milieu marin agité (Margolis et Kennett 1971, Krinsley et Doornkamp 1973). Cette observation ne fait que confirmer le caractère marin des sables pliocènes qui avait été mis en évidence et démontré depuis longtemps (Milon 1929, Milon et Lucas 1933, Milon 1937, Durand 1960).

La fraction sableuse correspondante des alluvions est constituée au contraire de grains irréguliers au relief tourmenté, très allongés ou cubiques, toujours assez anguleux. Les traces de chocs peu nombreuses se situent surtout sur les arêtes. Elles apparaissent le plus souvent très fraîches à cassure conchoïdale avec "des figures de cisaillement" en lignes subparallèles. Les bords des cassures sont peu ou pas arrondis. Quelques stries de frottement parallèles sont les témoins d'une évolution glaciaire ; le faible polissage de ces stries et le petit nombre de traces de chocs montrent que les grains sont peu évolués et ont subi un transport de faible durée dans un fleuve de moyenne à faible énergie (Krinsley et Doornkamp 1973, Le Ribault 1975). A côté des grains anguleux peu évolués, il est possible d'observer des grains qui présentent tous les caractères des sables pliocènes (forme arrondie et présence de nombreuses traces de chocs en "V" ou en croissant à gradient de polissage). Ces grains très évolués qui sont relativement peu abondants constituent l'héritage du Pliocène.

Ces observations démontrent donc que, dans les fractions granulométriques susceptibles d'être héritées du Pliocène, la part de l'héritage est très faible et se résume aux grains décrits ci-dessus qu'un examen attentif permet de mettre en évidence.

Cependant, lorsque le fleuve entaille directement les sables pliocènes, les éboulis des rives sableuses ont constitué des apports massifs que le fleuve n'a pas toujours pu évacuer et qui contaminent localement les alluvions. Les observations faites à la gravière du Houx constituent un bon exemple de ce phénomène local et les dépôts sableux observés sont généralement associés à des sédiments fins (limons et sables fins).

En conclusion, l'étude des dépôts du cours moyen de la Vilaine apporte un certain nombre d'éléments qui prouvent que contrairement aux hypothèses émises jusqu'alors les alluvions ne sont constituées que pour une très faible partie, des produits de remaniement des formations pliocènes avoisinantes.

Il paraît opportun d'examiner les arguments avancés en faveur de l'interdépendance génétique des sables pliocènes et des alluvions : le voisinage géographique et la ressemblance des cortèges de minéraux lourds.

Le voisinage géographique souvent invoqué ne constitue pas un argument car les vallées actuelles correspondent à des grabens plus anciens (Durand et Estéoule-Choux 1977) qui ont constitué des aires de dépôts tant pour les sables pliocènes que pour les alluvions quaternaires. Il n'est pas étonnant que ces deux formations se trouvent associées dans ces bassins protégés de l'érosion.

La ressemblance des cortèges de minéraux lourds qui a été utilisée pour montrer la reprise du Pliocène dans les alluvions (Milon et Sire 1931, Berthois 1946) peut être revue avec une interprétation différente. A part quelques particularismes locaux, les roches du Massif Armoricaïn sont susceptibles de fournir à la sédimentation un cortège de minéraux

lourds relativement homogène. Dans ce cas, les différences observées dans les cortèges sont le résultat de variations climatiques. La sédimentation du Pliocène a été alimentée par le démantèlement des formations ayant subi une altération soit sous les climats agressifs du début du Tertiaire, soit sous les climats relativement moins agressifs du Pliocène (Estéoulet-Choux 1967). Le cortège que l'on trouve est formé des minéraux ayant résisté à ces altérations, c'est-à-dire des ubiquistes (zircon, rutile et divers titanés, tourmaline) et des minéraux de métamorphisme (staurotide, andalousite, disthène et sillimanite). Les alluvions quaternaires sont alimentées par le démantèlement de formations qui ont été altérées soit sous les climats relativement agressifs du Tertiaire, soit sous les climats beaucoup plus froids du Quaternaire. De cette façon, il est clair que le stock des minéraux lourds disponible comprendra non seulement le même cortège de minéraux ubiquistes et de métamorphisme mais également quelques minéraux réputés fragiles comme l'épidote, la zoïsite, la clinozoïsite et la hornblende : ces derniers pratiquement détruits par l'altération des climats du Tertiaire ont été respectés dans une certaine mesure par les climats du Quaternaire.

En bref, les considérations sur la granularité des formations en présence, l'observation au microscope électronique à balayage de la morphologie des grains de quartz et l'examen critique des arguments utilisés auparavant indiquent que contrairement à l'opinion généralement admise, les alluvions quaternaires ne proviennent que pour une faible part du remaniement des sables marins du Pliocène. Ce point étant démontré, il convient de s'interroger sur la nature du matériel qui est à l'origine des alluvions. De ce point de vue, le cas des alluvions sablo-graveleuses et celui des limons de débordement vont être examinés successivement.

Dans le cas des alluvions sablo-graveleuses, l'examen pétrographique effectué sur les graviers montre qu'ils reflètent la nature du substratum local et des bassins versants. Dans le bassin de Rennes, les graves sont essentiellement constituées de quartz et pour une plus faible part de grès briovériens. Toutefois, le Meu apporte un fort pourcentage de grès pourprés qui affleurent dans son bassin d'alimentation. En aval, au cours de la traversée des synclinaux paléozoïques, ce sont les schistes d'Angers, les grès armoricains et les grès du Châtellier qui apparaissent. En se référant aux évaluations des compositions pétrographiques des alluvions qui ont été établies pour la fraction graveleuse, les données peuvent être schématisées en construisant un diagramme où les pourcentages obtenus sont portés en ordonnée tandis que la distance de la gravière à l'embouchure est portée en abscisse (figure 47). Ce schéma montre qu'il faut distinguer deux secteurs sur le cours de la Vilaine : le premier est limité au bassin de Rennes tandis que le second qui va de Pont-Réan à Langon comprend les méandres de la région de Bourg-des-Comptes et les bassins de Messac et Langon.

Le bassin de Rennes qui est à la fois une zone de subsidence et de confluence a constitué une aire de dépôts importante, comme le montre l'abondance des alluvions. Les matériaux déposés dans ce bassin ont été collectés par la Vilaine et ses principaux tributaires (l'Ille, la Flume, le Meu et la Seiche) dans des zones d'alimentation situées en amont. Les terrains traversés étant pratiquement de même nature, toutes les rivières transportent à peu de chose près les mêmes matériaux qui proviennent essentiellement des formations brioviennes. Les sables et graviers sont issus des filons et des filonnets de quartz qui parcourent les schistes briovériens et dans une plus faible mesure des grès. Ces veines quartzeuses ont au cours de leur histoire subi de nombreuses tensions ou contraintes qui ont développé un réseau important de fractures exprimées ou potentielles. Ces dernières vont faciliter la fragmentation des quartz lors de leur remaniement par les eaux courantes : les filons

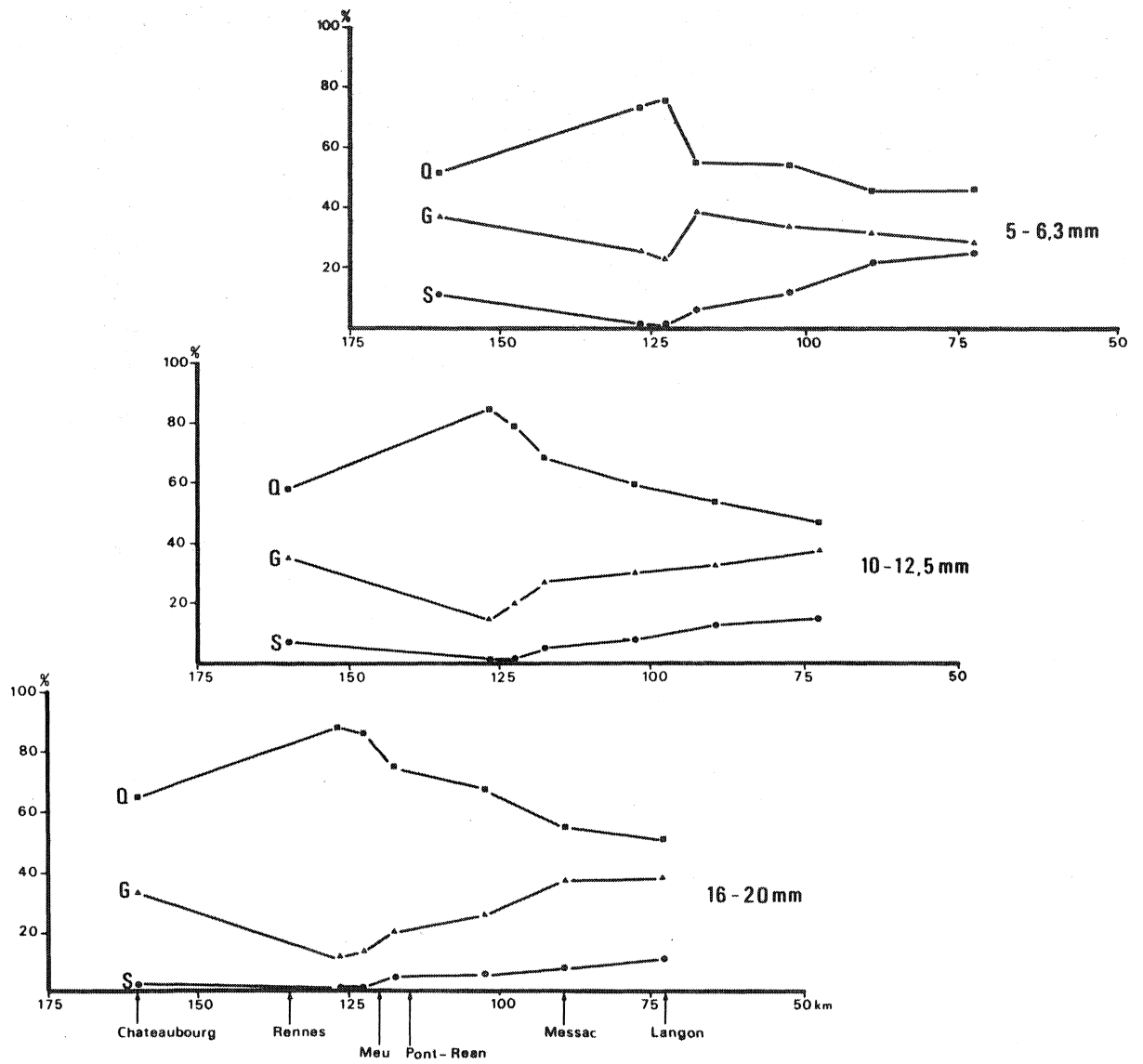


Figure 47 - Evolution de la composition pétrographique dans 3 classes granulométriques des graviers de la Vilaine, entre Châteaubourg et Langon. (Q : quartz et quartzite, G : grès, S : schiste).

vont donner naissance aux graviers et cailloux quartzeux qui forment la majeure partie de la fraction grossière des dépôts alluviaux tandis que les filonnets vont fournir des éléments plus fins, qui constituent une partie de la fraction sableuse. Les grès interstratifiés dans le Briovérien qui ont des ciments altérés ne résistent pas très longtemps au transport fluviatile et leur proportion dans les graviers décroît rapidement au fur et à mesure que l'on descend vers le bassin de Rennes. Les produits de leur désagrégation viennent grossir la fraction sableuse.

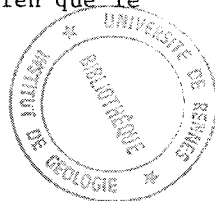
Parmi les affluents, seul le Meu modifie sensiblement la nature des graves par l'apport de grès pourprés. Ils proviennent du flanc Nord du synclinal de Guichen qui est drainé par les tributaires de cette rivière sur une longue distance. Les grès pourprés qui sont donc bien représentés dans la fraction graveleuse des alluvions du Meu, se retrouvent également en quantité notable dans les alluvions de la Vilaine en aval du confluent. A cet apport extérieur, il faut ajouter localement comme à la Grande Feuillée, les schistes et grès briovériens arrachés au substratum qui peuvent former une part importante des graviers dans la partie inférieure des coupes.

En aval du bassin de Rennes, la vallée de la Vilaine entaille profondément les formations paléozoïques et le sapement des rives escarpées entraîne l'éboulement de roches saines. C'est la raison pour laquelle le schiste d'Angers retrouvé dans les alluvions n'est pas altéré et reste cohérent. Mais, comme il est relativement tendre, il subit une usure importante pendant le transport, ce qui se traduit par une augmentation plus forte du taux de schistes dans les petites dimensions (25 % de schistes dans la fraction 5 - 6,3 mm et 11 % dans la fraction 16 - 20 mm à Langon). Contrairement à ce qui se passe en amont de Rennes où l'on assistait au décapage de formations d'altération des schistes briovériens dont la désagrégation par les eaux courantes était très rapide, ici l'usure n'est pas suffisante pour compenser les apports nouveaux et le taux de schistes augmente régulièrement vers l'aval dans les fractions graveleuses et surtout dans les fractions sableuses par suite de la faible dureté de la roche.

Dans le cas des limons de débordement, l'origine du matériel est la même que pour les sables et graviers, mais la compétence de l'agent de transport diffère totalement. Les éléments fins provenant des altérites ne sont plus évacués au loin, mais se déposent pour constituer les limons de débordement tandis que les éléments grossiers ne semblent pas entraînés. Les limons de débordement possèdent d'ailleurs un cortège de minéraux argileux identique à celui des limons des plateaux et des formations d'altération de la région (Estéoule, Estéoule - Choux et Perret 1972, Plihon 1974).

La pyrophyllite qui a été reconnue dans de très nombreux échantillons est d'origine détritique et provient des formations dévoniennes du Nord-Est du bassin de la Vilaine dans lesquelles elle a déjà été mise en évidence (Dunoyer de Segonzac et Millot 1962, Melou 1968). Relativement abondante en amont et dans le bassin de Rennes, elle se dilue progressivement vers l'aval car les tributaires venant de l'Ouest et du Sud-Est n'en apportent pas, puis elle disparaît totalement à partir de Langon.

En conclusion, les alluvions de la Vilaine ne proviennent pas du remaniement des sables marins du Pliocène, mais la majeure partie des dépôts sablo-graveleux est constituée de roches provenant du substratum local. Leur composition pétrographique qui reflète ces apports locaux, est rapidement modifiée par l'usure différentielle des roches bien que le transport s'effectue sur une faible distance.



II. MISE EN PLACE DES DÉPÔTS - INTERPRÉTATION DES DIFFÉRENTS FACIES

Divers auteurs ont montré les relations existant entre les processus de mise en place des dépôts alluviaux et les faciès qui en résultent, soit dans les séries détritiques très anciennes telles que les vieux grès rouges (Allen 1970), soit dans les formations pléistocènes (Eynon et Walker 1974), soit dans les rivières actuelles (William et Rust 1969). Tout en soulignant qu'il est délicat de vouloir généraliser un phénomène à partir d'observations locales, divers modèles de dépôt ont été proposés (Bersier 1958, Passéga 1964, Eynon et Walker 1974).

Passéga (1964, 1969) a montré qu'il existait une relation étroite entre le mode de transport et la granulométrie du sédiment. La représentation qu'il a utilisée, s'applique particulièrement bien aux études régionales de bassins sédimentaires. Les deux paramètres qui servent à construire le diagramme sont le centile supérieur C (en fait, c'est approximativement le grain le plus grossier) et le médian M. Le diagramme C.M concernant les dépôts de courants tractifs présenté par Passéga (1964) a la forme d'un S et il peut être divisé en plusieurs parties qui correspondent à différents types de dépôts comme le rappelle le tableau ci-dessous :

Segment du diagramme	Types de dépôts
N O	dépôts de sédiments roulés
O P	dépôts de sédiments roulés et de suspensions de fond
P Q	dépôts de suspensions granoclassées et de quelques éléments roulés
Q R	dépôts de suspensions granoclassées
R S	dépôts de suspensions uniformes

En utilisant le même mode de représentation pour les alluvions grises il est possible, compte tenu du nombre relativement important de données disponibles, de construire le diagramme de la figure 48 sur laquelle la distribution de Passéga (1964 et 1969) est également rappelée. Les points représentatifs des alluvions rouges n'y figurent pas

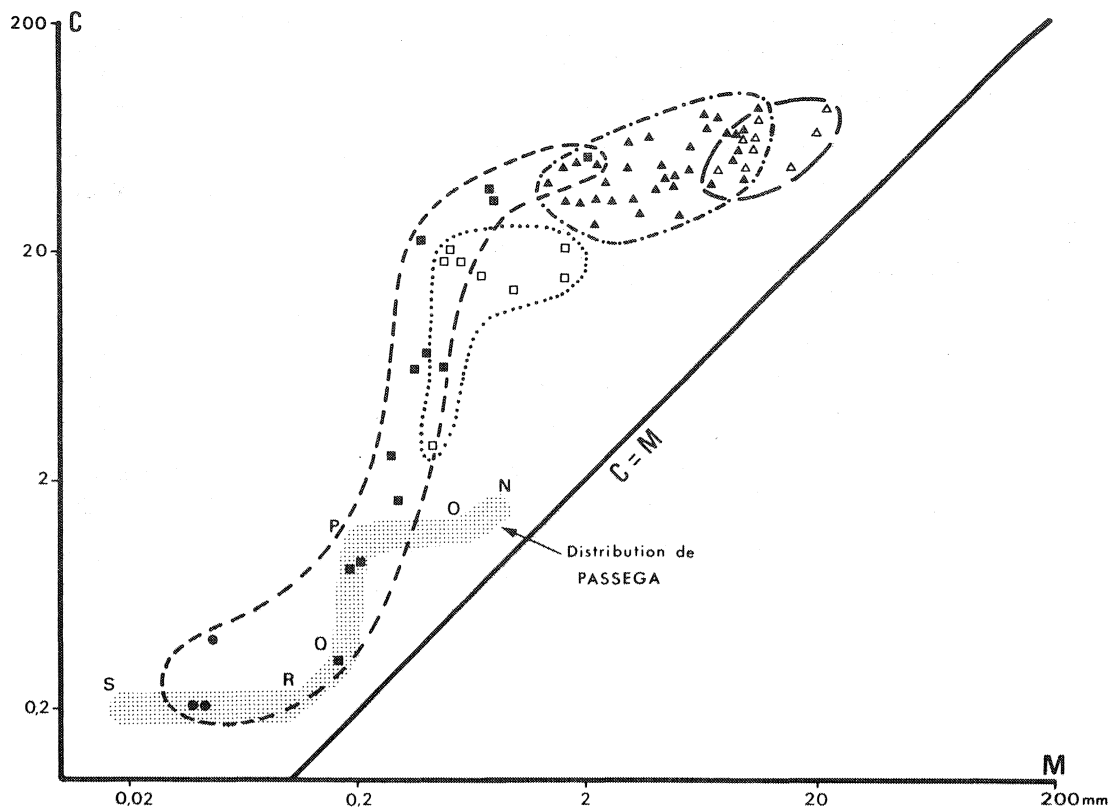


Figure 48 - Diagramme C - M des alluvions sablo-graveleuses de la Vilaine (la distribution de Passega est figurée en pointillés): Δ dépôts à graviers et galets imbriqués bien lavés (courbes granulométriques dites de type III) ; $\blacktriangle$ dépôts en masse (courbes granulométriques dites de type II) ; $\square$ sables en lentilles à graviers alignés (courbes granulométriques dites de type I à légère concavité vers le bas) ; $\blacksquare$ sables des chenaux et du bord convexe des méandres (courbes granulométriques sigmoïdes dites de type I) ; $\bullet$ limons des chenaux intercalés dans les sables et graviers.

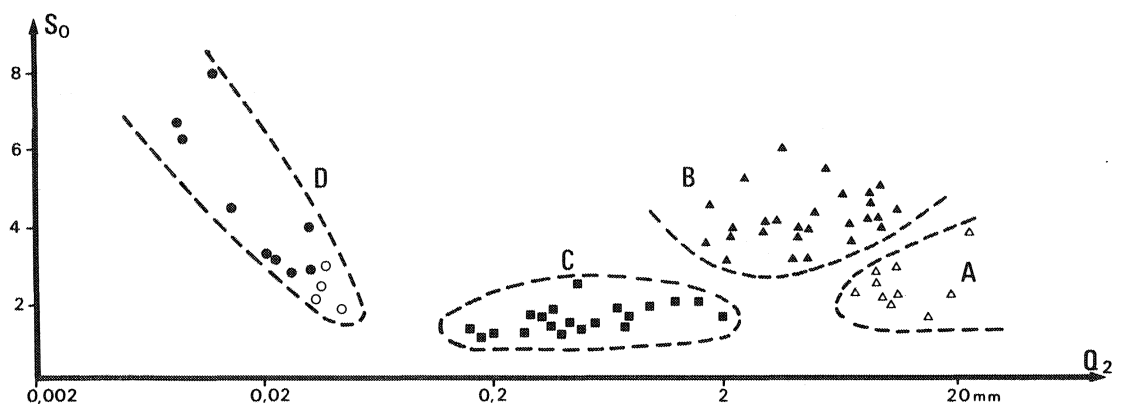


Figure 49 - Relation entre l'indice de classement S_0 et le médian Q_2 . A : dépôts à graviers et galets imbriqués bien lavés ; B : dépôts en masse ; C : lentilles sableuses et sables des chenaux ; D : limons de la découverte et des chenaux.

car les données ne sont pas suffisamment nombreuses. De plus, l'évolution continentale de ces dépôts postérieurement à leur mise en place, en a modifié la granularité et rend toute interprétation sédimentologique délicate sinon impossible. Le domaine occupé par les points figuratifs débord largement celui du diagramme original de Passéga et si l'allure des deux diagrammes est analogue, les limites sont très différentes. Sur le diagramme se rapportant aux alluvions de la Vilaine apparaissent plusieurs secteurs qui correspondent aux différents types de courbes granulométriques définis précédemment.

