



58 346  
1995  
1-2

INSTITUT FRANÇAIS  
DU PÉTROLE  
Division Géologie-Géochimie

UNIVERSITÉ DE SAVOIE  
Laboratoire de Géodynamique

# THÈSE

présentée à  
l'UNIVERSITÉ DE SAVOIE  
pour obtenir le grade de  
**DOCTEUR**  
Spécialité : SCIENCES DE LA TERRE  
par

**Yann PHILIPPE**

*Sujet de la thèse :*

**RAMPES LATÉRALES ET ZONES DE TRANSFERT  
DANS LES CHAÎNES PLISSÉES :  
GÉOMÉTRIE, CONDITIONS DE FORMATION  
ET PIÈGES STRUCTURAUX ASSOCIÉS**

*Volume II - Figures*

*Soutenue le 12 juillet 1995 devant le jury composé de :*

<i>MM. M. TARDY</i>	<i>Président, Directeur de thèse</i>
<i>J.-P. GRATIER</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>H. LAUBSCHER</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>J.-C. CHERMETTE</i>	<i>Examineur</i>
<i>B. COLLETTA</i>	<i>Examineur</i>
<i>J.-M. FLAMENT</i>	<i>Examineur</i>
<i>A. MASCLE</i>	<i>Examineur</i>
<i>G. MÉNARD</i>	<i>Examineur</i>

SCD LILLE 1



D 030 258902 2



## Résumé

A partir de l'étude de cas naturels de zones transverses dans l'avant-pays alpin et de modèles analogiques, on montre que le développement des zones de transfert dans les chaînes plissées est directement lié à une variation longitudinale des paramètres impliquant le niveau de décollement basal. Pour une série sédimentaire mécaniquement isotrope et pourvue d'un niveau de décollement basal à comportement fragile, ces facteurs sont : (1) l'épaisseur de la couverture et (2) la résistance au cisaillement à la base. Pour une chaîne dont le décollement est assuré par un niveau de détachement ductile, la présence d'hétérogénéités obliques (variations brutales d'épaisseur ou interruptions latérales, étranglements, rides...) au sein de cette couche ductile favorise la formation et l'orientation des chevauchements dans la couverture fragile sus-jacente.

Les fronts latéraux nord et sud de l'arc du Jura se localisent à l'aplomb d'une limite d'extension du niveau de décollement triasique: au sud, il s'agit d'une variation latérale de faciès alors qu'au nord il s'agit d'une interruption brutale par faille normale. Ces deux secteurs montrent une déformation finie associant régime compressif et régime décrochant, caractérisée par une rotation importante des axes de raccourcissement qui tendent à s'orienter perpendiculairement à la zone transverse. Cette déformation transpressive peut s'exprimer de deux façons: soit elle affecte l'ensemble de la zone transverse de manière diffuse (cas du Jura septentrional), soit il y a ségrégation entre les composantes de cisaillement pur et de cisaillement simple (cas du Jura méridional).

Le massif du Vercors occidental correspond à une zone transverse induite par l'épaississement du nord vers le sud de la couverture allochtone, qui s'accompagne de la réapparition du sel massif triasique à la base. Ces variations longitudinales conduisent au développement de plis en échelon au front de la chaîne et à l'augmentation de la longueur d'onde des écaillés imbriquées. La diminution vers le sud de la résistance mécanique à la base se traduit par une inversion progressive de la vergence de la chaîne.

## Abstract

On the basis of analogue modelling experiments we evidence that the development of transverse zones in fold-and-thrust belts is directly related to a longitudinal variation of (1) the thickness of the allochthonous sequence and/or (2) the shear strength at the base of the prism. In cases of fold belts provided of a ductile decollement level, any oblique discontinuity within the detachment layer (*i.e.* abrupt thickness variation, presence of salt ridges...) controls the forming and the orientation of thrusts in the overlying brittle cover.

Three natural examples of transfer zones taken in the Western Alpine foreland illustrate the observations derived from laboratory models :

The northern and southern oblique fronts of the Jura arcuate belt are both located above a lateral disappearance of the Triassic decollement level (sedimentary pinch-out for the Southern Jura or normal faulting for the Northern Jura). These transverse segments display a finite deformation pattern combining compressive regime with wrench tectonics, as regional shortening directions are strongly deflected to trend nearly perpendicular to the strike of the transfer zone.

The Western Vercors thrust belt corresponds to a transverse zone induced by the lateral thickening of the allochthonous cover, added to the presence of basal Triassic salt in the south of the massif. These variations along strike cause (1) the development of en-échelon folds at the frontal part of the belt and (2) the augmentation of the wave-length of imbricate thrust sheets, as the longitudinal decrease of the basal shear strength provokes a progressive reversal of the polarity of the belt from north to south.



52346  
1995  
1-2.

S  
**INSTITUT FRANÇAIS  
DU PÉTROLE**  
Division Géologie-Géochimie

**UNIVERSITÉ DE SAVOIE**  
Laboratoire de Géodynamique



# THÈSE

présentée à  
**l'UNIVERSITÉ DE SAVOIE**  
pour obtenir le grade de  
**DOCTEUR**  
Spécialité : SCIENCES DE LA TERRE  
par

**Yann PHILIPPE**

*Sujet de la thèse :*

**RAMPES LATÉRALES ET ZONES DE TRANSFERT  
DANS LES CHAÎNES PLISSÉES :  
GÉOMÉTRIE, CONDITIONS DE FORMATION  
ET PIÈGES STRUCTURAUX ASSOCIÉS**

*Volume II - Figures*

*Soutenue le 12 juillet 1995 devant le jury composé de :*

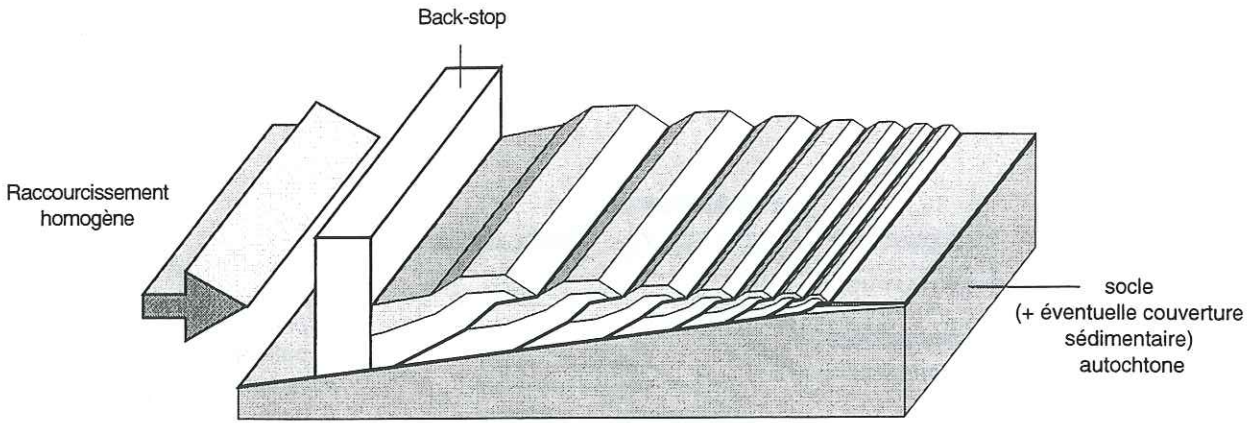
<i>MM. M. TARDY</i>	<i>Président, Directeur de thèse</i>
<i>J.-P. GRATIER</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>H. LAUBSCHER</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>J.-C. CHERMETTE</i>	<i>Examineur</i>
<i>B. COLLETTA</i>	<i>Examineur</i>
<i>J.-M. FLAMENT</i>	<i>Examineur</i>
<i>A. MASCLE</i>	<i>Examineur</i>
<i>G. MÉNARD</i>	<i>Examineur</i>

Distributeur exclusif  
Éditions Technip, 27 rue Ginoux, 75737 PARIS CEDEX 15



**CHAPITRE I**  
**DÉFINITIONS ET RAPPELS**  
-  
**EXEMPLES NATURELS**





- Série syn-orogénique
- Série anté-orogénique

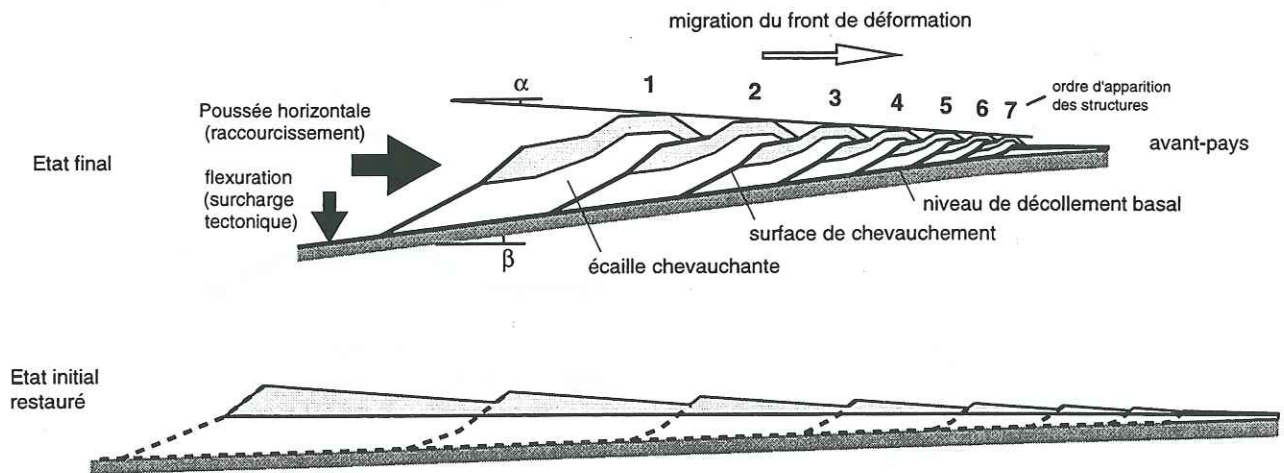
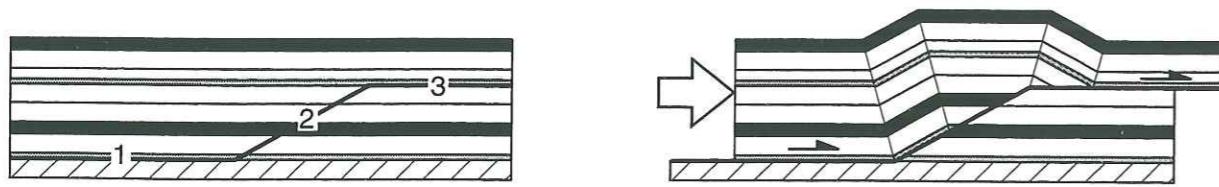
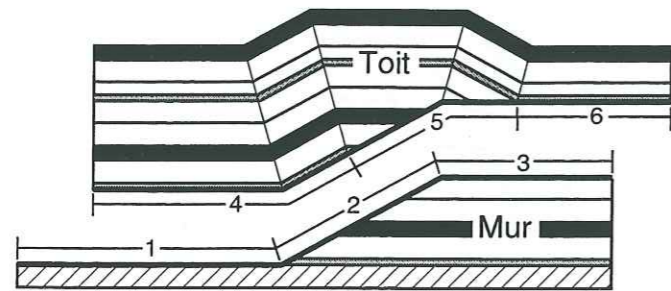


Fig.I-1: Géométrie d'une chaîne plissée d'avant-pays idéalisée.





a: Géométrie bi-dimensionnelle d'une surface de chevauchement (McClay, 1992).  
1: palier inférieur; 2: rampe; 3: palier supérieur



1: palier inférieur de mur  
2: rampe de mur  
3: palier supérieur de mur  
4: palier inférieur de toit  
5: rampe de toit  
6: palier supérieur de toit

b: Définition des segments constituant une surface de chevauchement (Couples et Lewis, 1988; McClay, 1992).

Fig.I-2: Définition d'une surface de chevauchement.

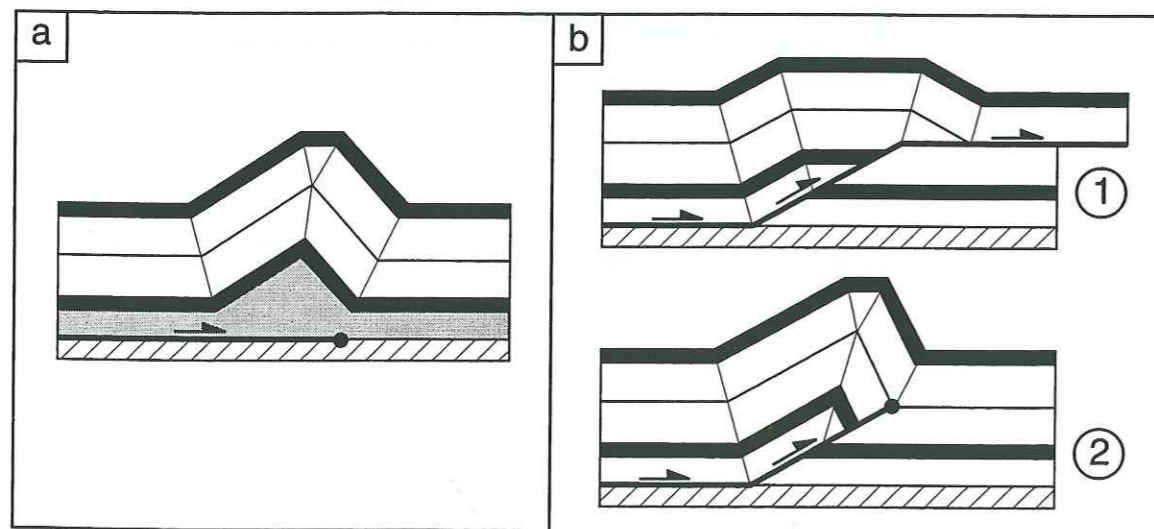


Fig.I-3: Les 2 principaux types de plis (d'après Jamison, 1987; Geiser, 1988).

a: pli de détachement  
b: anticlinal de rampe (1: anticlinal de rampe passif; 2: anticlinal de propagation)

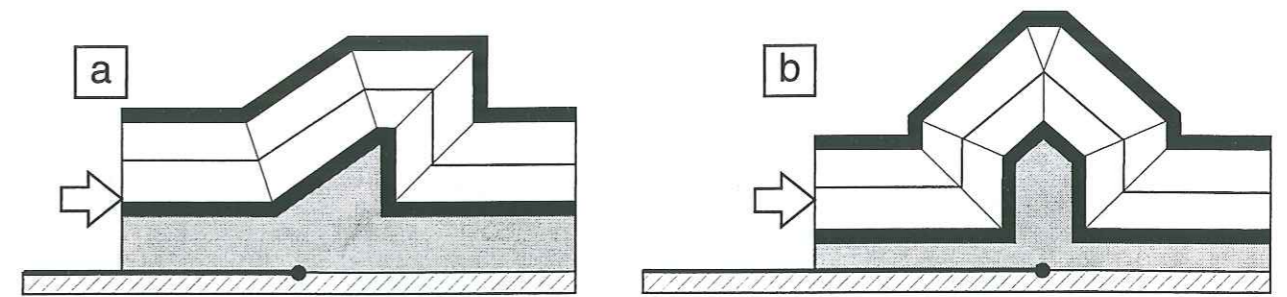


Fig.I-4: Les 2 types de plis de détachement.

a: pli de détachement dissymétrique  
b: pli de détachement droit (d'après Mitra et Namson, 1989)

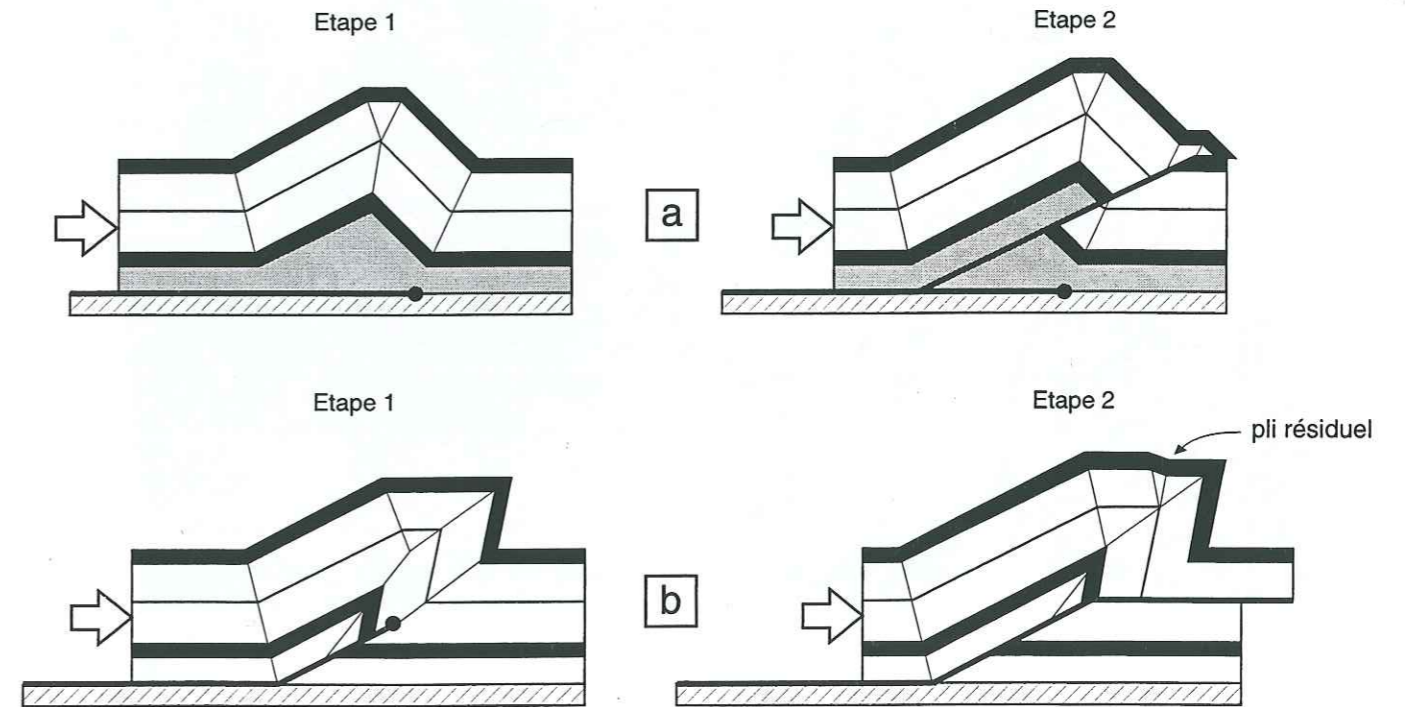
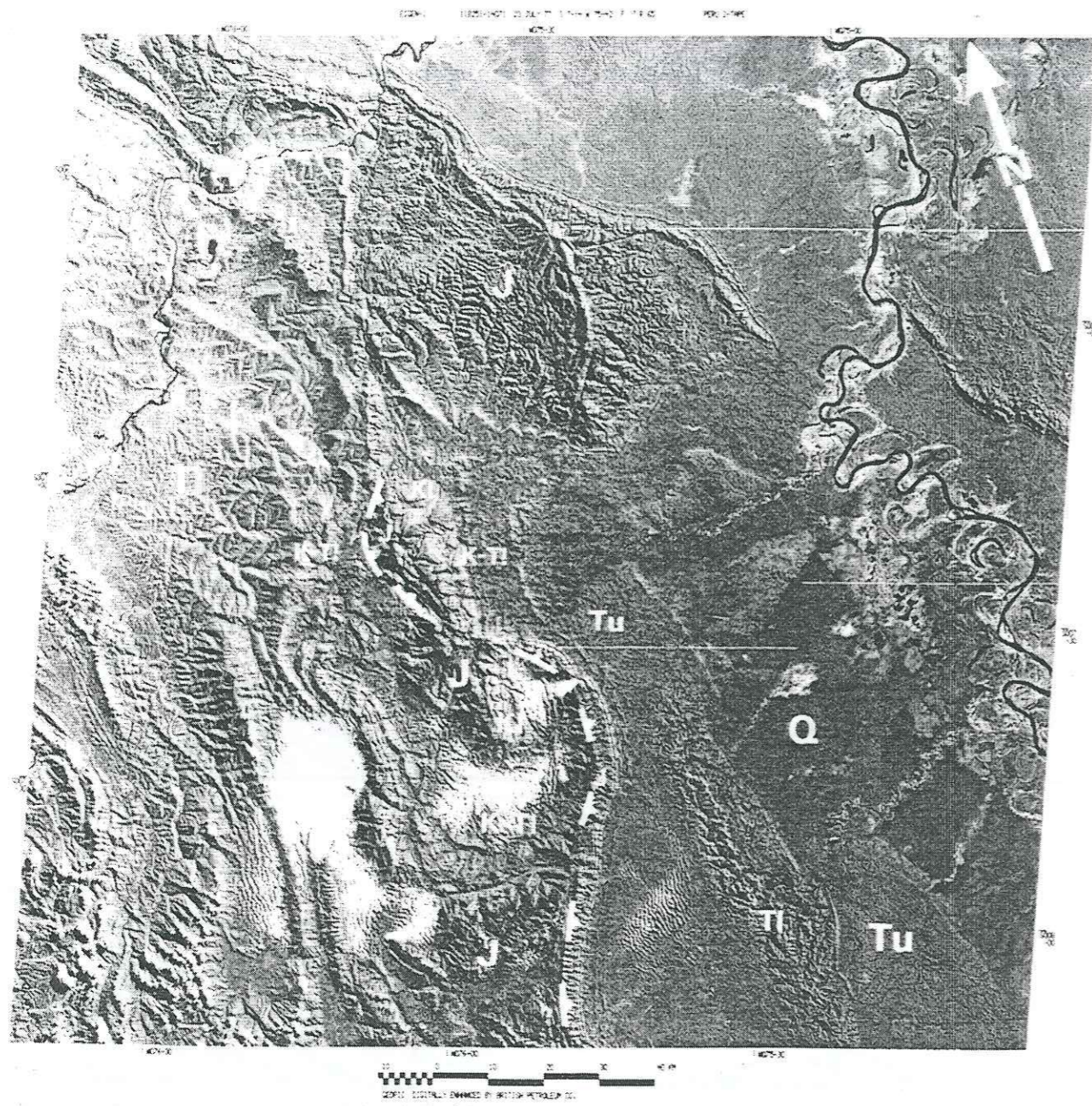


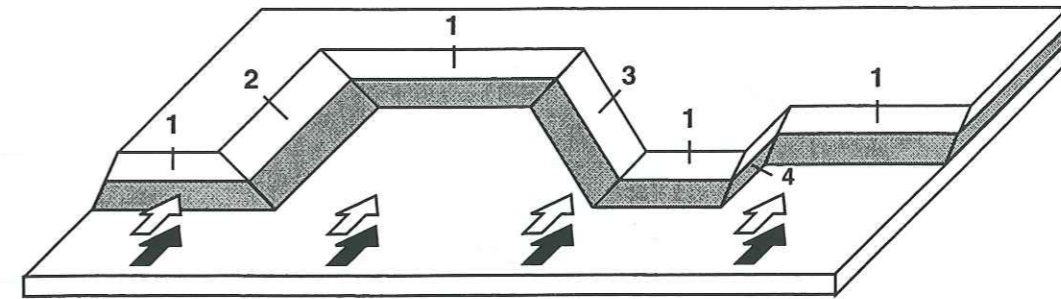
Fig.I-5: Les plis transportés.

a: pli de détachement transporté  
b: pli de propagation transporté (Mitra, 1990)



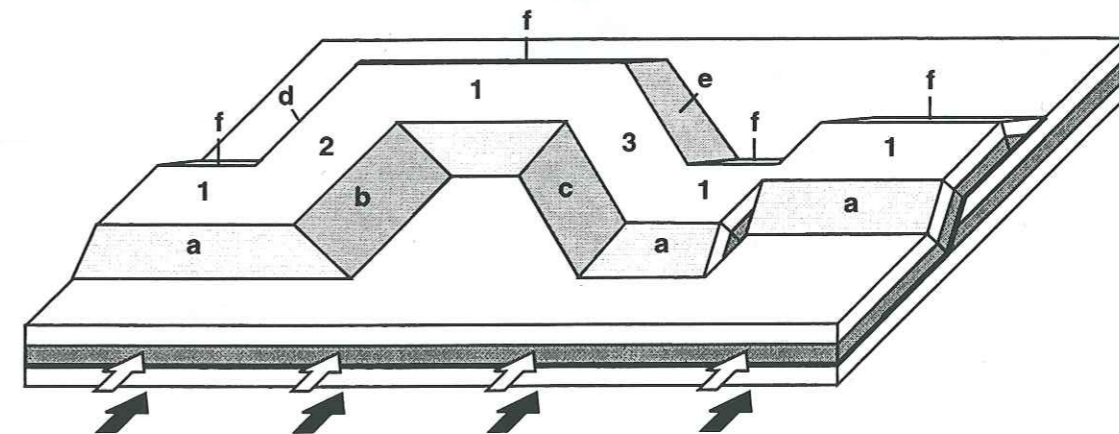


**Fig.I-6:** Image Landsat de la marge orientale péruvienne de la cordillère des Andes (Vann *et al.*, 1986). Le rétrochevauchement majeur est souligné par des barbules. Noter la présence au nord d'une rampe latérale majeure qui décale le front de la chaîne par rapport aux structures d'échelle régionale.



- 1: rampe frontale
- 2: rampe latérale
- 3: rampe oblique ou transverse
- 4: faille de déchirement (primaire)

**Fig.I-7a:** Définitions des différents types de rampes de chevauchement (Butler, 1982; modifié).



- 1: anticlinal frontal
- 2: anticlinal latéral
- 3: anticlinal oblique ou transverse
- a: mur dorsal
- b: mur lateral dorsal
- c: mur oblique dorsal
- d: mur lateral frontal
- e: mur oblique frontal
- f: mur frontal

**Fig.I-7b:** Définitions de plis en carte et des terminaisons péri-anticlinales (McCaskey, 1982; McClay, 1992; Schirmer, 1988).

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



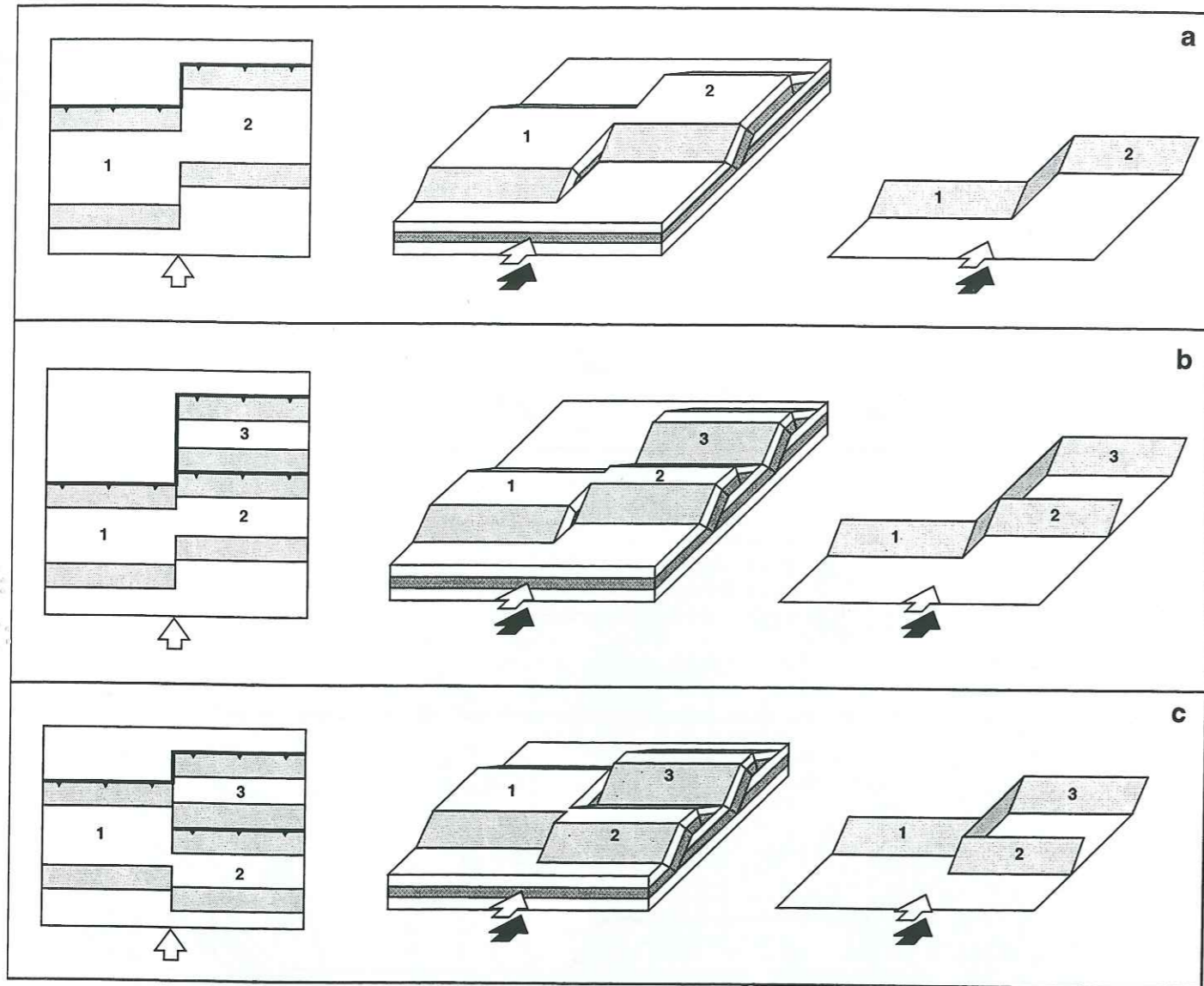


Fig.I-8: Exemples de failles de déchirement primaires.

Par définition, les structures situées de part et d'autre de la faille de déchirement sont synchrones et la quantité de raccourcissement est constante. Les figures de droite montrent la disposition des rampes de chevauchement à l'actuel et non pas à l'état restauré.

a: les 2 écailles sont identiques, ce qui peut faire penser que le décalage s'est produit postérieurement à la formation des anticlinaux de rampe. Or le décalage latéral du front de chevauchement est rigoureusement contemporain de la croissance des anticlinaux.

b et c: la même quantité de raccourcissement est accommodée différemment de part et d'autre de la faille, ce qui fait qu'il n'y a aucune corrélation possible entre les structures. En fonction de la position relative des plis dans chacun des compartiments, le sens de mouvement apparent le long de la faille peut s'inverser: dans le cas c, le décalage est apparemment sénestre entre les plis 1 et 3, et dextre entre les plis 1 et 2. Il ne faut par conséquent pas attribuer un jeu décrochant à une faille de déchirement primaire car les axes de plis ne constituent pas des marqueurs passifs.

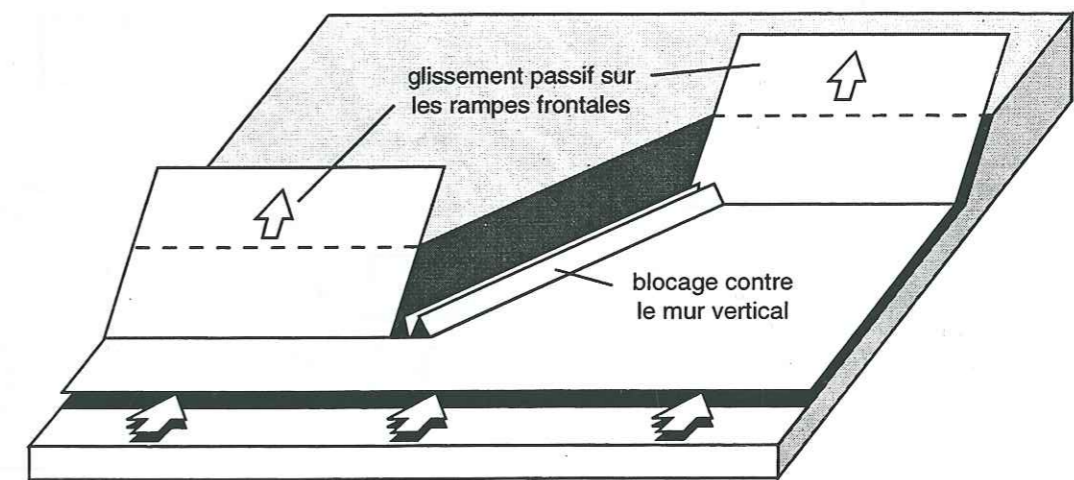
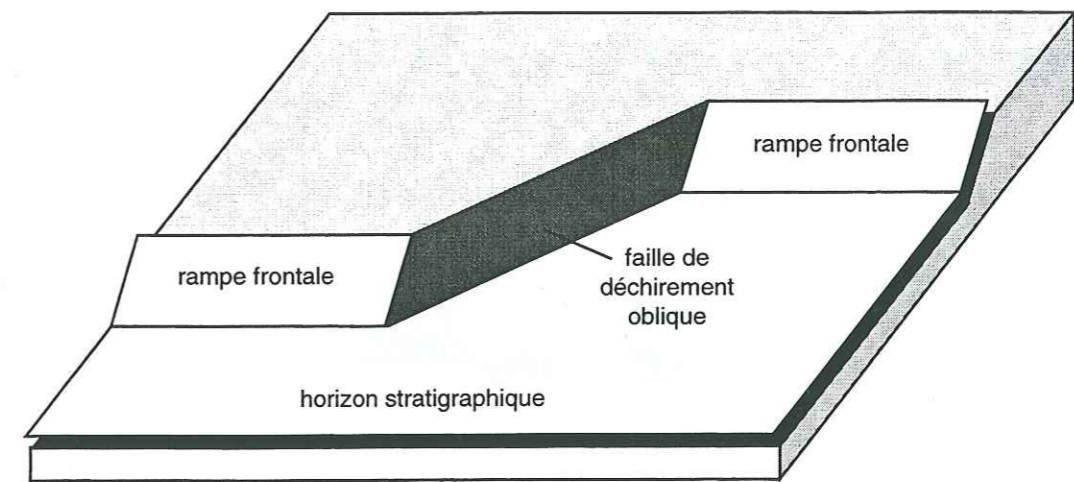


Fig.I-9: Faïlle de déchirement primaire: problème d'obliquité par rapport à la direction de transport.

Les 2 rampes frontales permettent un déplacement relatif du compartiment chevauchant vers l'avant-pays alors que la présence du plan de faille vertical s'y oppose.

Par conséquent, la faille de déchirement primaire (sensu-stricto) est toujours très proche de la direction de transport tectonique. Dans le cas contraire, il s'agit d'une faille de déchirement secondaire associée à une permutation des contraintes principales  $\sigma_2$  et  $\sigma_3$  (régime décrochant).



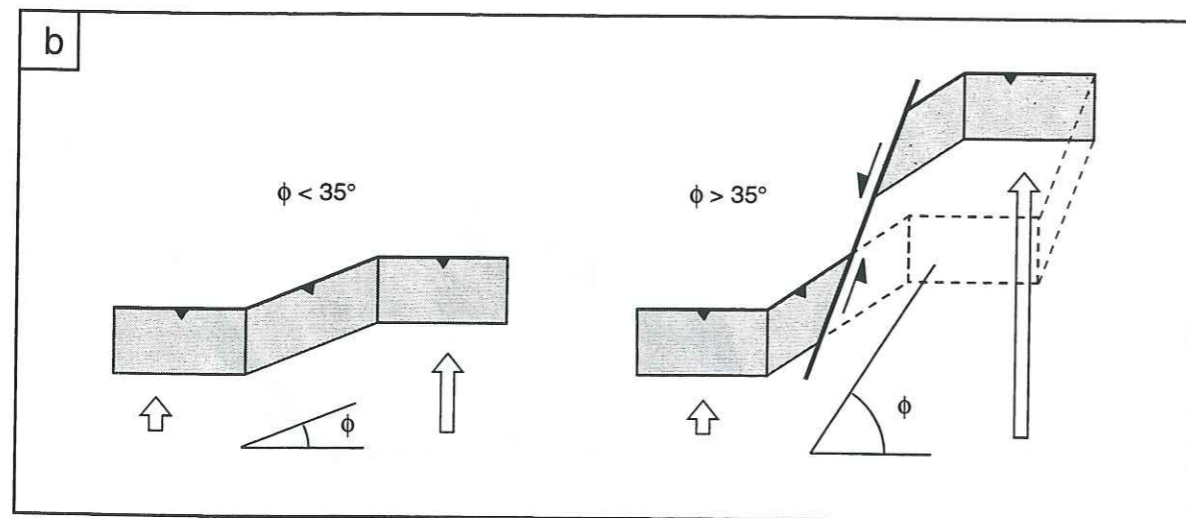
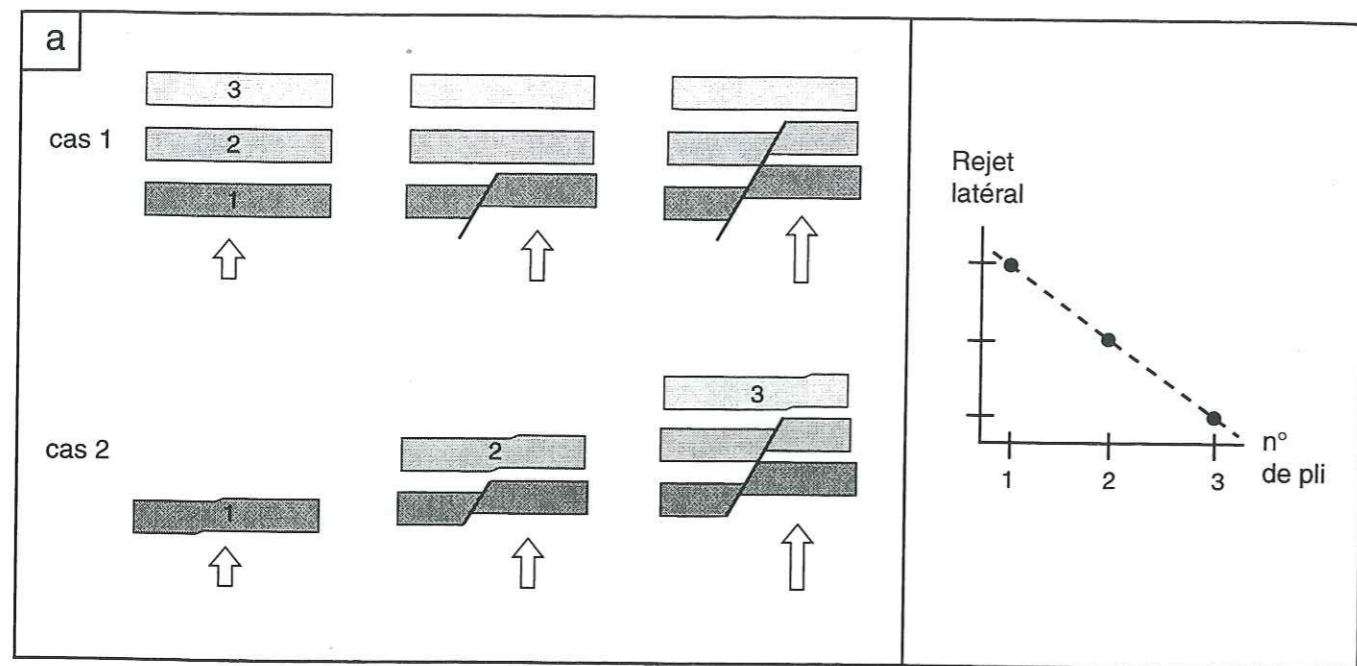


Fig.I-10: Les failles de déchirement secondaires (vues en carte).

Dans tous les cas il s'agit d'une faille décrochante tardive oblique à la direction de transport tectonique qui affecte des structures plicatives pré-existantes. La présence d'un tel accident implique une variation longitudinale du raccourcissement à l'arrière et une extension latérale fonction de l'angle entre l'azimut de la faille et l'orientation du transport tectonique.

a: la faille de déchirement est tardive par rapport aux plis qui montrent un resserrement des flancs plus important d'un côté que de l'autre de la faille. La valeur du rejet horizontal diminue vers l'avant-pays

b: apparition d'une faille de déchirement secondaire lorsque l'angle de déplacement différentiel  $\phi$  sur le chevauchement atteint une valeur critique de 30-35° (d'après Wilkinson, 1992).

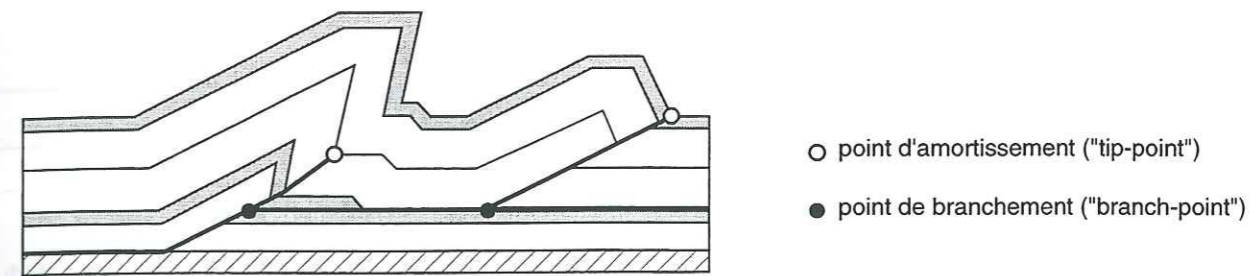


Fig.I-11a: coupe illustrant les terminaisons possibles des surfaces de chevauchement.

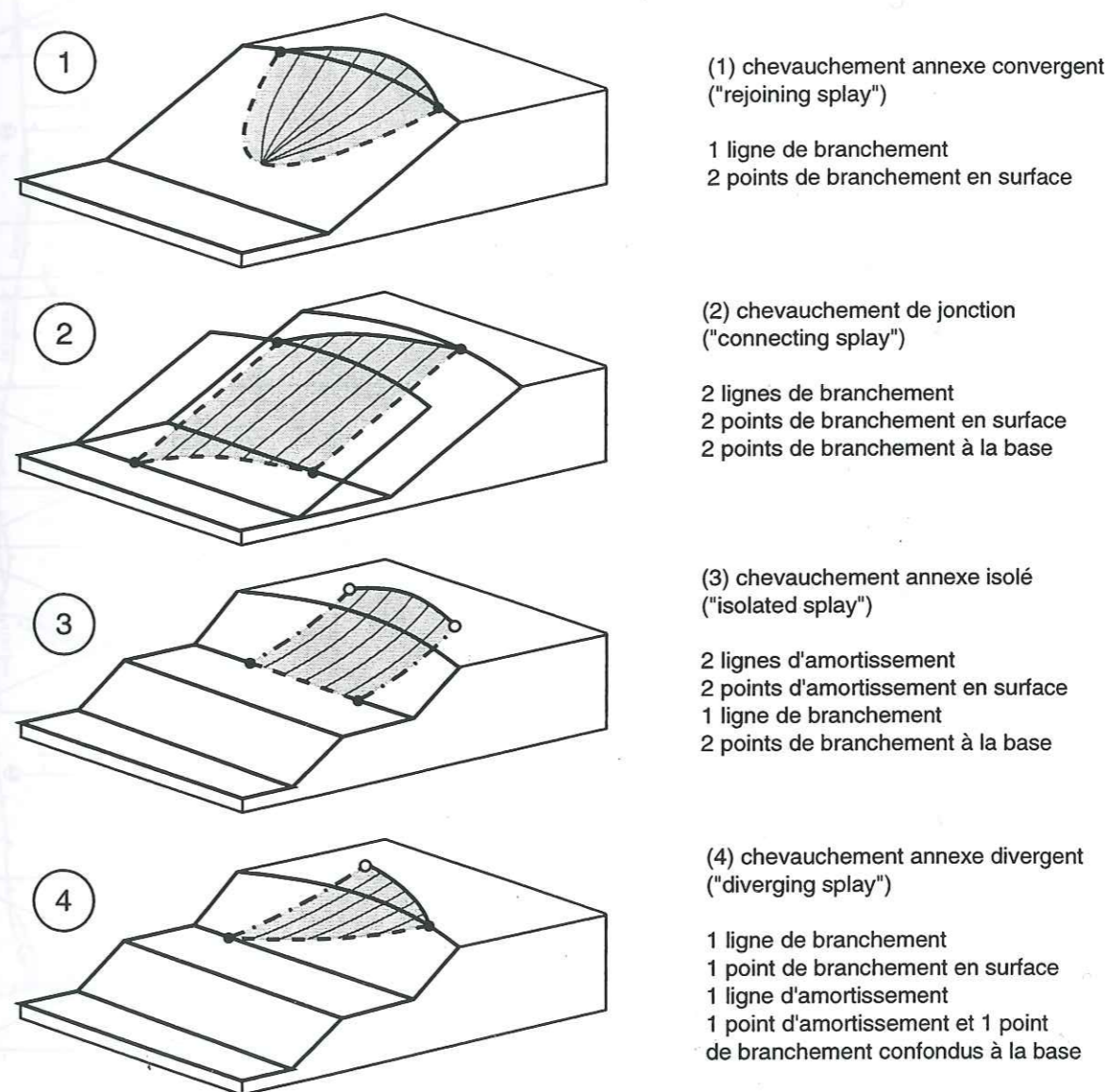


Fig.I-11b: Blocs diagrammes montrant les relations possibles entre chevauchements imbriqués (d'après Boyer et Elliot, 1982; McClay, 1992).



	SYNTHETIQUES	ANTITHETIQUES	
		CONVERGENTES	DIVERGENTES
COLINEAIRES	(1,1)	(1,2)	(1,3)
	(2,1)		
	(3,1)	(3,2)	(3,3)
PAS DE RECOUVREMENT	(4,1)	(4,2)	(4,3)
	(5,1)		
	(6,1)	(6,2)	
RECOUVREMENT	(7,1)	(7,2)	(7,3)
	(8,1)	(8,2)	
			(9,3)

Fig.I-12: Classification schématique des zones de transfert élémentaires (systèmes compressifs).

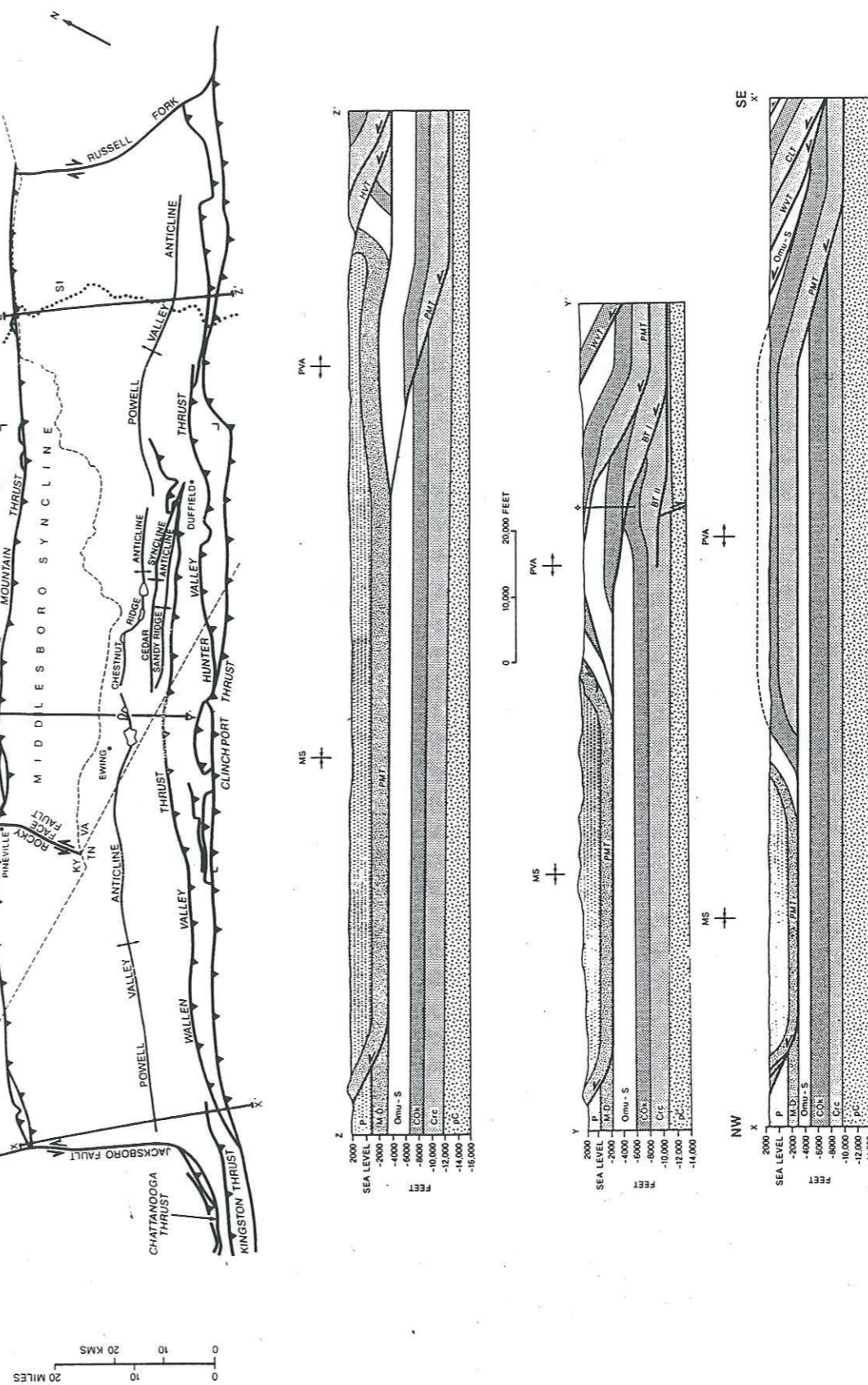


Fig.I-13: Carte géologique du Pine Mountain Block, montrant les plis majeurs, les chevauchements et les failles de déchirement (Mitra, 1988) et coupes structurales transversales (Harris, 1970; Harris et Milici, 1997; Mitra, 1988).



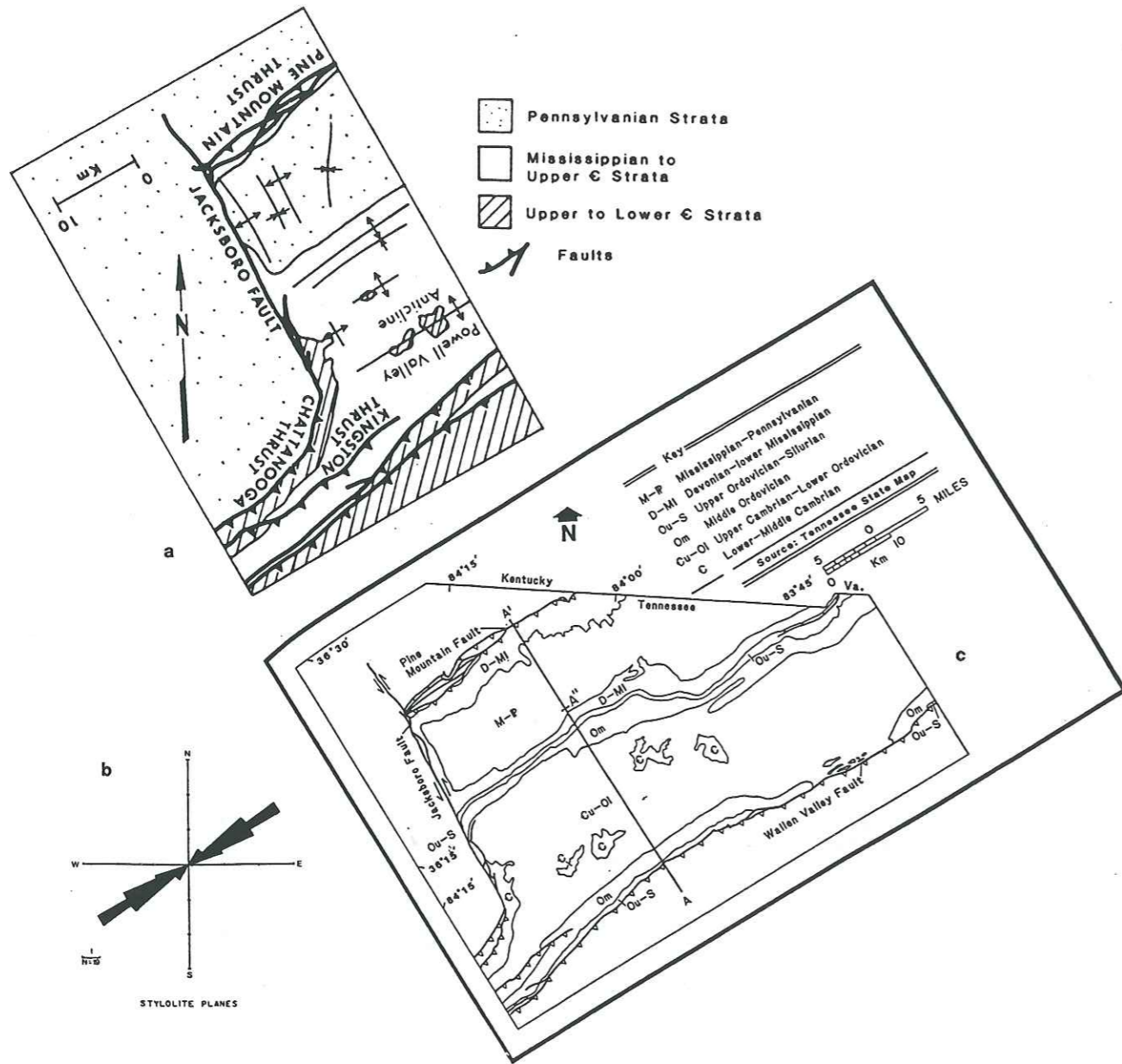


Fig.1-14:

a: Carte structurale simplifiée de la terminaison méridionale du Pine Mountain Block (Harris, 1970 in McDougall et Khan, 1990). Noter la présence d'axes de plis parallèles à la direction de transport tectonique.

b: Diagramme de fréquence des plans stylolitiques au SW du Pine Mountain Block. Les stylolites mesurés dans des niveaux fortement inclinés ont été débasculés (Kilsdonk et Wiltschko, 1988).

c: Carte géologique du secteur SW du Pine Mountain Block (Swingle, 1966 et Harris, 1970; in Kilsdonk et Wiltschko, 1988). Noter le parallélisme entre la faille de déchirement de Jacksboro et la direction de transport.

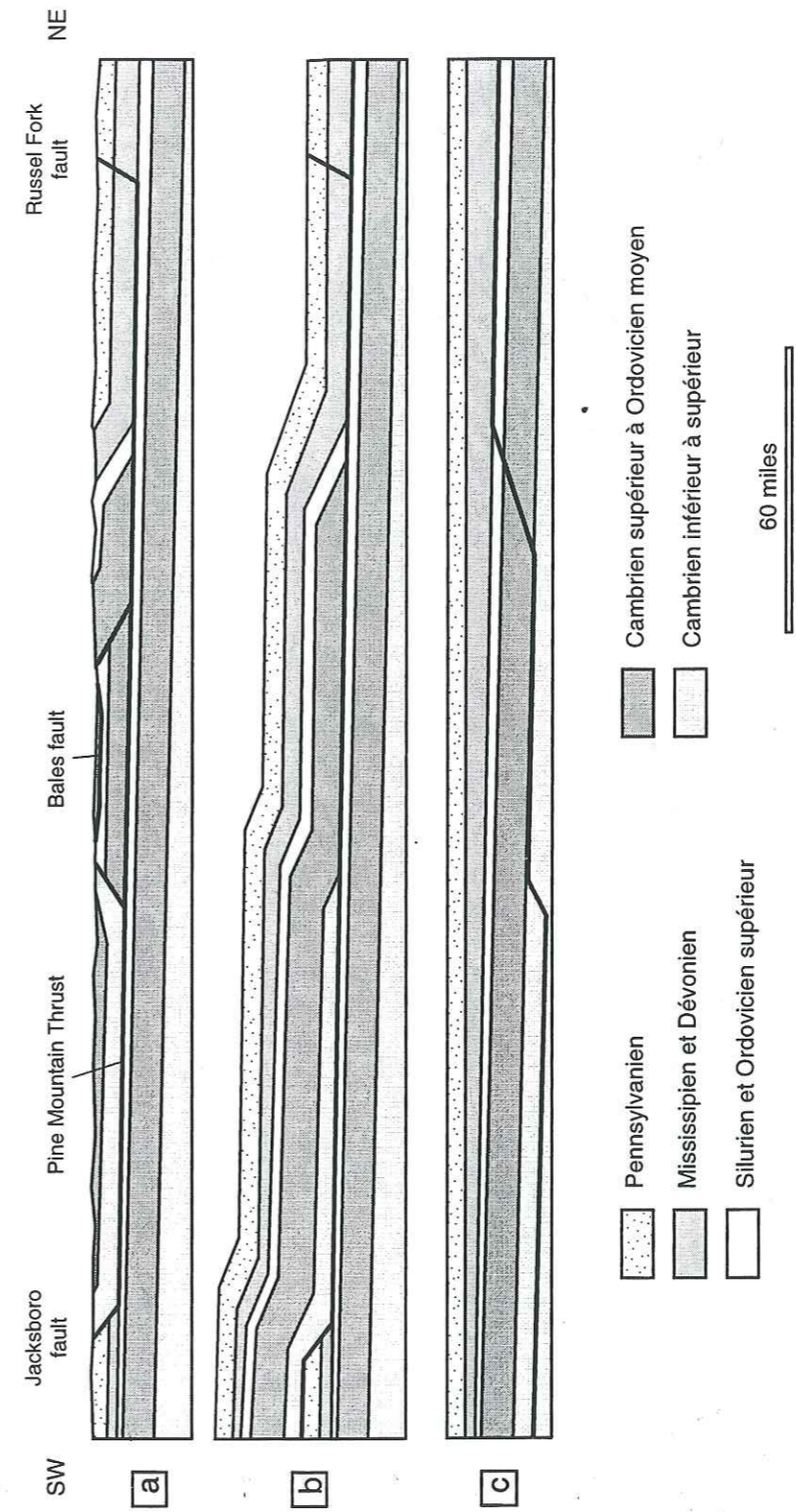


Fig.1-15: Coupe longitudinale du Pine Mountain Block (Harris, 1970).

a: structure actuelle.

b: coupe restituée après restauration du chevauchement de Bales montrant le plongement vers le NE par palier de l'anticlinal de Powell Valley. Noter que la faille de Jacksboro correspond à une rampe latérale (fortement pentée vers le NE) de mur et non de toit.

c: localisation du chevauchement du Pine Mountain remis dans sa position avant le déplacement de la nappe.