Les courbes granulométriques à concavité tournée vers le haut, dites de type III, se trouvent groupées à l'extrémité du diagramme correspondant à la région O N de la distribution de Passéga. Ces courbes sont caractéristiques des faciès de base à cailloux et graviers lavés et de faciès de tête et de bord de bancs. Ces niveaux ont été mis en place par roulement sur le fond, l'interprétation est donc analogue à celle de Passéga en notant toutefois la différence d'échelle.

Les points figuratifs des courbes granulométriques grossièrement rectilignes, dites de type II, sont rassemblés dans un secteur équivalent au segment OP du diagramme de Passéga. Ils correspondent au matériel constituant les bancs sablo-graveleux. Ce sont des dépôts en masse par excès de charge. La granularité est continue, mais limitée de façon nette du côté des petites dimensions : la majorité des courbes granulométriques cumulatives indique que la sédimentation devient importante pour les particules supérieures à 315 μ . Cette dimension donne une mesure de la compétence du fleuve au moment du dépôt.

Les points figuratifs des échantillons à courbes nettement sigmoïdes, dites de type I, occupent sur le diagramme une aire dont la partie médiane très développée est grossièrement parallèle à l'axe C, les extrémités étant légèrement recourbées en forme de "S". Ces courbes correspondent aux dépôts de chenaux secondaires et des bords convexes des méandres. Ce sont donc des sédiments qui ont subi un granoclassement important comme l'indiquent les indices S_0 de Trask qui sont tous inférieurs à 2. Là aussi, malgré la différence d'échelle, l'interprétation est analogue à celle de Passéga. L'aire correspondant à l'angle O P Q du diagramme de Passéga est occupée par les points représentatifs des dépôts des lentilles sableuses à graviers alignés. Leurs courbes granulométriques ressemblent aux courbes sigmoïdes, mais présentent une légère concavité vers le bas due à la présence des graviers alignés. Ces sédiments ont dû être mis en place par deux processus qui alternent plus ou moins régulièrement : les sables sont des dépôts de suspension tandis que les lits graveleux correspondent à des niveaux d'érosion et peut être considérés comme étant roulés sur le fond. De tels sédiments n'apparaissent pas sur le schéma de Passéga qui au contraire explique la netteté de l'angle O P Q par le fait que les sédiments intermédiaires sont rares.

Le diagramme C.M qui a l'avantage d'utiliser des paramètres simples est utile pour expliquer la mise en place des dépôts. Toutefois, les résultats de l'étude des alluvions de la Vilaine montrent que la généralité attribuée par Passéga au diagramme C.M ne se vérifie ni en ce qui concerne les limites granulométriques, ni en ce qui concerne la netteté des transitions entre les différentes aires correspondantes aux processus invoqués. Les limites granulométriques varient avec la compétence de l'agent de transport. Ainsi pour Passéga les sédiments transportés en suspension ont un grain moyen compris entre 125 μ et 250 μ tandis que sur la figure 48, il apparaît que le grain moyen peut varier de 150 μ à 1500 μ . La Vilaine au moment du dépôt devait donc avoir une compétence nettement supérieure à celles des fleuves et rivières qui ont servi de référence à cet auteur. De plus, pour les dépôts alluviaux, l'interprétation semble parfois trop schématique car un faciès peut être

le résultat de deux processus de dépôt qui alternent régulièrement et non d'un seul processus continu comme le suggère Passéga par son interprétation. C'est le cas des lentilles sableuses à graviers alignés, qui se sont formées à la suite de phases d'érosion responsables des alignements de graviers puis de phases de sédimentation qui ont donné la masse sableuse. De même, il semble difficile de rendre compte des courbes bimodales (en particulier, des nombreuses courbes cumulatives présentant une bosse des sables) par un seul processus de dépôt. Comme pour les lentilles sableuses, il paraît plus vraisemblable d'envisager deux phases successives de sédimentation : la fraction grossière composée essentiellement de graviers et galets est mise en place dans un premier temps, puis les sables qui sont ensuite déposés au-dessus s'infiltrèrent à travers les sédiments grossiers. Dans tous ces cas, l'utilisation du médian ne semble pas appropriée et il est bien évident que lorsque les courbes cumulatives sont bimodales ou plurimodales, les processus de dépôts sont reliés non pas au médian, mais aux différents modes.

En conclusion, s'il est clair que la granulométrie d'un dépôt est conditionnée par les facteurs qui ont présidé à sa mise en place, il est hasardeux de vouloir lier un type de dépôt à un seul processus de mise en place, car un sédiment peut être le résultat de processus successifs qui se sont effectués dans des conditions hydrodynamiques très différentes. C'est ainsi que, comme on le verra plus loin, dans le cas de dépôts de chenaux anastomosés, à un même instant, les conditions de dépôts sont si différentes d'un point à un autre d'une gravière, qu'il est possible d'observer à la fois tous les types de dépôts définis par Passéga. De même, au cours du temps, en un même point du gisement, différentes conditions hydrodynamiques se sont succédées si bien que sur une même verticale tous les types de dépôts peuvent également se rencontrer. La double hétérogénéité verticale et horizontale mise en évidence par l'étude des coupes constitue une des caractéristiques essentielles des alluvions sablo-graveleuses de la Vilaine.

Pour bien comprendre les différents faciès, il est nécessaire de replacer les dépôts dans leur milieu au moment de leur mise en place en tenant compte de tous les facteurs, notamment de la morphologie de la vallée, des conditions climatiques et des variations hydrodynamiques.

La mise en place des alluvions sablo-graveleuses est liée aux grandes glaciations du Quaternaire. Le Massif Armoricaïn qui appartenait au domaine périglaciaire a subi l'influence de ces glaciations comme le montrent les nombreux phénomènes observés dans ces dépôts (fentes en coin, cryoturbation, solifluxion). La succession de phases de gel et de dégel a contribué largement à la fragmentation des roches et à l'ameublissement des couches superficielles du sol. Ensuite, les périodes de réchauffement vont favoriser le transport des matériaux ameublés dans les talweg par des phénomènes de solifluxion puis permettre leur évacuation lors de la prise en charge par les rivières. La fusion rapide de quantités importantes de glace stockées pendant les périodes froides provoquaient de véritables débâcles. Leurs effets cumulés au cours de diverses périodes de réchauffement et de refroidissement ont eu pour résultat la mise en place de l'ensemble des faciès observés dans les formations alluviales de la vallée de la Vilaine.

À côté des conditions climatiques, la morphologie des vallées dans lesquelles se font les dépôts influent également sur les faciès. Il est évident que l'on ne trouvera pas les mêmes types de dépôts dans une vallée encaissée entre des rives abruptes et dans un vaste bassin aux rives en pentes douces qui permet de larges divagations du fleuve. C'est ainsi que pour les dépôts alluviaux on aboutit à deux types de modèles, inspirés par l'observation des cours d'eau actuels : ce sont les "meandering model" et "braided model" qui

correspondent en fait aux fleuves à méandres et aux fleuves à chenaux anastomosés. Une charge élevée, une pente forte du fleuve, des rives en pente douce sont favorables au développement des chenaux anastomosés tandis qu'une érosion importante des rives et un faible déplacement des chenaux caractérisent les fleuves à méandres (Reineck et Singh 1973). Bien que la pente de la Vilaine soit faible, les chenaux anastomosés se sont développés dans les bassins de Rennes, Messac et Langon car pendant les périodes de dégel, le débit de crue et la charge du fleuve étaient très élevés. Par contre pendant la traversée des synclinaux paléozoïques dans la région de Bourg-des-Comptes, la morphologie de la vallée empêchait toute divagation importante du fleuve et les dépôts alluviaux s'établissaient obligatoirement dans les méandres. Les dépôts de chenaux anastomosés vont donc se trouver dans les bassins de Rennes, Messac et Langon tandis que les dépôts de méandres sont localisés dans la région de Bourg-des-Comptes.

Les bassins de Rennes, Messac et Langon : dépôts de chenaux anastomosés

Le niveau basal des alluvions qui contient toujours des matériaux grossiers : graviers et cailloux imbriqués, constitue le faciès d'installation du fleuve (courbes granulométriques à concavité vers le haut). Le courant est suffisamment fort pour évacuer toute la fraction fine ainsi que les sables grossiers. Cet épisode doit correspondre au début d'un réchauffement qui, par suite de la fonte des glaces, accroît d'une manière importante le débit du fleuve. Toutefois comme la charge est faible, le fleuve ne dépose que les éléments les plus grossiers qui sont essentiellement des roches d'origine locale. Lorsque le réchauffement devient suffisant pour dégeler le sol sur une grande épaisseur, le fleuve prend en charge une énorme quantité de matériaux. Le débit solide devient trop important pour la vitesse du courant et les sédiments se déposent en masse au milieu du lit en bancs parallèles, l'installation de ces bancs se faisant soit au hasard, soit en fonction des irrégularités du lit. La longueur des bancs qui est relativement peu importante varie de quelques mètres à une centaine de mètres maximum. Les plus développés ont été observés dans les gravières du Houx et de la Grande Feuillée. L'imbrication de ces bancs due à leur déplacement pendant leur mise en place, l'absence de coupes continues et suffisamment propres (sans éboulis) rendent souvent difficile leur observation. Lorsqu'on peut les observer aisément, ils apparaissent grossièrement stratifiés horizontalement et contiennent en proportions équivalentes sables, graviers et galets (courbes grossièrement rectilignes). Leur croissance se fait dans les zones où la vitesse du courant est la plus faible c'est-à-dire vers l'aval et sur les côtes. La vitesse du courant étant plus importante dans les chenaux, les dépôts vont y être peu abondants et constitués essentiellement d'éléments grossiers. Au fur et à mesure que les bancs croissent, les chenaux voient leur largeur diminuer et la vitesse du courant augmente : les sédiments déposés sur le fond des chenaux et sur les flancs des bancs peuvent être érodés.

A la fin de la crue, les apports massifs de matériaux nouveaux vont cesser et le fleuve peu chargé possède une énergie suffisante pour remanier ses propres dépôts. Les sables sont remis en suspension et les petits graviers roulés sur le fond. Tous ces sédiments vont se redéposer dans les zones où la vitesse du courant est plus faible, en particulier à la queue des bancs sablo-graveleux. C'est là que se forment les lentilles sableuses à stratifications obliques (courbes sigmoïdes à légère concavité vers le bas), tandis que les zones érodées sont constituées de graviers et cailloux imbriqués (courbes à conca-

tivité vers le haut). Il est donc vraisemblable que les sédiments dont les courbes sont de type I (courbes sigmoïdes) et de type III (courbes à concavité vers le haut) proviennent du remaniement des dépôts en masse qui présentent une courbe de type II (courbes grossièrement rectilignes). Pendant cette période de remaniement, la vitesse du courant est toujours suffisante pour évacuer les éléments fins : argile, limons et sables fins. Ces sédiments vont se déposer dans les chenaux secondaires peu actifs (le Houx, la Moustière, Langon) ou sont évacués vers l'aval.

A chaque phase de dépôt ou de remaniement correspondent donc des sédiments très différents tant par leur granulométrie que par leur classement. Il existe d'ailleurs une bonne relation entre la granularité moyenne et le classement. Celle-ci apparaît bien sur le diagramme (figure 49) construit en portant l'indice de classement S_0 en fonction du médian Q_2 . Si l'on se limite à l'ensemble des alluvions grises, quatre zones apparaissent sur ce diagramme.

La zone A qui est caractérisée par une granularité grossière ($8 \text{ mm} < Q_2 < 30 \text{ mm}$) et un classement relativement bon ($S_0 < 3$), comprend tous les dépôts à graviers et galets imbriqués, bien lavés. Ces sédiments grossiers roulés sur le fond ont été mis en place en début de crue lorsque l'énergie du fleuve était grande par rapport à sa charge. De tels faciès se retrouvent également en période d'étiage car la charge étant devenue très faible le fleuve dispose d'une énergie suffisante pour exercer une érosion discrète et un remaniement des dépôts antérieurs. Ces faciès sont localisés là où les courants sont forts c'est-à-dire en tête de bancs et dans les chenaux principaux.

La zone B qui se définit par une granularité intermédiaire ($1,5 \text{ mm} < Q_2 < 15 \text{ mm}$) et par un mauvais classement ($S_0 > 3$), correspond aux dépôts en masse qui se produisent lorsque la charge excède la compétence du fleuve. Cette phase de sédimentation débute approximativement lorsque les eaux atteignent leur hauteur maximale.

La zone C qui est caractérisée par un intervalle de granularité couvrant la majeure partie de la fraction sableuse grossière ($0,15 \text{ mm} < Q_2 < 2 \text{ mm}$) et par un très bon indice de classement ($S_0 < 2,5$) correspond aux lentilles sableuses observées à la queue des bancs et dans les chenaux secondaires. Lors du remaniement des dépôts des têtes de bancs et des chenaux principaux, la fraction sableuse remise en suspension se dépose dès que la vitesse des courants décroît. Une suite de remaniements favorise le très bon classement de ces sables avant leur mise en place définitive en queue de banc ou dans les chenaux secondaires.

La zone D qui correspond aux faibles granularités montre que dans ce cas l'indice de classement S_0 se détériore lorsque la granularité décroît. Deux types de dépôts y sont figurés : d'une part des limons sableux qui sont rencontrés dans des chenaux très peu actifs, d'autre part des limons de débordement qui surmontent les sables et graviers sur toute l'étendue du lit majeur actuel. La mise en place des premiers s'est effectuée dans des bras morts où les vitesses de courant étaient très faibles. Le dépôt des seconds s'est effectué plus récemment lors de la phase ultime de l'édification de la terrasse. Le fleuve qui a actuellement une compétence sans commune mesure avec celle qu'il avait au moment du dépôt des sables et graviers, ne dépose plus que des sédiments fins sur toute l'étendue du lit majeur en fin de crue. Le fait que le classement varie avec la granularité moyenne du sédiment indique l'influence des facteurs autres que la gravité. Les sédiments les plus grossiers et les mieux classés correspondent à des dépôts (limons grossiers et sables fins) où l'influence de la gravité reste prépondérante tandis que les sédiments

les plus fins et les moins bien classés (limons argileux) dénotent une influence croissante des "phénomènes colloïdaux".

Ces processus de dépôts et de remaniements se sont succédés dans le temps et leurs modalités ont varié en fonction des pulsations climatiques et des variations du niveau de base local qui devaient être contrôlées du moins en partie par la subsidence des bassins. L'observation des alluvions permet de distinguer localement des cycles majeurs et des cycles mineurs. Les relations existantes entre les processus de dépôt, les faciès observés et les caractéristiques granulométriques des sédiments peuvent néanmoins être schématisées (figure 50). Chaque cycle correspond à une grande crue et comporte trois phases essentielles.

- La première correspond à un début de crue. Le fleuve ayant une charge inférieure à sa compétence, a suffisamment d'énergie pour évacuer la majeure partie des éléments qu'il transporte. Seuls les sédiments les plus grossiers qui sont roulés sur le fond se déposent pour former les niveaux à graviers et galets imbriqués ($8 \text{ mm} < Q_2 < 30 \text{ mm}$) assez bien classés ($S_0 < 3$) de la base des coupes.

- La seconde commence lorsque la charge du fleuve devient supérieure à sa compétence. Les sédiments se déposent alors en masse dans des bancs parallèles ; ils possèdent un mauvais classement ($S_0 > 3$).

- La troisième phase a lieu dès que la décrue s'amorce nettement. Le fleuve qui a alors un débit solide plus faible conserve suffisamment d'énergie pour remanier les dépôts de la phase précédente. L'érosion dans les chenaux principaux va donner des lits grossiers à graviers et galets imbriqués ($8 \text{ mm} < Q_2 < 30 \text{ mm}$) tandis que les sables remis en suspension vont se redéposer à la queue des bancs. Le classement plus facile à réaliser dans les fractions sableuses ($S_0 < 2,5$) reste assez bon ($S_0 < 3$) pour tous les sédiments issus de ces remaniements. Les sédiments les plus fins (sables fins et limons) se déposent dans les chenaux secondaires peu actifs ou intermittents (bras mort).

Bien évidemment un nouveau cycle pourra être déclenché lors d'une nouvelle crue importante et les premiers dépôts correspondants seront des graviers et galets imbriqués analogues à ceux rencontrés à la base des coupes.

Les dépôts de chenaux anastomosés des bassins de Rennes, Messac et Langon sont donc caractérisés par une très grande hétérogénéité due aux variations des conditions hydrodynamiques qui règnent sur toute l'aire de dépôt mais aussi pendant toute la durée de la mise en place des alluvions. Le déplacement permanent des chenaux sur toute l'étendue de la plaine alluviale pendant la durée d'un cycle de dépôt et la superposition de plusieurs cycles en un même lieu entraînent une très grande imbrication des différents faciès.

La région de Bourg-des-Comptes : dépôts de méandres

Dans la région de Bourg-des-Comptes, pendant la traversée des formations paléozoïques, la vallée de la Vilaine est étroite et encaissée. Le fleuve arrache des matériaux du côté concave et dépose des alluvions du côté convexe. La falaise rocheuse et les dépôts alluviaux empêchent toute divagation et en période de crue, il va être obligé de recouvrir ses propres dépôts du côté convexe. L'ensemble des dépôts du méandre forme un vaste banc dont la croissance s'est faite régulièrement du côté convexe et vers l'aval. Les observations faites dans la gravière du Mortier ont mis en évidence différents faciès ainsi que leurs positions respectives dans le méandre ce qui permet de préciser les processus de mise

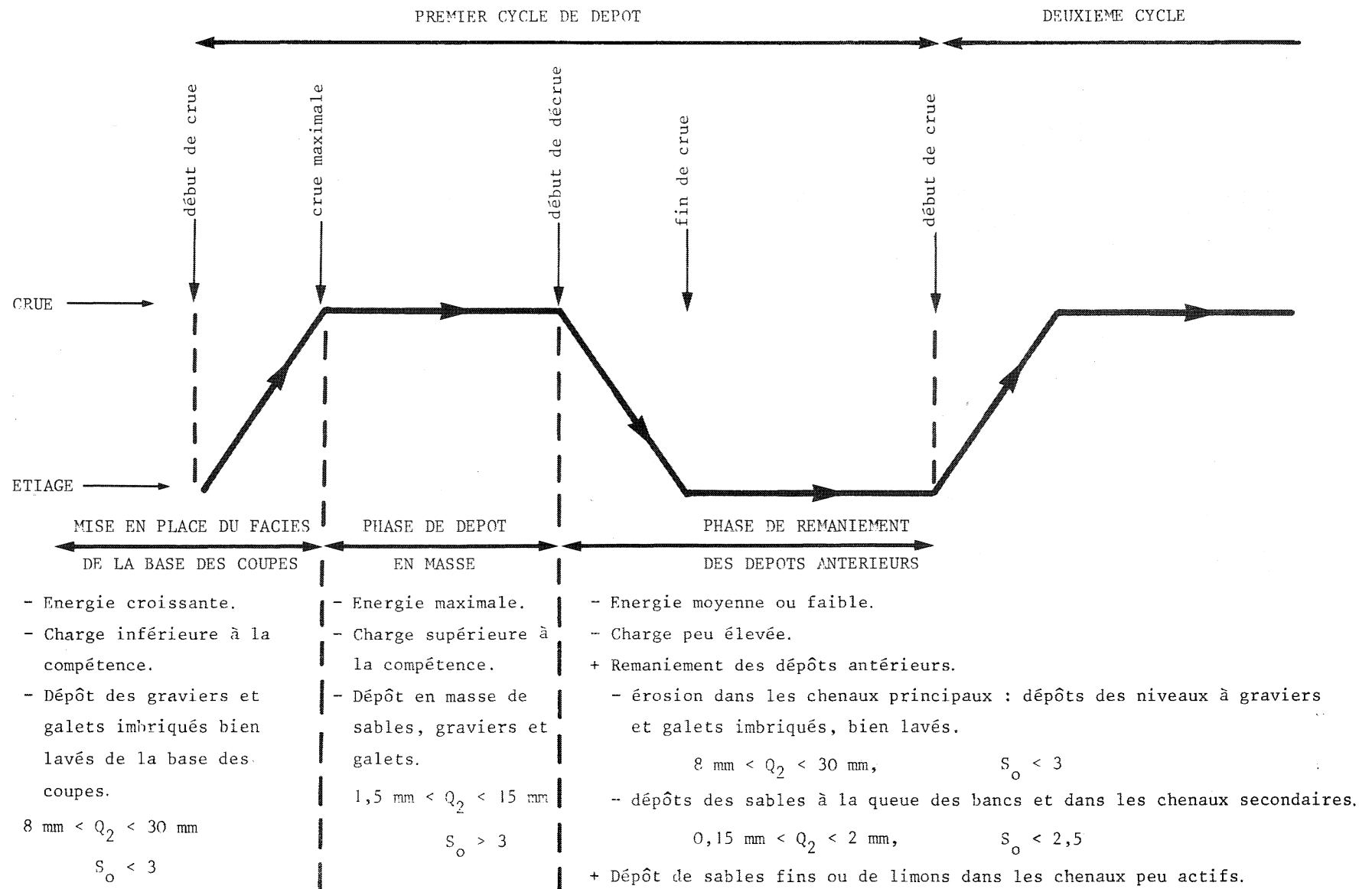


Figure 50 - Relation entre les processus de dépôt, les faciès observés et les caractéristiques granulométriques des sédiments.

en place des dépôts. Outre les dépôts plus récents (limons de débordement et colluvions) quatre faciès peuvent être distingués dans les sables et graviers : les dépôts grossiers de base, les dépôts en masse qui contiennent en proportions équivalentes, sables, graviers et galets, le faciès à chenaux imbriqués et enfin les dépôts lavés qui contiennent une forte proportion de graviers et galets.