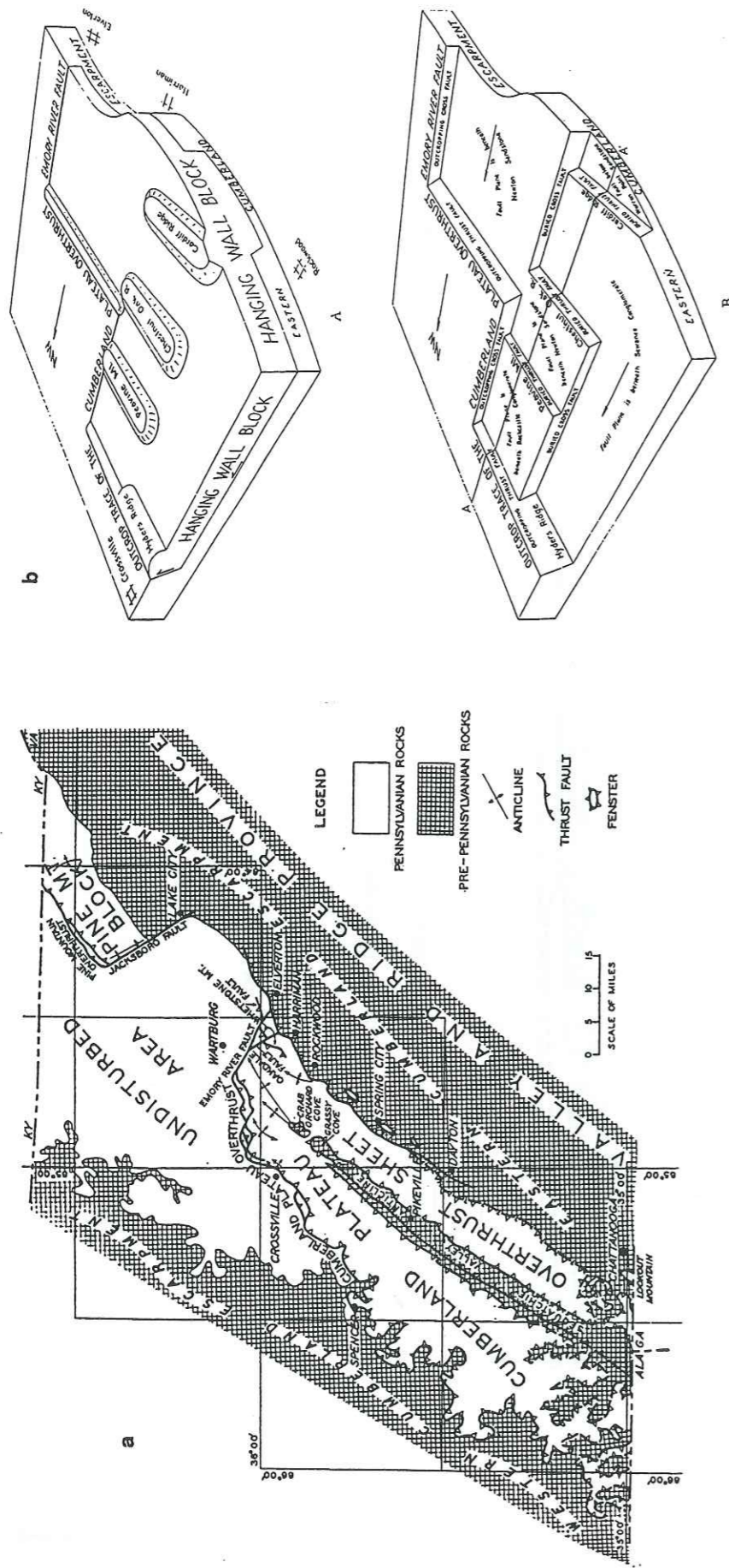


Fig. I-16:

a: carte du Plateau du Cumberland montrant l'équivalence entre la faille d'Elmory River et la faille de Jacksboro (Wilson et Stearns, 1958)  
 b: blocs diagrammes schématiques montrant la relation géométrique entre les anticlinaux de surface et la configuration du plan de chevauchement basal (Wilson et Stearns, 1958). Noter la présence des failles de décollement primaires.

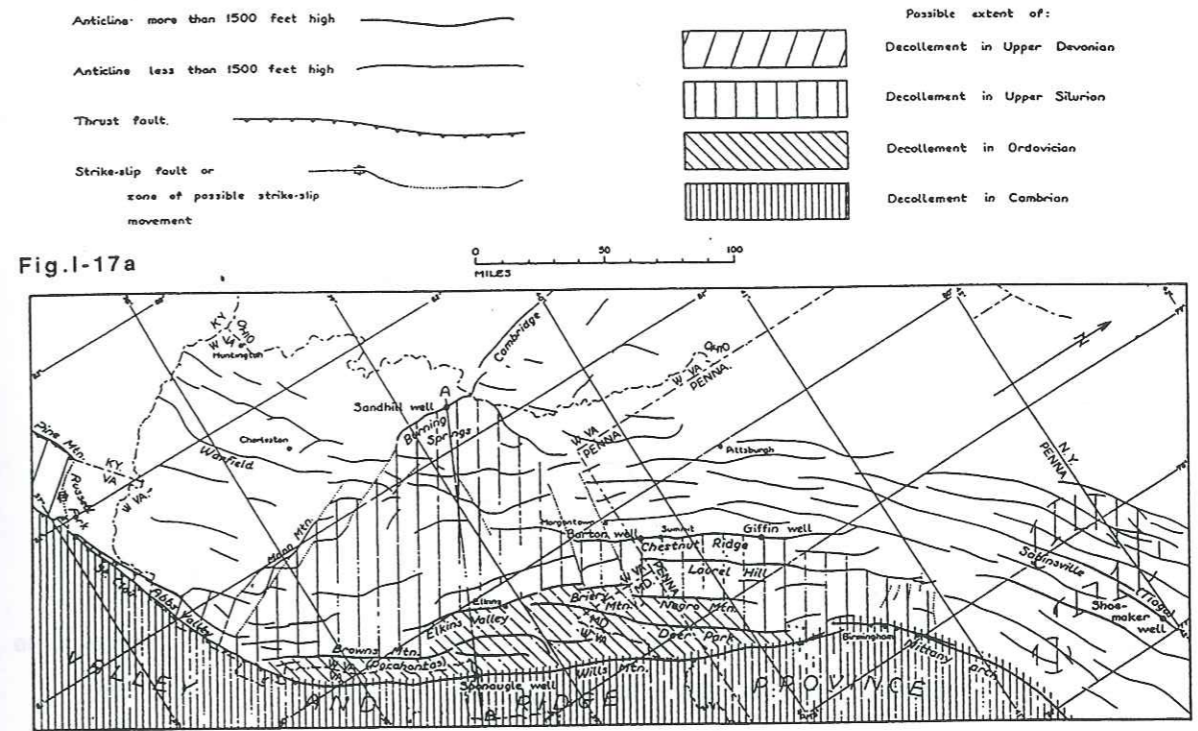


Fig. I-17a

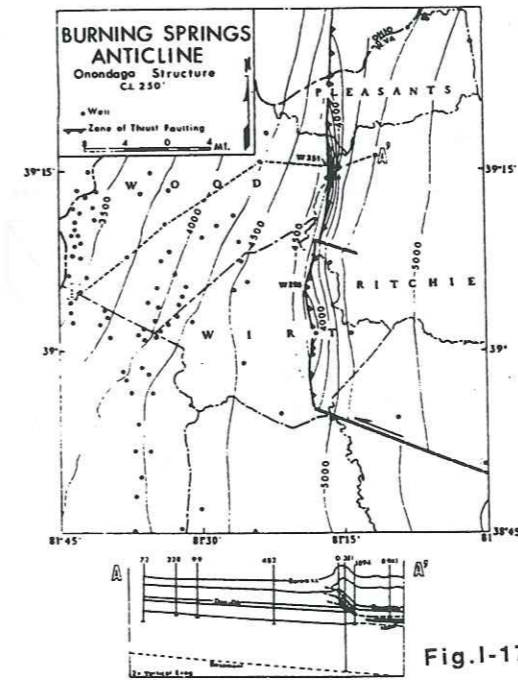


Fig. I-17b

Fig. I-17:

a: carte structurale de Plateau nord-appalachien (Rogers, 1963).  
 b: carte d'isohypses et coupe schématique de l'anticlinal de Burning Springs (localisation figure I-17a; Gwinn, 1964). Noter la terminaison brutale du pli contre la faille de décollement.

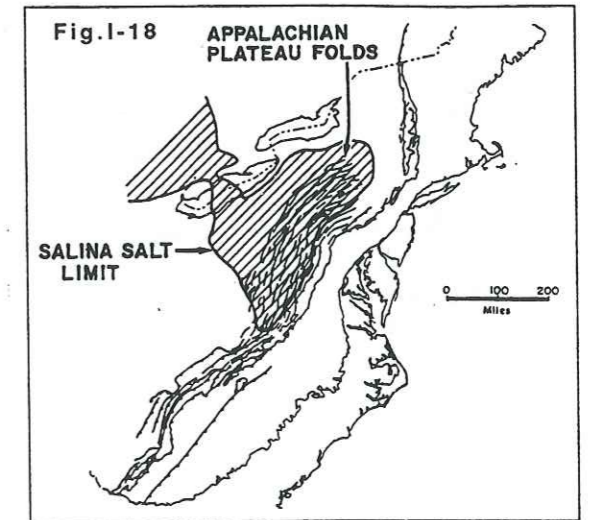


Fig. I-18: relation entre le développement des plis du Plateau nord-appalachien et l'extension du sel de la Formation Salina du Silurien supérieur (Frey, 1973).



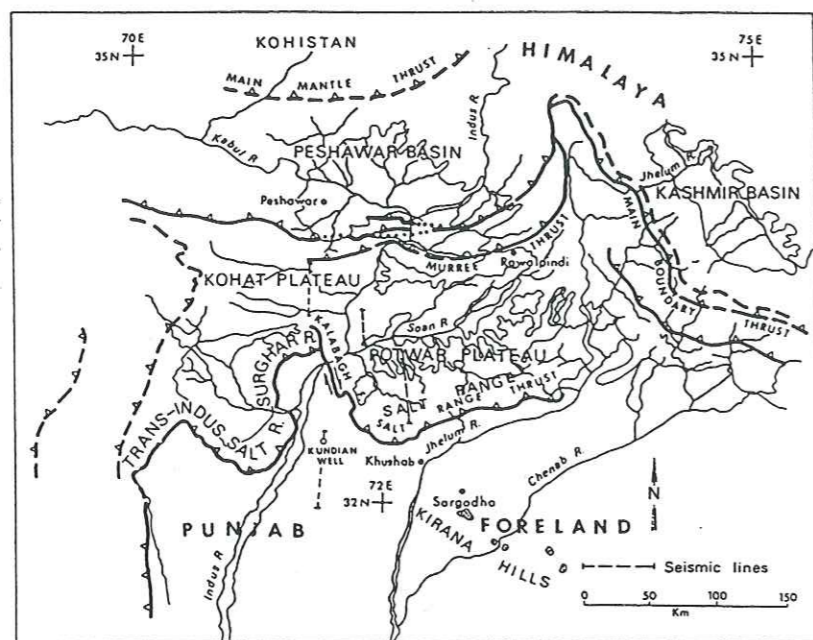


Fig. I-19: Carte structurale du Pakistan septentrional montrant la zone faillée de Kalabagh, le Plateau du Potwar, le Plateau de Kohat et les régions environnantes (McDougall et Khan, 1990).

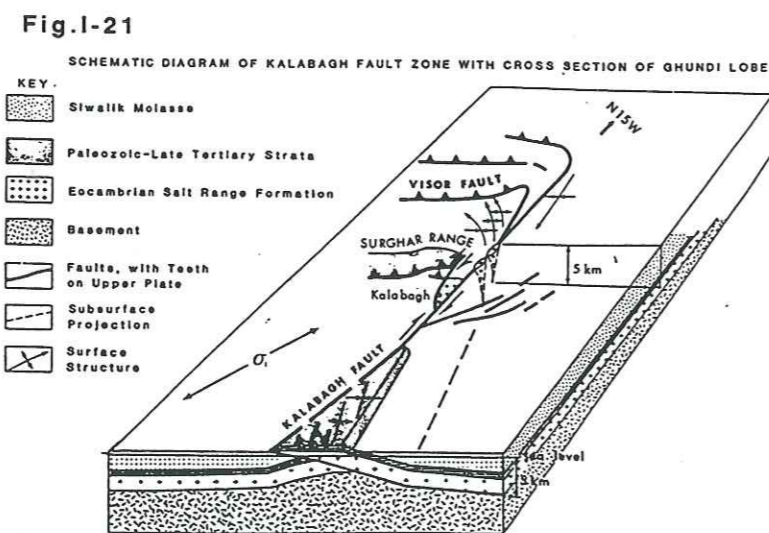
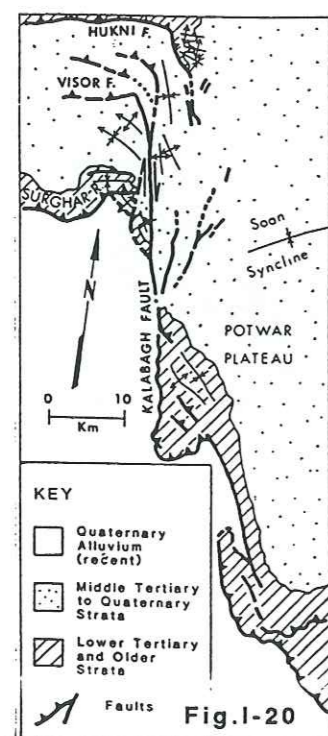


Fig. I-20: Carte structurale simplifiée de la zone faillée de Kalabagh montrant le tracé sinueux de la faille avec la présence de lobes, et sa terminaison vers le nord selon un dispositif en queue-de-cheval (McDougall et Khan, 1990).

Fig. I-21: Bloc diagramme schématique de la rampe latérale de Kalabagh. Noter l'obliquité entre la direction de raccourcissement et la faille qui explique pourquoi la composante inverse le long de celle-ci est localement importante au niveau des lobes, ainsi que la présence d'une ride de socle en profondeur sur laquelle se superpose la faille de Kalabagh (McDougall et Khan, 1990).

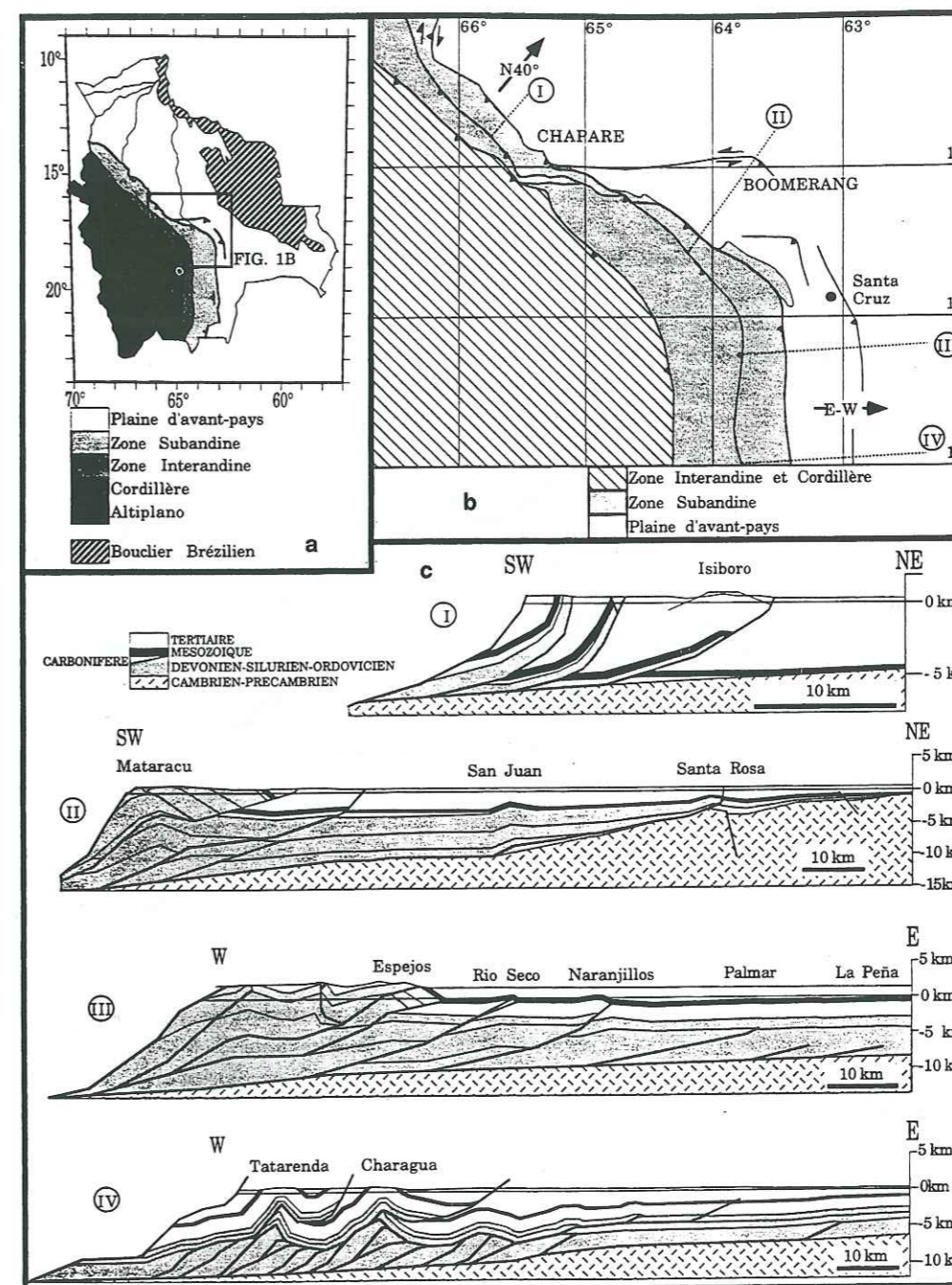


Fig. I-22:

a: schéma structural de l'orocline bolivien

b: schéma structural de la Zone Subandine du coude de Santa Cruz

c: variations latérales de la géométrie du front de chevauchement de la Zone Subandine du coude de Santa Cruz (Baby *et al.*, 1993).



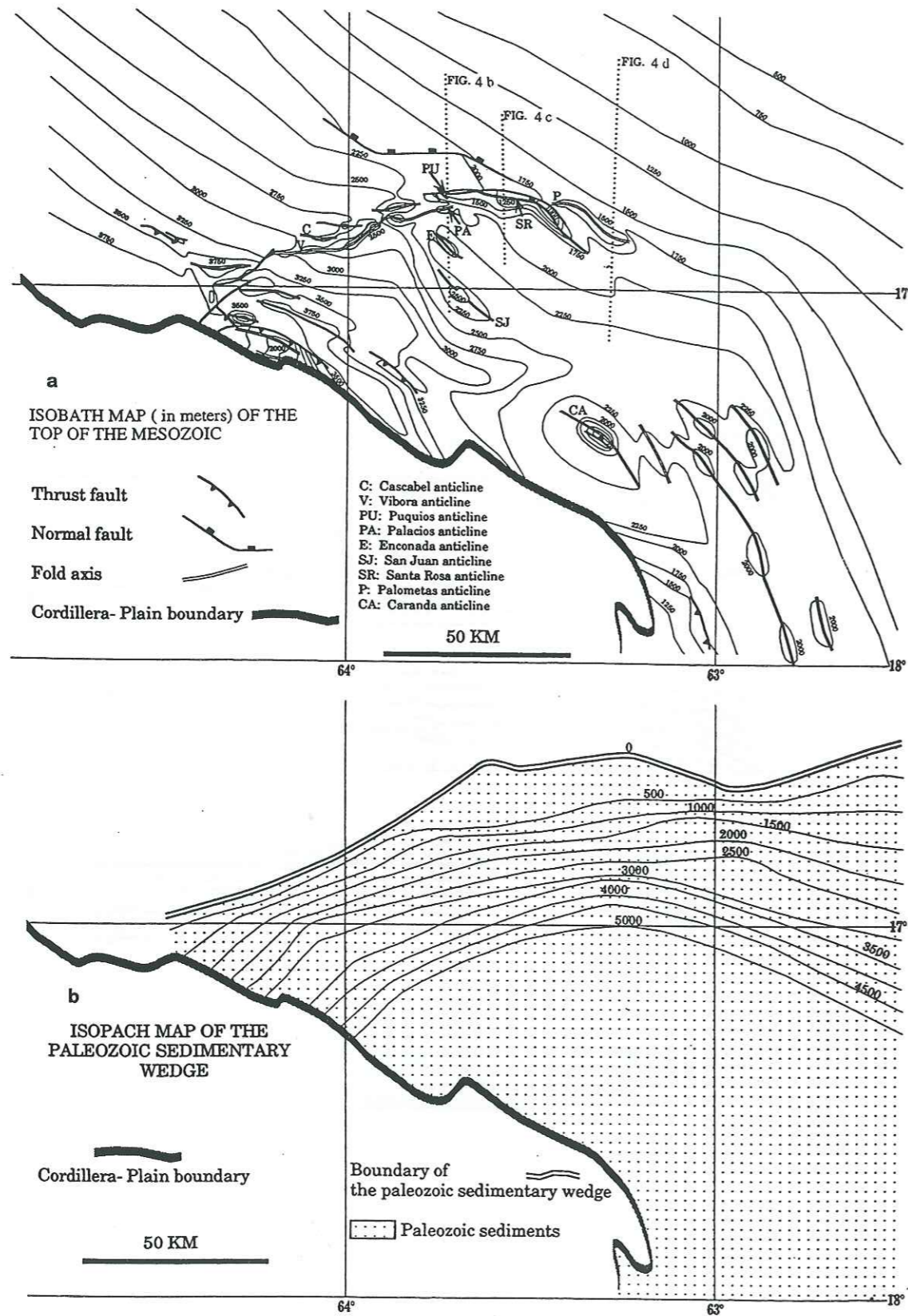


Fig. I-23:

a: carte structurale des isobates du toit du Mésozoïque dans la région du Boomerang (Baby *et al.*, sous-*presse*).

b: carte des isopaques du bassin sédimentaire paléozoïque (Baby *et al.*, sous-*presse*).

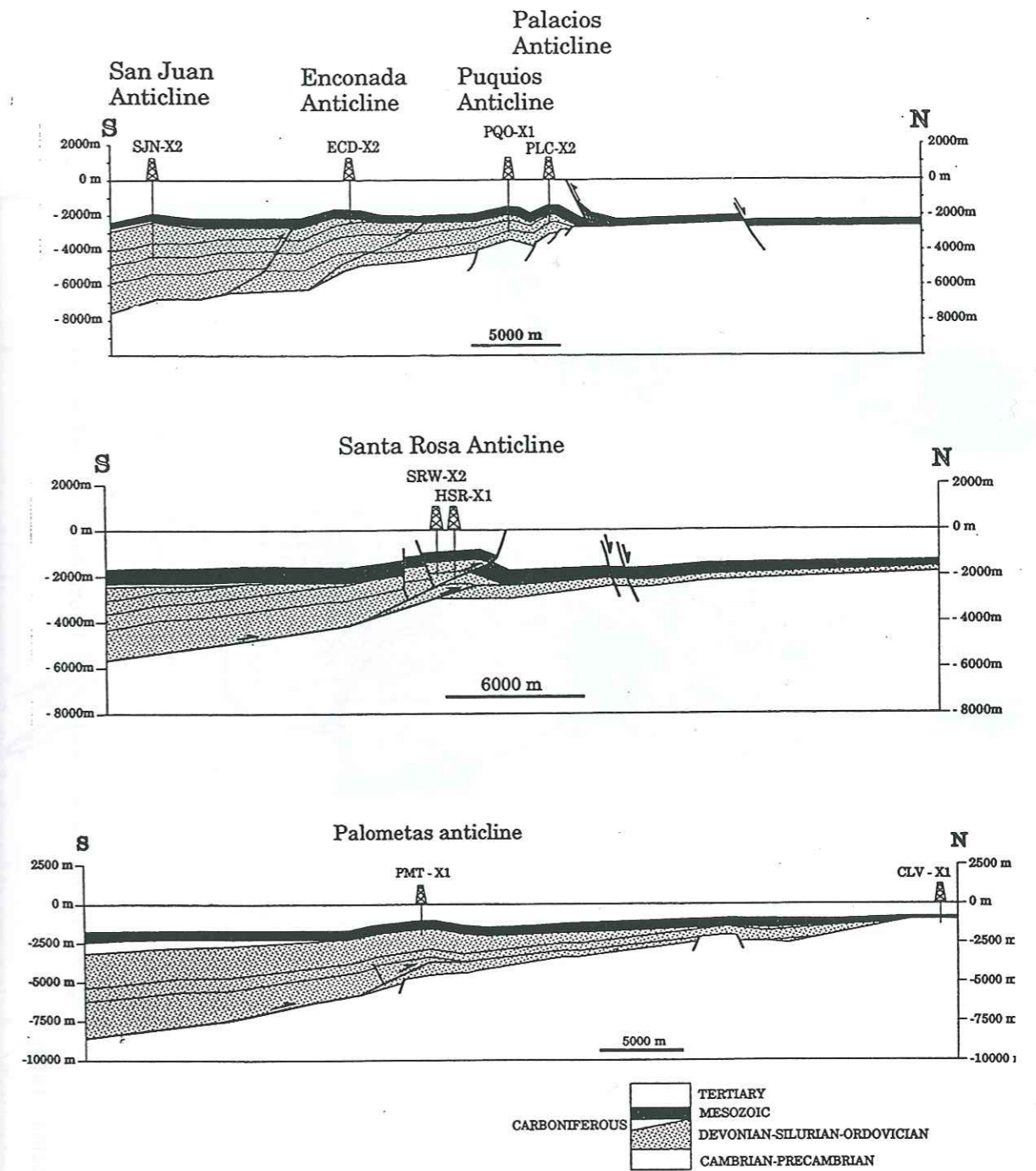


Fig. I-24: Coupes tectoniques des structures frontales (anticlinaux de Enconada, et San Juan) et latérales (anticlinaux de Palacios, de Puquios, Santa Rosa et Palometas). Localisation des coupes sur la figure précédente (Baby *et al.*, sous-*presse*).



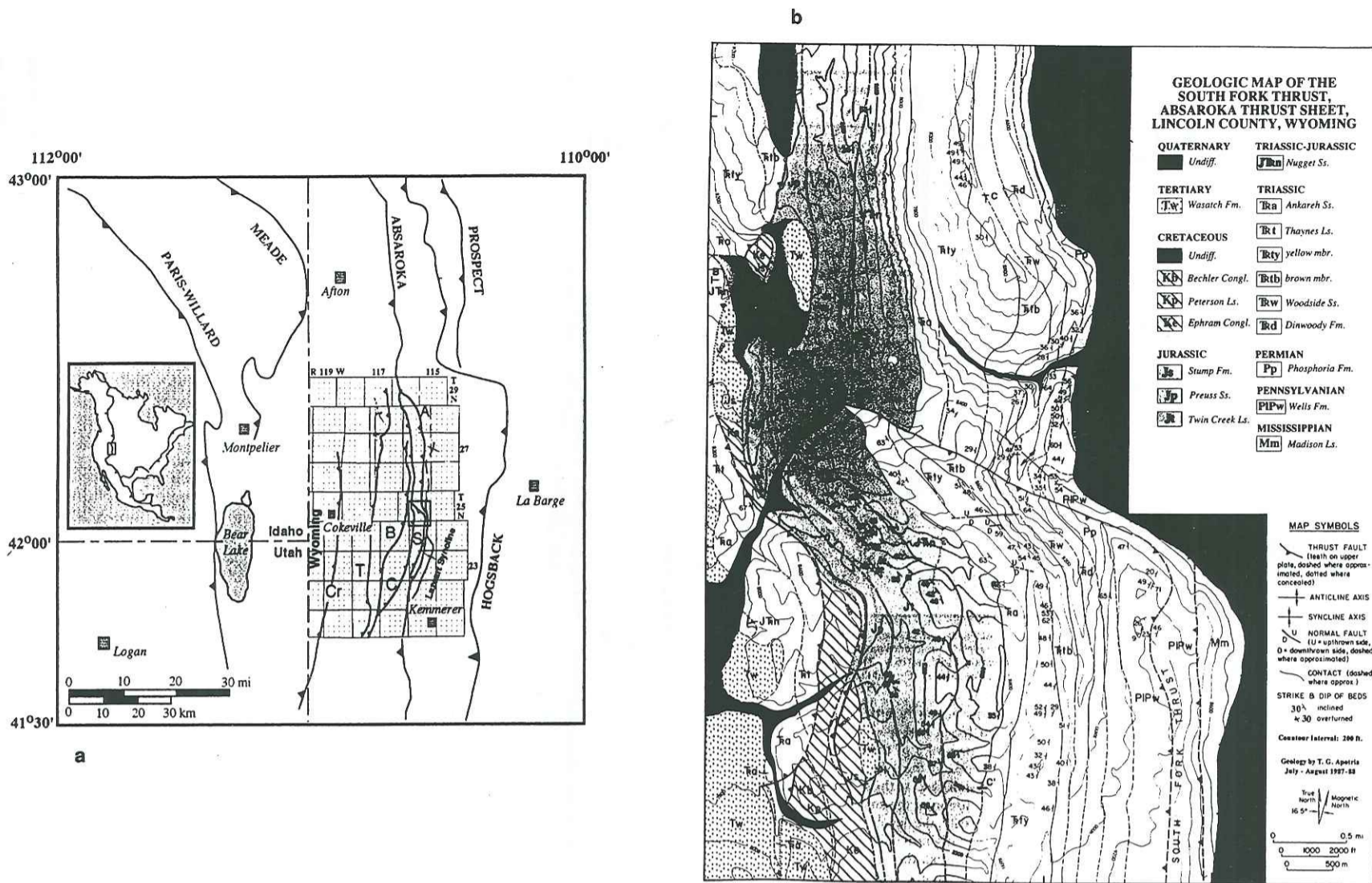


Fig. I-25:

- a: carte de localisation du segment transverse du South Fork thrust dans la cordillère ouest-américaine (Aprotia, 1990).
- b: carte structurale détaillée de la rampe oblique du South Fork thrust (Aprotia, 1990).

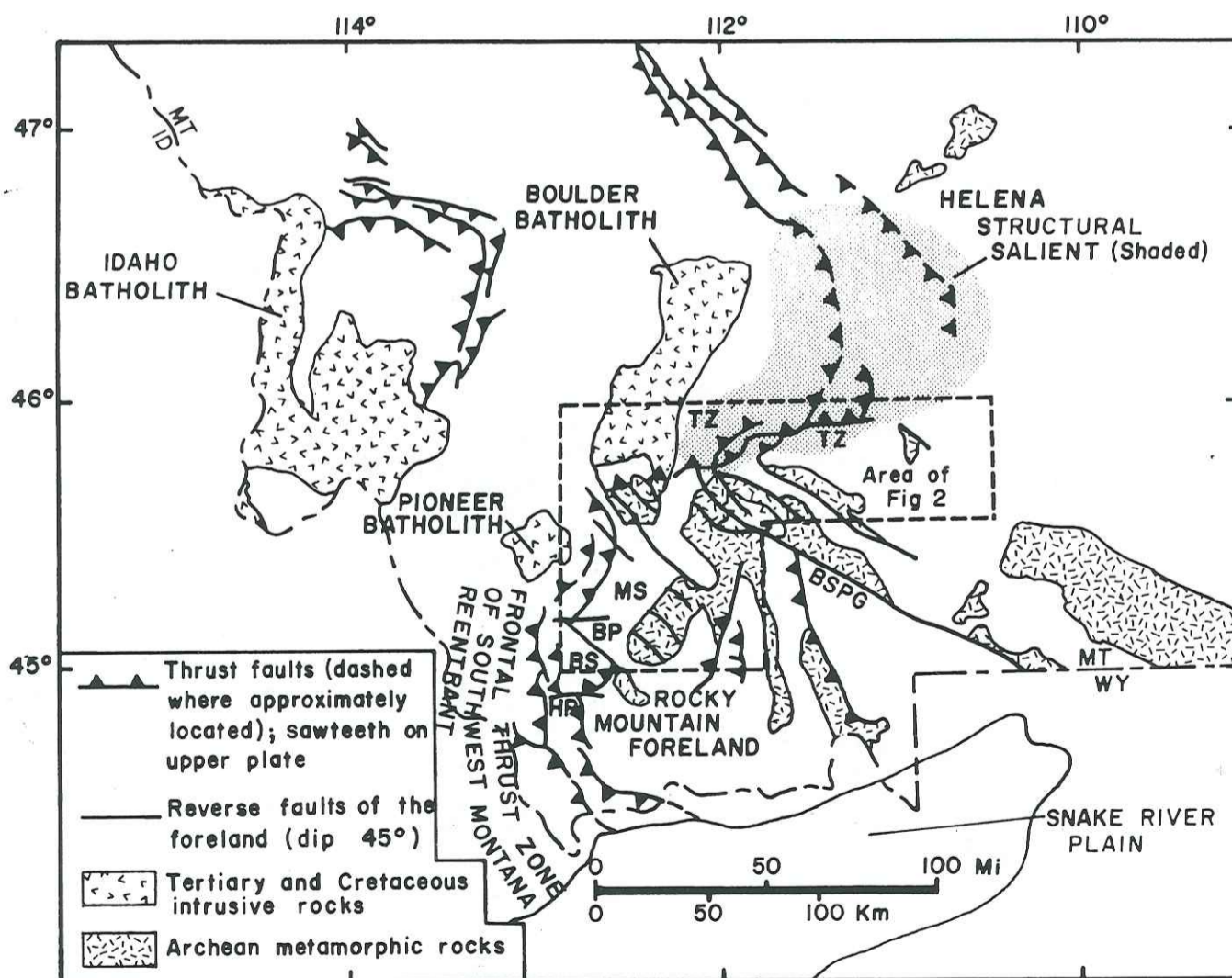


Fig. I-26: Carte tectonique régionale montrant la localisation de la zone transverse du SW Montana (Schmidt *et al.*, 1988).



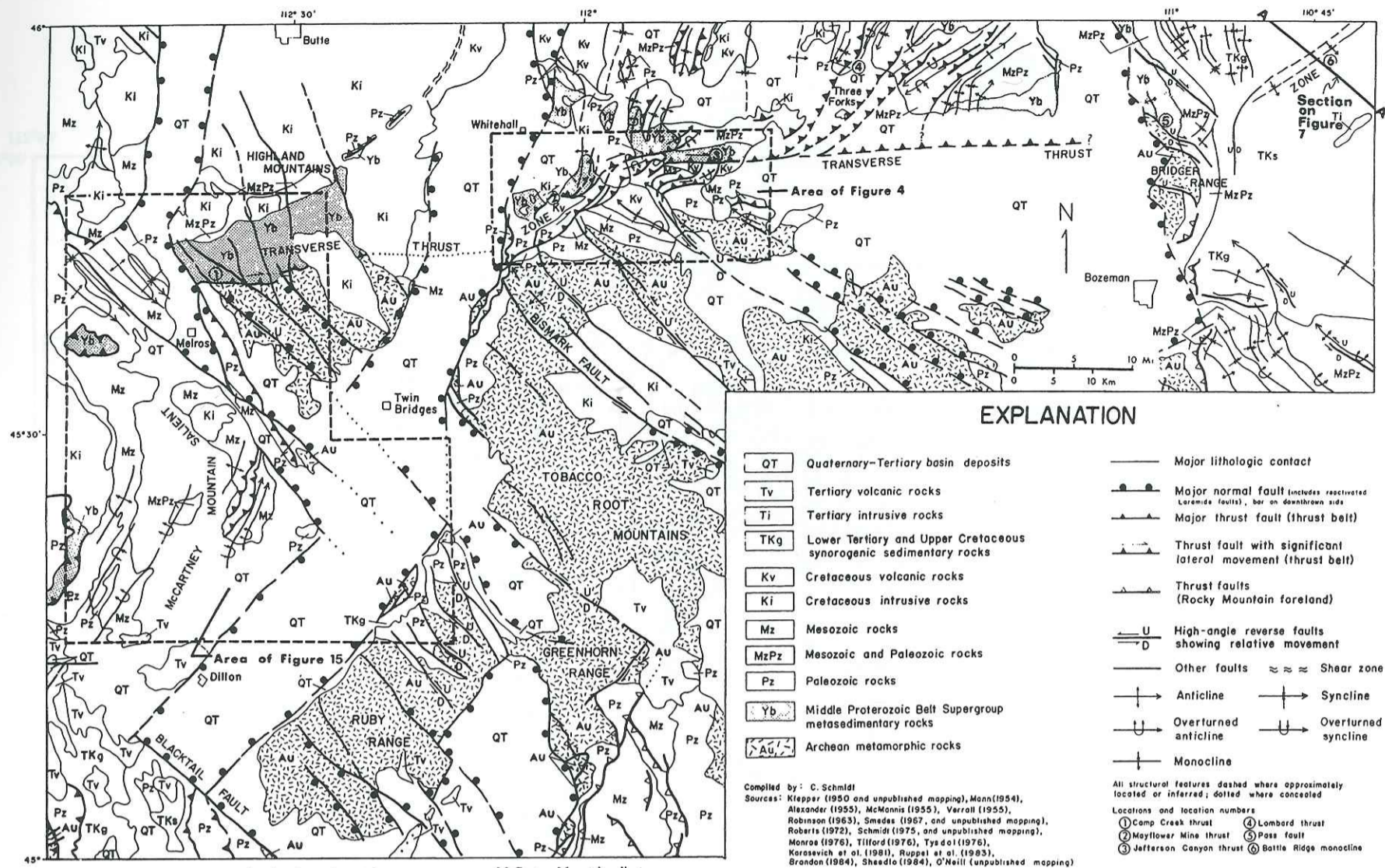


Fig.I-27: Carte structurale détaillée de la zone transverse du SW Montana (Schmidt *et al.*, 1988).

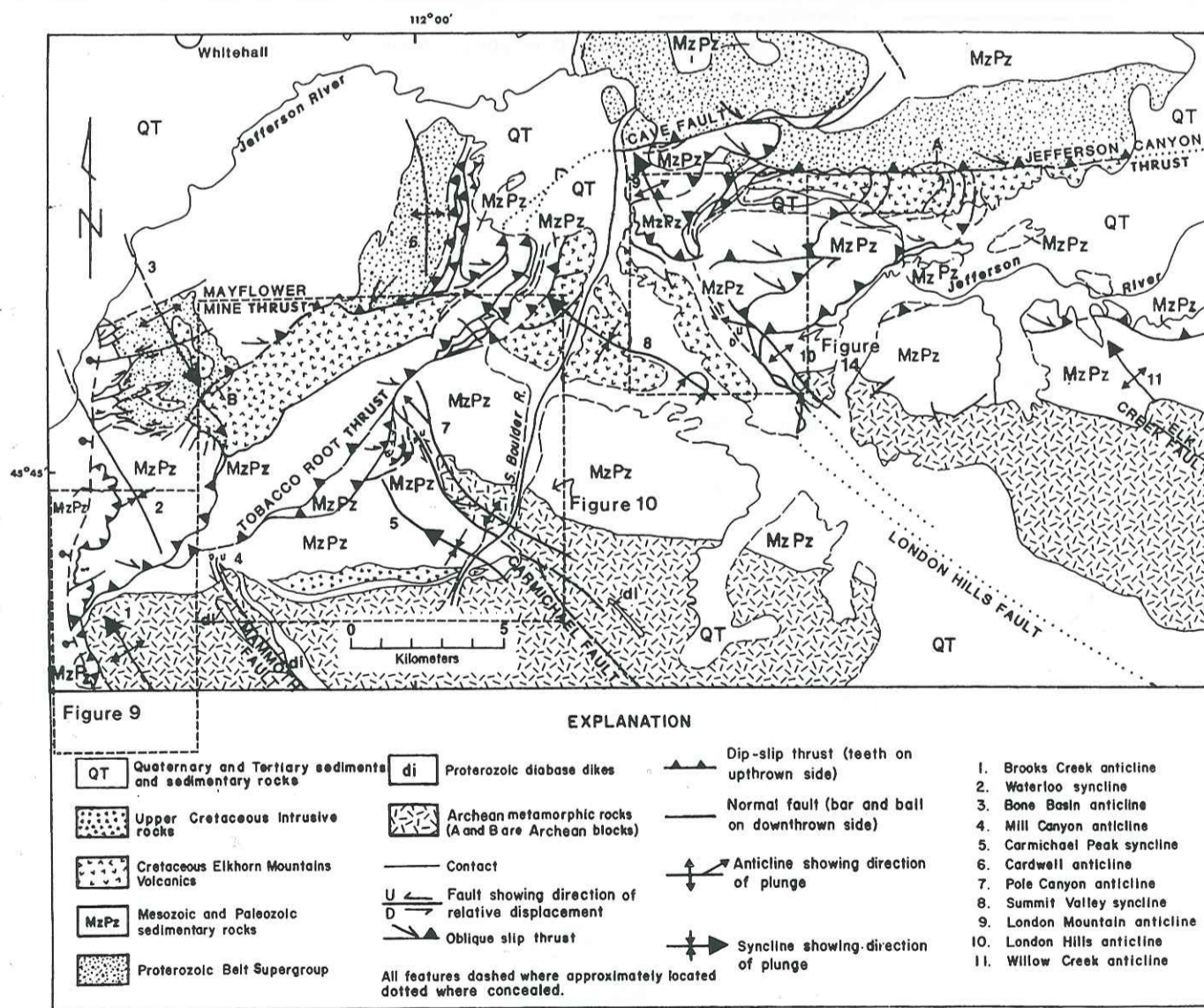
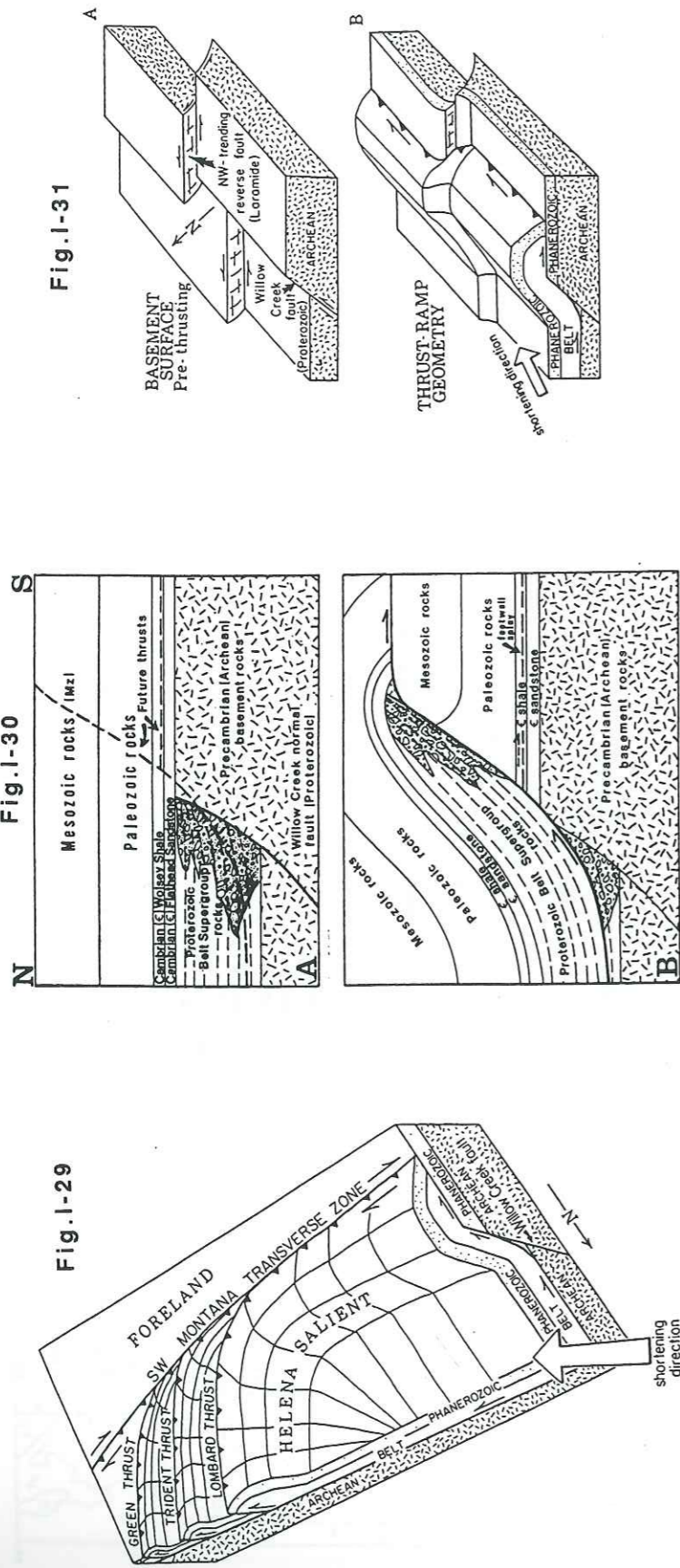


Fig.I-28: Carte de détail du segment interne de la zone transverse du SW Montana (Schmidt *et al.*, 1988).

Noter la présence d'accidents décrochants dextres limitant au sud les ensembles de la "Proterozoic Belt" et les accidents chevauchants à vergence SE dans le partie méridionale de la zone transverse.

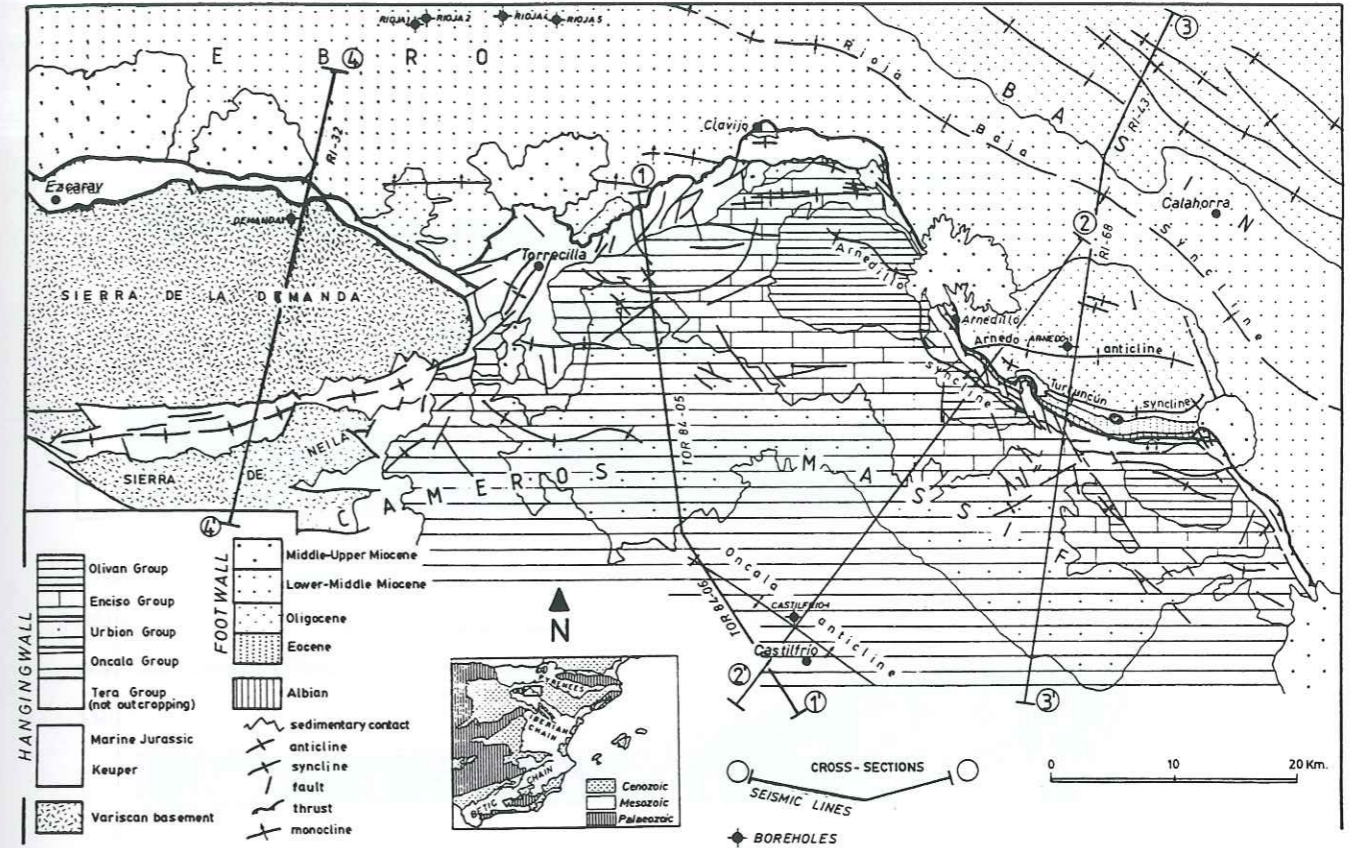




**Fig. I-29:** Bloc diagramme interprétatif montrant les relations entre la faille normale de Willow Creek à regard nord, la zone transverse du SW Montana et les rampes frontales de l'Helena Salient (Schmidt *et al.*, 1988).

**Fig. I-30:** Coupe longitudinale interprétative montrant la configuration avant et après chevauchement le long de la zone transverse (Schmidt *et al.*, 1988).

**Fig. I-31:** Blocs diagrammes montrant l'influence de la faille normale de Willow Creek et des compartiments de socle surélevés sur la géométrie du chevauchement dans la zone de transfert (d'après (Schmidt et Garihan, 1986 in Schmidt *et al.*, 1988).



**Fig. I-32:** Carte géologique du secteur nord du massif de Cameros, montrant la localisation des coupes, les profils sismiques et les forages profonds (Casas-Sainz, 1993).

**Fig. I-33** (page suivante): Coupes géologiques interprétatives des profils sismiques montrant la structure générale du massif de Cameros. Pour chacune des coupes la structure actuelle et la géométrie anté-rift et pré-compression sont représentées (Casas-Sainz, 1993).  
N.B. La coupe 2-2' est pratiquement perpendiculaire à la direction de raccourcissement. Sur la coupe 3-3' les points A et A' représentent les points du bloc supérieur et du bloc inférieur correspondants.



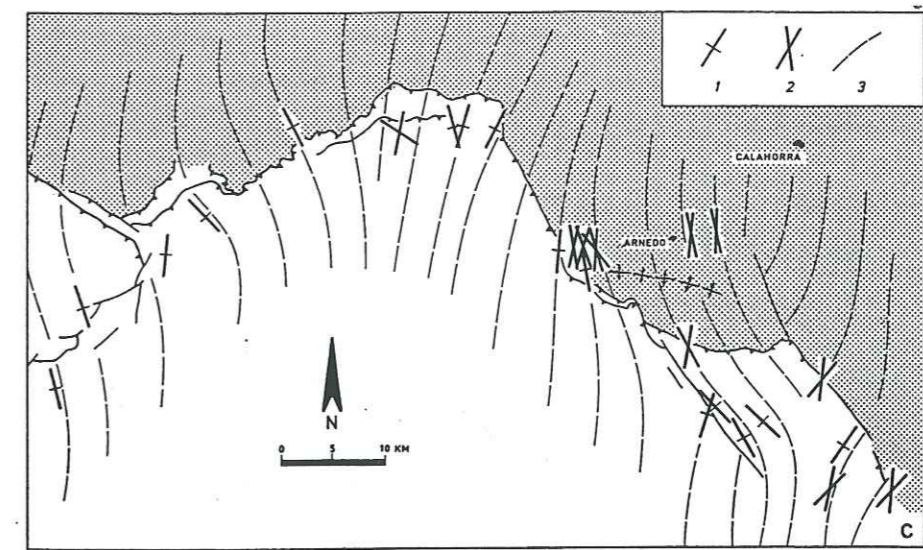
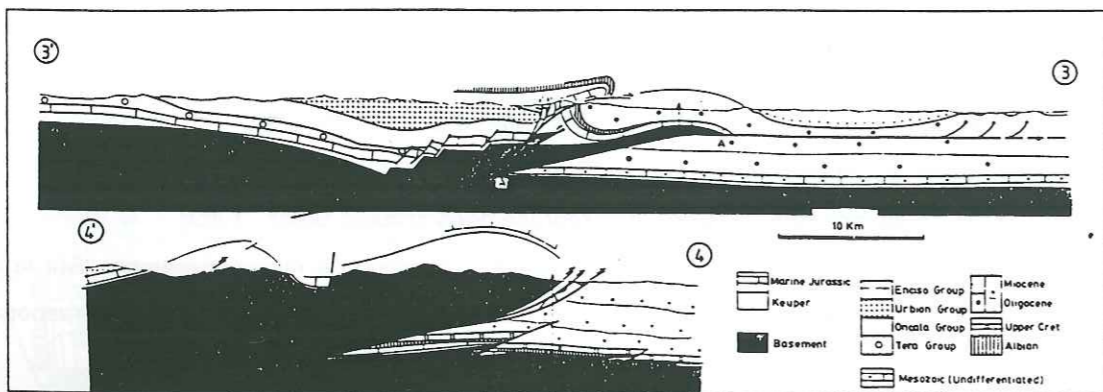
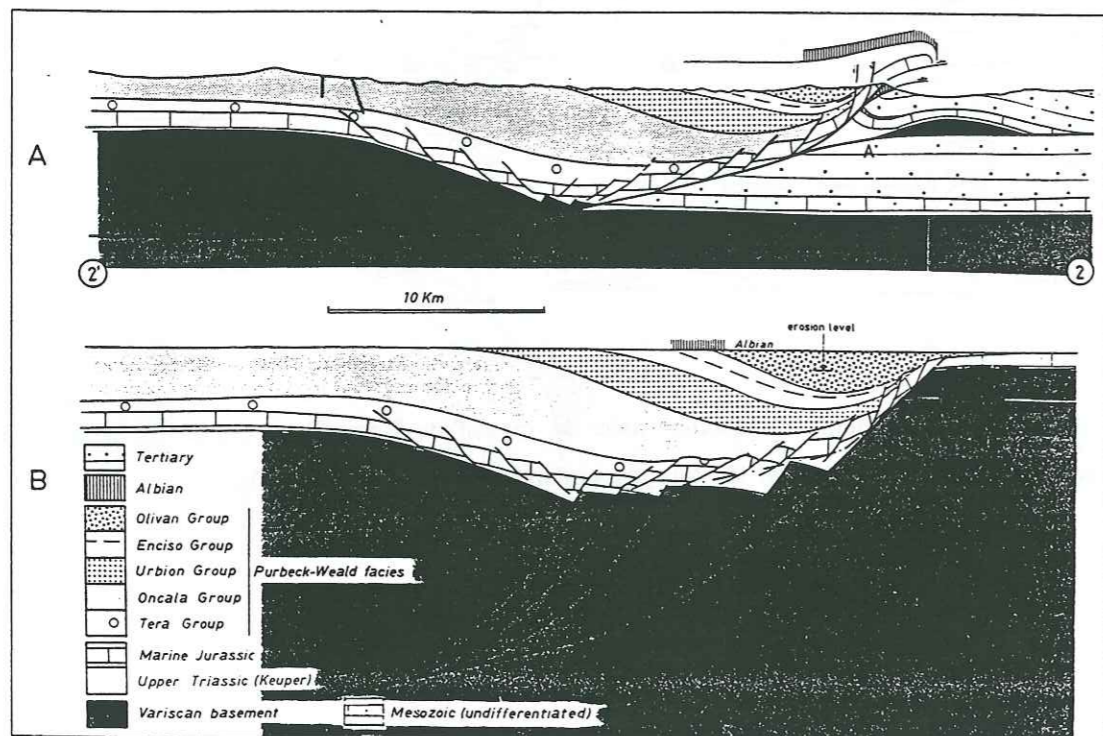
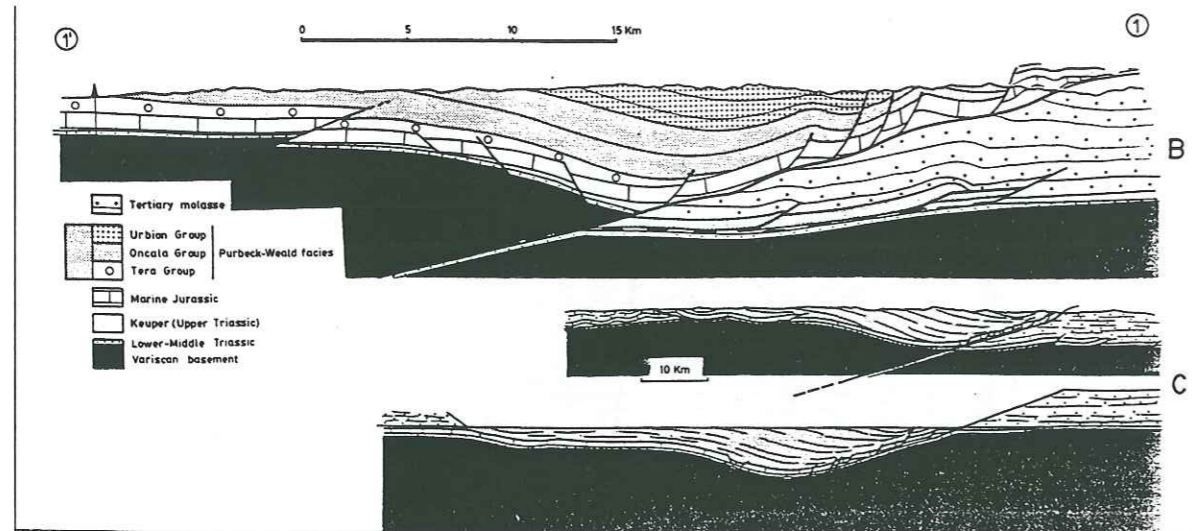


Fig.1-34: Reconstitution du champ de contrainte régional. 1: directions de contrainte horizontale dans chaque site de mesure; 2: directions de  $\sigma_1$  dans les sites de mesure où plusieurs tenseurs de contraintes ont été calculés; 3: trajectoires de  $\sigma_1$  interpolées (Casas-Sainz et Simon-Gomez, 1992).