Les dépôts grossiers de base contiennent de très gros blocs (quelques uns pèsent plus d'une tonne) qui proviennent des éboulements rocheux dus au sapement, par le fleuve, du bas de la falaise. Tous les blocs et cailloux ont une forme anguleuse et une très faible usure qui indiquent un transport très court. Ils sont donc d'origine locale et proviennent soit directement de la rive concave soit des méandres situés immédiatement en amont. Ces éléments grossiers ont permis le dépôt d'éléments plus fins (sables et graviers) pour lesquels ils ont constitué de véritables "pièges". Ce faciès de base a une épaisseur plus importante du côté convexe et présente une inclinaison nette vers le côté concave. Sa mise en place n'a pas eu lieu en une seule phase mais s'est faite progressivement au fur et à mesure de la progression du méandre. C'est en fait un faciès d'installation homologue des niveaux de graviers et galets imbriqués de la base des coupes dans les bassins.

Immédiatement au dessus des dépôts grossiers de base, repose un ensemble complexe qui est caractérisé par de grandes variations granulométriques. Au centre du méandre, il est formé d'un dépôt composé de sables, graviers et cailloux en proportions équivalentes (courbes granulométriques de type II). Puis vers l'aval, du côté du fleuve actuel, le sédiment devient progressivement plus riche en sables, en raison de la présence de très nombreuses lentilles, aux limites diffuses, dans la masse du dépôt. Les sédiments grossiers riches en sables laissent place vers l'aval au faciès à chenaux imbriqués qui ne contiennent plus que des sédiments fins bien classés (courbes sigmoïdes de type I). Ce faciès apparaît comme un empilement de nombreux chenaux qui possèdent chacun un granoclassement horizontal net : les sables grossiers se situent du côté concave tandis que les sables fins ou les limons sont rencontrés du côté convexe. Ces sédiments fins sont toujours très bien classés ($S_0 < 2,5$).

Localement, les dépôts contiennent au contraire une forte proportion de graviers et dans ce cas, les niveaux se rapprochent des lits à graviers et galets imbriqués (courbes granulométriques de type III) rencontrés dans le bassin de Rennes notamment.

Outre les dépôts grossiers de base qui sont propres aux méandres, les dépôts sablo-graveleux de la région de Bourg-des-Comptes sont analogues à ceux rencontrés dans le bassin de Rennes. Les trois types de dépôts caractérisés par leurs courbes cumulatives se retrouvent dans un vaste banc localisé sur le bord convexe du méandre. Il est donc possible d'envisager pour les méandres les mêmes processus de mise en place des dépôts que ceux qui ont régné dans les chenaux anastomosés, seules la disposition et l'importance relative des différents faciès changent.

Le début de crue provoque une érosion intense de la rive concave et les éboulements de la falaise alimentent le fleuve en matériaux grossiers. Bien que la charge du fleuve n'excède pas sa compétence, il va déposer une quantité importante de sédiments au sein des blocs et cailloux. Tous ces dépôts se font dans le chenal principal en bordure de la rive concave. Lorsque la charge devient supérieure à la compétence du courant, les sédiments se déposent en masse et forment un vaste banc qui se développe à partir de la rive convexe. En fin de crue ainsi qu'en période d'étiage, la charge est inférieure à la compétence et le fleuve possède une énergie suffisante pour remanier ses propres dépôts. L'érosion dans la

partie amont du banc provoque une remise en suspension de la fraction sableuse qui se redépose dans les zones où les vitesses des courants sont les plus faibles, c'est-à-dire à la queue du banc, du côté convexe. Pendant les différentes phases de remaniement, les éléments fins (sables et limons grossiers) se déposent toujours dans le même secteur, à l'extrémité aval du banc.

Les apports successifs de sables et les variations du niveau du fleuve favorisent l'empilement des sédiments fins pour donner le faciès à chenaux imbriqués. Tous les chenaux secondaires comme le chenal principal, ont un gradient d'énergie qui varie avec la profondeur de l'eau et la vitesse du courant. Les sédiments déposés dans chacun de ces chenaux ont donc une granularité qui est en rapport avec cette énergie : les sables grossiers se déposent du côté concave tandis que les sables fins et les limons sont mis en place du côté convexe. Au cours des apports successifs dus à de nouvelles crues le banc va croître vers l'aval et le faciès à chenaux imbriqués qui est situé dans la partie basse du banc pourra être recouvert soit par des dépôts en masse soit par des dépôts plus riches en graviers comme cela a pu être observé dans la gravière du Mortier (figure 33). L'importance des dépôts sableux dans le méandre indique que les périodes de remaniement ont été longues, mais il est vraisemblable que le sable ne provient pas uniquement du remaniement des dépôts locaux. Une partie importante doit venir de l'amont et notamment du bassin de Rennes. Le méandre constitue en effet la première aire importante favorable au dépôt des sédiments fins.

Le passage de la sédimentation grossière sablo-graveleuse à une sédimentation composée exclusivement de limons (limons de débordement) témoigne d'une baisse très importante de l'énergie du fleuve et correspond vraisemblablement à un changement climatique. Pendant les périodes de crues, le fleuve ne transporte plus que des sédiments fins : limons et argiles, qui sont déposés en bordure immédiate du lit actuel car les crues sont de faible amplitude. Toute la partie supérieure du méandre située à quelques mètres au-dessus du niveau actuel du fleuve n'est plus jamais recouverte par celui-ci et les dépôts sablo-graveleux subissent alors uniquement l'action de l'érosion superficielle. Des produits d'altération du substratum local sont alors mélangés aux sables et graviers pour former un niveau de colluvions qui recouvre tous les dépôts sablo-graveleux au-delà des limons de débordement.

En résumé, les processus hydrodynamiques qui ont présidé à la mise en place des dépôts dans les méandres sont identiques à ceux observés dans les bassins, mais l'importance et la répartition des différents faciès changent. Alors que dans les bassins, le matériau transporté par le fleuve se déposait dans de très nombreux bancs parallèles, sur toute l'étendue de la plaine alluviale, ici le matériau est mis en place uniquement sur le côté convexe du méandre dans un vaste banc qui a grossièrement la forme d'un croissant. L'important gradient d'énergie qui règne dans les différents points du méandre permet le dépôt de sédiments qui couvrent un vaste domaine granulométrique ; ainsi des dépôts très grossiers à blocs et cailloux sont juxtaposés aux sédiments fins des chenaux imbriqués. Bien que le banc migre progressivement vers l'aval, le système est dans son ensemble beaucoup plus stable que pour les chenaux anastomosés, et les différents faciès sont dans ce cas mieux individualisés. Les limons de débordement qui surmontent les sables et graviers sur de vastes étendues dans les bassins de Rennes et de Langon sont ici très réduits et très étroitement localisés sur la rive convexe tandis que les colluvions bien plus importantes recouvrent toute la partie moyenne de la terrasse.

III. ESSAI DE SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE

Il n'existe aucune relation directe entre le relief et le réseau hydrographique de la Vilaine. Alors que les grandes structures géologiques sont grossièrement orientées Est-Ouest, la Vilaine traverse tous les terrains, à partir de Rennes, selon une direction Nord-Est, Sud-Ouest quelque soit leur relief (Meynier 1940). Les grands traits du réseau hydrographique sont très anciens et se sont vraisemblablement dessinés lors d'une phase tectonique post-helvétique (Durand et Estéoule - Choux 1977) : ils sont antérieurs aux dépôts des sables pliocènes. Des dépôts de sables pliocènes, puis des alluvions quaternaires peuvent donc être considérés comme le remplissage de "grabens" préexistants. Les réajustements tectoniques pliocènes et post-pliocènes n'ont pas modifié sensiblement le tracé de la Vilaine, mais ont obligé le fleuve à entailler très profondément les formations hercyniennes. L'érosion de ces formations a été facilitée par la présence de failles importantes, perpendiculaires aux structures, que le fleuve a empruntées pour franchir ces barrières. Il est vraisemblable que les mouvements tectoniques se sont poursuivis pendant toute la durée du Quaternaire ; ils se traduisent par une subsidence des bassins tertiaires (bassins de Rennes et de Langon) et un relèvement relatif des formations hercyniennes notamment au Sud de Pont-Réan. Outre l'influence de la morphologie de la vallée, ces phénomènes tectoniques peuvent expliquer les altitudes de ces dépôts par rapport au fleuve actuel. En effet, les alluvions sablo-graveleuses de la basse terrasse reposent, dans les bassins tertiaires, au niveau du fleuve actuel, tandis que dans la région de Bourges-Comptes, elles peuvent être rencontrées à une dizaine de mètres au-dessus. Bien qu'il soit difficile d'apprécier les influences respectives, de la morphologie des vallées et des mouvements tectoniques récents dans la répartition des alluvions, il est vraisemblable que la subsidence ait favorisé la sédimentation dans les bassins.

La régression pliocène marque le début d'une phase d'érosion importante qui va affecter toutes les formations du bassin hydrographique de la Vilaine, en particulier la couverture tertiaire, et qui correspond à la mise en place des premiers dépôts alluviaux dans la région du cours moyen. Cette érosion s'est poursuivie pendant toute la durée du Quaternaire et elle a été très importante car il ne subsiste actuellement que quelques placages, de la puissante formation des "sables rouges". De la même manière, les dépôts alluviaux les plus anciens ont été érodés et les observations qui sont faites de nos jours

ne portent que sur les dépôts les plus récents. Ces phases d'érosion et de dépôts qui se sont succédées pendant toute la durée du Quaternaire sont essentiellement liées aux grandes variations climatiques. Si l'étude détaillée de la mise en place des dépôts et de leur évolution permet de faire une chronologie relative des faits, il est beaucoup plus difficile de les rattacher aux grandes périodes connues du Quaternaire.

Toutefois, à partir des données dont on dispose et en comparant les dépôts avec d'autres mieux datés, il est possible de proposer un âge pour les différentes formations : les sables et graviers rouges se rattacheraient au Riss (Saale), les sables et graviers gris sont considérés comme d'âge Würm (Weischel) et enfin la mise en place des limons de débordement correspond au Flandrien.

De la terrasse rissienne, il ne reste que quelques lambeaux épars situés à quelques mètres ou à une vingtaine de mètres maximum, au-dessus de la terrasse wurmienne. Il est difficile d'avoir une idée de l'importance que cette terrasse pouvait avoir avant que l'érosion ne l'ait démantelée. Toutefois l'épaisseur maximale, des sables et graviers rouges rencontrés est de 5 à 6 mètres environ, ce qui est tout à fait comparable aux épaisseurs de sables et graviers gris. Cette terrasse a vraisemblablement recouvert de vastes étendues notamment au Sud de l'agglomération rennaise où elle est rencontrée à plus de 1 kilomètre de part et d'autre du fleuve actuel. La position des sables et graviers à des altitudes différentes a parfois suggéré l'existence de plusieurs terrasses étagées comme il est précisé sur la notice de la carte géologique (feuille de Redon au 1/80.000 3ème édition). Mais à la suite de toutes les observations qui ont été faites, aucune caractéristique susceptible de différencier plusieurs terrasses n'a pu être mise en évidence. Au contraire, l'ensemble de ces caractéristiques tend à montrer que tous les placages de sables et graviers rouges appartiennent à la même unité et ont subi la même évolution. Les variations dans les altitudes relatives des gisements peuvent être attribuées à l'érosion qui a pu être plus ou moins intense selon les endroits, aux variations locales des conditions de dépôts, et aux mouvements tectoniques récents. Les observations faites sur les sables et graviers rouges montrent que leurs conditions de dépôt devaient être identiques à celles qui ont régné au moment de la mise en place des sables et graviers gris. Seule l'évolution postérieure à leur dépôt permet de les différencier.

À l'interglaciaire Riss-Würm, les dépôts de la terrasse rissienne ont été altérés et rubéfiés. C'est également pendant cette période que les sédiments fins, analogues aux limons de débordement, qui surmontent les sables et graviers dans la carrière de Port-de-Roche, ont été mis en place. Les sols qui se sont développés soit sur la couverture argilo-limoneuse, soit sur les sables et graviers sont responsables de l'altération et de la rubéfaction des dépôts. Bien que la fraction grossière des graves qui est formée essentiellement de quartz et quartzites ou de grès résistants, ait été peu affectée, l'altération a néanmoins pu être mise en évidence par la présence de quelques galets de roches cristallines en voie d'arénisation et d'une faible quantité de grès et de schistes très altérés, peu cohérents. Elle se marque par un enrichissement en argile des alluvions et par une mobilisation du fer. L'accumulation de ces éléments s'est faite surtout dans la partie supérieure des coupes sous forme de complexes ferri-argileux qui enrobent les sables et graviers. La nature des minéraux argileux montre que durant l'interglaciaire Riss - Würm, l'altération était plus importante qu'à l'époque actuelle. En effet, la chlorite qui est le minéral à 14 Å le plus abondant dans les sables et graviers gris a pratiquement disparu dans les sables et graviers rouges au profit de la vermiculite ou de la

montmorillonite selon les conditions de drainage. Les hydroxydes de fer qui ont été décelés sont essentiellement la lèpidocrocite et parfois la goethite. La rubéfaction plus ou moins intense qui a accompagné les processus d'altération semble être générale pendant cette période tant dans le domaine littoral (Guillaume - Bruno 1972) que dans le domaine continental (Plihon 1974) ; elle déborde largement le Massif Armoricaïn puisqu'elle est signalée dans de nombreuses terrasses (Clair, Doret et Puissegur 1972, Ducloux 1973, Redondo 1973, Hubschmann 1975, Bornand 1978).

Pour certains auteurs (Hubschman 1975, Bornand 1978), il n'est pas nécessaire de faire intervenir des différences importantes dans l'agressivité des climats au cours des interglaciaires pour expliquer les rubéfections car une durée plus ou moins longue d'une même pédogénèse peut donner des sols de couleurs différentes. La présence constante de la vermiculite tant dans les limons de débordement que dans les alluvions rouges, montre effectivement que les conditions climatiques de l'interglaciaire Riss-Würm ne devaient pas être très différentes des conditions actuelles. Toutefois, la destruction de la chlorite et la présence d'enrobements ferri-argileux témoins d'un lessivage important incitent à penser qu'un climat à saisons plus contrastées, légèrement plus chaud et plus humide que l'actuel a régné pendant l'interglaciaire Riss-Würm.

La fin de l'interglaciaire Riss-Wurm est marquée par une reprise de l'érosion qui va progressivement démanteler presque totalement la terrasse rissienne. Pendant toute la durée du Würm, les phénomènes périglaciaires (cryoturbation et solifluxion) et l'érosion superficielle vont modifier d'une manière importante la partie supérieure non encore érodée des sables et graviers rouges. Un brassage plus ou moins important des alluvions avec des matériaux d'origines diverses (limons, colluvions, éboulis de pente), peut avoir lieu. Les sédiments qui en résultent n'ont plus tous les caractères des alluvions rouges (la couleur rouge, les stratifications, les lits de granulométries différentes peuvent disparaître) et en général ils présentent un enrichissement en éléments fins : argile et limons. A la suite de cette reprise de l'érosion une nouvelle terrasse s'établit à une quinzaine de mètres en moyenne au-dessous de la précédente. L'érosion étant beaucoup plus importante que les dépôts, du moins dans le cours moyen de la Vilaine, les terrasses apparaissent étagées. Etant donné le manque de discontinuités lithologiques ou de niveaux repères il est impossible de distinguer plusieurs phases dans la mise en place des sables et graviers de cette terrasse. Il faut donc considérer que globalement le dépôt des sables et graviers gris correspond au Würm : les périodes de gel sont favorables à une "préparation mécanique" du matériau sur les versants tandis que le dépôt des alluvions se fait pendant les périodes de dégel. Le dégel provoquait de véritables débâcles et sans être un véritable torrent puisque sa pente est très faible, la Vilaine avait une grande énergie qui lui permettait de transporter une forte charge composée d'éléments grossiers. Le fleuve et ses affluents collectaient des matériaux en amont et les déposaient en masse dans les bassins (Rennes, Messac et Langon) et sur le bord convexe des méandres (Bourg-des-Comptes). La morphologie de la vallée a eu une grande influence sur les processus de dépôt et donc sur les faciès qui en résultent.

Dans les bassins, le fleuve a pu divaguer aisément et a développé un réseau de chenaux anastomosés. Pendant les périodes de crue, les sédiments qui contiennent sables, graviers et cailloux en proportions équivalentes, se déposent en masse dans de nombreux bancs peu importants, disséminés à travers la plaine alluviale. Les périodes de décrue ou d'étiage sont favorables aux remaniements des dépôts et permettent un bon classement des sédiments remaniés. L'ensemble des alluvions sablo-graveleuses apparaît formé d'un enchevê-

trement de lentilles de matériau ayant des granularités très différentes. Dans les méandres, l'érosion des rives concaves a fourni des dépôts grossiers de base qui contiennent de nombreux cailloux et blocs. Pendant les périodes de crue les alluvions se sont déposées en masse au-dessus des dépôts grossiers dans un vaste banc accroché à la rive convexe des méandres. La faible énergie du fleuve sur la rive convexe pendant les phases de remaniement a permis le développement d'un important faciès à chenaux imbriqués formé essentiellement de sédiments fins (sables et limons grossiers). Les dépôts de méandre apparaissent donc plus hétérogènes que ceux des bassins et les différents faciès sont mieux individualisés bien que toujours très imbriqués.

Le passage de la sédimentation grossière sablo-graveleuse à une sédimentation plus fine formée uniquement d'argile et de limons indique une évolution vers un climat plus tempéré, proche de l'actuel. Ce changement climatique qui a beaucoup modifié les conditions hydrodynamiques du fleuve a commencé au Flandrien et c'est à partir de cette période qu'il faut envisager la mise en place des limons de débordement de la terrasse récente. Plusieurs données permettent de préciser plus exactement la période à laquelle cette nouvelle phase de dépôt a commencé. Une datation au C^{14} effectuée sur des troncs d'arbres fossiles situés à la limite des graviers et limons, dans la gravière de Cramoux sur le Meu a donné 5140 ± 100 B.P.*, c'est à dire la fin de la période atlantique. De plus, une étude palynologique effectuée sur un sondage du bassin de Langon a montré que la partie supérieure des sables et graviers correspondait également à la période atlantique (Morzadec - Kerfourn 1973). La concordance entre le résultat de la datation absolue et ceux de l'étude palynologique indique que les limons de débordement du bassin de Langon ont le même âge que ceux du bassin de Rennes : ils se sont déposés depuis la fin de la période atlantique jusqu'à l'actuel. Les limons du cours moyen de la Vilaine ont été mis en place plus tardivement que ceux de l'estuaire au Sud de Redon où la sédimentation est déjà très importante à partir de la fin du Boréal (Morzadec-Kerfourn 1973). Au début de la transgression flandrienne, pendant les périodes préboréale et boréale, la Vilaine dans son cours moyen ne devait pas transporter d'importantes quantités de matériaux, mais devait simplement remanier les sables et graviers déposés à la fin du Würm. La sédimentation a repris dès la fin de la période atlantique et s'est poursuivie jusqu'à nos jours avec des intensités variables selon les périodes. Actuellement les dépôts sont très faibles et la Vilaine ne transporte plus que des sédiments très fins comme l'a montré une étude granulométrique des dépôts du lit actuel (Lafond 1953).

L'importance des limons et argiles est liée à la morphologie de la vallée : très étendus et relativement épais dans les bassins de Rennes et de Langon, ils sont limités ailleurs à une bande étroite de part et d'autre du fleuve. Dans le bassin de Rennes, le dépôt des limons correspond à la décantation des eaux du fleuve en crue, retenues par la barrière de Pont-Réan. Le fleuve qui perd alors beaucoup de son énergie dépose la majeure partie de sa charge immédiatement en amont de cette barrière. Les épaisseurs les plus importantes de limons sont d'ailleurs rencontrées dans les gravières de la Grande Feuillée situées à l'amont immédiat de Pont-Réan. A partir de Langon, une série de sondages a montré que les épaisseurs maximales de sédiments fins argilo-limoneux rencontrés étaient de 8 mètres à Langon, 17 mètres à Redon, 25 mètres près d'Arzal : l'épaisseur des dépôts augmente donc régulièrement vers l'aval. La pente très faible du fleuve dans cette région ainsi que l'influence des marées ont dû favoriser la décantation des sédiments fins. Il est d'ailleurs peu vraisemblable que tous les dépôts soient exclusivement d'origine fluviatile car l'influence marine a été importante à certaines périodes de la transgression flandrienne (Lafond 1961, Morzadec - Kerfourn 1973).

* Datation effectuée par J.C. FONTES

Une nouvelle phase importante de pédogénèse homologue de celle qui a régné à l'interglaciaire Riss-Würm a commencé dès la fin du Würm et s'est poursuivie jusqu'à la période actuelle. L'ensemble des dépôts a donc évolué pendant toute cette période sous l'influence des facteurs bioclimatiques. Les sols développés sur les limons de débordement et les colluvions présentent des caractères de sols bruns lessivés dans leur partie supérieure tandis que les phénomènes liés à l'hydromorphie dominent dans les horizons profonds.

L'étude des minéraux argileux de la découverte (limons et colluvions) a mis en évidence la vermiculite qui est particulièrement abondante au sommet des coupes ; elle est remplacée par la montmorillonite en profondeur, dans les zones à hydromorphie permanente. La chlorite qui est presque toujours présente montre parfois un début d'altération en chlorite gonflante. Le lessivage peu important de la partie supérieure des alluvions n'a pas été suffisant pour provoquer un enrichissement, en particules fines, des sables et graviers gris comme cela était le cas pour les sables et graviers rouges. Les cortèges de minéraux argileux de la découverte et des sables et graviers sont d'ailleurs sensiblement différents : la vermiculite abondante dans la découverte ne se retrouve pas dans les sables et graviers gris où la chlorite devient le minéral à 14 Å dominant. Ce minéral semble constant et bien représenté au Würm dans de nombreuses formations superficielles du Massif Armoricaire (Toulemont 1965, Melou 1968, Guillaume-Bruno 1972, Plihon 1974). La présence de ce minéral relativement fragile indique que pendant toute la durée du Würm, l'altération a été moins intense qu'à l'interglaciaire Riss-Würm où la chlorite avait été pratiquement détruite.