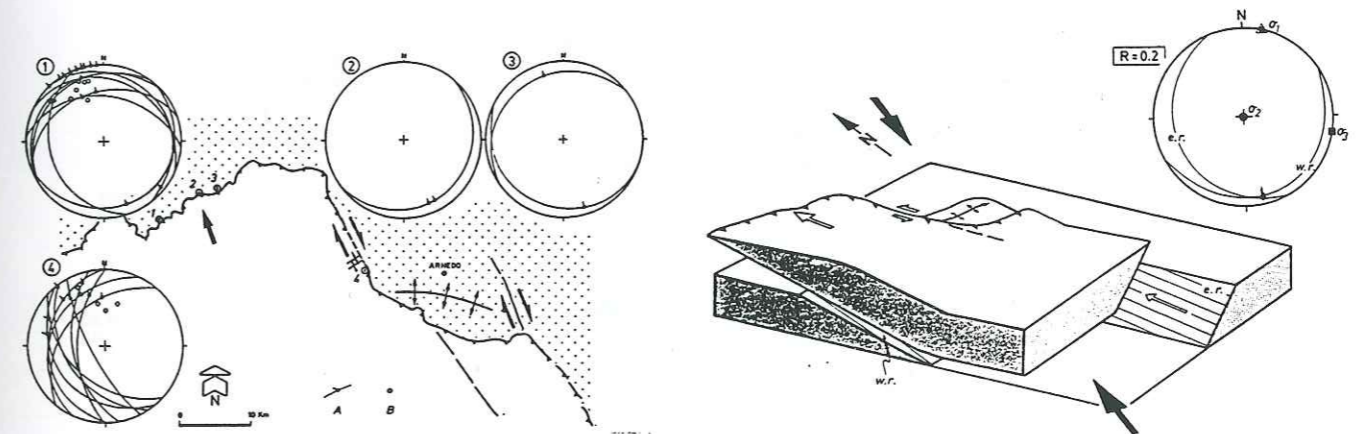
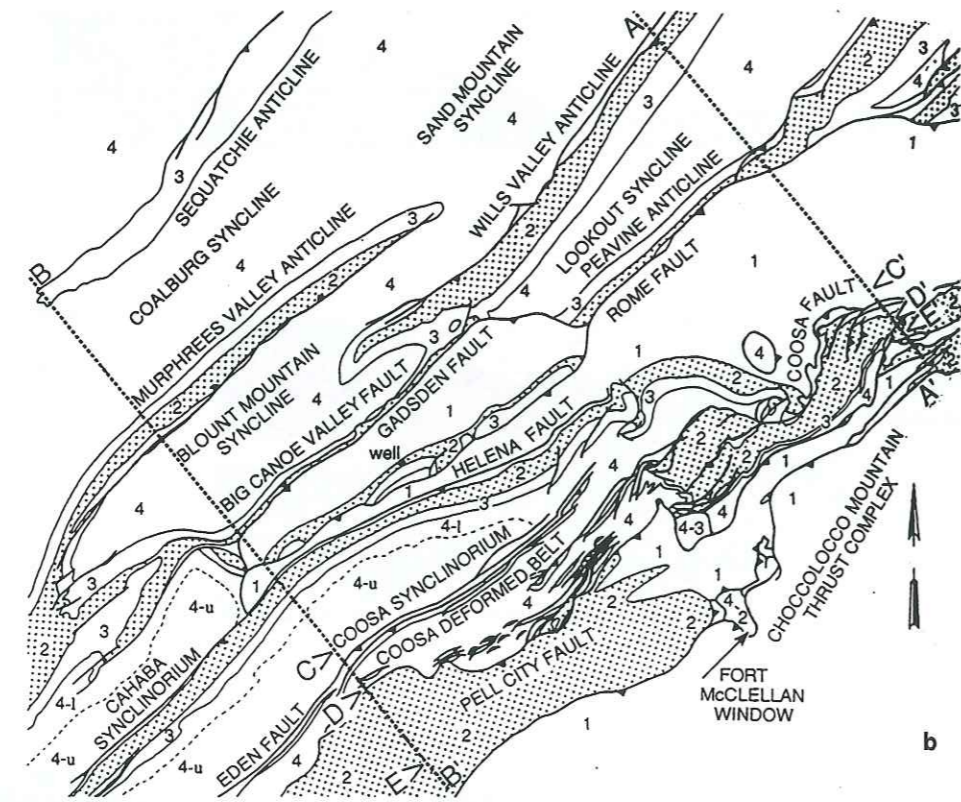
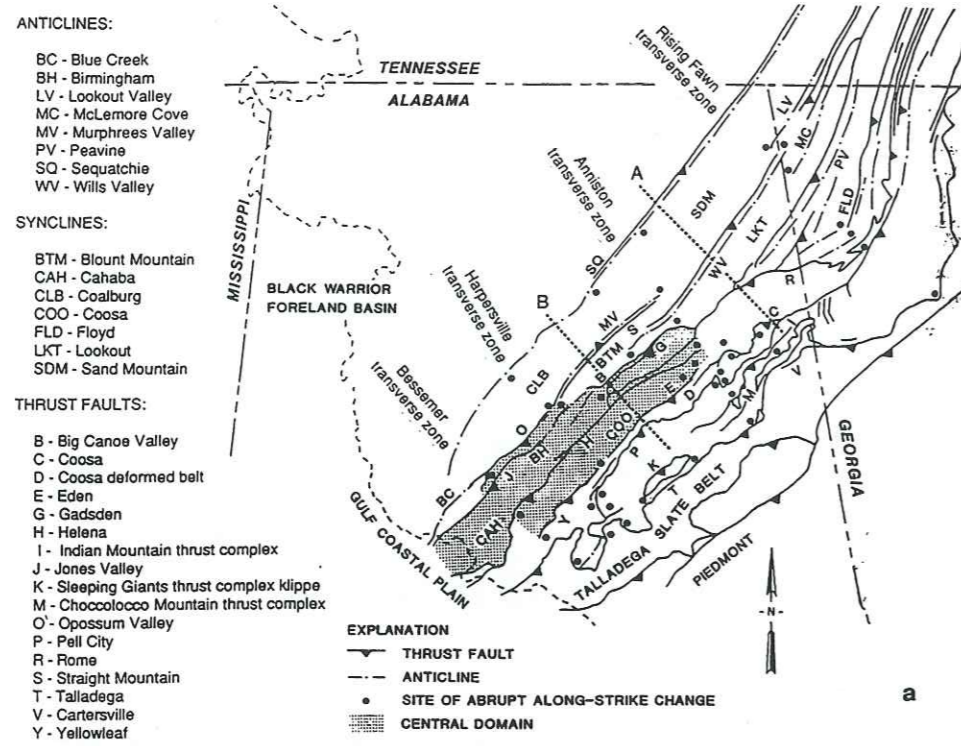


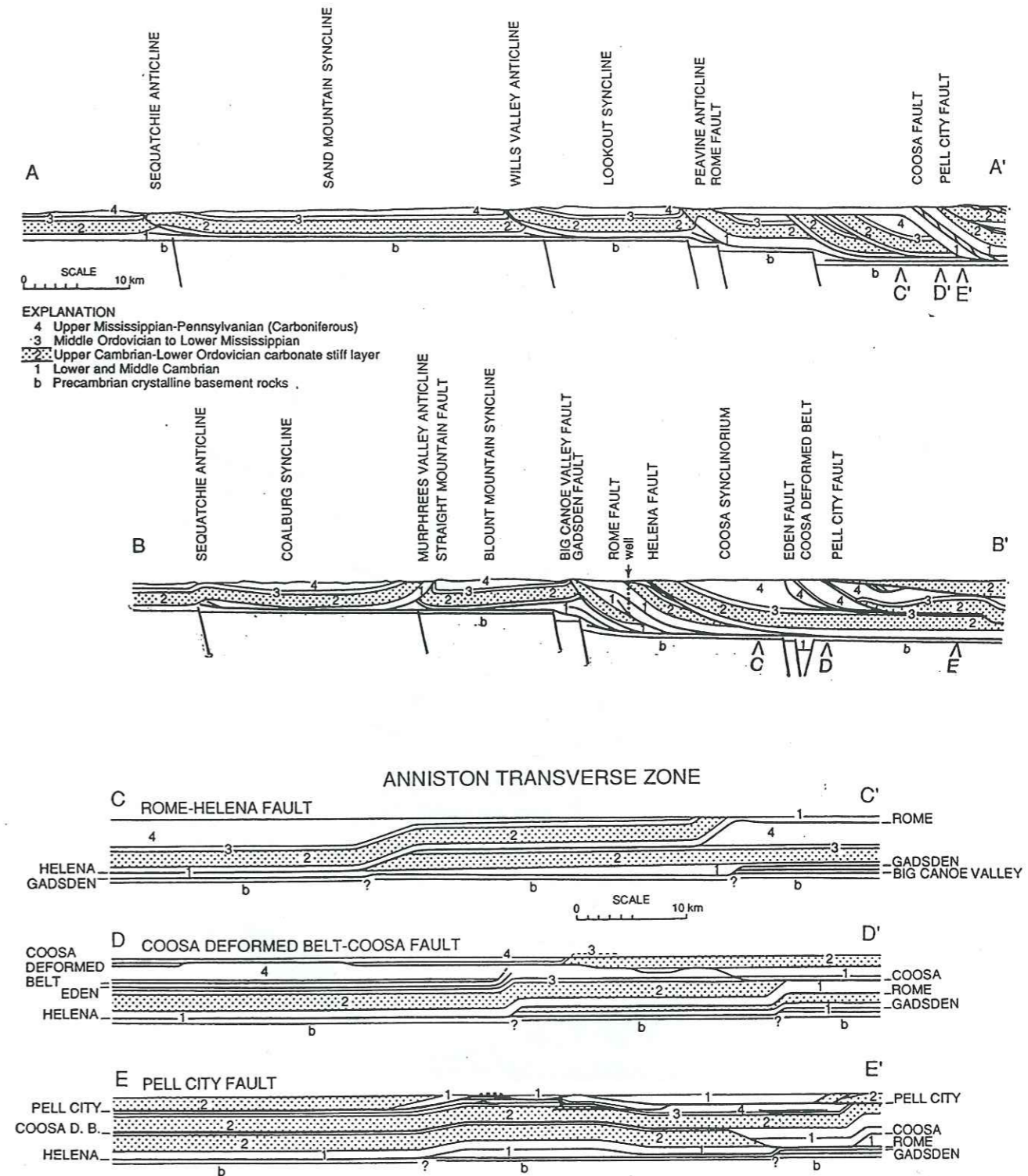
Fig.1-35: Orientation des indicateurs cinématiques mesurés dans 4 stations sur ou proche de la surface de chevauchement montrant un transport général vers le NNW. A: plans de chevauchement et strie; B: poles de la schistosité (Casas-Sainz et Simon-Gomez, 1992).

Fig.1-36: Modèle cinématique et mécanique proposé pour le mouvement du chevauchement du massif de Cameros incluant le champ de contrainte régional et les déplacements résultants sur les 2 rampes principales (Casas-Sainz et Simon-Gomez, 1992).





**Fig.I-37:**  
 a: carte géologique simplifiée des Appalaches en Alabama et Géorgie (Thomas, 1990). Le nom de chaque zone transverse est placé sur la carte dans l'alignement des sites où se produit un changement longitudinal du style structural.  
 b: carte géologique des Appalaches en Alabama (d'après Osborne *et al.*, 1989 in Thomas, 1990). Localisation des coupes transversales et longitudinales.



**Fig.I-38:** Coupes structurales transversales équilibrées et longitudinales (Thomas, 1990). Localisation figure précédente.

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



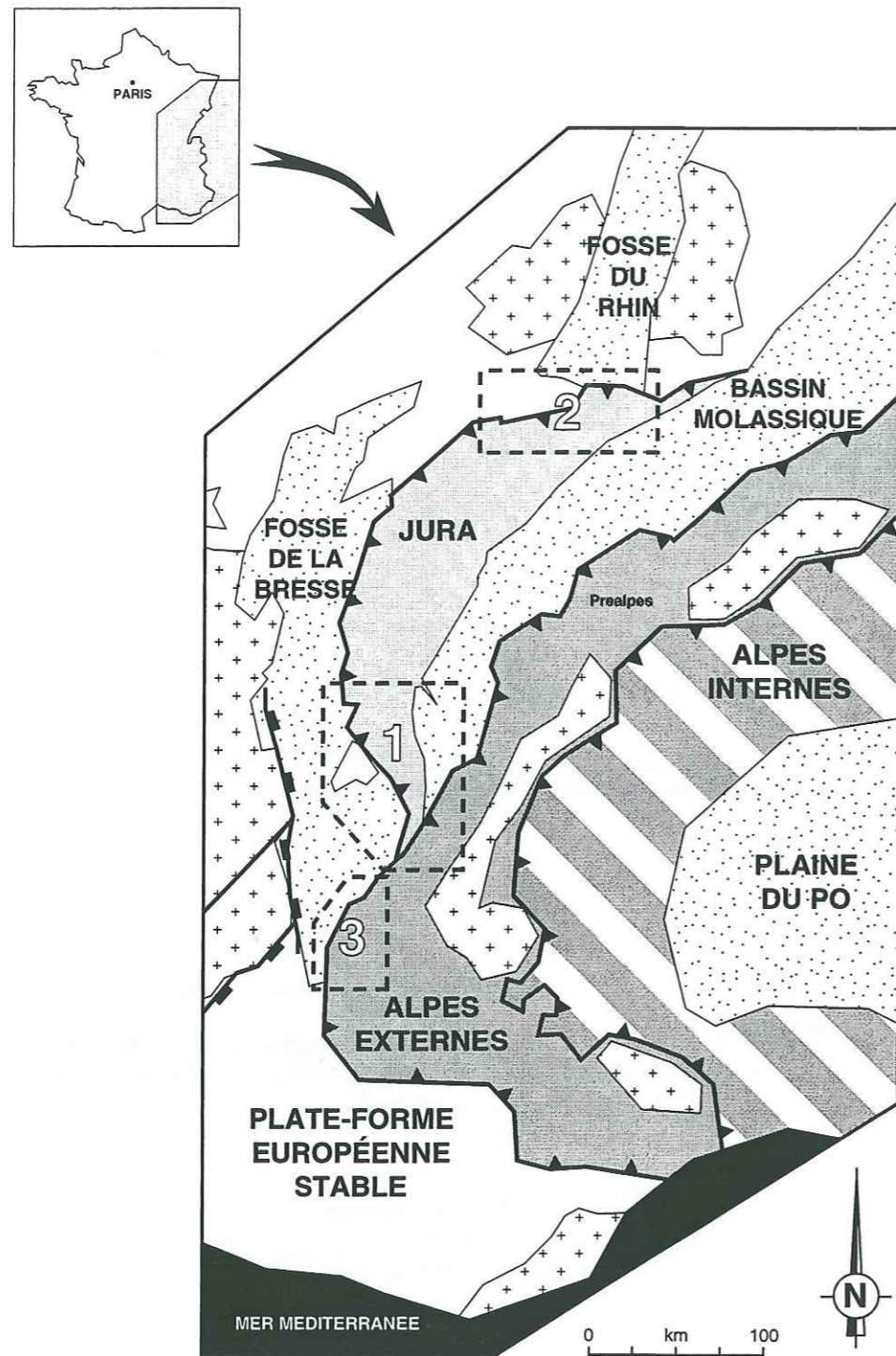


Fig.I-39: Carte de localisation des zones transverses étudiées.

- 1: Raccord Jura méridional - Chartreuse occidentale
- 2: Jura septentrional
- 3: Vercors occidental

## CHAPITRE II

### ANALYSE STRUCTURALE D'EXEMPLES NATURELS DE ZONES TRANSVERSES

#### CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'AVANT-PAYS ALPIN

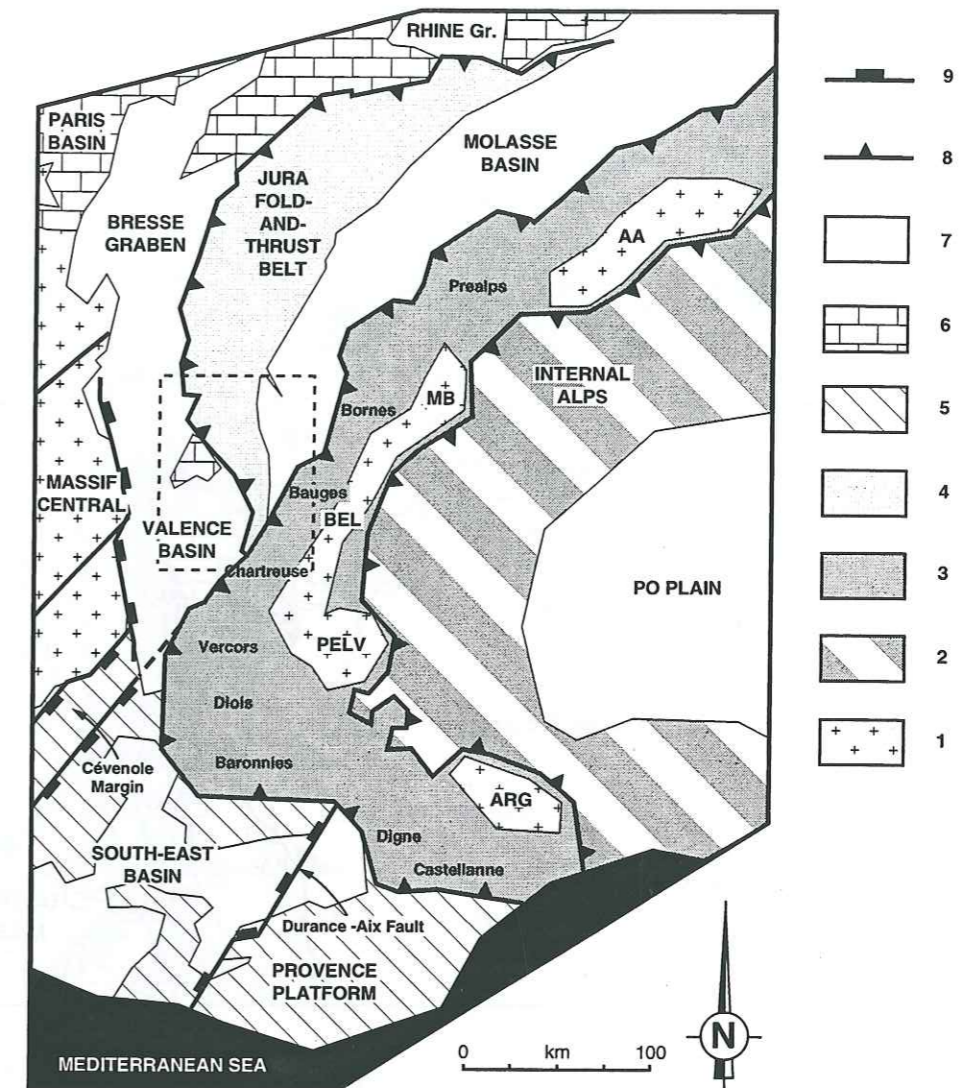
- PARTIE I - LE RACCORD JURA MÉRIDIONAL - CHARTREUSE OCCIDENTALE
- PARTIE II - LE JURA SEPTENTRIONAL
- PARTIE III - LA HAUTE-CHAÎNE DU JURA CENTRAL
- PARTIE IV - LE RÔLE DU BASSIN MOLASSIQUE DANS LA TECTOGENÈSE DU JURA: UNE APPROCHE EXPÉRIMENTALE
- PARTIE V - ANALYSE CINÉMATIQUE ET MÉCANIQUE DE L'ARC DU JURA
- PARTIE VI - LE VERCORS OCCIDENTAL



**PARTIE I**

**LE RACCORD JURA MÉRIDIONAL - CHARTREUSE OCCIDENTALE**





**Figure 1:** Schematic structural map of the western Alpine Belt and its foreland.

The study area is indicated by the square.

1: Paleozoic basement; 2: Internal Alps; 3: External Alps (Dauphino-Helvetic domain); 4: Jura fold-and-thrust belt); 5: Pyreneo-Provençal domain and foreland; 6: Stable European craton; 7: Neogene; 8: Main Alpine thrust fronts; 9: Main Early Mesozoic normal faults.

Aar: Aar massif; Arg: Argentière massif; Bel: Belledonne massif; MB: Mont Blanc massif; Pelv: Pelvoux massif.



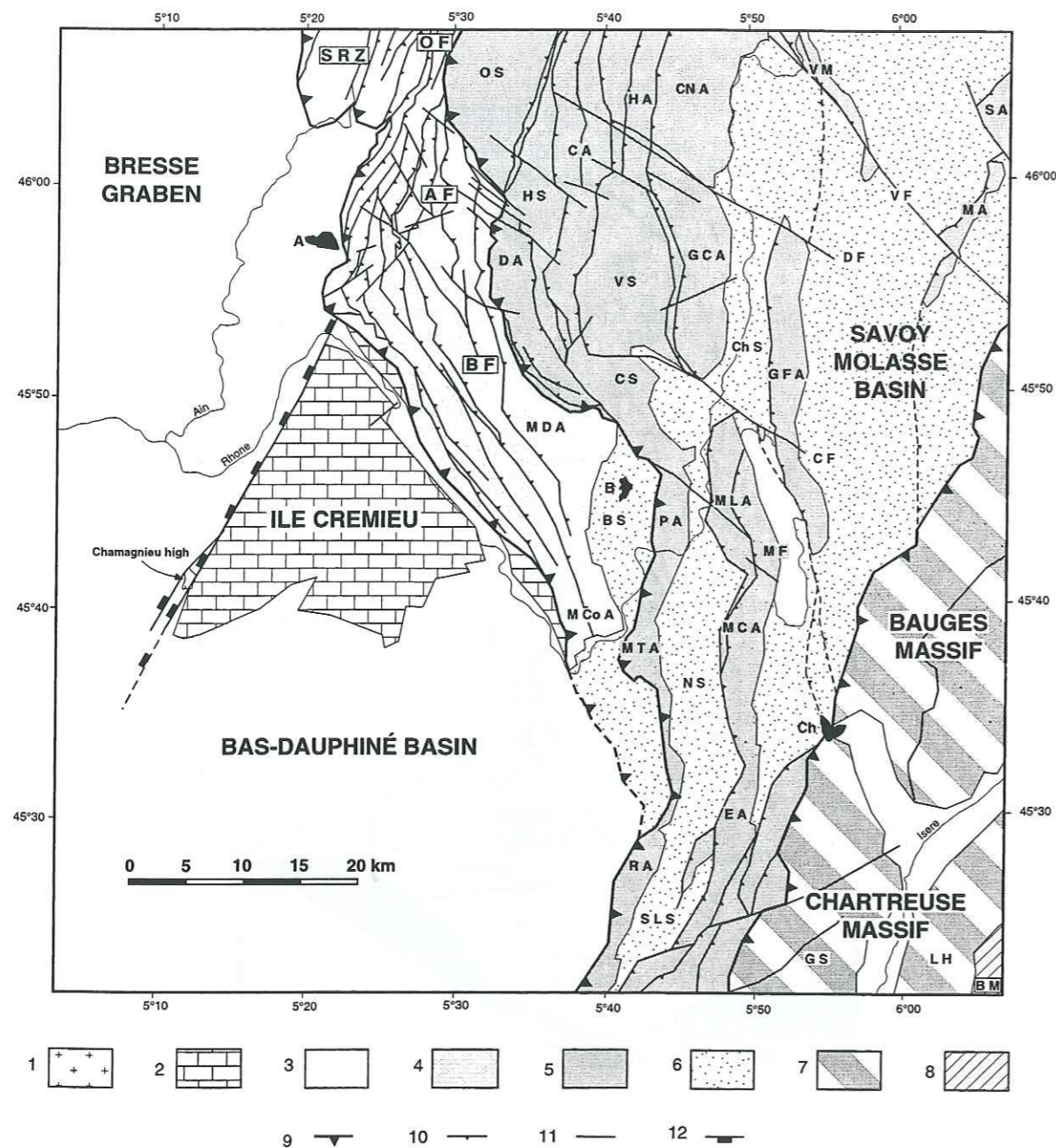


Figure 2: Structural map of the southern Jura fold-and-thrust belt and adjacent areas.

1-3: Stable domain (1: Paleozoic basement, 2: Autochthonous Mesozoic cover, 3: Cenozoic); 4-6: Alpine foreland (4: External Jura = "faisceaux", 5: Internal Jura, 6: Tertiary syn-orogenic infill of the Molasse basin); 7-8: Subalpine domain (7: Mesozoic cover, 8: Paleozoic basement); 9: Major thrusts; 10: Minor thrusts and backthrusts; 11: Strike-slip and transfer faults; 12: Normal faults.

Jura fold-and-thrust belt: AF: Ambérieu Faisceau; BF: Bugey Faisceau; BS: Belley syncline; CA: Cormaranche anticline; CNA: Crêt du Nû anticline; CF: Culoz fault; CS: Cezeyrieu syncline; DF: Droisy fault; GCA: Grand Colombier anticline; HA: Hotonnes anticline; HS: Hauteville syncline; MCoA: Mont de Cordon anticline; MF: Massignieu fault; OF: Orgelet Faisceau; OS: Oyonnax syncline; SRZ: Southern Revermont Zone; VF: Vuache fault; VM: Vuache mountain.

"Jurassien chaînons": MA: Montagne d'Age-Mandallaz anticline; EA: Epine anticline; GFA: Gros Foug anticline; MCA: Mont du Chat anticline; MT: Mont Tournier anticline; NS: Novalaise syncline; PA: Parves anticline; RA: Ratz anticline; SA: Salève anticline; SLS: St Laurent syncline.

Chartreuse massif: BM: Belledonne massif; GS: Granier syncline; LH: Liassic Hills.