Bien que relativement peu agressive, l'altération actuelle provoque une grande mobilisation du fer et du manganèse. Même en l'absence de toute rubéfaction, les hydroxydes de fer et notamment la lépidocrocite ont été rencontrés en abondance dans certains niveaux sous forme diffuse. Les hydroxydes de manganèse qui ont l'aspect d'une "suie" noire, recouvrent fréquemment les sables et graviers. Les précipitations d'hydroxydes de fer et de manganèse sont parfois si abondantes qu'elles forment un véritable ciment qui donne à la grave une cohésion généralement facile à détruire au marteau. Toutefois dans quelques gravières (La Moustière, Talensac) ces hydroxydes sont fortement indurés sur une épaisseur qui peut dépasser 1 mètre et dans ce cas, les sables et graviers sont transformés en poudingue très cohérent. Les hydroxydes de fer mis en évidence sont alors la goethite et un peu de lépidocrocite. Toutes ces précipitations d'hydroxydes se font dans la zone de battement de la nappe qui peut se situer soit à mi-hauteur dans les sables et graviers (La Moustière) soit à leur sommet, notamment lorsque les limons de la découverte sont très épais (La Grande Feuillée).

En conclusion, les dépôts du cours moyen de la Vilaine forment deux terrasses d'alluvions sablo-graveleuses grossières surmontées chacune par une couverture de limons de débordement. Etant donné l'absence de tout critère précis de datation (sauf pour les limons de débordement de la basse terrasse), seule une chronologie relative des événements, déduite des caractéristiques des formations, permet de leur proposer un âge. Schématiquement, on peut considérer que les alluvions grossières sablo-graveleuses qui forment nettement deux terrasses, se sont déposées pendant les deux dernières périodes glaciaires : Riss (Saale) et Würm (Weischel), tandis que les limons qui les surmontent datent respectivement de l'interglaciaire Riss-Würm et du Flandrien.

De la terrasse rissienne qui a été largement entamée par l'érosion, il ne subsiste actuellement que quelques lambeaux accrochés aux flancs des vallées. L'étude granulométrique des sables et graviers d'âge Riss a montré que leur mise en place s'est faite dans des conditions semblables à celles des sables et graviers d'âge Würm. Seule leur évolution ultérieure sous le climat relativement agressif de la période interglaciaire Riss-Würm qui a provoqué un enrichissement important en éléments fins ferri-argileux ainsi que la rubéfaction de ces sables et graviers, permet de les distinguer des sables et graviers de la terrasse würmienne. L'altération a provoqué la destruction de la chlorite qui est remplacée par la vermiculite ou la montmorillonite.

La terrasse würmienne est formée de sables et graviers gris qui occupent le fond de la vallée actuelle. Peu abondants et discontinus en amont d'Acigné, les sables et graviers sont rencontrés à partir de cette localité sur toute l'étendue du lit majeur actuel et même largement au-delà, notamment dans les bassins de Rennes, Messac et Langon ainsi que dans les méandres de la région de Bourg-des-Comptes. Comparés à ceux de la terrasse rissienne, ils apparaissent pauvres en fines et ne présentent pas de traces d'altération. Le minéral à 14 Å le plus abondant est la chlorite.

Le réchauffement progressif du climat à la fin du Würm a modifié les conditions hydrodynamiques du fleuve. Après vraisemblablement une phase de remaniement superficiel des dépôts würmiens, la Vilaine a déposé en période de crues des limons de débordement au-dessus des sables et graviers sur toute l'étendue de son lit majeur. Une datation au C^{14} a montré que dans la région du cours moyen, cette phase de dépôt a commencé vers la fin de la période atlantique. Lorsque les sables et graviers würmiens ne sont pas recouverts par des limons de débordement, l'érosion provoque des remaniements superficiels qui entraînent la formation de colluvions.

IV. CONSIDERATIONS GEOTECHNIQUES

Les sables pliocènes de la région et les alluvions de la Vilaine présentent un grand intérêt économique pour l'agglomération rennaise. Ces matériaux sont utilisés essentiellement pour la construction, notamment dans les centrales à bétons, et à un degré moindre pour les routes où ils servent à la confection de remblais et de couches de forme. La production annuelle des sables et graviers du bassin de Rennes (y compris la basse vallée du Meu), dépasse 1 million de tonnes par an. Etant donné l'augmentation continue de la consommation et les faibles réserves évidentes comparées à celles des grands bassins alluvionnaires, il apparaît de plus en plus nécessaire de faire un inventaire précis des ressources en matériau sablo-graveleux de la région. Une bonne connaissance de l'extension et de la qualité des gisements permettrait en effet de protéger, dans les plans d'aménagement, les surfaces riches en matériau. Si cet inventaire est actuellement indispensable à proximité de l'agglomération rennaise, il sera également utile à plus long terme pour l'ensemble de la vallée de la Vilaine. Cet inventaire pourrait se traduire par une cartographie des gisements avec leurs caractéristiques où seront précisées les qualités géotechniques du matériau afin de prévoir une exploitation ultérieure adaptée aux besoins régionaux. Bien qu'aucune cartographie précise n'ait été faite dans le cadre de ce travail (pour cela, de nombreux sondages ainsi qu'une campagne de prospection électrique auraient été nécessaires), le grand nombre d'observations effectuées dans les gravières en exploitation ou abandonnées, ainsi que les nombreuses analyses faites en laboratoire permettent de préciser les caractéristiques essentielles des sables et graviers de la vallée de la Vilaine. La synthèse de ces caractéristiques permettra de guider d'éventuelles recherches détaillées qui pourront être faites en vue de l'implantation de nouvelles gravières.

Outre les facteurs géotechniques, ce sont les facteurs d'ordre économique (proximité des chantiers d'utilisation, étendue du gisement, importance de la découverte etc...)

qui vont déterminer les possibilités d'extraction des alluvions. Mis à part la distance du gisement aux chantiers d'utilisation qui est un facteur très important, tous les autres facteurs sont plus ou moins liés à la géologie. La nature des roches traversées, les processus de dépôts, l'évolution ultérieure de ces dépôts sont des paramètres qui influent en effet directement sur les caractéristiques des gisements d'alluvions. Comme les principaux faits géologiques ont été exposés précédemment, il reste maintenant à mesurer l'influence de tous les "paramètres géologiques" sur les types de gisement et les caractéristiques géotechniques des alluvions.

Deux types de gisements, liés à la morphologie de la vallée, ont été rencontrés dans le cours moyen de la Vilaine. Dans les bassins de Rennes, Messac et Langon, le fleuve traverse les formations briovériennes ou tertiaires qui forment de véritables cuvettes propices à l'accumulation de dépôts. La faible pente des rives permet au fleuve de divaguer sur toute l'étendue de la plaine alluviale. Les alluvions sablo-graveleuses apparaissent alors comme étant des dépôts de chenaux anastomosés et forment un important remblaiement au fond de la vallée. Par contre, dans la région de Bourg-des-Comptes, la Vilaine entaille profondément les formations paléozoïques ; les rives escarpées empêchent toute divagation du fleuve qui dépose ses alluvions sur la rive convexe des méandres. Dans ce cas la vallée est peu étendue et les dépôts sablo-graveleux y sont localisés uniquement sur les bords convexes des méandres.

Les deux types de gisement présentent des caractéristiques très différentes notamment en ce qui concerne la hauteur de la nappe, l'importance de la découverte et enfin les faciès granulométriques.

Les alluvions de la basse terrasse forment, dans les bassins, un remblaiement de fond de vallée et sont donc situées pour une grande part au-dessous du niveau de la nappe. L'extraction des sables et graviers se fait généralement à l'aide de draglines ou de dragues à godets ; les fronts d'extraction étant partiellement immergés, les fines sont en partie éliminées par lavage au cours de l'extraction. Dans les méandres, les sables et graviers reposent le plus souvent au-dessus du niveau de la nappe et leur exploitation peut alors se faire à la pelle mécanique. Les fronts d'extraction étant entièrement visibles, il est possible d'exploiter le matériau d'une manière sélective en fonction de sa propreté ou de sa granulométrie. Etant donné qu'aucune perte de fines ne se produit lors de l'extraction, un bon lavage sera indispensable pour produire des granulats ayant une bonne propreté.

Les deux types de gisement (dépôts de chenaux anastomosés et dépôts de méandre) présentent également des découvertes différentes tant par leur granulométrie que par leur importance. Dans les bassins, la découverte est formée de limons de débordement mis en place au-dessus des sables et graviers pendant la période flandrienne. Ils recouvrent toute l'étendue du lit majeur actuel, c'est à dire la majeure partie des alluvions sablo-graveleuse de la basse terrasse. L'épaisseur des limons qui est en moyenne de 1,5 m. à 2 m. peut parfois dépasser 4 m. notamment dans les bassins subsidents de Rennes et de Langon. Par contre, dans les méandres, l'extension des limons de débordement est limitée à une bande étroite située à proximité du lit actuel du fleuve et ils ne constituent donc pas une gêne pour l'extraction des graviers. Les alluvions sablo-graveleuses situées au-delà du lit majeur du fleuve, sont soumises à l'érosion superficielle qui contribue à former des colluvions. Ces dernières, qui sont généralement de faible épaisseur et riches en sables et graviers peuvent éventuellement être exploitées. Dans ce cas, la découverte est donc peu importante et se limite pratiquement à la couche de terre végétale. Il apparaît donc que dans les

méandres, la découverte ne sera jamais un obstacle pour l'extraction des graviers tandis que dans les bassins de Rennes et de Langon il sera nécessaire de rechercher les zones favorables à l'extraction des graviers, la découverte pouvant avoir localement une épaisseur supérieure à 4 m. Un gisement ne présente un grand intérêt que lorsque le rapport de l'épaisseur de la découverte à l'épaisseur du matériau exploitable est inférieur à 1/2. Dans la région du cours moyen de la Vilaine, la plupart des gravières actuelles ont une découverte qui représente moins de 1/2 du matériau exploitable, toutefois, localement ce rapport peut-être atteint ou même dépassé. Etant donné les variations brutales de l'épaisseur de la découverte dans les bassins, avant d'envisager toute exploitation d'alluvions, il sera toujours nécessaire de l'évaluer, même à petite échelle par une prospection électrique et des sondages.

Bien que dans les deux types de gisement (dépôts de chenaux anastomosés et dépôts de méandres) les processus de dépôt soient sensiblement les mêmes (trois types de courbes granulométriques) les gisements d'alluvions présentent des caractères différents surtout dans la répartition des faciès observés.

Dans le cas des dépôts de chenaux anastomosés, les sables et graviers présentent une hétérogénéité granulométrique très importante à petite échelle comme le montre les nombreuses coupes étudiées, mais ils sont plutôt homogènes à l'échelle de la gravière ou du bassin alluvial. Au cours de l'extraction, il apparaîtra peu de fluctuations dans la granulométrie du matériau.

Dans le cas des dépôts de méandre, les alluvions apparaissent relativement homogènes à petite échelle, mais sont par contre très hétérogènes si l'on considère l'ensemble du méandre. Ainsi les alluvions situées du côté externe et à l'aval du méandre présentent un taux élevé de sable 0 - 5 mm (faciès à chenaux imbriqués) tandis que du côté interne elles contiennent un fort pourcentage de cailloux et de blocs (dépôts grossiers de base). Le matériau extrait aura donc selon la position des fronts d'extraction soit un excédent de sable soit au contraire beaucoup d'éléments à concasser. Pour produire un matériau possédant une granularité constante, il est alors nécessaire de mélanger des alluvions provenant de plusieurs fronts d'extraction. Des observations analogues ont également été faites dans les vallées de la Seine et de ses principaux affluents, grâce au suivi de nombreuses exploitations (Prax et Primel 1977).

Les qualités géotechniques des alluvions sont d'une importance primordiale pour juger de leur intérêt économique. Quelques essais simples (équivalent de sable, fractionnement dynamique, etc...) permettent de donner les caractéristiques intrinsèques du matériau. Ces essais qui sont généralement effectués pour les produits finis, sables et gravillons, peuvent être appliqués au matériau tout venant, car dans le cadre d'une prospection, il est intéressant de connaître à priori la qualité des granulats. Il est évident que bon nombre de caractéristiques peuvent être modifiées par les traitements (lavage, concassage, etc...) subis pendant l'élaboration des produits finis. Toutefois un traitement quelqu'il soit n'améliore que pour une faible part la qualité du matériau initial et la connaissance des caractéristiques du matériau tout venant donne donc une bonne idée de son aptitude à fournir des granulats de qualité.

Les caractéristiques essentielles des alluvions peuvent être définies par leur propreté et leur granularité, mais aussi par la nature et la forme de leurs constituants ; enfin la résistance aux chocs du matériau peut-être mesurée par l'essai de fragmentation dynamique.

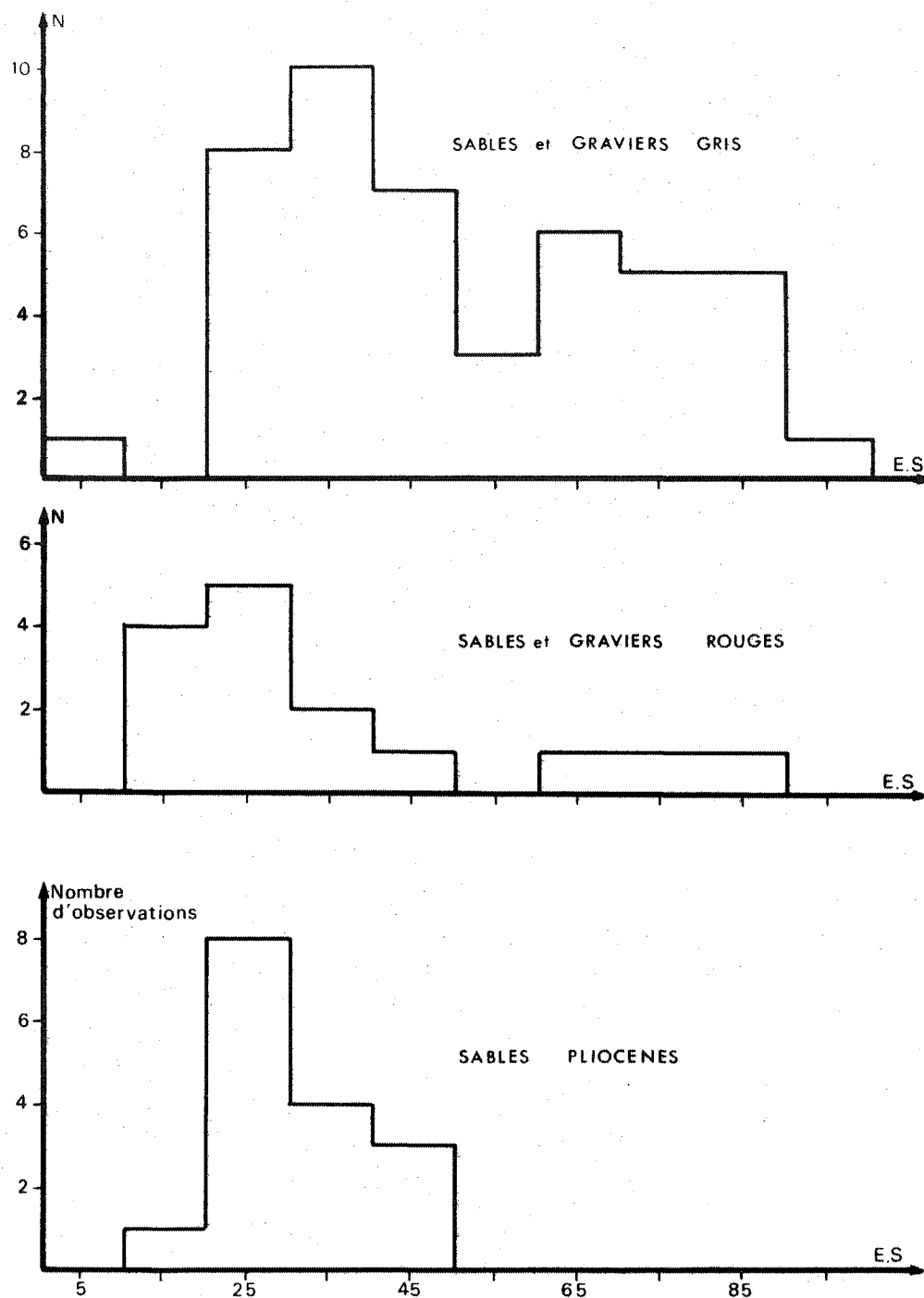


Figure 51 - Diagrammes montrant la fréquence des différentes valeurs d'équivalent de sable dans les sables pliocènes, les alluvions sablo-graveleuses rouges de la haute terrasse (Riss) et les alluvions sablo-graveleuses grises de la basse terrasse (Würm).

Les essais d'équivalent de sable, l'analyse granulométrique et l'étude pétrographique ont été effectués pour toutes les formations étudiées : sables pliocènes, alluvions de la haute terrasse (Riss) et de la basse terrasse (Würm). Les mesures des coefficients de forme et de fractionnement dynamique ont été faites uniquement pour les alluvions de la basse terrasse qui présentent le plus grand intérêt économique pour la production de granulats. Dans ce dernier cas, les nombreux résultats permettent de suivre l'évolution des caractéristiques des alluvions selon le profil en long de la Vilaine dans la région comprise entre Châteaubourg et Langon.

1 - La propreté

Le degré de propreté du matériau est mesuré par l'essai d'équivalent de sable (E.S.). Les valeurs de l'E.S. varient en fonction du pourcentage des fines (particules inférieures à 80 μ) et du coefficient d'activité de ces fines. Le matériau est d'autant plus propre que la valeur de l'E.S. est élevée.

Sans être systématique, l'essai d'équivalent de sable a été effectué sur de nombreux échantillons de sables pliocènes et d'alluvions des deux terrasses. Etant donné l'hétérogénéité granulométrique des alluvions et les divers degrés d'altération des sables pliocènes il est nécessaire d'effectuer des essais sur de nombreux échantillons pour chaque carrière, car une seule valeur en un lieu déterminé n'a absolument aucune signification. L'échantillonnage utilisé qui tient compte de l'hétérogénéité du matériau à petite échelle, permet de voir le domaine de propreté plutôt que de donner une valeur moyenne exacte de l'E.S. Celle-ci peut toutefois être appréciée dans une gravière lorsque le nombre de prélèvements est suffisant.

Tous les résultats sont rassemblés sur la figure 51 où les classes d'équivalent de sable ont été portées en abscisses et la fréquence des observations en ordonnées. Les diagrammes montrent nettement les variations de la propreté dans les trois formations géologiques étudiées : sables pliocènes, alluvions sablo-graveleuses rouges de la haute terrasse (Riss) et alluvions sablo-graveleuses grises de la basse terrasse (Würm).

- Les sables pliocènes ont un équivalent de sable compris entre 20 et 50. Les valeurs les plus faibles sont obtenues pour les échantillons provenant de la partie supérieure des gisements. Ceux-ci contiennent en effet un taux important de fines, provenant de l'altération superficielle, qui contribue à abaisser les valeurs de l'E.S. Ces fines constituées essentiellement de complexes ferri-argileux très adhérents aux granulats sont extrêmement difficiles à éliminer entièrement au lavage. Les valeurs d'équivalent de sable supérieures à 30 sont obtenues pour les sables de la partie inférieure des gisements. N'étant pas altérés, ces sables ne sont plus rubéfiés mais présentent une couleur blanchâtre ou jaunâtre. Dans ce cas, les fines formées de kaolinite et d'une argile micacée sont beaucoup plus faciles à éliminer au lavage et les valeurs de l'E.S. alors obtenues seront proches de 80.

- Les alluvions sablo-graveleuses rouges de la haute terrasse ont des E.S. peu élevés situés le plus souvent entre 10 et 30, quelques valeurs supérieures à 30 étant toutefois rencontrées. Ces faibles valeurs de l'E.S. s'expliquent par le taux important de fines qui constitue l'une des caractéristiques des sables et graviers rouges. Comme pour le sommet des sables pliocènes, la présence d'enrobements ferri-argileux sur les granulats, rend le lavage très difficile. A la vue de ces résultats, il apparaît que l'emploi des sables et graviers rouges sera limité à la confection de remblais car le degré de propreté nécessaire

pour la confection de bétons sera rarement atteint.

- Les alluvions sablo-graveleuses grises de la basse terrasse ont toutes les valeurs d'E.S. comprises entre 20 et 90. Tous les degrés de propreté peuvent donc être rencontrés dans le matériau tout-venant. Les valeurs de l'E.S. obtenues sont à mettre en parallèle avec la granulométrie des dépôts : les niveaux à graviers bien lavés (courbes granulométriques de type I) ont des E.S. supérieurs à 50, tandis que les dépôts à granulométrie continue (courbes de type II) ont des E.S. moins élevés compris entre 20 et 50. Les valeurs moyennes de l'E.S. situées entre 40 et 50 indiquent que le matériau tout-venant présente dans l'ensemble un bon indice de propreté. De plus, la fraction fine des sables et graviers gris étant facile à éliminer au lavage, il sera toujours possible d'obtenir des produits finis qui auront un E.S. de l'ordre de 90.

En conclusion, les résultats de l'E.S. permettent d'exclure une partie des sables pliocènes et l'ensemble des sables et graviers rouges d'un certain nombre d'utilisations (bétons notamment). La présence importante de fines qui sont des ferri-argilanes extrêmement difficiles à éliminer au lavage, ne permet pas de produire des granulats ayant une très bonne propreté. Seule la partie inférieure des gisements les plus puissants est susceptible de fournir des granulats propres. Les sables et graviers gris de la basse terrasse ont des fines qui sont à la fois moins abondantes et plus faciles à éliminer au lavage. Le degré de propreté nécessaire pour les utilisations les plus diverses pourra toujours être atteint après lavage. Il faudra toutefois veiller, lors de l'extraction, à ne pas incorporer à l'ensemble du matériau, les niveaux argilo-limoneux, rencontrés dans les chenaux secondaires. Ces lits peu étendus qui contiennent de la montmorillonite, particulièrement difficile à disperser, risquent en effet de polluer l'ensemble des granulats.

2 - La granularité des alluvions

Etant donné l'hétérogénéité horizontale et verticale des sables et graviers alluvionnaires, il est difficile de prélever un échantillon moyen dans une gravière. La méthode habituelle qui consiste à faire une saignée sur toute la hauteur d'une coupe peut être bonne s'il n'existe pas de variations latérales de faciès. C'est le cas pour les dépôts de chenaux anastomosés, mais par contre dans les méandres, les variations latérales sont si importantes qu'il est alors difficile de déterminer la granularité moyenne de la grave. En fait il semble que dans les méandres comme dans les bassins, l'ensemble des échantillons ayant une courbe cumulative de type II représente assez bien la granularité moyenne des graves. Les dépôts qui ont une courbe de type II forment en effet l'essentiel de la masse du sédiment et les lits qui ont une courbe cumulative de type I ou de type III proviennent pour une bonne part du remaniement des niveaux possédant une courbe de type II. Donc malgré les variations granulométriques locales, on peut considérer que la granularité moyenne de la grave est représentée par les dépôts en masse qui possèdent une courbe granulométrique de type II.

Les résultats des analyses granulométriques sont présentés sur les diagrammes triangulaires de la figure 52. Trois classes granulaires ont été distinguées : 0 - 5 mm, 5 - 20 mm et la fraction supérieure à 20 mm.

Le diagramme triangulaire (Figure 52) montre que les alluvions sablo-graveleuses grises sont constituées de 35 à 70 % de sables, de 20 à 40 % de graviers et enfin de 5

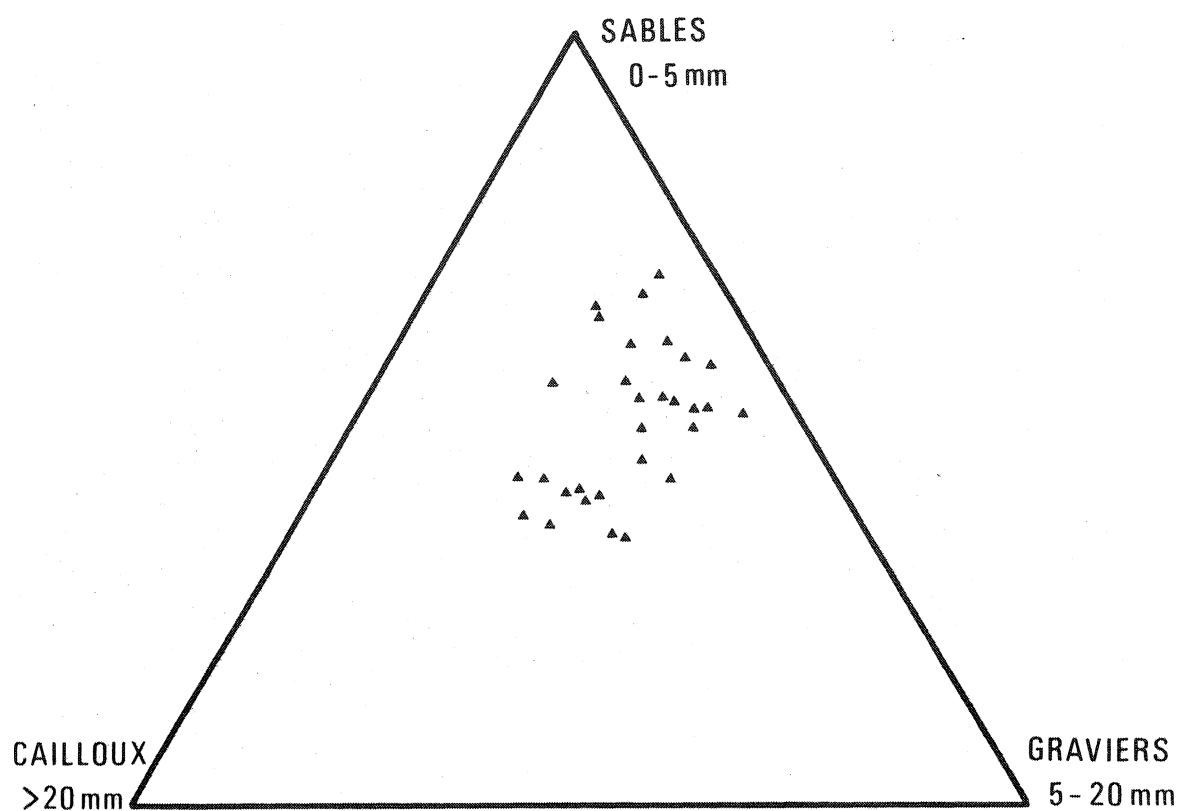


Figure 52 - Granularité des alluvions grises de la basse terrasse de la Vilaine

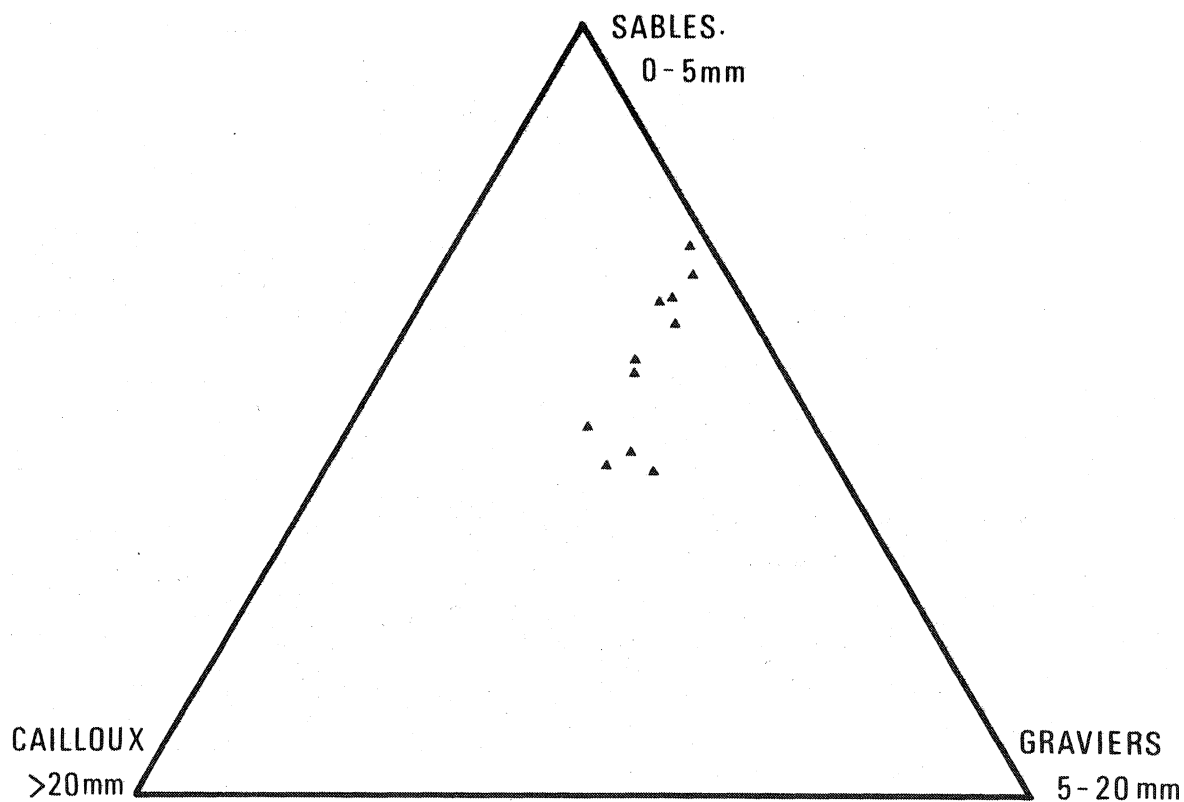


Figure 52 bis - Granularité des alluvions rouges de la haute terrasse de la Vilaine

à 40 % de cailloux. Les quantités de matériau à concasser obligatoirement (fraction supérieure à 70 mm) ne sont jamais très importantes. Toutefois dans bien des cas, il sera utile de concasser une part de la fraction caillouteuse pour augmenter à la fois la qualité et la quantité des graviers relativement faible dans le matériau tout-venant.

Le matériau de la base des dépôts des méandres de la région de Bourg-des-Comptes contient une fraction caillouteuse si importante qu'aucun échantillon représentatif n'a pu être prélevé. Dans ce cas, la fraction à concasser est assez importante. Concassée, cette fraction grossière composée essentiellement de grès et de quartzites va contribuer à améliorer les qualités du matériau tout-venant qui contient une fraction schisteuse non négligeable. Dans le dépôt grossier de base la présence de blocs pesant plusieurs tonnes est une gêne pour l'exploitation.

Le diagramme triangulaire de la figure 52 bis montre que les alluvions sablo-graveleuses rouges de la terrasse rissienne est légèrement moins grossier que celui de la terrasse würmienne. La fraction supérieure à 20 mm ne dépasse jamais 20 % du matériau et la fraction graveleuse relativement constante est voisine de 30 %.

En conclusion, les alluvions de la Vilaine apparaissent riches en "sables" 0 - 5 mm tandis qu'un déficit relatif à la demande importante peut apparaître pour la fraction 5 - 20 mm qui représente en moyenne 30 % du matériau tout-venant. Le pourcentage de graviers pourra être augmenté par le concassage de la fraction caillouteuse. Celle-ci, étant constituée essentiellement de quartz dans le bassin de Rennes, auquel il faut ajouter des quartzites et des grès en aval de Pont-Réan, va améliorer d'une manière sensible, après concassage la qualité du matériau naturel.

3 - La forme des graviers

Qu'ils soient utilisés en technique routière ou pour les bétons et notamment les bétons vibrés, les granulats doivent satisfaire à des conditions très strictes relatives à leur forme. Ils doivent être isométriques et les éléments trop longs ou trop plats sont considérés comme étant nocifs. Les matériaux qui possèdent un taux trop important d'éléments ayant une mauvaise forme sont exclus d'un bon nombre d'utilisations.

La forme des granulats peut-être mesurée par le coefficient d'aplatissement qui correspond au pourcentage d'éléments tel que : $\frac{G}{E} > 1,56$

- G est la grosseur ; elle est déterminée par un tamisage sur tamis à maille carrée.
- E est l'épaisseur ; elle est déterminée par un tamisage sur grilles.

Ce coefficient qui ne tient pas compte de la longueur ne définit pas la forme exacte des granulats mais permet toutefois par deux simples tamisages d'apprécier le pourcentage d'éléments plats.

Les valeurs du coefficient d'aplatissement des granulats ont été déterminées uniquement dans la fraction graveleuse comprise entre 6,3 et 20 mm. Les résultats montrent que le coefficient d'aplatissement varie d'une part pour un même échantillon selon les classes granulaires, et d'autre part le long de la vallée de la Vilaine, en fonction

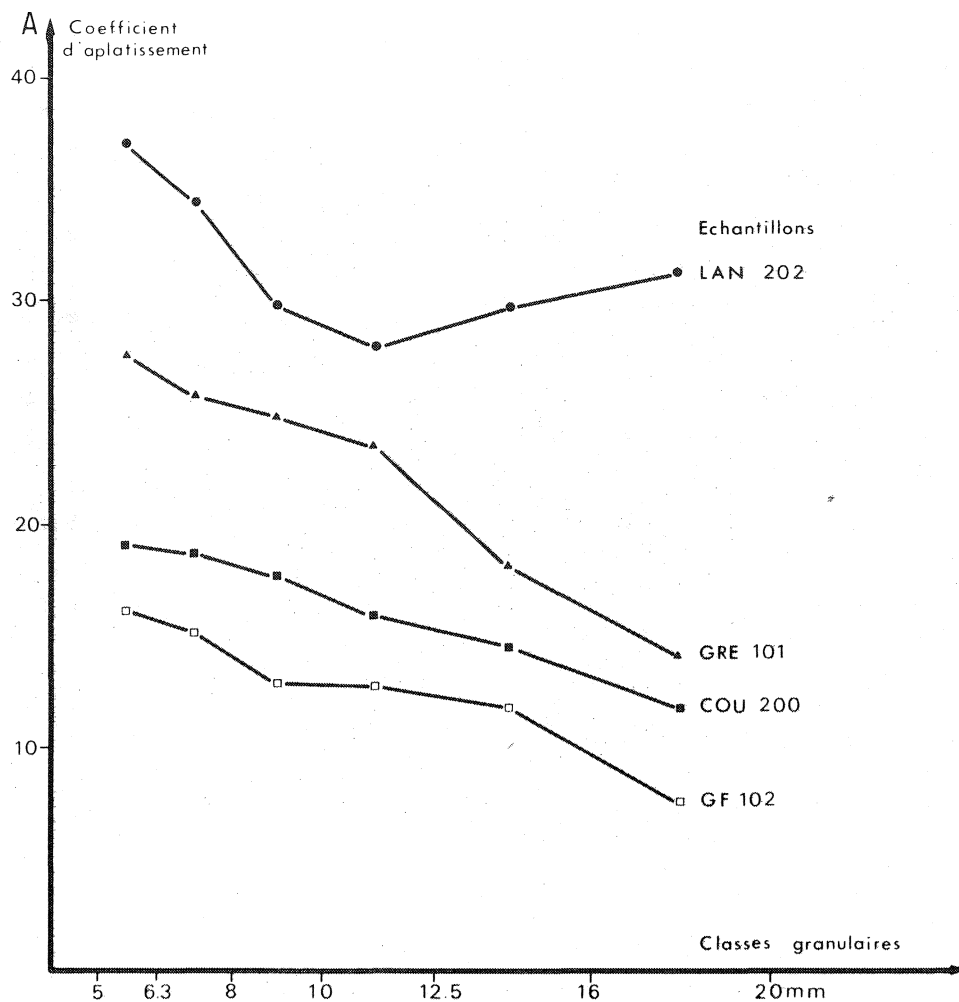


Figure 53 - Variation du coefficient d'aplatissement des graviers selon les classes granulaires.

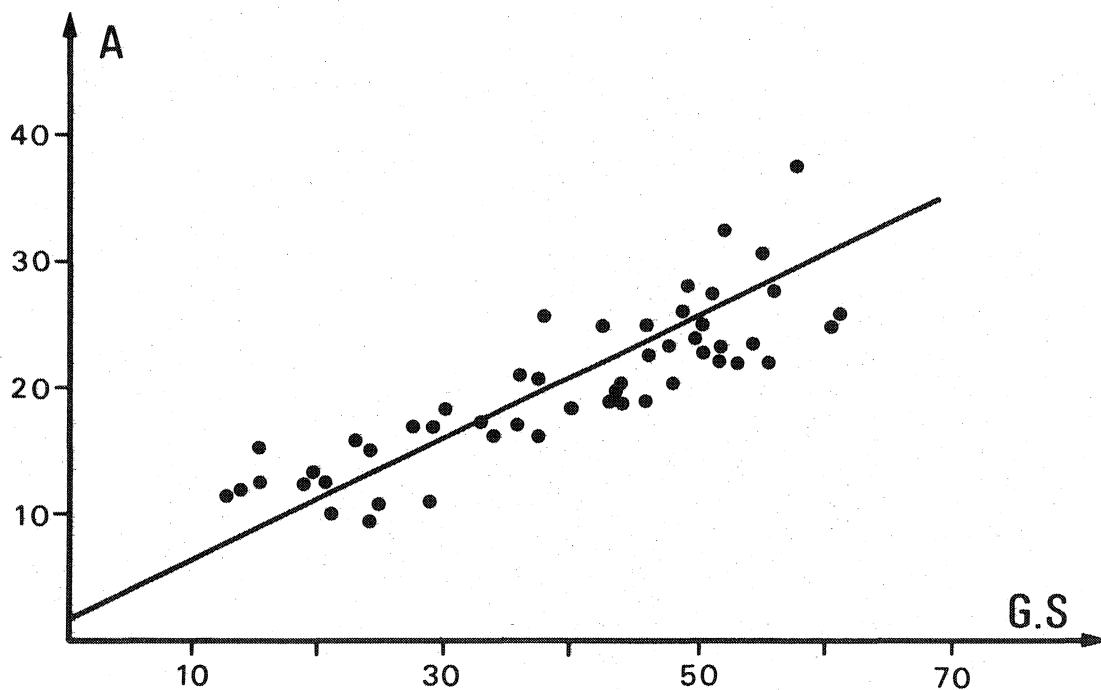


Figure 54 - Relation entre le coefficient d'aplatissement des graviers et leur composition pétrographique (pourcentage de grès et de schistes).

des apports latéraux et de l'usure différentielle des graviers.

Le coefficient d'aplatissement de tous les échantillons étudiés, varie selon les classes granulaires. Généralement la valeur du coefficient diminue régulièrement lorsque la granulométrie augmente (Figure 53) : de 16 pour la fraction 5 - 6,3 mm, le coefficient passe à 7 pour la fraction 16 - 20 mm à la Grande Feuillée (GF 102). Toutefois lorsque la fraction grossière des alluvions est arrachée aux formations paléozoïques ou au substratum briovérien celle-ci peut avoir un coefficient de forme qui se détériore surtout dans la fraction graveleuse grossière (Figure 53 - LAN 202). En effet les fragments de roches arrachés au substratum présentent très fréquemment des faces planes qui correspondent soit au plan de stratification de la roche, soit au plan de schistosité. Lorsque le transport n'a pas été suffisant pour les fragmenter et les user, ces éléments conservent une forme très aplatie qui contribue à détériorer le coefficient de forme de la fraction graveleuse grossière.

Les variations du coefficient de forme dans les différentes fractions granulométriques sont liées à la composition pétrographique de chacune de ces fractions. Il existe d'ailleurs une bonne relation entre les valeurs du coefficient de forme et le pourcentage de grès et de schistes comme le montre le diagramme (Figure 54) où les valeurs du coefficient d'aplatissement ont été portées en fonction des pourcentages de grès et de schistes.

La relation linéaire peut s'écrire :

$$A = 0,48 \left[G.S \right] + 1,59 \quad (r = 0,96)$$

où A = valeur du coefficient d'aplatissement

G.S = pourcentage de grès et de schistes.

L'équation de regression a été calculée par la méthode des moindres carrés pour 59 mesures. Le coefficient de corrélation est de 0,96.

Bien que les schistes aient une influence prépondérante sur la valeur du coefficient de forme des granulats, j'ai toutefois regroupé les grès et les schistes car la limite entre les deux familles est diffuse. Certains grès, tels les grès pourprés possèdent un débit schisteux frustré qui va déterminer leur forme. De même, des grès finement stratifiés à tendance psammitique ont également un débit en plaquettes. Il apparaît donc que les schistes et dans une mesure moindre les grès, ont tendance à fournir par désagrégation des éléments aplatis, tandis qu'un quartzite donne plutôt des éléments isométriques.

La forme des granulats est modifiée par l'usure subie pendant le transport. Ainsi les plaquettes se transforment en aiguilles dans le cas de schistes francs, les grès pourprés à schistosité frustrée voient leur coefficient de forme augmenter et les quartz et quartzites très durs ont leurs arêtes émoussées. Globalement, le transport des granulats par le fleuve contribue à augmenter la valeur du coefficient de forme par usure des éléments les plus fragiles, puis si cette usure est importante, les éléments aplatis tels que les schistes passent progressivement dans la fraction sableuse et la valeur du coefficient de forme des graviers diminue.

Par le jeu de l'usure différentielle des granulats et des apports latéraux, le coefficient de forme des granulats varie à tout moment dans la vallée de la Vilaine. Ces variations sont présentées sur la figure 55 où les distances à l'embouchure des lieux de prélèvements sont portées en abscisses et les valeurs du coefficient d'aplatissement en ordonnées.

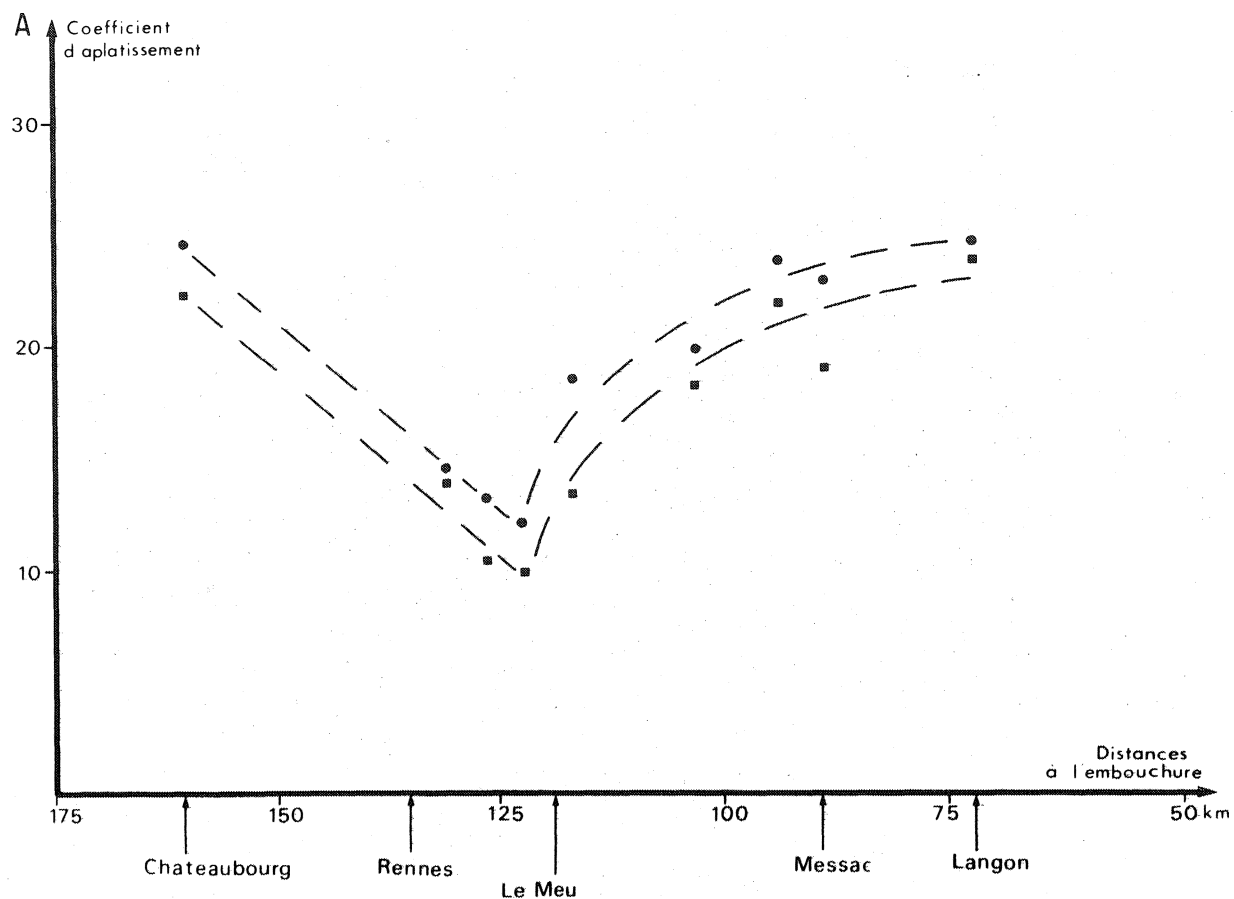


Figure 55 - Evolution du coefficient d'aplatissement des graviers entre Châteaubourg et Langon (● classe granulaire 6,3 - 10 mm ; ■ classe granulaire 10 - 20 mm).