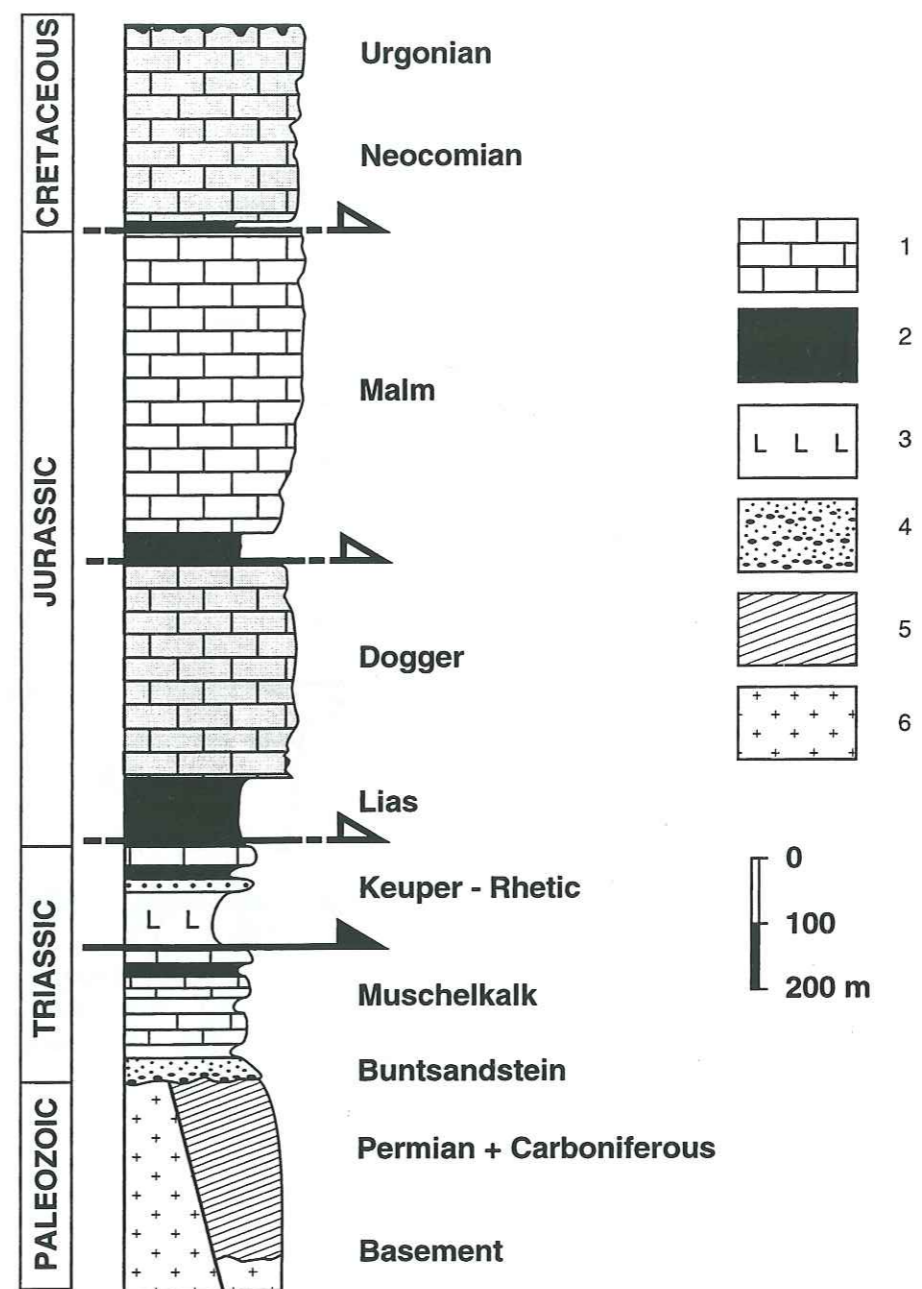


Figure 3: Simplified lithostratigraphic column of the Mesozoic cover in the southern Jura thrust belt.

Arrows indicate the potential décollement levels (black arrow shows the location of the regional sole thrust).

1: limestones and dolomites; 2: maris; 3: massive salt; 4: sandstones; 5: coal-measures; 6: metamorphic basement and granitic intrusives.



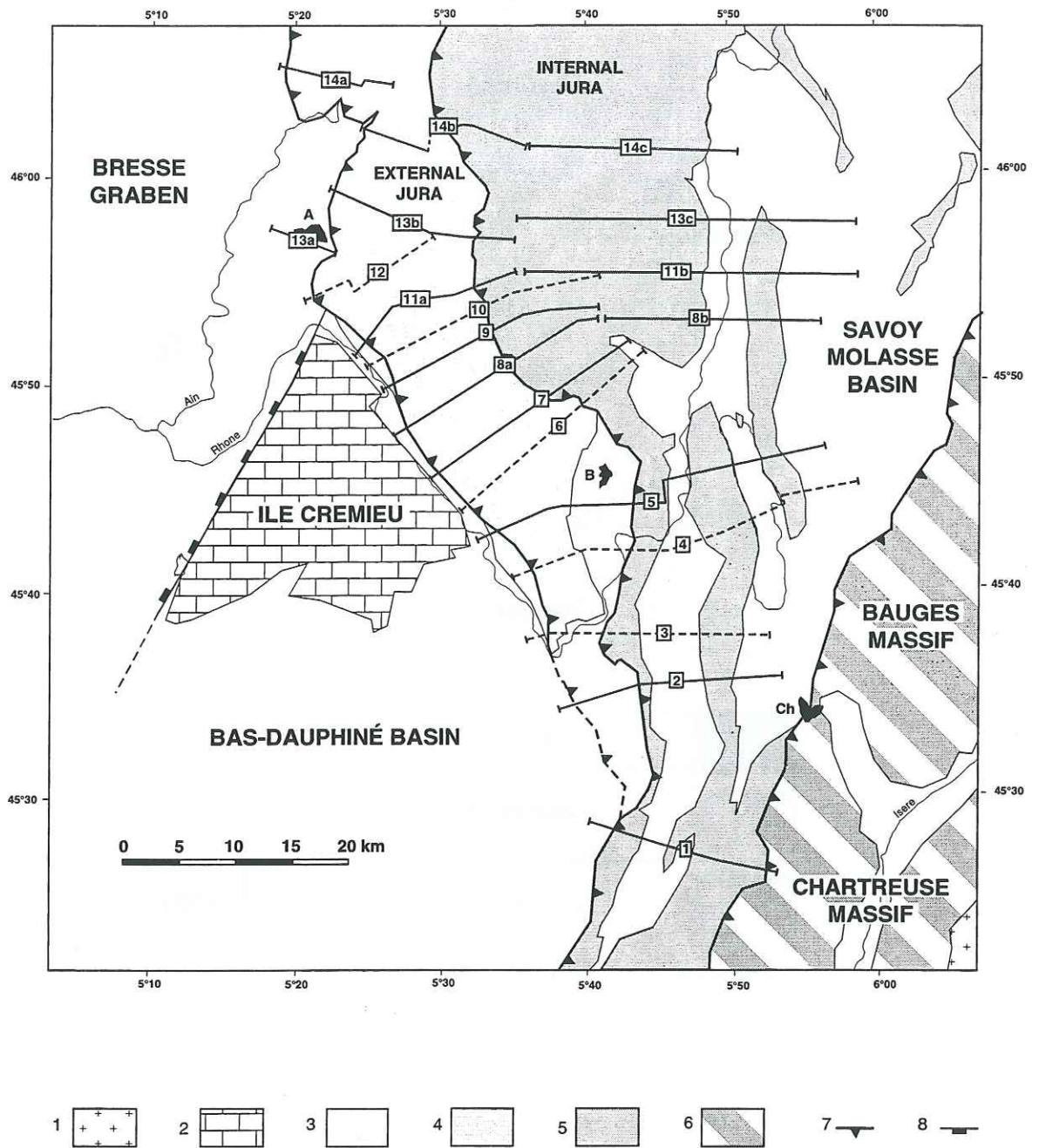


Figure 4: Location map of the seriated cross-sections.

1: Paleozoic basement; 2: Autochthonous Mesozoic cover; 3: Cenozoic; 4: External Jura; 5: Internal Jura; 6: Mesozoic cover of the Subalpine domain; 7: Major thrusts; 8: Normal faults.

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



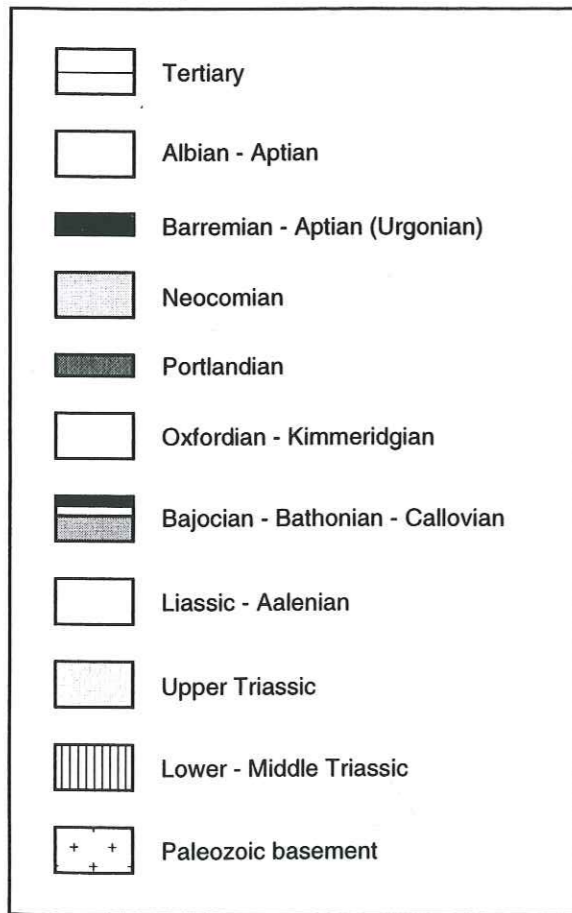
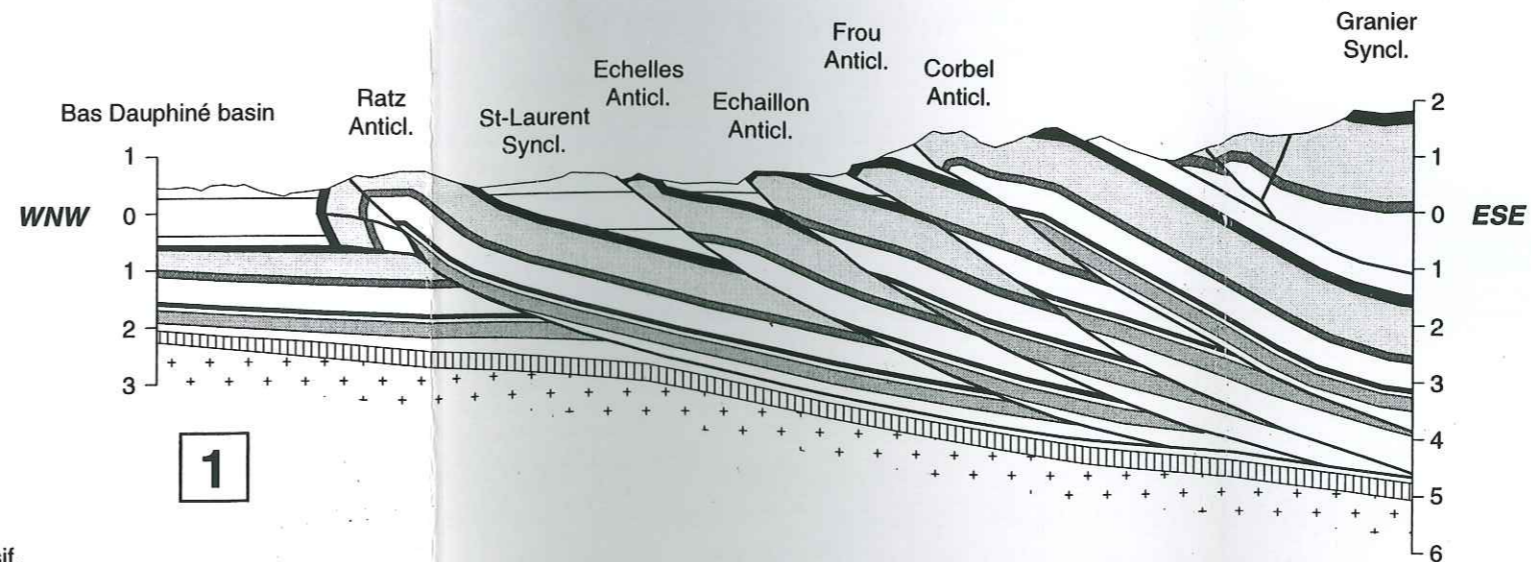
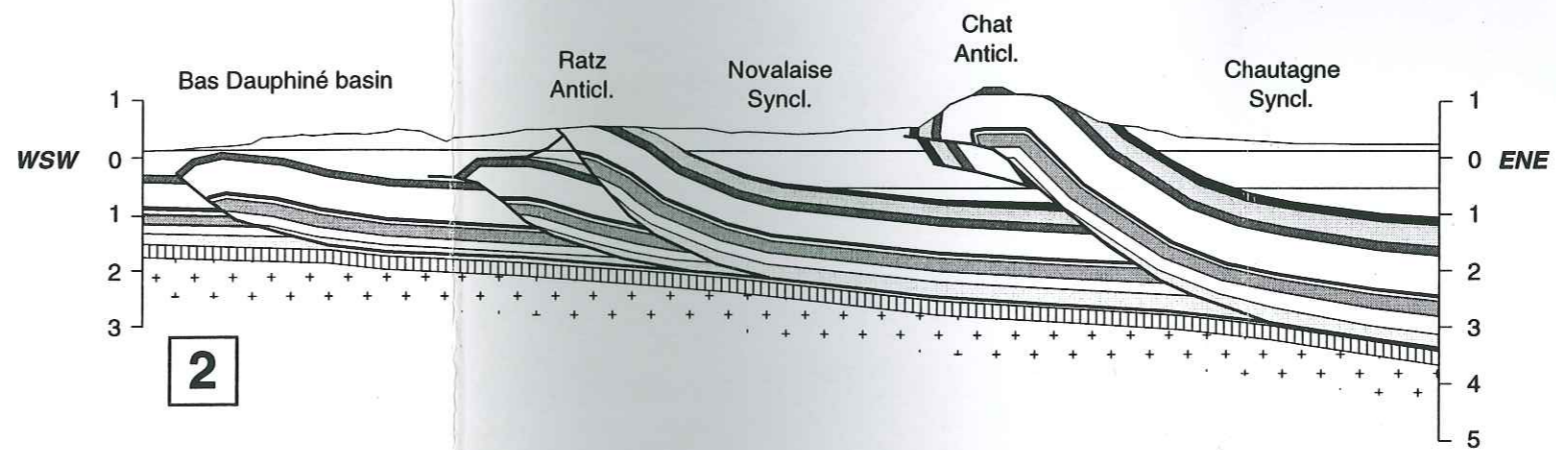
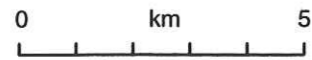
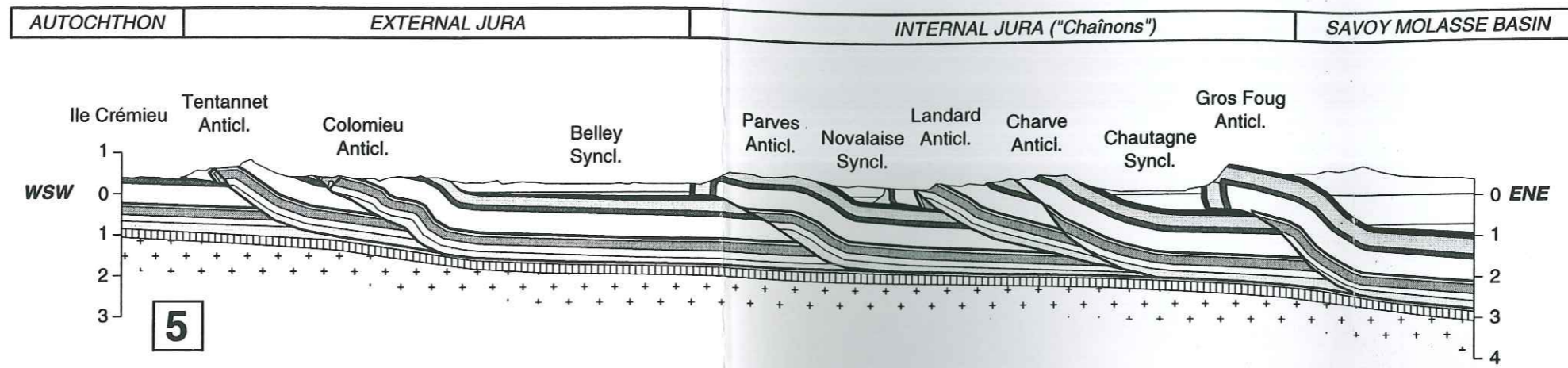
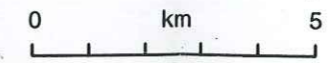
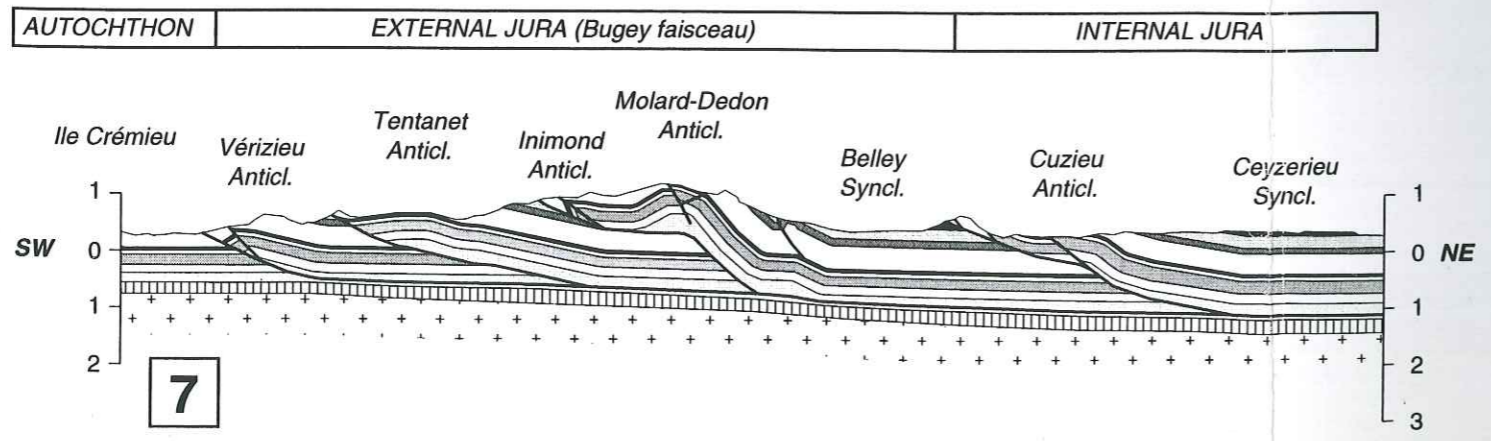
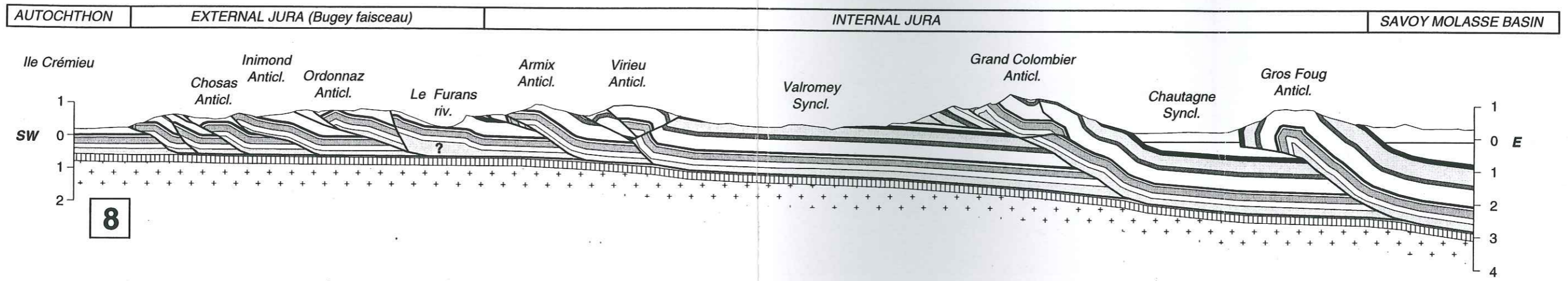
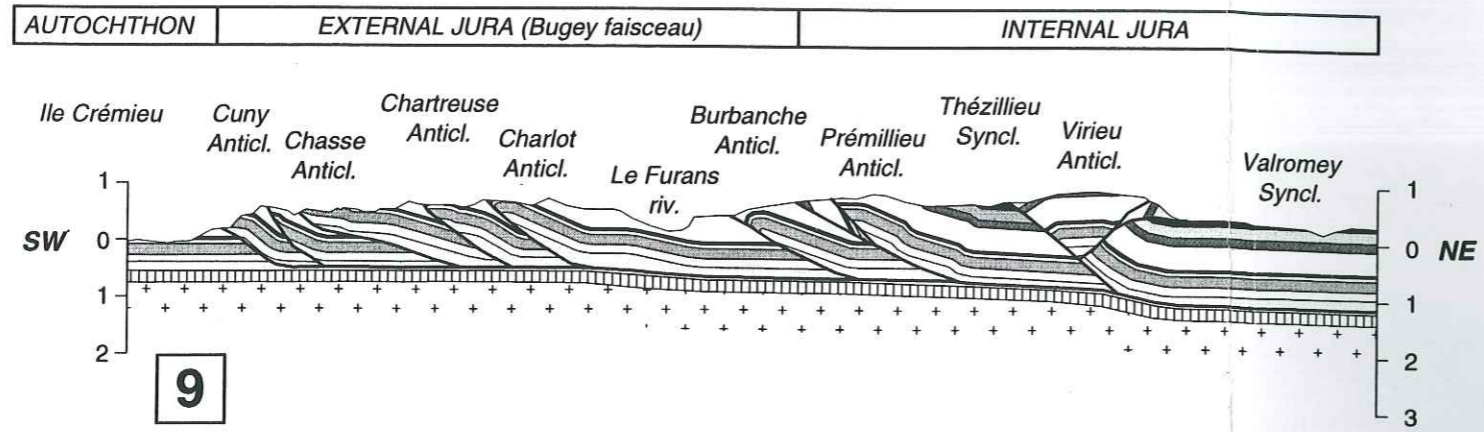


Plate 1: Serial cross-sections through the southern Jura belt and the western Chartreuse massif.

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012

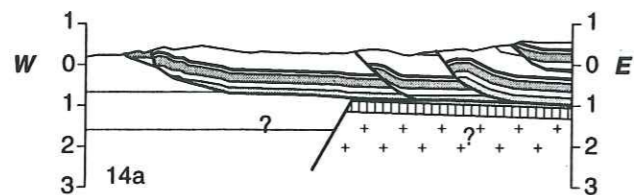




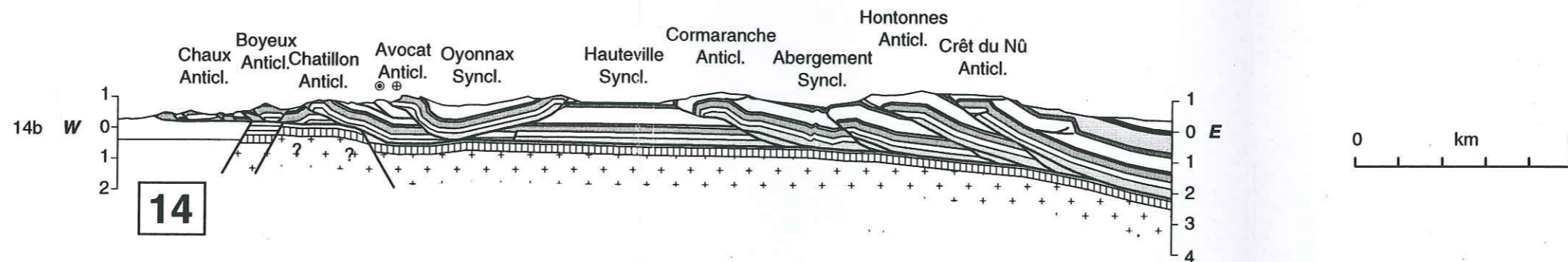
tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



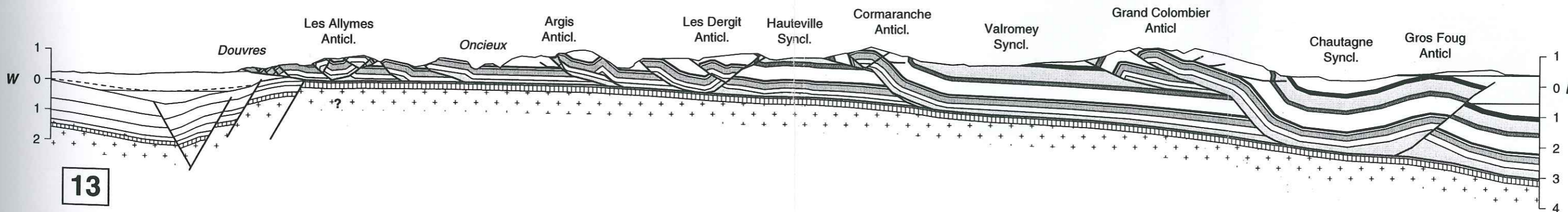
BRESSE GRABEN | EXTERNAL JURA *Revermont faisceau*



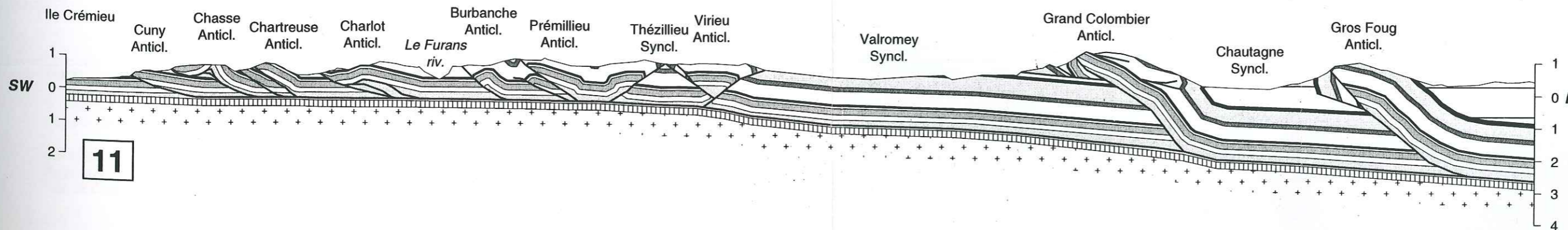
BRESSE GRABEN | EXTERNAL JURA | INTERNAL JURA | SAVOY MOLASSE BASIN



BRESSE GRABEN | EXTERNAL JURA (*Ambérieu faisceau*) | INTERNAL JURA | SAVOY MOLASSE BASIN