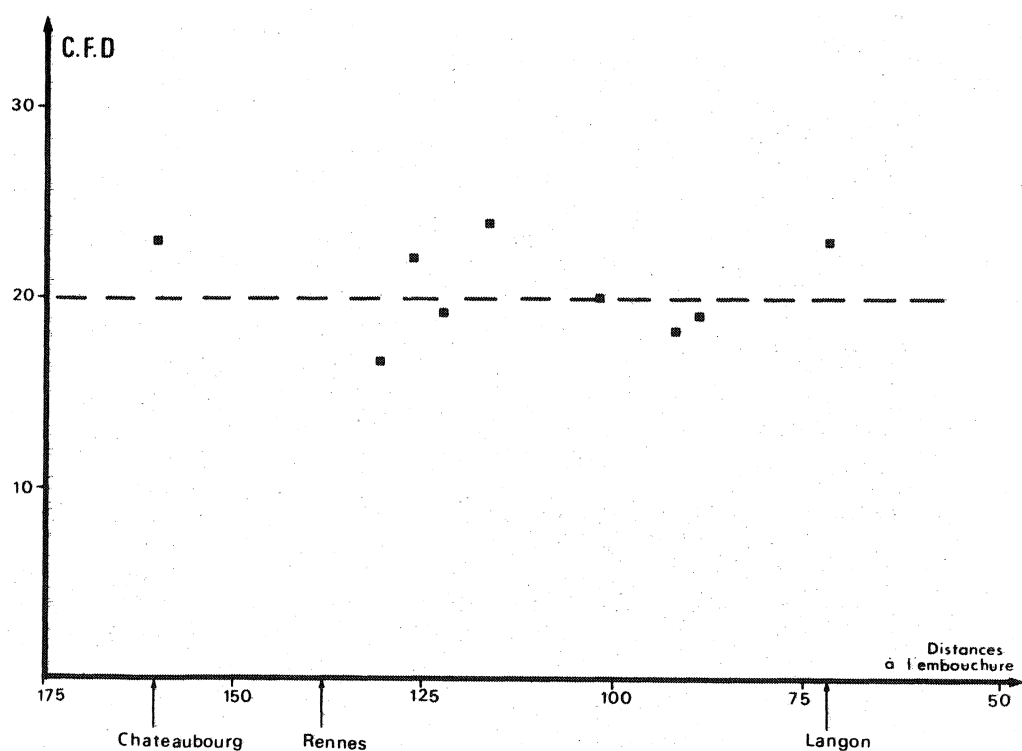


Figure 56 - Valeurs moyennes du coefficient de fractionnement dynamique des graviers entre Châteaubourg et Langon (classe granulaire 6,3 - 10 mm).

La valeur du coefficient de forme attribuée pour chaque gravière correspond à la moyenne des résultats obtenus pour tous les échantillons étudiés de la gravière. Les points portés sur la figure 55 se rapportent aux fractions granulométriques 6,3 - 10 mm et 10 - 20 mm.

Le coefficient d'aplatissement relativement élevé, voisin de 23 dans la région de Châteaubourg s'améliore très nettement aux environs de Rennes pour atteindre une valeur minimale voisine de 10 dans les gravières du Houx et de la Moustière. La valeur du coefficient de forme augmente à nouveau à partir de la Grande Feuillée, puis se détériore régulièrement vers l'aval pour atteindre 25 dans la région de Langon. La détérioration de la forme des graviers à partir de la Grande Feuillée est liée à l'apport du Meu et d'éléments schisto-gréseux arrachés au substratum par le fleuve. La venue d'éléments de mauvaise forme (schistes d'Angers surtout) se poursuivent pendant la traversée des synclinaux paléozoïques du sud de Rennes jusqu'à Langon et sont toujours supérieurs à l'usure de ces éléments puisque le coefficient de forme continue d'augmenter globalement.

En résumé, l'évolution du coefficient de forme est étroitement liée à la nature pétrographique des graviers. Les apports latéraux d'une part et l'usure différentielle des éléments d'autre part, sont les deux facteurs qui influent sur la valeur du coefficient. La valeur optimale de ce coefficient est obtenue dans la région située entre l'agglomération Rennaise et Pont-Réan.

4 - La résistance aux chocs des graviers.

La résistance aux chocs des graviers est mesurée par l'essai de fragmentation dynamique. Cet essai a été effectué systématiquement sur la fraction 6,3 - 10 mm. La valeur du coefficient de fractionnement dynamique (C.F.D) attribuée à chaque gravière est la moyenne des résultats obtenus pour l'ensemble des échantillons de la gravière. Les résultats portés sur la figure 56 montrent que les valeurs du C.F.D sont comprises entre 16 et 24, la valeur moyenne étant proche de 20. D'un point à un autre du cours de la Vilaine, les variations du C.F.D sont faibles et il apparaît que la composition pétrographique de la grave a peu d'influence sur la valeur du C.F.D. En fait dans une gravière déterminée, le C.F.D de chacun des échantillons est lié au taux d'éléments les plus fragiles (schistes et grès plus ou moins altérés), mais à taux égal de grès et de schistes, le C.F.D varie d'une gravière à l'autre. Le C.F.D dépend de plusieurs facteurs, notamment de la dureté des minéraux de la roche, de son degré d'altération, de sa porosité, de la taille des grains. Si les granulats du bassin de Rennes composés essentiellement de quartz et quartzites de dureté très élevée ont un C.F.D identique à ceux de la région de Langon riche en schistes, c'est parce que les quartz d'origine filonienne ont un important réseau de fissures qui facilite la fragmentation au cours de l'essai. De plus, les grès et schistes qui proviennent des formations brioveriennes, bien que présents en faible quantité sont le plus souvent altérés et de ce fait se désagrègent facilement. Par contre, à l'aval de Pont-Réan, les schistes et grès arrachés aux formations hercyniennes ne sont pas altérés et résistent relativement bien à l'essai. Ces schistes et grès ont de plus un rôle de tampon qui empêche les quartz de s'entrechoquer et il est vraisemblable que le fractionnement ne soit plus très efficace lorsque les vides entre les granulats sont partiellement colmatés après désagrégation partielle des éléments les plus fragiles.

En résumé, quelque soit leur composition pétrographique, les alluvions de la Vilaine présentent des valeurs de C.F.D. voisines de 20. La fragmentation s'effectue essentiellement aux dépends des schistes et des grès relativement tendres, mais aussi du quartz filonien qui possède un réseau de microfissures. Dans le cas de matériau pétrographiquement hétérogène, les résultats sont délicats à interpréter car des phénomènes secondaires (colmatage) viennent modifier le déroulement de l'essai. Toutefois les valeurs du C.F.D. obtenues pour les granulats produits à partir de ces graves (C.F.D. < 20) permettent d'envisager toutes les utilisations possibles, notamment en ce qui concerne la construction et l'entretien des chaussées.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Cette étude qui a porté sur les alluvions du cours moyen de la Vilaine, a permis de mettre en évidence deux terrasses d'alluvions grossières sablo-graveleuses surmontées chacune par une couverture formée soit de limons de débordement, soit de colluvions et d'alluvions remaniées. Les sables et graviers de ces deux terrasses ayant vraisemblablement été mis en place pendant les deux dernières périodes glaciaires, les sables et graviers rouges de la haute terrasse apparaissent alors comme étant d'âge Riss (Saale), les sables et graviers gris de la basse terrasse sont d'âge Würm (Weischel), tandis que les limons qui les surmontent datent respectivement de l'inter-glaciaire Riss - Würm et du Flandrien.

Les sables et graviers de la haute terrasse présentent le plus souvent des teintes vives : jaune, ocre ou rouge brique surtout à la partie supérieure des coupes. De cette terrasse qui a été largement entamée par l'érosion, il ne subsiste que quelques lambeaux accrochés aux flancs des vallées, et situés entre quelques mètres et une vingtaine de mètres au-dessus des lits des rivières actuelles. Les sables et graviers de la basse terrasse sont ternes d'aspect et de couleur généralement gris-noirâtre. Peu étendus et discontinus en amont d'Acigné, ils se rencontrent à partir de cette localité, sur toute l'étendue du lit majeur de la Vilaine et même au-delà notamment dans les bassins de Rennes, Messac et Langon ainsi que dans la région de Bourg-des-Comptes. Les caractères granulométriques originels des sables et graviers de la haute terrasse, identiques à ceux de la basse terrasse (trois types de courbes granulométriques), ont été

modifiées par des remaniements superficiels lors des périodes périglaciaires et surtout par des phénomènes d'altération. Ces derniers qui ont été relativement important lors d'une phase de pédogenèse à l'interglaciaire Riss - Würm ont entraîné un accroissement important du taux de "fines" qui se présentent essentiellement sous forme d'enrobements ferri-argileux, et ils ont provoqué une destruction presque totale de la chlorite qui est remplacée par la vermiculite ou la montmorillonite selon les conditions de drainage. A partir de la fin de la période atlantique, les sables et graviers gris de la basse terrasse ont été recouverts en période de crue par des limons de débordement sur toute l'étendue du lit majeur actuel. Au-delà, l'érosion superficielle entraîne la formation de colluvions de pente et d'alluvions remaniées qui ne présentent pas de traces d'altération importante.

Les résultats des analyses granulométriques et un examen pétrographique approfondi ont montré que les alluvions de la Vilaine se distinguent nettement des sables marins pliocènes et ne résultent que pour une faible part de leur remaniement. La nature pétrographique des graviers reflète d'une manière précise la nature du substratum local et des bassins versants. En amont de Pont-Réan, la Vilaine et la plupart de ses tributaires qui traversent essentiellement des formations briovériennes, prennent en charge la couverture superficielle ameublie de ces formations. Les fragments de grès et de schistes qui sont relativement altérés résistent peu au transport fluvial ; aussi après avoir parcouru une certaine distance, les alluvions apparaissent constituées uniquement d'éléments résistants, c'est-à-dire surtout de quartz filonien. En aval de Pont-Réan, la Vilaine entaille profondément les formations paléozoïques et le sapement des rives escarpées entraîne l'éboulement de roches saines (quartzite, grès et schiste). L'usure due au transport n'étant pas suffisante pour compenser les apports nouveaux, le taux de schistes et de grès paléozoïques augmente régulièrement vers l'aval. A la fin du Würm, l'évolution vers un climat plus tempéré proche de l'actuel, a provoqué une baisse de la compétence du fleuve qui n'est plus suffisante pour entraîner les éléments grossiers ; seuls les éléments fins sont transportés et contribuent à former les limons de débordement.

La mise en place des alluvions sablo-graveleuses est liée aux grandes périodes glaciaires du Quaternaire. Tout d'abord, la succession de phases de gel et de dégel a largement contribué à fragmenter les roches et à ameublir les couches superficielles du sol. Puis les périodes de réchauffement ont, par la fonte des glaces, provoqué des crues très importantes qui ont pu être de véritables débâcles permettant le dépôt en masse des alluvions, les périodes de décrue et d'étiage étant plutôt favorable aux remaniements des dépôts antérieurs. L'édification de la terrasse et les différents faciès observés sont donc le résultat d'une suite de cycles comprenant des phases de dépôt puis de remaniement. Deux types de gisements apparaissent selon la morphologie de la vallée. Dans les bassins qui sont des zones de confluence et de subsidence, les rives sont en pente douce et le fleuve qui a pu largement divaguer a déposé ses alluvions grossières en petits bancs sur toute l'étendue de la plaine alluviale. Les sables et graviers forment alors un remplissage d'un large bassin sédimentaire et se présentent comme des "dépôts de chenaux anastomosés". Dans la région de Bourg-des-Comptes, la vallée de la Vilaine qui est étroite et encaissée, empêche toute divagation du fleuve. Lors des crues importantes, le fleuve arrache des matériaux du côté concave du méandre et les dépose du

côté convexe, dans un vaste banc qui croît régulièrement vers l'aval. Outre la présence d'un dépôt grossier de base, les "dépôts de méandre" se différencient de ceux des bas-sins par la disposition et l'importance des différents faciès.

Une bonne connaissance de la géologie des alluvions permet d'apprécier aisément leurs caractéristiques géotechniques essentielles. Ainsi l'extension des gisements et la granulométrie des graves apparaissent étroitement liées aux différents modes de dépôt qui ont présidé à leur mise en place. De même, la propreté des graves dépend de l'intensité des différentes phases d'altération qu'elles ont subies après leur dépôt, et si les granulats issus des alluvions de la haute terrasse ont un mauvais critère de propreté, c'est parce qu'ils présentent des enrobements ferri-argileux très tenaces, témoins de la phase d'altération relativement importante de l'interglaciaire Riss - Würm. Enfin, dans la vallée de la Vilaine, la nature pétrographique des granulats détermine leur coefficient de forme. Il apparaît donc que la plupart des caractéristiques géotechniques des alluvions dépendent de "facteurs géologiques".

En résumé, cette étude montre que les alluvions de la Vilaine constituent deux types de terrasses d'alluvions grossières sablo-graveleuses surmontées par des limons de débordement ou par une couverture de colluvions de pente et d'alluvions remaniées. Ces dépôts se distinguent nettement des sables pliocènes qui n'ont contribué que de façon négligeable à leur alimentation. Les alluvions grossières ont été mises en place au cours des périodes glaciaires (Riss pour la haute terrasse et Würm pour la basse terrasse) et une altération de la terrasse ancienne marque l'interglaciaire Riss - Würm. Dans les bassins, les dépôts s'effectuent suivant le modèle des "chenaux anastomosés" tandis que dans la traversée des synclinaux du Sud de Rennes, on observe des "dépôts de méandre".

B I B L I O G R A P H I E

- ALLEN J.R.L., (1970) - Studies in fluvial sedimentation : a comparison of fining upwards cyclothems, with special reference to coarse - member composition and interpretation. J. sedim. Petrol. 40. p. 298 - 323.
- BERSIER A. (1958) - Séquences détritiques et divagations fluviales. Eclog. géol. Helv. 54, p. 854 - 893.
- BERTHOIS L., (1946) - Les sables redoniens d'Apigné (I.&V.) et les sables fluviaux qui les surmontent. B.S.G.F., 5ème série, t. XVI, fasc. 1 - 3, p. 133 - 146.
- BIETLOT A., (1940) - Méthodes d'analyses granulométriques. Application à quelques sables eocènes belges. Ann. Soc. géol. Belg., 44, p. 80 - 174.
- BORNAND M., (1978) - Altération des matériaux fluvioglaciers, genèse et évolution des sols sur terrasses quaternaires dans la moyenne Vallée du Rhône. Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 329 p.
- BREWER R., (1964) - Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley, Editeur. London 470 p.
- CAILLEUX A., (1947) - Granulométrie des formations à galets. Sess. Extraord. Soc. Belg. Soc. géol., p. 91 - 114.
- CAMEZ T., FRANC DE FERRIERE P.J.J., LUCAS J. et MILLOT G. (1960) - Sur l'importance de la vermiculite dans certains sols tempérés et dans les dépôts du Quaternaire ancien. C.R.A.S., 250, p. 3038 - 3041.
- CAMEZ T. (1962) - Etude sur l'évolution des minéraux argileux dans les sols des régions tempérées. Mem. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., Strasbourg, 20, 90 pages.
- CHOUX J., (1956) - Tertiaire et Quaternaire de la Haute-Rance. B.S.G.M.B., fasc. 1, p. 1 - 50.
- (1956) - Note complémentaire à l'étude des "sables rouges" de la Haute Rance (environs de Quédillac). B.S.G.M.B., fasc. 2, p. 107 - 119.
- CLAIR A., DORET G. et PUISSEGUR J.J., (1972) - Un exemple de sédimentation quaternaire dans les vallées de moyenne importance en domaine paléartique. Bull. A.F.E.Q. 31, 1972 - 2, p. 101 - 125.
- DEMOLON A., (1952) - Principes d'agronomie (I. La dynamique du sol). Dunod, Paris.

- DUCLOUX J., (1973) - Etude micromorphologique des paleosols du haut niveau des alluvions du Lay à Mareuil (Vendée). Bull. A.F.E.Q. 36, 1973 - 3, p. 131 - 149.
- DUNOYER DE SEGONZAC G. et MILLOT G. (1962) - Pyrophyllite de diagénèse dans le Dévonien inférieur du synclinal de Laval (Massif Armoricain). C.R.A.S. Paris 255, 1962, p. 3438 - 3440.
- DUPLAIX S., (1948) - Détermination microscopique des minéraux des sables. Librairie Polytechnique Ch. Béranger, Paris et Liège, 79 pages.
- DURAND S. (1960) - Le Tertiaire de Bretagne. Etude stratigraphique, sédimentologique et tectonique. Mém. Soc. géol. minér. Bretagne, XII. 389 pages.
- DURAND S. et KERFOURN M.T., (1963) - Etude des sédiments plio-quaternaires du val de Vilaine aux environs de Redon (Ille et Vilaine). Bull. Soc. géol. minér. Bretagne, nouv. série, 1 - 2, (1961), p. 103 - 114.
- DURAND S. et ESTEOULE - CHOUX, (1977) - Sédimentation tertiaire et tectonique dans le Massif Armoricain. 5ème R.A.S.T., Rennes 1977, p. 212.
- Echantillonnage en laboratoire des sols et granulats (1971) - Modes opératoires labo. cent. P. et Ch., G - 1, Dunod, Paris, 11 pages.
- Essai de fragmentation dynamique des granulats (1973) - Modes opératoires labo. cent. P. et Ch. G - 19, Dunod, Paris, 6 pages.
- Essai d'équivalent de sable. (1970) - Modes opératoires labo. cent. P. et Ch., G - 6, Dunod, Paris, 31 pages.
- ESTEOULE - CHOUX J. (1967) - Contribution à l'étude des argiles du Massif Armoricain. Argiles des altérations et argiles des bassins sédimentaires tertiaires. Thèse, Rennes, 319 pages.
- ESTEOULE J., GUYADER J. et TOUFFET J. (1971) - Les sols de la forêt de Villecartier. Bull. A.F.E.S., 2, p. 29 - 46.
- ESTEOULE J., ESTEOULE - CHOUX J. et PERRET P. (1971) - Constitution minéralogique et origine des limons de la côte Nord - Est de la Bretagne. C.R.A.S., Paris, 273, p. 1355 - 1358.
- ESTEOULE J., ESTEOULE - CHOUX J. et PERRET P. (1972) - Etude des formations superficielles du Massif Armoricain : caractères distinctifs et passage des altérites et des dépôts tertiaires aux formations quaternaires. Bull. S.G.M.B., Rennes C, IV, 2, p. 97 - 106.
- EYNON G. et WALKER R.G. (1974) - Faciès relationships in Pleistocene outwash gravels, southern Ontario : a model for bar growth in braided rivers. Sedimentology (1974) 21, p. 43 - 70.
- GUILLAUME - BRUNO S. (1972) - Le Plio-Quaternaire des côtes du Morbihan. Etude sédimentologique et stratigraphique. Thèse 3ème cycle, Paris - Sud, Orsay, 121 pages.

- GUILLOU C. (1966) - Rapport de D.E.A., géologie, Rennes.
- GUYADER J. (1967) - Etude pédologique des sols de la région de Plouasne - Tréfumel - Le Quiou (Côtes-du-Nord). Thèse 3ème cycle, Rennes, 99 pages.
- HUBSCHMANN J. (1975) - Le piemont quaternaire de la Garonne. Bull. A.F.E.Q. 44 - 45, 1975, 3 - 4.
- KERFORNE F. (1917) - Compte rendu des excursions du laboratoire de géologie de la Faculté des Sciences de Rennes en 1917. Bull. Soc. Scient. et Médicale de l'Ouest, t. XXVI, 1917, p. 12 - 13.
- KRINSLEY D.H. et DOORNKAMP J.C. (1973) : Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge University Press, 91 pages.
- LAFOND L.R., (1953) - Sur l'évolution granulométrique des sédiments dans le bassin de la Vilaine. Bull. Soc. Géol. Fr., 6ème s., t. 3, fasc. 1 - 3, p. 175 - 185.
- LAFOND L.R., (1961) - Etude minéralogique des argiles actuelles du bassin de la Vilaine. C.R. Séances Ac. Sc., t. 252, n° 23, p. 3614 - 3616.
- LE BORGNE G., (1966) - Rapport de D.E.A., géologie, Rennes.
- LE RIBAUT L., (1975) - L'exoscopie. Méthode et applications. Notes et mémoires de la C.F.P., n° 12, Paris, 230 pages.
- MARGOLIS S.V. et KENNETT J.P. (1971) - Cenozoic Antarctic glacial history recorded in subantarctic deep - sea cores. Amer. J. Sc. 271, p. 1 - 36.
- MELOU M. (1968) - Contribution à l'étude sédimentologique du Quaternaire Sud-Finistérien. L'anse de Trez - Rouz et la Ria de l'Odét. Thèse de 3ème cycle sédiment., Orsay, 81 pages.
- Mesure du coefficient d'aplatissement des granulats. (1971) - Modes opératoires Labo. cent. P. et Ch., G - 11, Dunod, Paris, 8 pages.
- MEYNIER A., (1940) - La formation du réseau hydrographique de la Vilaine. Trav. Lab. de Géog. Univ. de Rennes, n° 11.
- MILLOT G., CAMEZ T. et WERNERT P. (1957) - Evolution des minéraux argileux dans les loess et les lehms d'Achenheim. Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lor. 10, fasc. 2, p. 17 - 21.
- MILLOT G. et CAMEZ T. (1963) - Genesis of vermiculite and mixed-layered vermiculite in the evolution of the soils of France. Clays and clay minerals (10th. Nat. Conf. 1961) p. 90 - 95.
- MILON Y., (1929) - Présence de glauconie dans les sables pliocènes de Bretagne. C.R.A.S., t. 189, p. 1004 - 1005.
- MILON Y. (1936) - Quelques problèmes de morphologie armoricaine. C.R. Som. Soc. Géol. Minér. Bretagne, 2ème année n° 2, p. 14 - 26.

- MILON Y., (1937) - Contribution à l'étude de la Transgression pliocène. C.R. Som. Soc. Géol. Minér. Bretagne, 3ème année, n° 2, p. 4 - 9.
- MILON Y. et LUCAS G. (1933) - Sur l'origine marine des sables pliocènes d'Ille et Vilaine. C.R. Som. Soc. Géol. Fr., n° 11, p. 175 - 176.
- MILON Y. et SIRE M. (1931) - L'interdépendance des formations tertiaires et quaternaires dans les vallées de la Vilaine et de la Mayenne. C.R.A.S., t. 193, p. 180 - 181.
- MORZADEC - KERFOURN M.T. (1973) - Variations de la ligne de rivage armoricaine au Quaternaire. Analyses polliniques de dépôts organiques littoraux. Thèse, Rennes, 208 pages.
- PARFENOFF A., POMEROL C. et TOURENQ J. (1970) - Les minéraux en grains : méthodes d'étude et détermination. Masson, Paris, 575 pages.
- PASSEGA R. (1964) - Grain size representation by C.M. patterns as a geological tool. J. Sediment. Petrol. 34, 830 - 847.
- PASSEGA R. et BYRAMJEE R. (1969) - Grain - Size image of clastic deposits. Sedimentology 13, 233 - 252.
- PLAINE J. (1976) - La bordure sud du synclinorium paléozoïque de Laval (Massif Armoricaïn). Stratigraphie - volcanisme - structure. Thèse 3ème cycle, Rennes, 212 pages.
- PLIHON G. (1974) - Les formations meubles sur les granites de Bonnemain et de Quintin (Massif Armoricaïn) arènes, arènes remaniées et limons. Thèse 3ème cycle, Rennes, 138 pages.
- PRAX A. et PRIMEL L. (1977) - Prospection des gisements alluvionnaires. Bull. liaison, labo. P. et Ch., spécial IV, Juin 1977, p. 211 - 226.
- PRIMEL L. (1969) - Recherche sur l'évolution des propriétés des matériaux alluvionnaires dans un bassin et mise en évidence de quelques caractéristiques générales. Rapport de recherche n° 1. Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées. 83 pages.
- RENONDO C.P. (1973) - Contribution à l'étude des formations quaternaires et des paléosols des vallées de la Bléone et de la Durance (de Digne à Malijai et de Mison à Vinon sur Verdon). Thèse 3ème cycle. Université de Provence. Marseille 200 pages.
- REINECK H.E. et SINGH I.B. (1973) - Depositional Sedimentary Environments. Springer - Verlag Berlin Heidelberg - New York 1973. 439 pages.
- SOBOTH A. (1952) - Les graviers pliocènes et diluviens entre S^t Nicolas de Redon et Fégréac sur la rive Est de la Vilaine. Revue de Géomorphologie Dynamique, 1952, n° 6, p. 300 - 303.

- TOULEMONT M. (1965) - Contribution à l'étude sédimentologique du Quaternaire du littoral Sud-Finistérien de la Pointe du Raz à l'estuaire de l'Odet. Thèse 3ème cycle Orsay, 113 pages.
- TOURENQ C. et MALDONADO A. (1972) - L'essai de fragmentation dynamique des granulats. Bull. liaison, labo. P. et Ch. n° 59, p. 65 - 69.
- TRASK P.D., (1930) - Mechanical analysis of sediments by centrifuge : Econ. Geology, v. 25, p. 581 - 599.
- WILLIAMS P.F. et RUST B.R. (1969) - The sedimentology of a braided river. J. Sediment. Petrol. 39, p. 649 - 679.

LISTE DES FIGURES

	Pages
Fig. 1 : Calibre de laboratoire utilisé pour la granulométrie des galets	6
Fig. 2 : Grille de laboratoire utilisée pour la mesure du coefficient d'aplatissement. Refus et passant de la classe 12,5 - 16 mm. à la grille de 8 mm. d'écartement	8
Fig. 3 : La vallée de la Vilaine : formations géologiques traversées et localisation des sites étudiés	14
Fig. 4 : Situation des affleurements de St Melaine, Châteaubourg et Brécé	16
Fig. 5 : Coupe schématique de l'affleurement de St Melaine montrant les deux niveaux d'alluvions	16
Fig. 6 : Coupe schématique de l'affleurement de Châteaubourg montrant les alluvions sablo-graveleuses rouges (CHA 101) surmontées par des alluvions remaniées de couleur grise (CHA 102 et CHA 103)	16
Fig. 7 : Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de Châteaubourg	18
Fig. 8 : Situation de la gravière du Houx	22
Fig. 9 : Le Houx. Schéma de la coupe LH 100 montrant les différentes formations : sables pliocènes (LH 106 - 107), niveau intermédiaire occupant le chenal (LH 101 - 102 - 103) et alluvions sablo-graveleuses grises (LH 104 - 105 et LH 108 à 118)	23
Fig. 10 : Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la gravière du Houx : sables pliocènes (LH 106 - 107) niveau intermédiaire (LH 101 - 102 - 103) et lits de la base des alluvions sablo-graveleuses grises (LH 104 - 105)	25
Fig. 11 : Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la gravière du Houx : courbes de type I et de type III	26
Fig. 12 : Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la gravière du Houx : courbes de type II	26

Fig. 13 :	Situation de la gravière de la Moustière	31
Fig. 14 :	La Moustière. Schéma des coupes LM 100 et LM 200 montrant la superposition des formations : sables et graviers rouges (LM 101 à LM 104), sables et graviers gris (LM 105 à LM 108) et dépôts du chenal (LM 201 à LM 208).....	32
Fig. 15 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe LM 100 (alluvions rouges).....	35
Fig. 16 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe LM 100 (alluvions grises)	35
Fig. 17 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe LM 200 (chenal)	36
Fig. 18 :	Situation de la gravière de la Grande Feuillée	40
Fig. 19 :	La Grande Feuillée. Schéma de la coupe GF 100 montrant l'hé- térogénéité des alluvions sablo-graveleuses grises	41
Fig. 20 :	La Grande Feuillée. Schéma de la coupe GF 200 montrant l'im- portance de la découverte argilo-limoneuse (GF 209 à GF 214) au-dessus des sables et graviers (GF 201 à GF 208).....	41
Fig. 21 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe GF 100 (types I et III)	43
Fig. 22 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe GF 100 (type II)	43
Fig. 23 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe GF 200	44
Fig. 24 :	Courbes granulométriques cumulatives de la découverte des coupes GF 300 et GF 400	46
Fig. 25 :	Situation des carrières de la Freslonnière et de la Heuzardière	49
Fig. 26 :	La Heuzardière. Schéma de la coupe HEU 200 montrant les allu- vions sablo-graveleuses rouges (HEU 204 à HEU 208) au-dessus des sables pliocènes (HEU 201 à HEU 203).....	50
Fig. 27 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe HEU 200 : sables pliocènes (HEU 201, 202, 203) et niveau inférieur des alluvions sablo-graveleuses rouges (HEU 204)	52

Fig. 28 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe HEU 200 : alluvions sablo-graveleuses rouges	53
Fig. 29 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la Freslonnière : sables pliocènes (FRE 101 - 102) et alluvions sablo-graveleuses rouges (FRE 103)	53
Fig. 30 :	Situation des gravières de la Courbe et du Mortier	56
Fig. 31 :	Coupe schématique du méandre de la Courbe	56
Fig. 32 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la gravière de la Courbe : dépôt grossier de base (COU 401), sables et graviers (COU 200), lentilles sablo-limoneuses (COU 102 - 303), colluvions (COU 202 - 203)	56
Fig. 33 :	Coupe schématique du méandre du Mortier	60
Fig. 34 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la gravière du Mortier : alluvions sablo-graveleuses (MOR 101 - 103), sables et limons des chenaux (MOR 1 - 2 - 3 - 4 - 5), colluvions (MOR 105)	60
Fig. 35 :	Situation de la carrière de Port-de-Roche	64
Fig. 36 :	Coupe schématique de la carrière de Port-de-Roche montrant la succession des formations : argile oligocène (PdR 101) sables pliocènes (PdR 201), alluvions sablo-graveleuses rouges (PdR 202 - 203), niveau argileux bariolé PdR 204) et colluvions (PdR 205)	65
Fig. 37 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe PdR 200 : sables pliocènes (PdR 201), alluvions sablo-graveleuses rouges (PdR 202 - 203), niveau argileux bariolé (PdR 204) et colluvions (PdR 205)	67
Fig. 38 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe PdR 100 : argile oligocène (PdR 101), alluvions sablo-graveleuses (PdR 103 à 107), niveau argileux bariolé (PdR 108)	68
Fig. 39 :	Situation de la gravière de Langon	71
Fig. 40 :	Coupe schématique de la gravière de Langon montrant les différentes formations : poche de sable pliocène (LAN 100), alluvions sablo-graveleuses grises (LAN 101 - 102 - 202 - 203) ravinées par des chenaux comblés de sables fins (LAN 201 - 204), limons de la découverte (LAN 103)	72

Fig. 41 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe LAN 100 : sable pliocène (LAN 100), alluvions sablo-graveleuses grises (LAN 101 - 102) et limons de la découverte (LAN 103)	74
Fig. 42 :	Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de la coupe LAN 200 : alluvions grossières sablo-graveleuses grises (LAN 202 - 203), et sables des chenaux (LAN 201 - 204)	74
Fig. 43 :	Fuseau granulométrique des sables pliocènes	82
Fig. 44 :	Schéma montrant les 3 types de courbes granulométriques des alluvions sablo-graveleuses grises	87
Fig. 45 :	Fuseaux granulométriques des différents types de dépôts d'alluvions sablo-graveleuses grises	87
Fig. 46 :	Diagramme granulométrique des limons de débordement	90
Fig. 46 bis :	Fuseau granulométrique des limons de débordement	90
Fig. 47 :	Evolution de la composition pétrographique dans 3 classes granulométriques des graviers de la Vilaine, entre Châteaubourg et Langon	98
Fig. 48 :	Diagramme C.M des alluvions sablo-graveleuses de la Vilaine..	101
Fig. 49 :	Relation entre l'indice de classement S_0 et le médian Q_2 ..	101
Fig. 50 :	Relation entre les processus de dépôt, les faciès observés et les caractéristiques granulométriques des sédiments	107
Fig. 51 :	Diagramme montrant la fréquence des différentes valeurs d'équivalent de sable dans les sables pliocènes, les alluvions sablo-graveleuses rouges (Riss) et grises (Würm)	119
Fig. 52 :	Granularité des alluvions grises de la basse terrasse de la Vilaine	122
Fig. 52 bis :	Granularité des alluvions rouges de la haute terrasse de la Vilaine	122
Fig. 53 :	Variation du coefficient d'aplatissement des graviers selon les classes granulaires	124

Fig. 54 :	Relation entre le coefficient d'aplatissement des graviers et leur composition pétrographique (pourcentage de grès et de schistes)	124
Fig. 55 :	Evolution du coefficient d'aplatissement des graviers entre Châteaubourg et Langon	126
Fig. 56 :	Valeurs moyennes du coefficient de fractionnement dynamique des graviers entre Châteaubourg et Langon	126

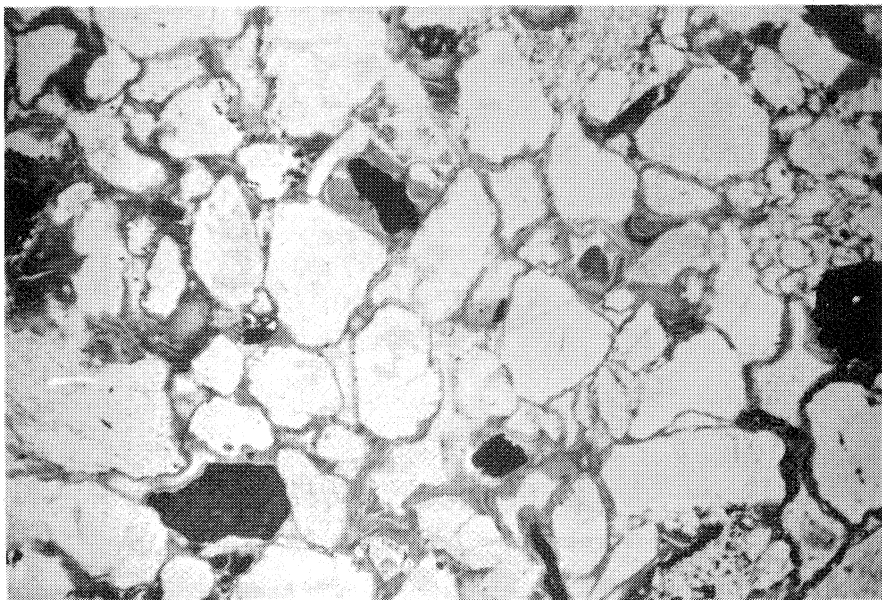
LISTE DES TABLEAUX ---

	Pages
Tableau 1 - Châteaubourg - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse	19
Tableau 2 - Minéraux lourds de l'affleurement de Châteaubourg	20
Tableau 3 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations alluviales situées à l'Est de Rennes	20
Tableau 4 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la gravière du Houx	27
Tableau 5 - Le Houx - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse	28
Tableau 6 - Minéraux lourds de la gravière du Houx	29
Tableau 7 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la gravière du Houx	30
Tableau 8 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la coupe LM 100	33
Tableau 9 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la coupe LM 200	34
Tableau 10 - La Moustière - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse	36
Tableau 11 - Minéraux lourds de la gravière de la Moustière	37
Tableau 12 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la gravière de la Moustière	39
Tableau 13 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la coupe GF 100	45
Tableau 14 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la coupe GF 200 et de la découverte des coupes GF 300 et GF 400.	45

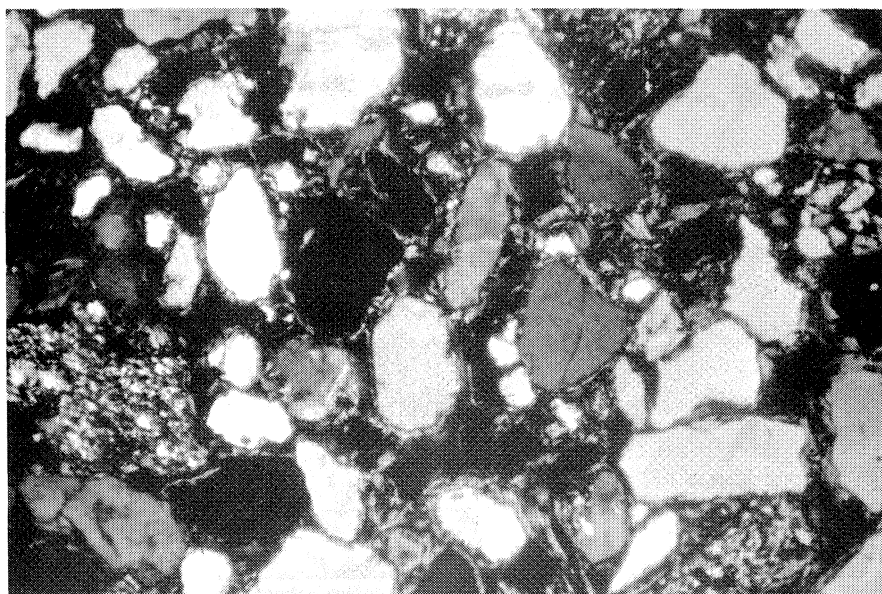
Tableau 15 - La Grande Feuillée - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse	47
Tableau 16 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la gravière de la Grande Feuillée (coupe GF 200) ...	48
Tableau 17 - Caractéristiques granulométriques des échantillons des carrières de la Heuzardière et de la Freslonnière	51
Tableau 18 - La Heuzardière et la Freslonnière - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse	52
Tableau 19 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la Heuzardière	54
Tableau 20 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la gravière de la Courbe	55
Tableau 21 - Minéraux lourds de la gravière de la Courbe	58
Tableau 22 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la Courbe	59
Tableau 23 - Caractéristiques granulométrique des échantillons de la gravière du Mortier	59
Tableau 24 - La Courbe et le Mortier - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse	62
Tableau 25 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la carrière de Port-de-Roche	66
Tableau 26 - Port-de-Roche - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse	68
Tableau 27 - Minéraux lourds de la carrière de Port-de-Roche	69
Tableau 28 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de Port-de-Roche	70
Tableau 29 - Caractéristiques granulométriques des échantillons de la gravière de Langon	73
Tableau 30 - Langon - Pourcentages pétrographiques de la fraction graveleuse	75
Tableau 31 - Minéraux lourds de la gravière de Langon	76

Tableau 32 - Composition minéralogique de la fraction argileuse des formations de la gravière de Langon	77
Tableau 33 - Comparaison des indices granulométriques caractéristiques des sables pliocènes situés sous les alluvions de la Vilaine avec ceux d'autres gisements de la région	82
Tableau 34 - Comparaison des indices granulométriques des limons de la découverte de la Vilaine et de la Rance	91

ANNEXES



L.N.

2 mm

L.P.

Figures 57 et 58 - Micrographies d'une lame mince, taillée dans les alluvions sablo-graveleuses rouges, après inclusion dans une résine, montrant l'aspect des revêtements ferri-argileux, en lumière naturelle (L.N.) et en lumière polarisée (L.P.). Noter la nette dominance et la forme anguleuse du quartz, et la présence de quelques fragments de grès, de schistes et d'hydroxydes de fer.

LES QUARTZ DES SABLES PLIOCENES

Figure 59 - Morphologie typique d'un quartz pliocène (bassin de Rennes)
Ce grain très évolué présente sur des faces très propres, de nombreuses traces de choc (cupules, croissants et traces en "V") plus ou moins polies.

Figure 60 - Vue générale d'un grain de quartz, plus arrondi que le précédent, et de même provenance. La densité des traces de choc est particulièrement importante.

Figure 61 - Cupule de choc à bords très polis. Le fond de cette cupule est recouvert de dépôts siliceux globuleux formés en milieu marin intertidal.

Figure 62 - Cupule de choc à bords moins polis que ceux de la cupule précédente. La forme générale du grain apparaît toutefois très arrondie.

Figure 63 - Traces de choc diverses : grandes cupules de choc avec figures de cisaillement, croissants de choc qui en raison de la forte usure du grain donne une "marque en coup d'ongle", et traces de choc en "V".

Figure 64 - Détail de la figure précédente montrant des dépôts siliceux globuleux localisés au fond d'une grande cupule de choc. Ces dépôts sont caractéristiques des milieux marins intertidaux.