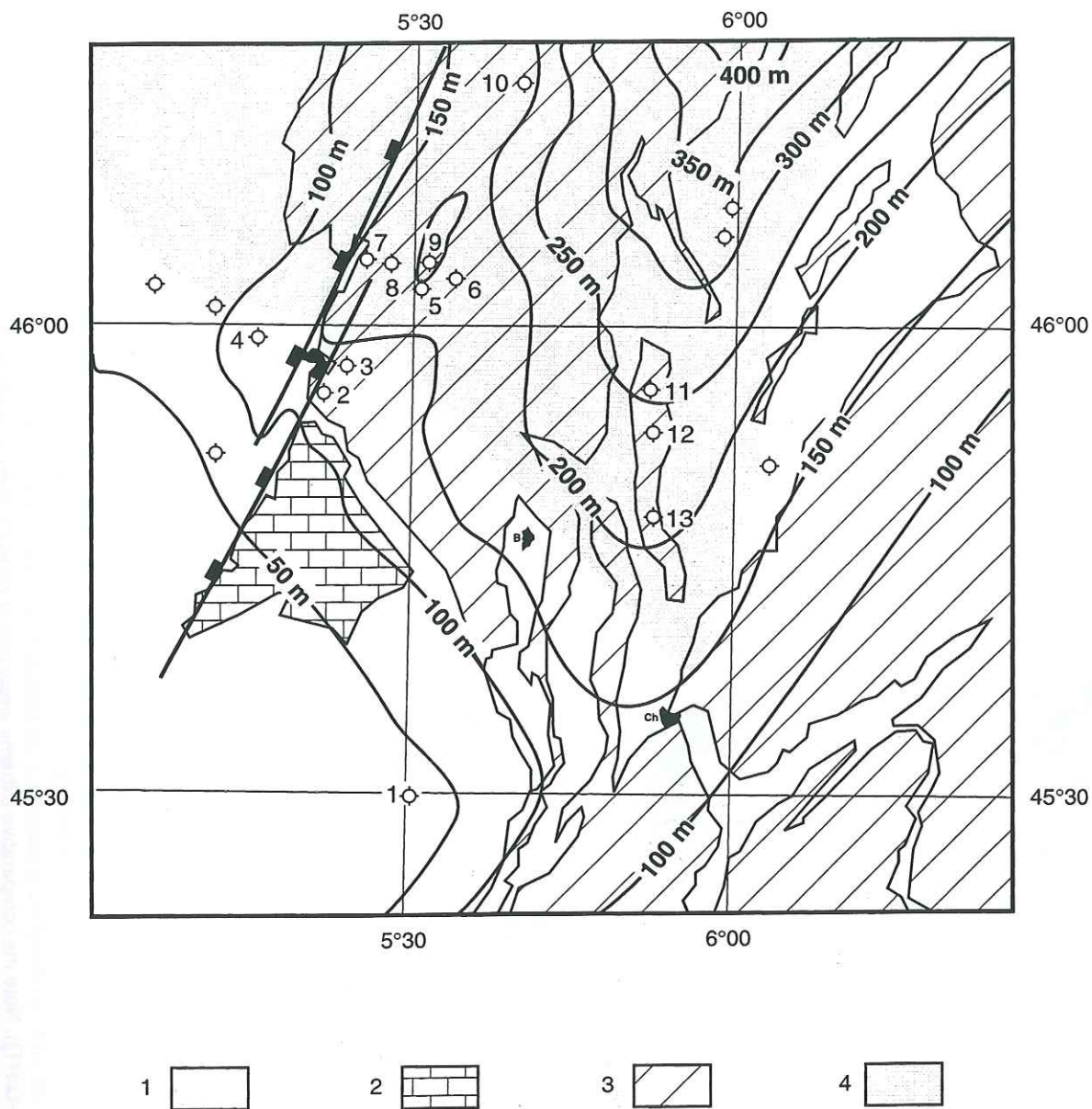


AUTOCHTHON | EXTERNAL JURA (*Bugey faisceau*) | INTERNAL JURA | SAVOY MOLASSE BASIN



tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012





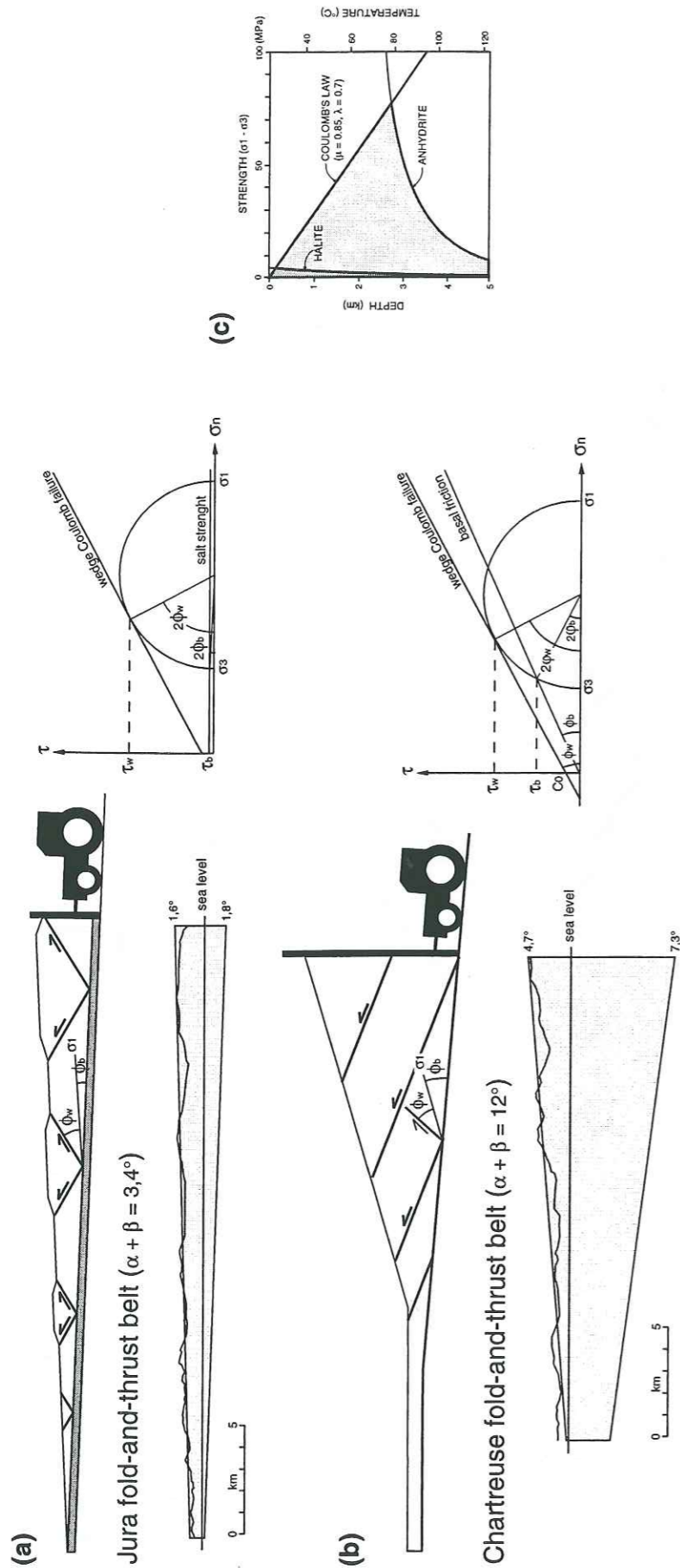
**Figure 5:** Upper Triassic (Keuper-Rhetic layers) isopach map in the southern Jura.

1: Cenozoic; 2: Autochthonous Mesozoic cover; 3: Folded Mesozoic cover; 4: distribution of the Keuper massive salt layers.

Location of the exploration wells used to construct the seriated cross-sections: 1: Paladru-11; 2: Vaux-en-Bugey gas field; 3: Torcieu-1; 4: Cormoz-1; 5: Chatillon-1D; 6: La Chandelière-1D; 7: Bugey-101; 8: Bugey-102; 9: Chaleyriat-1; 10: Charmont-1; 11: Savoie-106; 12: Savoie-107; 13: La Tailla-1.

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



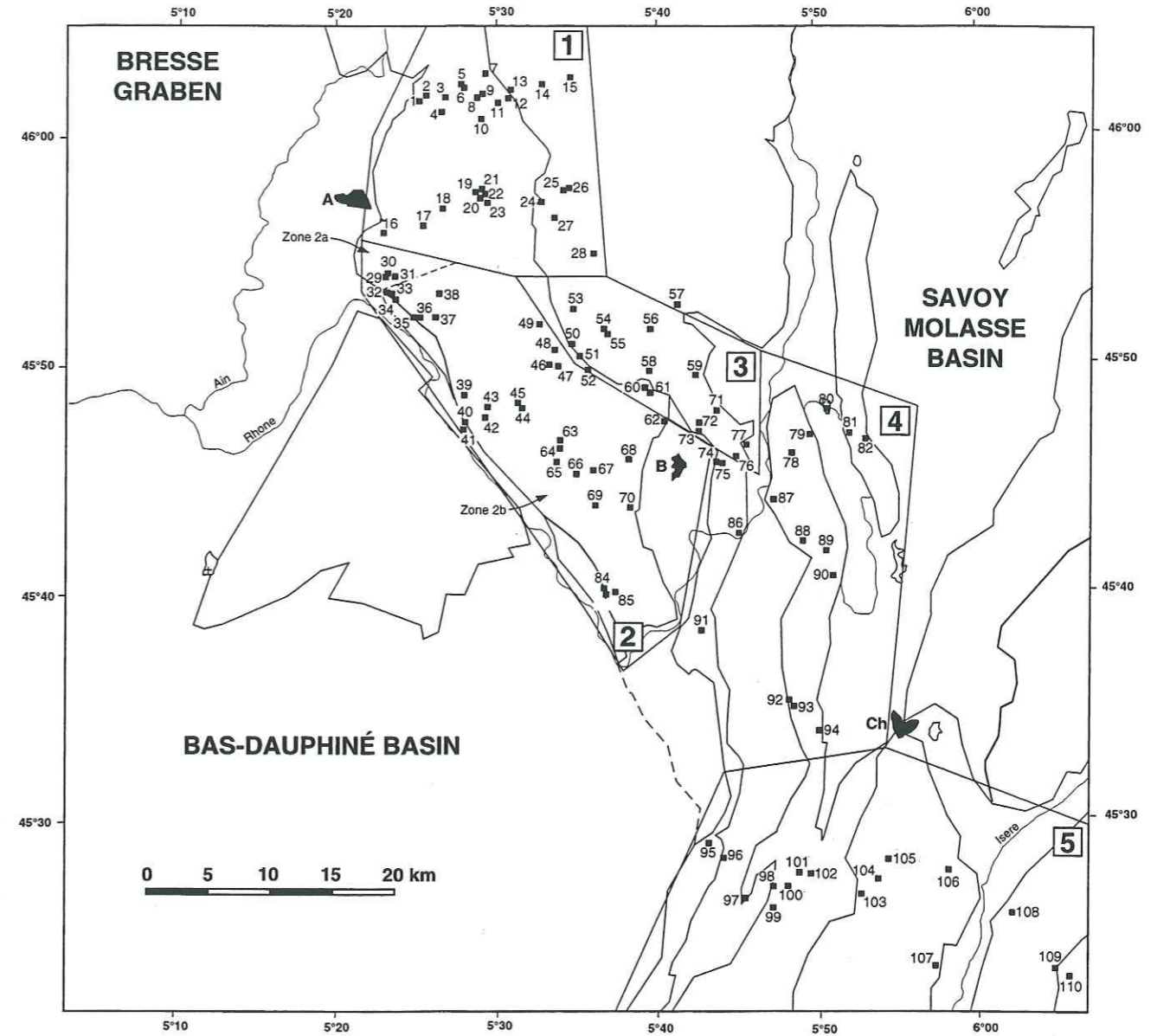


**Figure 6:** Comparison between the cross-sectional tapers of natural examples of fold-and-thrust belts and theoretical models depending on the shear strength of the basal detachment layer (from Davis and Engelder, 1985).

(a) A weak-basal wedge, i.e. underlain by salt (very low shear strength) has a narrow cross-sectional taper, a wide deformation belt, and nearly symmetrical structures (example of the Jura fold-and-thrust belt and Savoy molasse basin, located north of the transverse zone, section n°14 of plate 1).

(b) A strong-basal wedge not underlain by salt or evaporites has a large taper, a narrow deformation belt and relatively shallow forward-verging thrust planes (example of the Western Chartreuse thrust belt, located south of the transfer zone, section n°1 of plate 1).

(c) Diagram illustrating the shear strength versus depth of evaporites and brittle rocks in the upper crust (Carter and Hansen, 1983; Davis and Engelder, 1985). The strength of stiff brittle rocks (limestones, quartzites) increases linearly as a function of the lithostatic pressure  $p_{gl}$ , according to the Mohr-Coulomb criteria. On contrast, the strength of plastic rocks does not depend on lithostatic pressure but decreases as a function of the temperature, according to the Arrhenius law relating the viscosity  $\mu$  and the temperature  $T$  ( $\mu = \mu_0 \exp(-Q/RT)$ ). Note the comparative extreme weakness of rocksalt, even at shallow depths.



**Figure 7:** Location of sites of brittle microtectonic data in the study area.

The division in zones numbered from 1 to 5 corresponds to a distinction based on the  $\sigma_1$  axes and folds orientations (see text for details).



Main characteristics of paleostress tensors computed using fault slip data  
(obtained from Angelier's inverse method INVVD)

Site	$\sigma_1$ plunge- trend	$\sigma_2$ plunge- trend	$\sigma_3$ plunge- trend	$\phi$	N
<b>Zone 1</b>					
1	07-275	03-185	83-070	0.35	16
2	03-315	21-224	68-052	0.40	04
3	04-320	17-229	73-064	0.69	07
4	04-284	01-014	85-121	0.59	10
5	07-095	02-005	83-260	0.54	14
6	04-276	16-184	83-260	0.54	08
7	18-294	25-195	58-056	0.61	04
8	08-295	66-186	23-028	0.03	06
9	03-088	11-358	79-192	0.21	22
10	11-286	33-188	55-032	0.13	04
11	18-294	25-195	58-056	0.61	04
12	06-106	69-000	20-198	0.24	12
13	06-106	69-000	20-198	0.24	12
14	04-101	81-341	08-192	0.31	10
15	02-304	16-213	74-042	0.57	04
16	05-252	88-061	00-162	0.80	05
17	05-109	82-345	07-200	0.30	04
18	13-291	39-191	35-048	0.11	09
19	00-087	80-178	10-357	0.40	15
20	05-272	70-169	19-004	0.12	09
21	05-259	37-165	52-356	0.11	06
22	12-255	78-088	03-346	0.14	09
23	04-247	03-337	85-104	0.42	21
24	20-071	30-329	53-189	0.52	04
25	12-086	23-182	64-330	0.31	10
26	05-078	24-346	65-178	0.36	06
27	17-250	42-145	43-357	0.43	04
28	05-262	24-359	61-142	0.11	04
<b>Zone 2</b>					
29	00-074	14-344	76-163	0.31	21
30	00-066	10-156	80-336	0.56	23
31	09-253	09-162	77-028	0.39	04
32	05-014	33-280	36-111	0.54	07
33	58-304	18-182	25-083	0.84	07
34	01-031	08-301	82-126	0.17	17
35	01-221	42-312	48-130	0.17	05
36	10-231	07-322	78-088	0.74	10
37	11-061	18-155	68-301	0.28	07
38	01-227	79-320	11-137	0.01	06

39	09-248	28-153	61-354	0.22	04
40	19-225	23-127	59-350	0.15	05
41	07-229	00-319	83-049	0.71	10
42	06-224	01-314	84-055	0.52	06
43	10-065	06-156	78-276	0.65	09
44	03-073	66-335	23-164	0.10	12
45	01-069	16-338	74-163	0.14	29
46	31-247	16-147	54-033	0.80	04
47	13-249	56-138	31-347	0.45	06
48	01-063	41-332	49-155	0.19	06
49	09-235	01-325	81-058	0.64	05
60	19-040	02-131	71-227	0.87	04
61	26-285	40-171	39-039	0.46	06
62	01-240	07-330	83-142	0.57	04
63	00-249	05-159	85-343	0.34	07
64	11-227	10-319	75-093	0.76	10
65	03-248	01-157	87-047	0.21	10
66	03-253	49-160	40-345	0.25	06
67	10-079	02-169	79-270	0.61	05
68	08-253	13-344	75-130	0.58	11
69	10-268	10-176	75-043	0.69	06
70	08-268	11-176	76-031	0.43	05
83	04-086	44-352	46-180	0.08	19
84	12-078	02-169	77-270	0.30	22
85	16-277	47-169	39-020	0.33	07

**Zone 3**

50	03-075	02-165	87-296	0.44	04
51	04-234	01-324	86-069	0.56	07
52	09-243	16-336	71-126	0.04	09
53	00-126	14-036	76-217	0.68	05
54	05-256	33-349	57-158	0.22	11
55	06-060	22-152	67-316	0.20	06
56	01-349	30-258	60-081	0.79	04
57	04-109	04-200	84-336	0.33	09
58	01-254	30-164	60-346	0.17	10
59	02-253	75-349	15-163	0.18	17
71	02-064	35-155	55-332	0.43	05
72	04-241	03-331	85-099	0.20	09
73	03-076	16-166	74-335	0.41	09
74	08-112	04-021	81-262	0.55	04
75	10-107	76-240	10-015	0.23	09
76a	06-080	29-347	60-180	0.23	14
76b	07-303	21-210	65-051	0.33	08
77	10-225	09-317	76-089	0.63	06

**Zone 4**

78	07-259	58-000	31-164	0.23	05
79	07-341	22-248	67-087	0.87	04



80	10-288	55-184	33-024	0.19	05
81	05-059	17-327	72-165	0.32	12
82	09-254	58-358	31-158	0.06	12
86	10-270	13-002	74-142	0.24	19
87	14-073	01-163	76-256	0.78	04
88	06-238	28-331	62-138	0.43	05
89	08-267	05-357	81-120	0.60	08
90	22-104	68-272	04-012	0.14	16
91	13-242	63-359	23-147	0.34	06
92	12-095	01-005	78-268	0.84	09
93	11-267	05-176	78-062	0.68	05
94	09-080	30-244	28-185	0.36	08

Zone 5

95	01-109	19-019	71-202	0.20	17
96	01-294	11-205	79-200	0.23	12
97	21-104	67-310	09-197	0.13	05
98	15-276	25-013	60-158	0.38	12
99	15-296	03-026	75-129	0.70	06
100	02-286	05-016	85-176	0.26	21
101	12-113	02-022	78-238	0.26	11
102	16-336	02-245	74-150	0.91	06
103	01-288	78-194	12-018	0.26	14
104	20-088	23-349	59-214	0.18	05
105	01-092	36-183	54-001	0.35	06
106	01-106	83-204	07-016	0.15	12
107	06-314	07-223	81-087	0.53	06
108	09-260	40-000	42-162	0.16	05
109	00-298	20-208	70-029	0.23	09
110	05-244	18-152	71-149	0.43	07

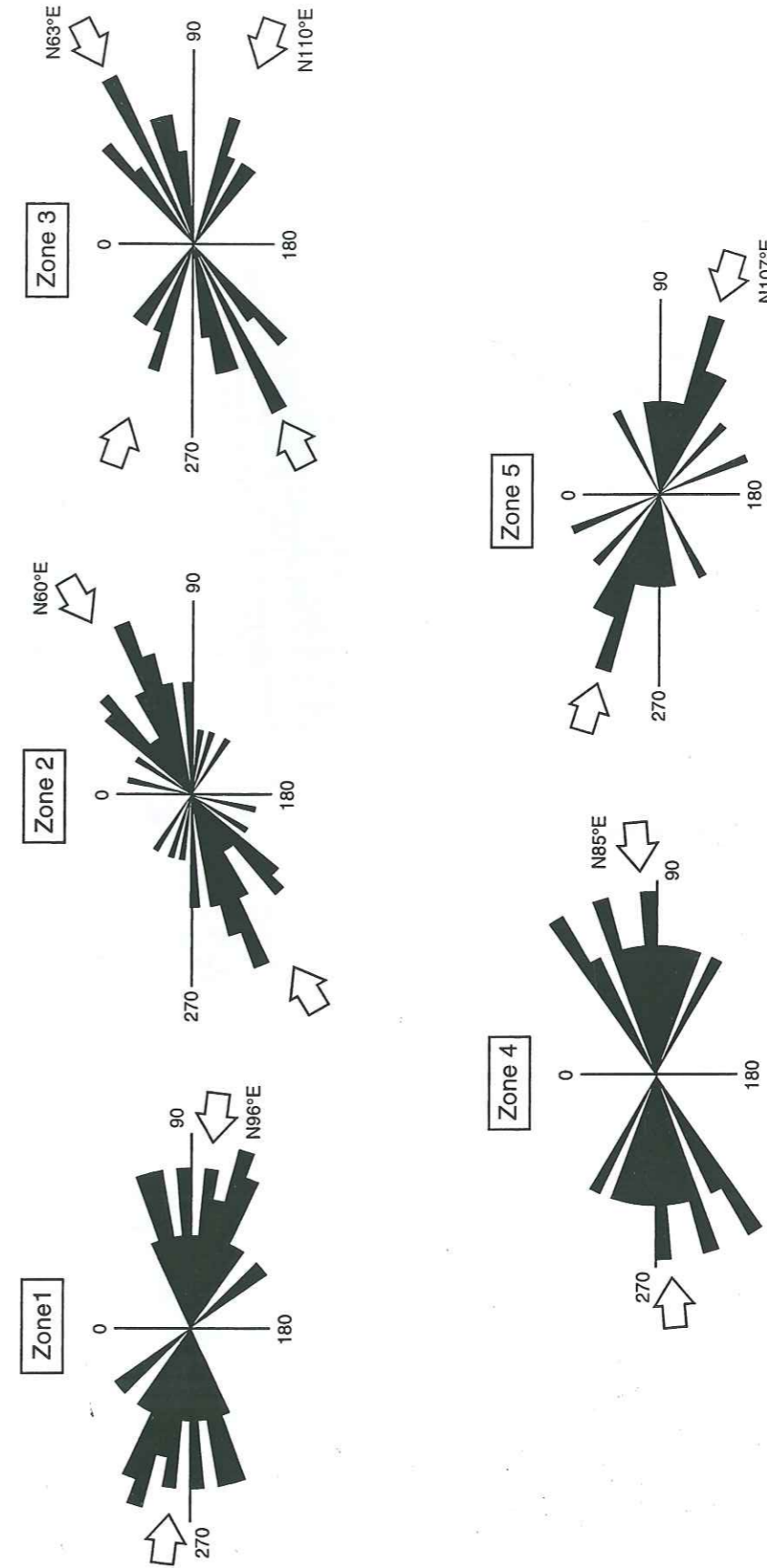
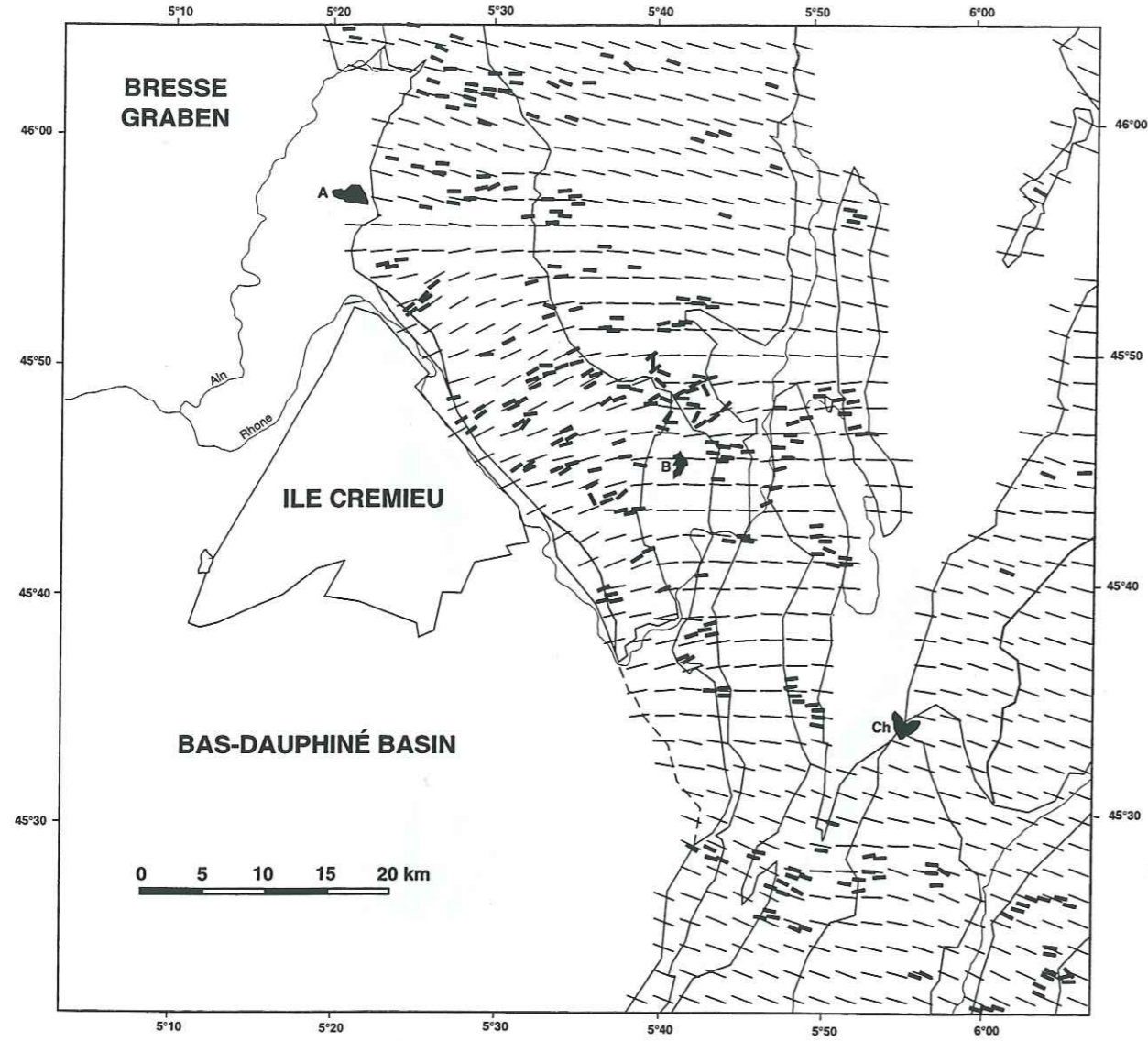


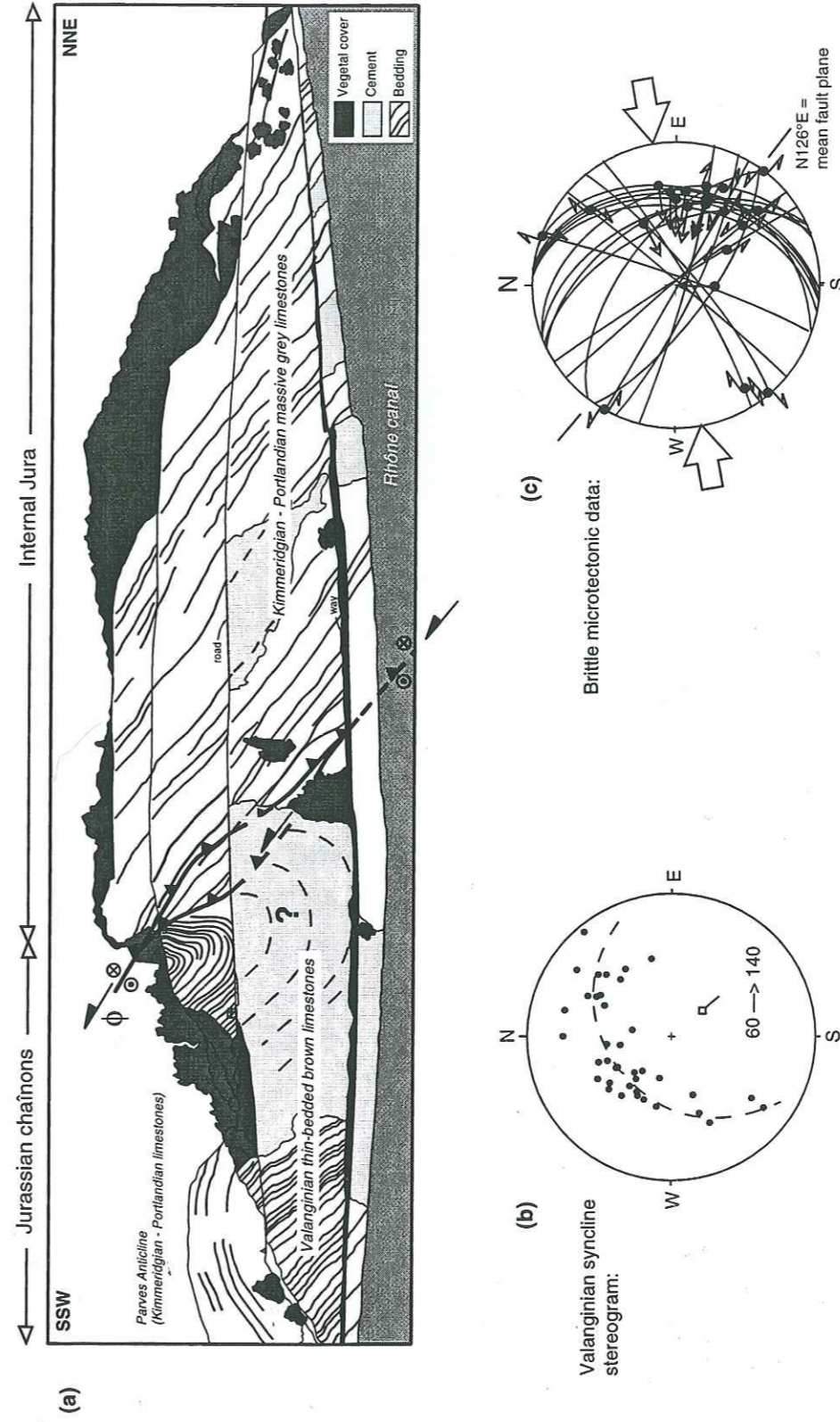
Figure 8: Rose diagrams of the frequency of  $\sigma_1$  axes orientations computed in each distinct zone.





**Figure 9:** Map of  $\sigma_1$  trajectories related to the Mio-Pliocene compressive stress regime responsible for the development of the Jura and Chartreuse fold-and-thrust belts.

Heavy dashes represent local  $\sigma_1$  orientations determined from stylolitic peaks, the slight ones the averaged trajectories.