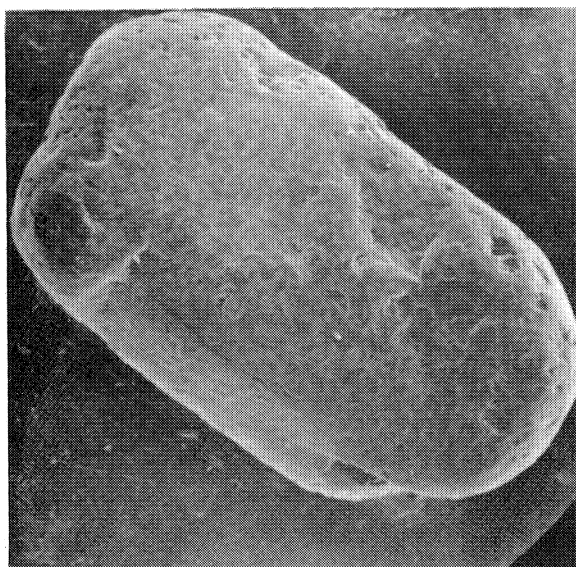


Figure 59

100 μ m

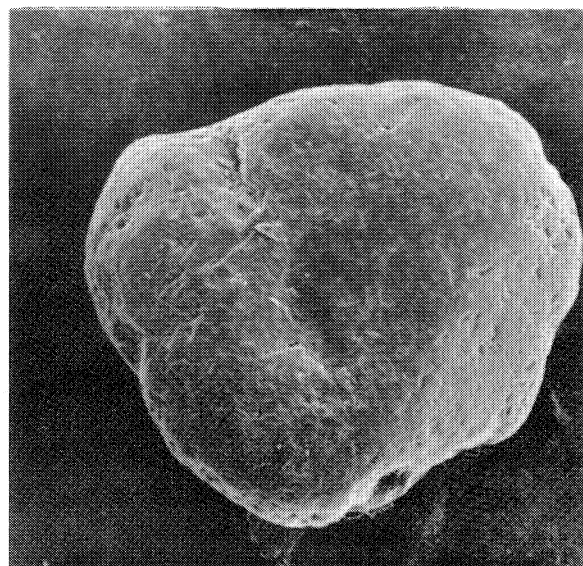


Figure 60

100 μ m

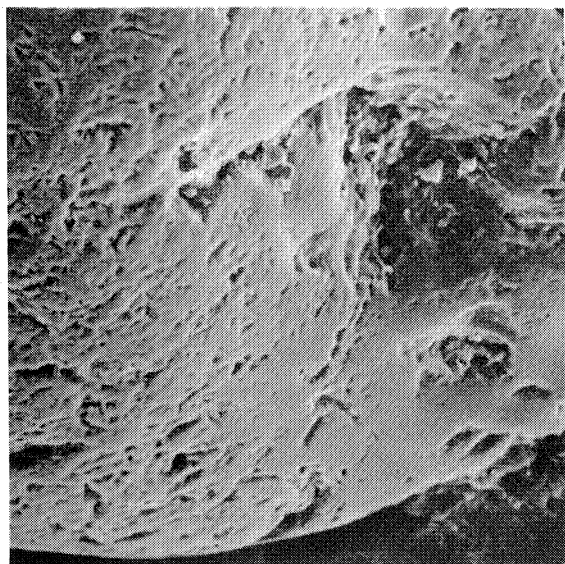


Figure 61

20 μ m

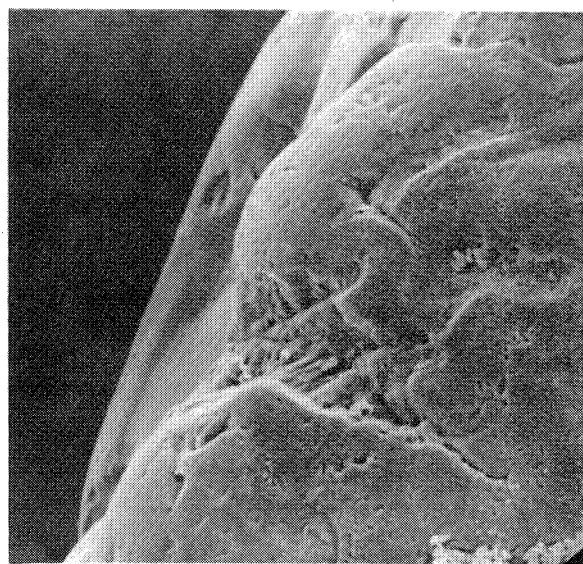


Figure 62

20 μ m

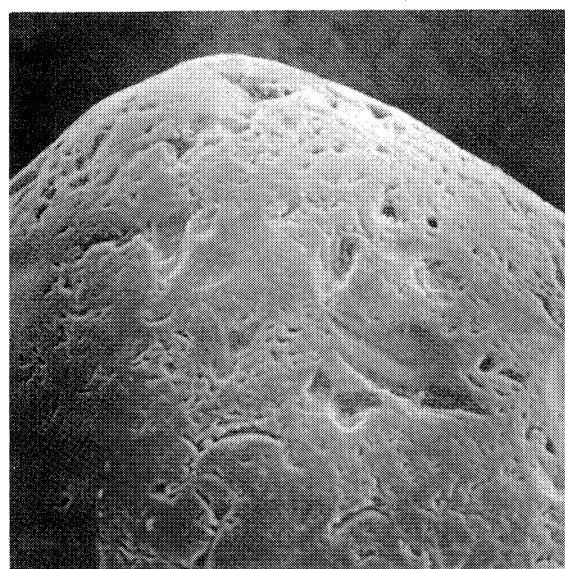


Figure 63

20 μ m

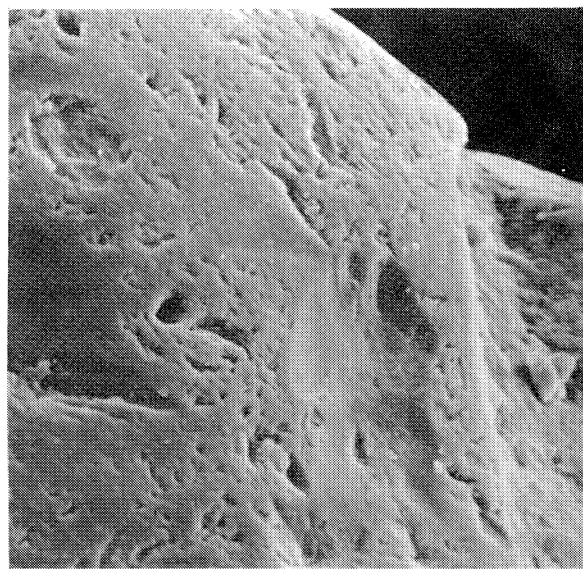


Figure 64

20 μ m

LES QUARTZ DES ALLUVIONS SABLO-GRAVELEUSES

Figure 65 - Vue générale d'un quartz provenant des alluvions sablo-graveleuses rouges de la haute terrasse (bassin de Rennes). Ce grain de forme très irrégulière, a des arêtes à peine émoussées et présente quelques traces de choc à bords peu polis témoins d'une faible évolution fluviale.

Figure 66 - Détail de la figure précédente montrant une strie profonde à bords non polis.

Figure 67 - Vue générale d'un quartz de même provenance que le précédent. Ce grain très anguleux peu évolué, présente sur ses arêtes d'importantes cassures conchoïdales.

Figure 68 - Détail du grain précédent, montrant les figures de cisaillement en lignes subparallèles d'une cassure conchoïdale. La très faible usure des arêtes montre que le transport a été court et les revêtements importants sont les témoins d'une influence pédologique.

Figure 69 - Vue générale d'un quartz provenant des alluvions sablo-graveleuses grises de la basse terrasse (bassin de Rennes). Ce grain a un relief tourmenté, et une forme anguleuse. Les arêtes à peine émoussées présentent quelques traces de choc.

Figure 70 - Vue générale d'un quartz de même provenance que le précédent. Bien qu'il soit toujours très anguleux, ce grain présente de nombreuses traces de choc qui sont les témoins d'un transport fluviale assez important.

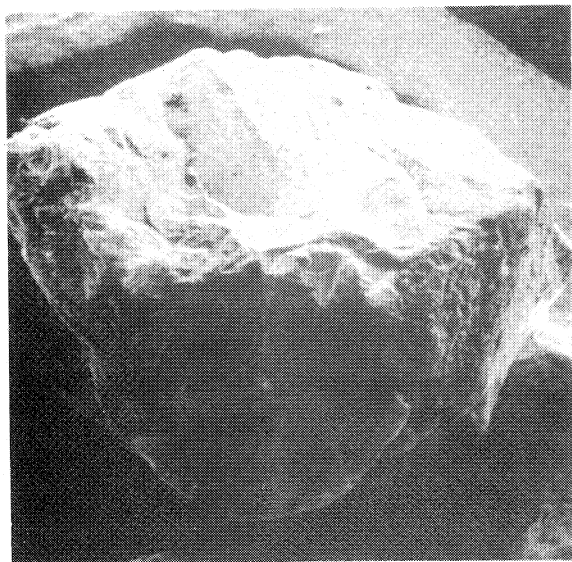


Figure 65 100 μ m

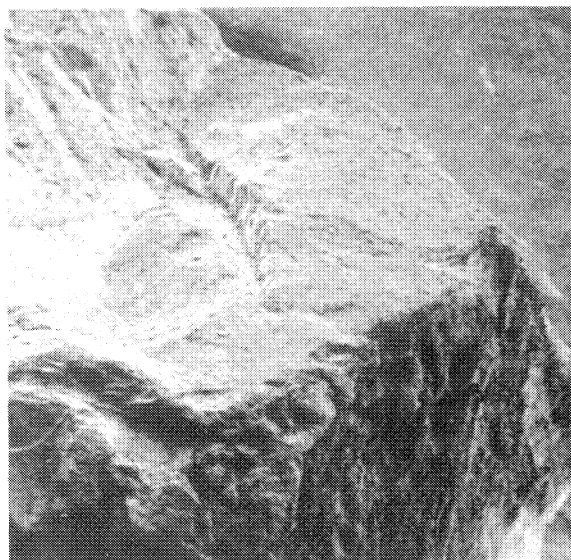


Figure 66 20 μ m

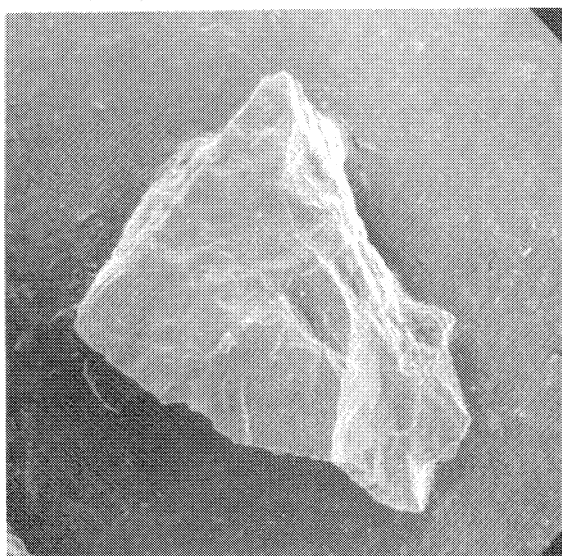


Figure 67 100 μ m

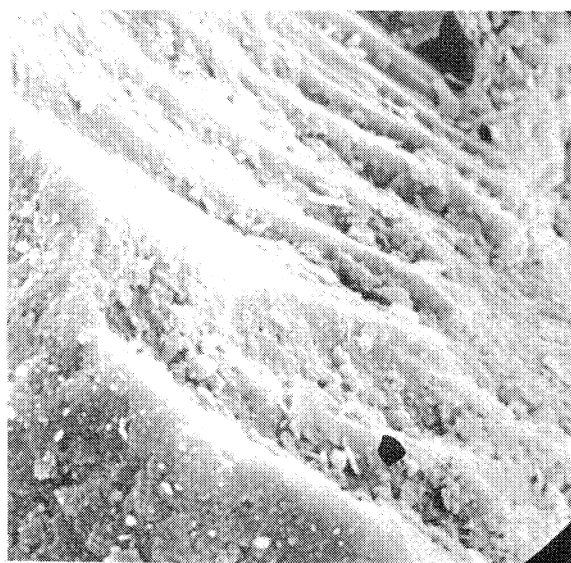


Figure 68 10 μ m

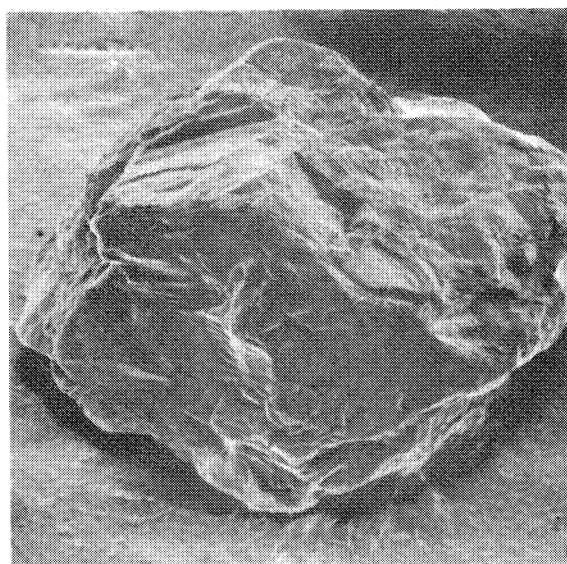


Figure 69 100 μ m

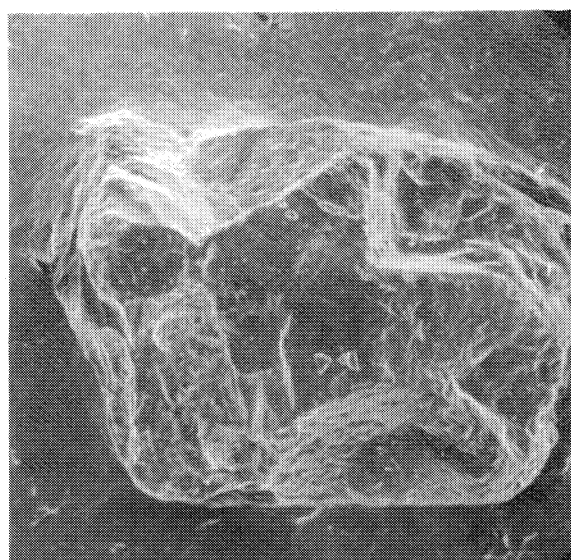


Figure 70 100 μ m

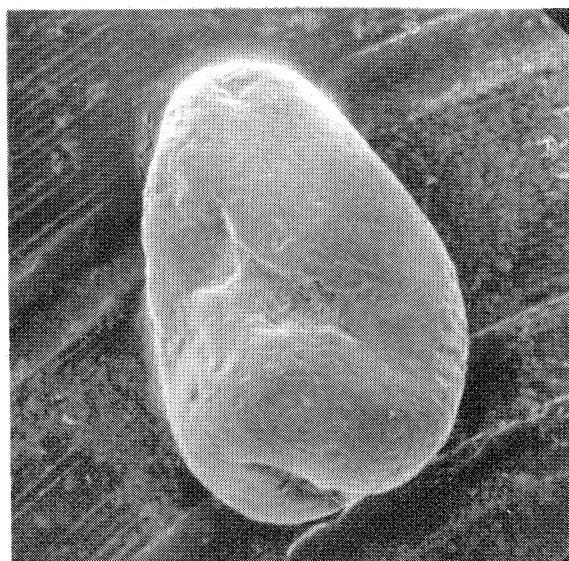


Figure 71

100 μm

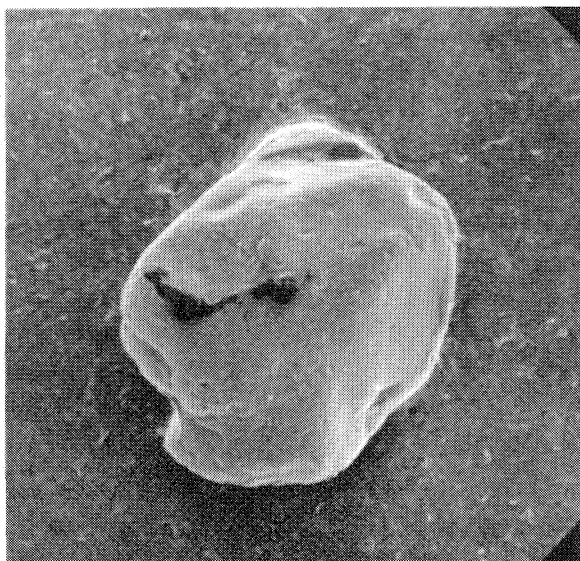


Figure 72

100 μm

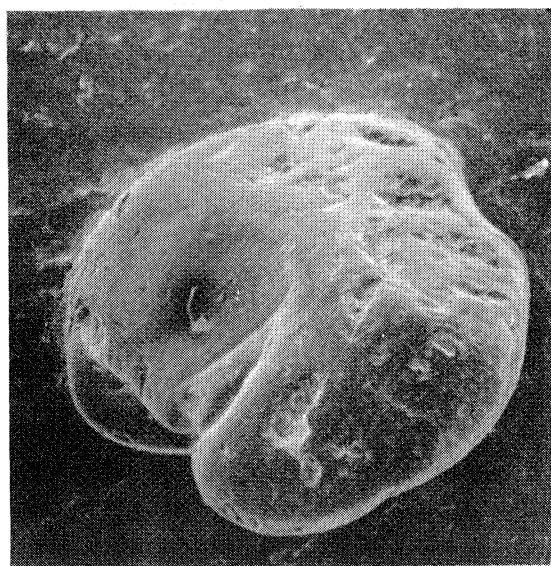


Figure 73

100 μm

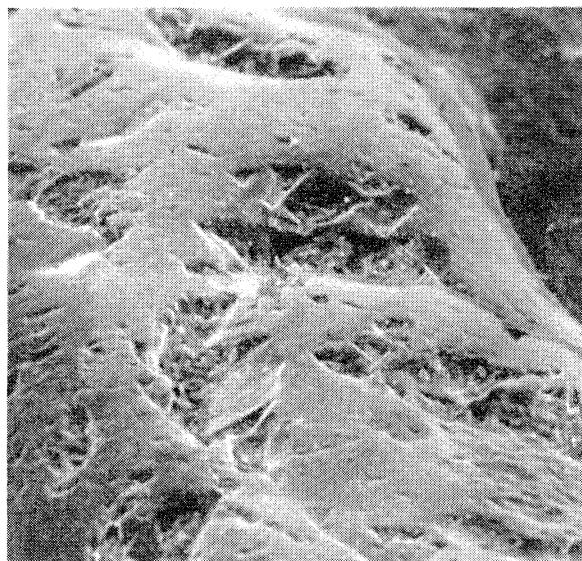


Figure 74

100 μm

Figures 71, 72, 73 - Ces quartz très arrondis qui proviennent des alluvions sablo-graveleuses grises de la basse terrasse (bassin de Rennes), présentent toutes les caractéristiques morphologiques des quartz des sables pliocènes. Cette famille de quartz très évolués représente moins de 25 % de l'ensemble des grains de quartz (fraction $315\ \mu - 500\ \mu$), et constitue l'héritage pliocène des sables alluviaux.

Figure 74 - Détail de figure 74, montrant de nombreuses traces de choc orientées et ayant une forme en "V". Le fond des traces de choc est recouvert de dépôts relativement abondants.

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION	1
<u>PREMIERE PARTIE</u>	3
METHODES D'ETUDE	
I Choix et description des coupes	4
II Granulométrie	4
- Granulométrie des galets	5
- Granulométrie des sables et graviers	5
- Granulométrie de la fraction < 50 μ	6
- Expression des résultats	6
III Mesure du coefficient d'aplatissement des granulats	7
IV Pétrographie des galets et graviers	8
- Les quartz et quartzites	8
- Les grès	9
- Les schistes	9
V Etude des minéraux lourds	10
VI Etude de la fraction argileuse	10
- Diagrammes d'agrégats orientés	11
- Diagrammes de poudre	11
VII Essai d'équivalent de sable	11
VIII Essai de fragmentation dynamique	12
 <u>DEUXIEME PARTIE</u>	
LES FAITS	13
I Les alluvions de la Vilaine de Vitré à Rennes	15
- Affleurement de St Melaine	17
- Affleurement de Châteaubourg	17
- Affleurement de Brécé	17
1 - Analyse granulométrique	18
2 - Pétrographie de la fraction graveleuse	18
3 - Les minéraux lourds	19
4 - Les minéraux argileux	20

II	Les alluvions de la Vilaine dans le bassin de Rennes	22
1 -	La gravière du Houx	22
a -	Situation	22
b -	Description de la coupe LH 100	23
c -	Analyse granulométrique	25
d -	Pétrographie de la fraction graveleuse	28
e -	Les minéraux lourds	29
f -	Les minéraux argileux	30
2 -	La gravière de la Moustière	31
a -	Situation	31
b -	Description de la coupe LM 100	32
c -	Analyse granulométrique	33
d -	Description de la coupe LM 200	33
e -	Analyse granulométrique	34
f -	Pétrographie de la fraction graveleuse	36
g -	Les minéraux lourds	37
h -	Les minéraux argileux	38
3 -	La gravière de la Grande Feuillée	40
a -	Situation	40
b -	Caractères généraux	40
c -	Description de la coupe GF 100	40
d -	Description de la coupe GF 200	42
1.	Les sables et graviers	44
2.	La découverte argilo-limoneuse	46
f	Pétrographie de la fraction graveleuse	47
g	Les minéraux argileux	47
4 -	Les carrières de la Heuzardière et de la Freslonnière	49
a -	Situation	49
b -	La Heuzardière. Description de la coupe HEU 200	
c -	Description de la carrière de la Freslonnière	51
d -	Analyse granulométrique	51
e -	Pétrographie de la fraction graveleuse	52
f -	Les minéraux argileux	54
III	Les alluvions de la Vilaine dans les synclinaux du sud de Rennes ..	55
1 -	La gravière de la Courbe	55
a -	Situation	55
b -	Description des faciès sédimentologiques	55
c -	Les minéraux lourds	57
d -	Les minéraux argileux	58

2 - La gravière du Mortier	59
a - Situation	59
b - Description des faciès sédimentologiques	59
c - Pétrographie de la fraction graveleuse des gravières de la Courbe et du Mortier	62
IV Les alluvions de la Vilaine dans la région de Langon	64
1 - La carrière de Port-de-Roche	64
a - Situation	64
b - Description des coupes	64
c - Analyse granulométrique	66
d - Pétrographie de la fraction graveleuse	68
e - Les minéraux lourds	69
f - Les minéraux argileux	70
2 - La gravière de Langon	71
a - Situation et description	71
b - Granulométrie	73
c - Pétrographie de la fraction graveleuse	75
d - Les minéraux lourds	75
e - Les minéraux argileux	76
<u>CONCLUSION</u>	78

TROISIEME PARTIE

INTERPRETATION

I Les caractères généraux des formations du cours moyen de la Vilaine et leur relations	80
A - Les caractères propres à chacune des formations	81
1 - Les sables marins pliocènes	81
2 - Les alluvions sablo-graveleuses rouges	84
3 - Les alluvions sablo-graveleuses grises	86
4 - Les limons de débordement	89
5 - Les colluvions et alluvions remaniées	92
B - Caractères distinctifs des différentes formations	93
C - Relations mutuelles - Origine du matériau	95
II Mise en place des dépôts. Interprétation des différents faciès ...	100
III Essai de synthèse géologique	110
IV Considérations géotechniques	116
1 - La propreté	120
2 - La granularité des alluvions	121
3 - La forme des graviers	123
4 - La résistance aux chocs des graviers	127

CONCLUSIONS GENERALES

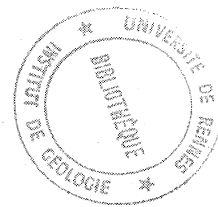
129

BIBLIOGRAPHIE 132

LISTE DES FIGURES 137

LISTE DES TABLEAUX 142

ANNEXES 145



VU :

Le Président de la Thèse

S. DURAND

VU :

Le Directeur de Thèse

J. ESTEOULE - CHOUX

VU et APPROUVE

RENNES, 1e

Le Directeur de l'U.E.R.

J. HAMEURT

VU pour autorisation

RENNES, 1e

LE PRESIDENT de l'Université de RENNES,

R. DABARD