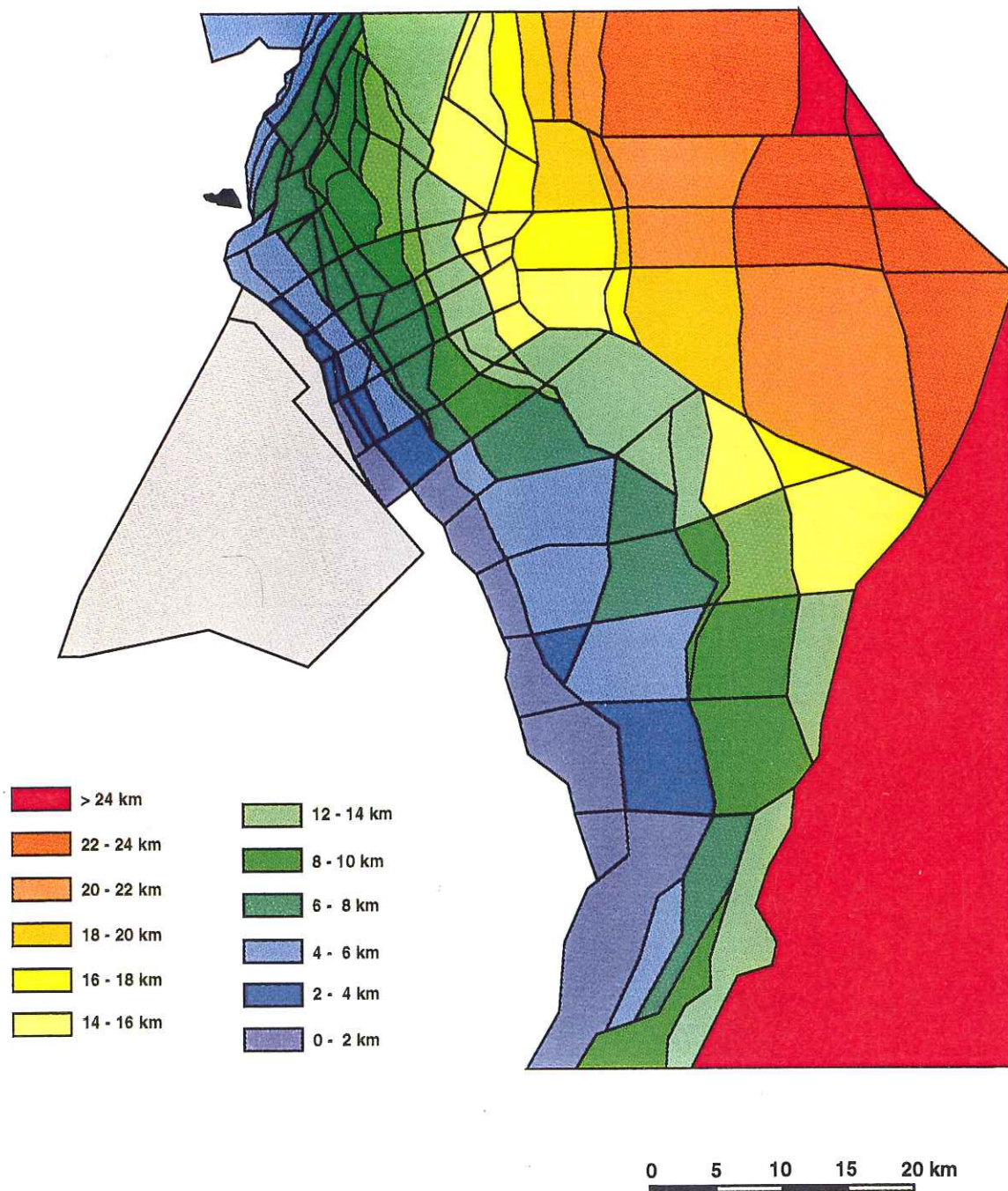


**Figure 10a:** Sketch of the outcrop corresponding to the site n°76, showing the contact between the NE-SW directed Internal Jura and the N-S trending Jurassic chailons. Note the strong sinistral transpressive tectonic regime prevailing in the vicinity of the thrust fault.

**Figure 10b:** Projection onto a Wulff stereogram of the poles of Neocomian bedding planes within the footwall of the strike-slip thrust fault and the calculated axis of the tight conical fold observed near the tectonic contact.

**Figure 10c:** Diagram of brittle microtectonic data observed in the hangingwall of the fault (lower hemisphere, equal area projection, with faults as thin curves and reverse or strike-slip slickenside lineations as dots with arrow).





**Figure 11a:** Structural map of the southern Jura fold-and-thrust belt divided in surface units.

Each surface unit is characterized by an absolute value of displacement calculated from map restoration (see fig.11c)

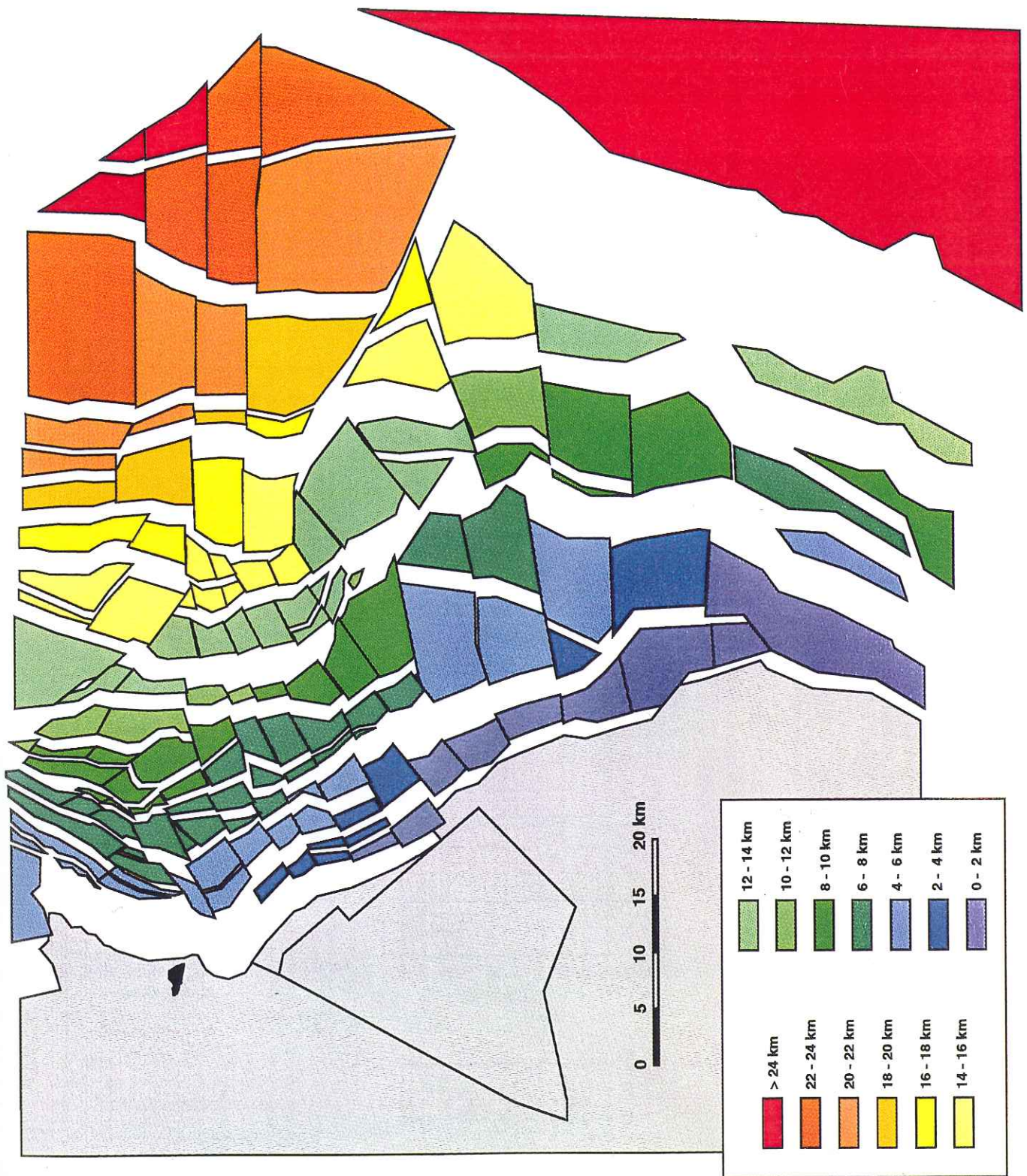




**Figure 11b:** Intermediate balanced map.

Each surface unit has been transferred toward the east or the north-east according to the absolute amount of shortening calculated along the section lines. Note that significant overlaps appears in the southwestern corner of the Jura arc and voids near the Bugey faisceau/Chaînons jurassiens junction zone.

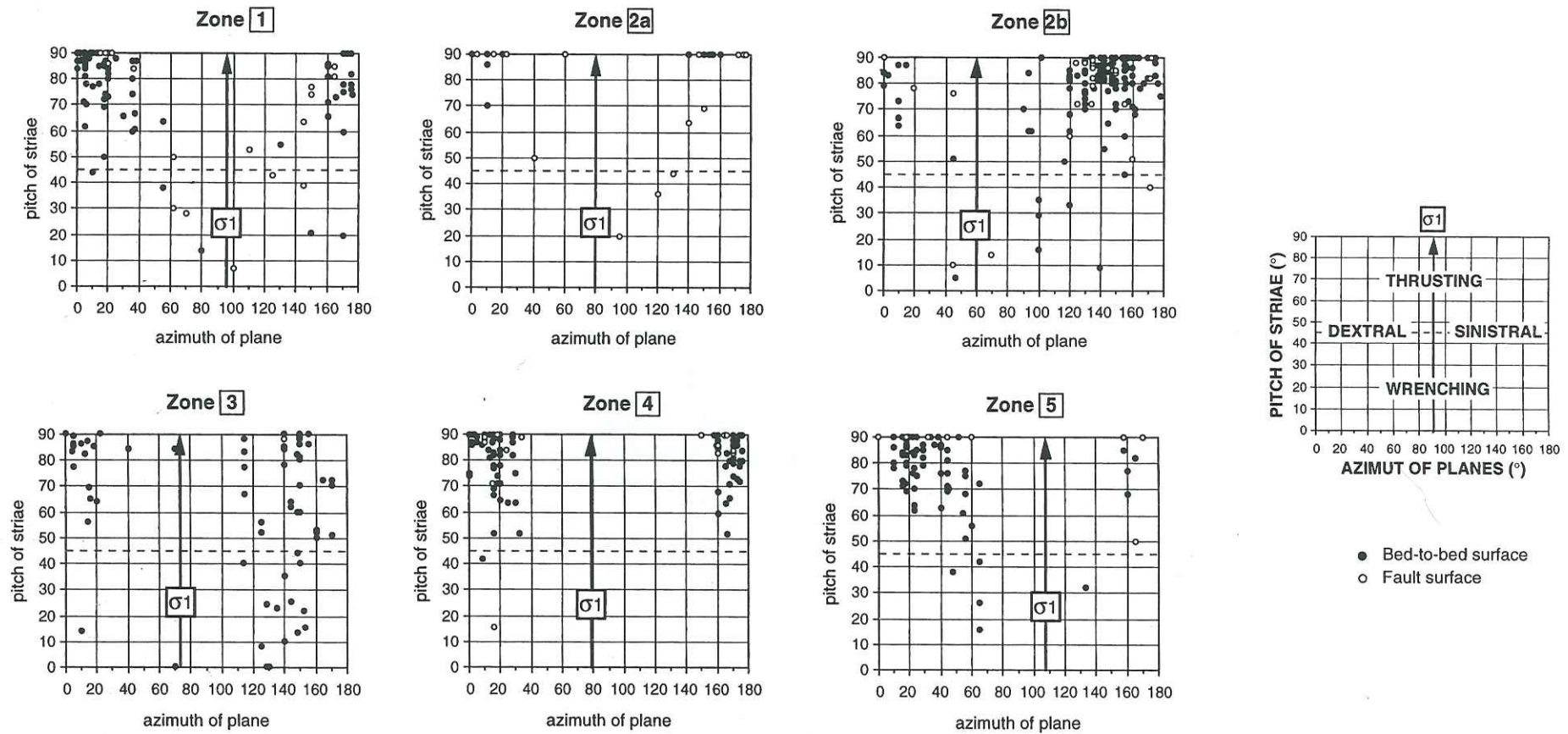




**Figure 11c:** Final restored map.

Surface units have been adjusted from the intermediate map in order to eliminate both overlaps and voids. The amount of normal displacement for each surface unit has been respected as well as possible.





**Figure 12:** Diagrams pitch of striae vs. strike of reverse faults planes or bed-to-bed surfaces (pitch of 45° separating field where either thrusting or wrenching dominates), observed on the limbs of folds in each zone defined in figure 8.

Black circles represent bed-to-bed slickensides, the open ones the reverse faults slickensides. Vertical arrows indicate the averaged azimuth of the  $\sigma_1$  axis deduced from paleostress reconstructions (see figure 8).

Most of the striae are oriented along the dip line of the planes (pitch values superior to 45° and often closed to 90°). By comparison with azimuths of  $\sigma_1$  axis and fold hinges orientation, this denotes a relatively coaxial strain for each zone, excepted for the zone 3 that corresponds to the southern oblique edge of the Internal Jura where a significant left-lateral transpressive tectonic regime prevailed. The diagram in the zone 3 displays a large range of pitch values for the striae lying on planes trending N140°E (i.e. parallel to the oblique zone) showing that both thrusting and strike-slip occurred.

Zone 1: Ambérieu faisceau; Zone 2a: Buisin valley; Zone 2b: Bugey faisceau; Zone 3: Sinistral transition zone; Zone 4: Chaînons jurassiens; Zone 5: Chartreuse Massif



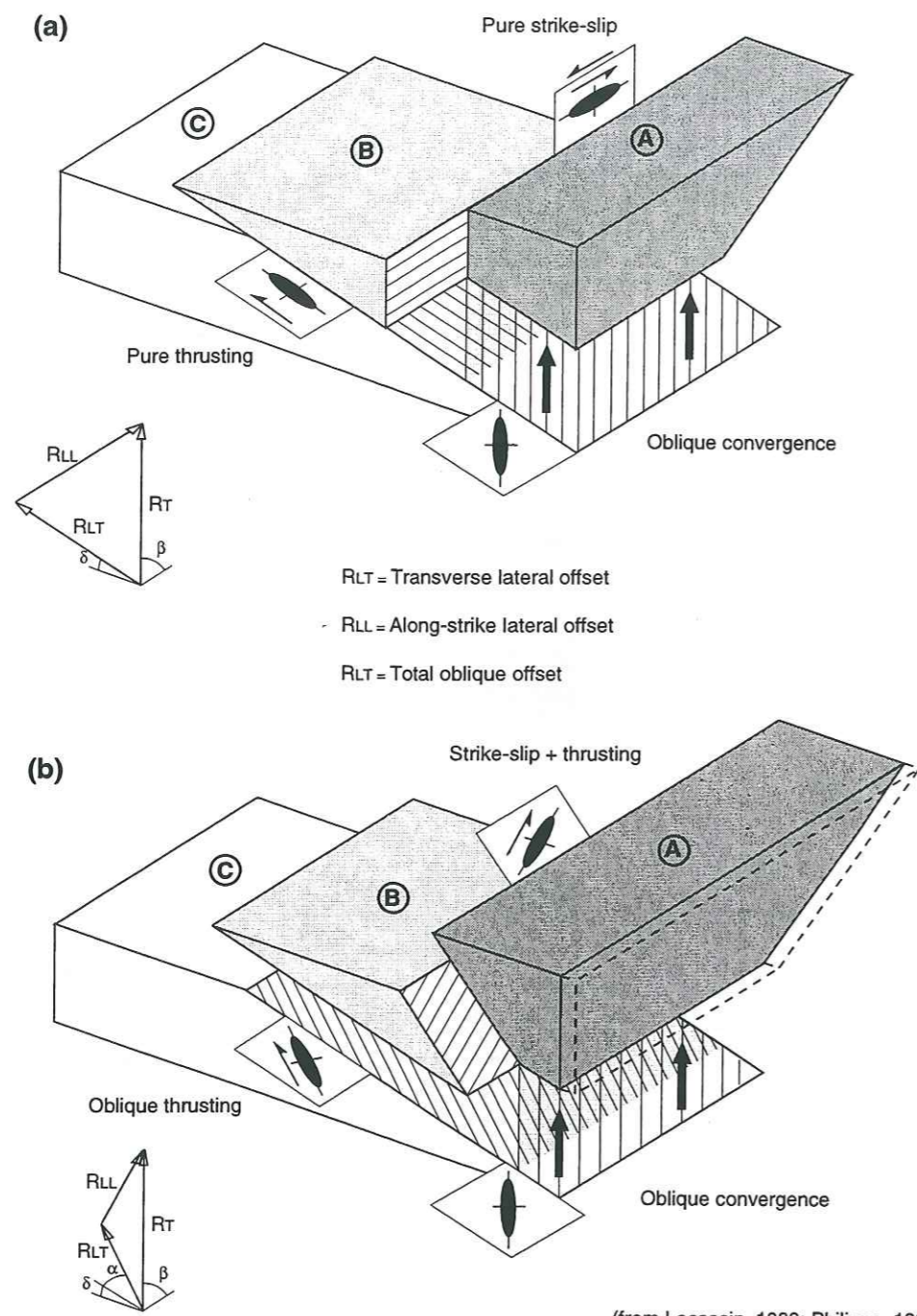


Figure 13: Strain-partitioning models.

In the case (a), the oblique convergence between A and C is completely partitioned into pure strike-slip and pure dip-slip components. The shaded zone on fault plane shows superposition of the two "phases" *sensu-stricto* (from Lacassin, 1989).

The case (b) represents a composite model as the oblique convergence between A and C is partitioned into oblique thrustings.

In both cases, the sum of the displacements vectors must be identical.

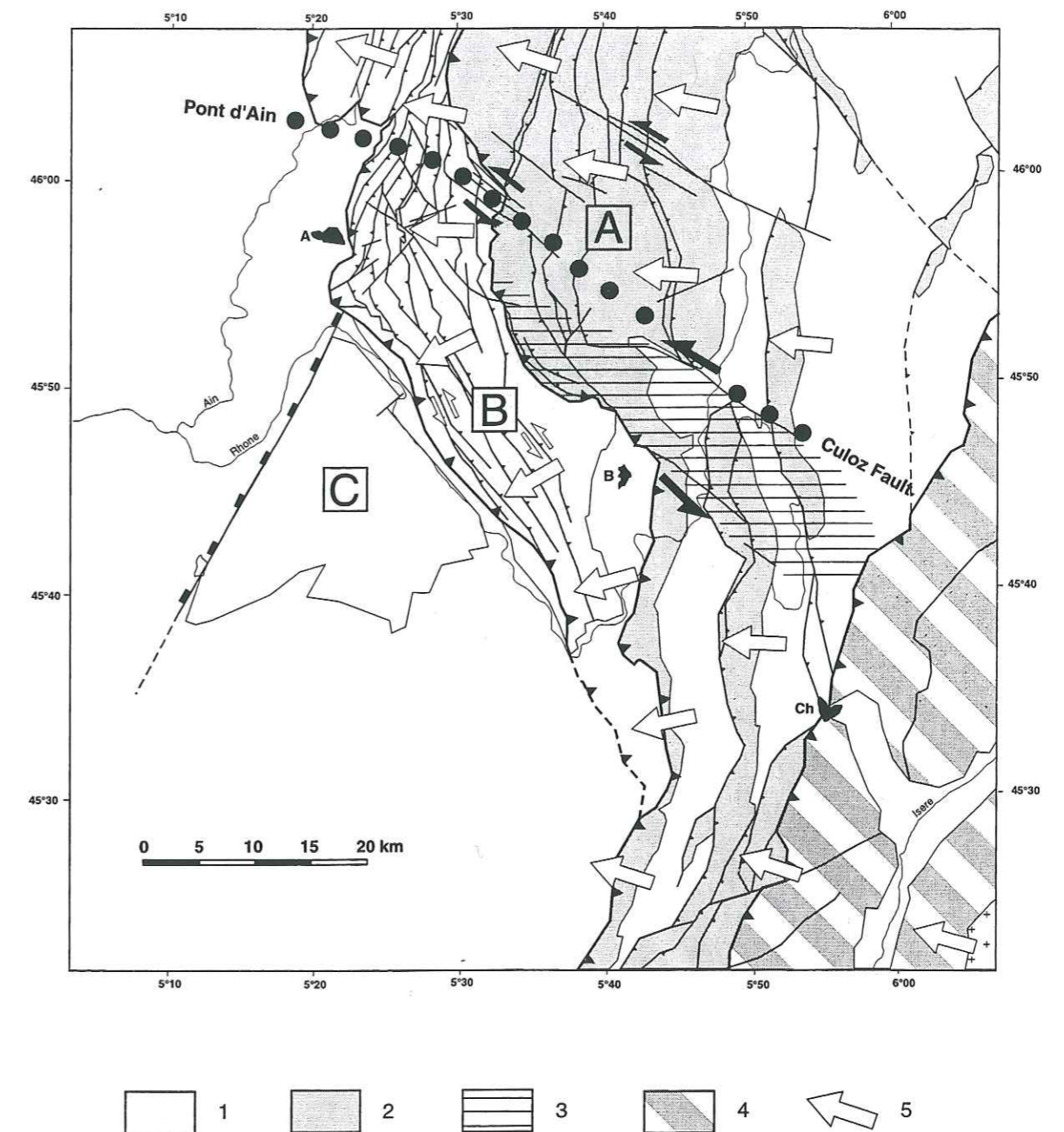


Figure 14: Structural interpretation of the southern transverse termination of Jura thrust belt as the result of a strain-partitioning between the internal and external parts of the Jura thrust belt.

The oblique convergence between the Internal Jura and the Ile Crémieu is almost completely partitioned into pure dip-slip components within the Bugey Faisceau and pure strike-slip along the contact between the latter and the Internal zone.

Accordingly, the Internal Jura acted as a thin-skin indenter inducing a fan-shaped stress field in the external faisceaux zones.

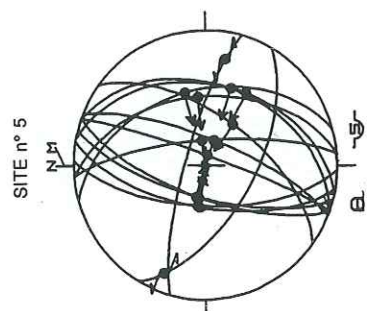
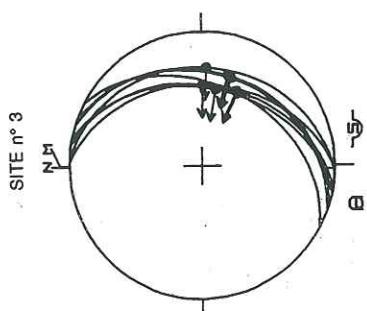
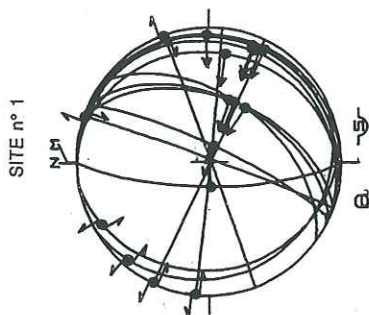
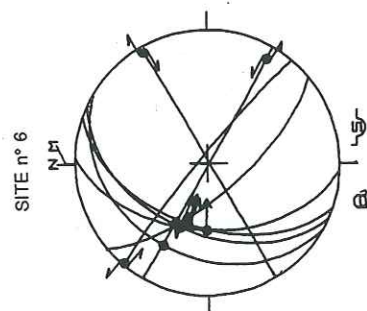
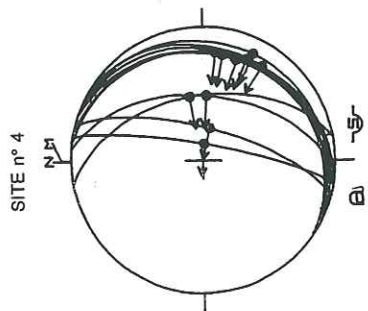
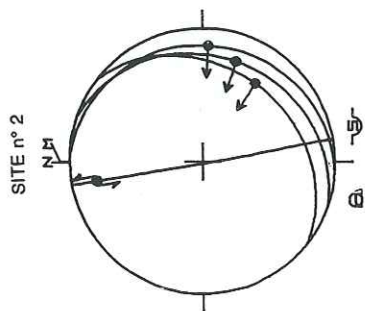
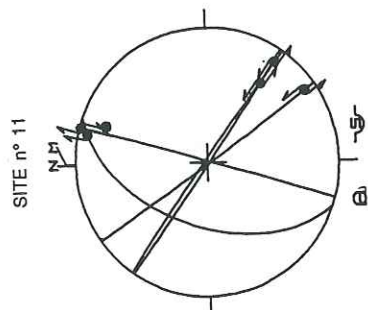
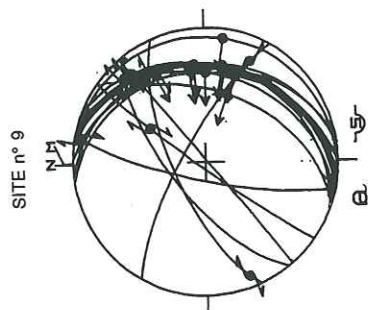
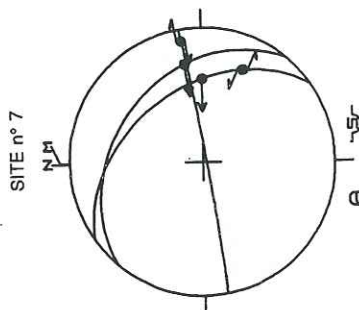
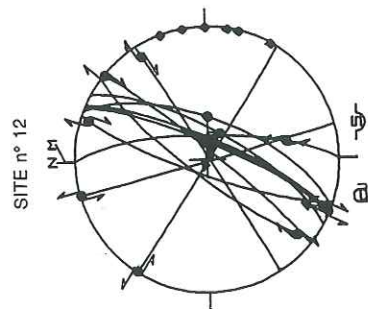
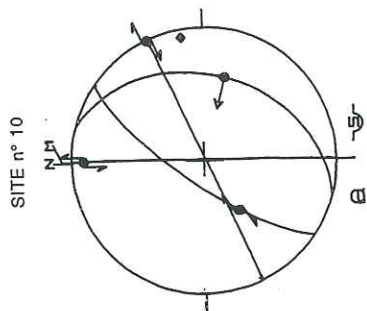
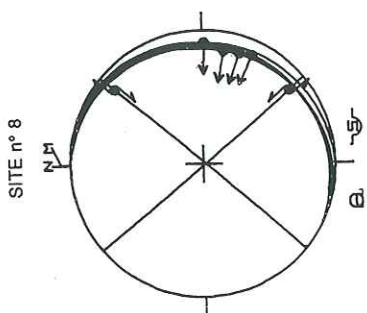
1: External Jura; 2: External Jura; 3: Sinistral intermediate shear-zone; 4: Subalpine domain; 5: principal shortening orientations.



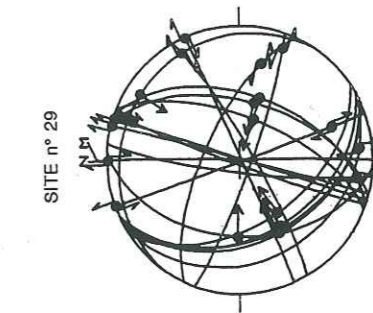
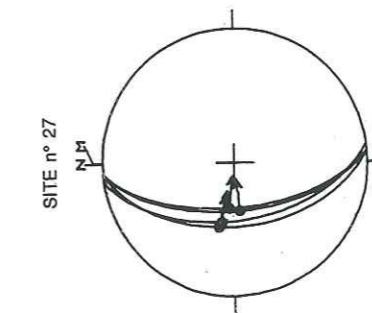
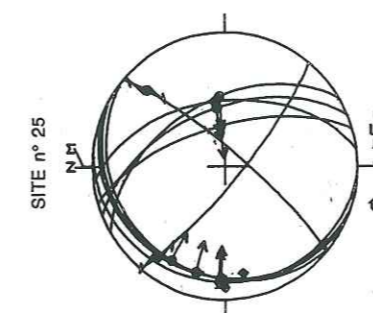
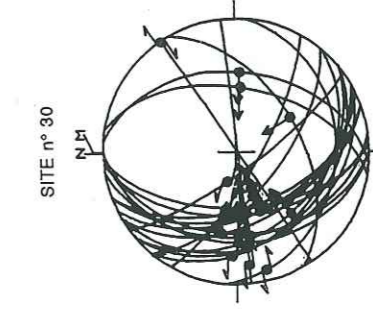
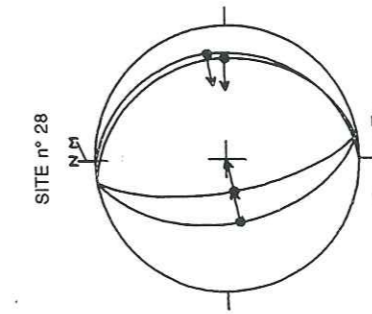
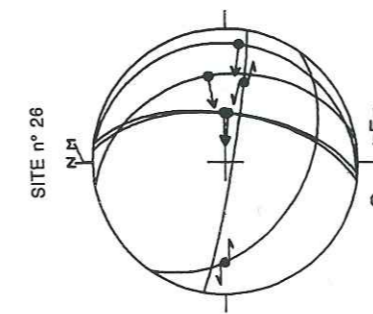
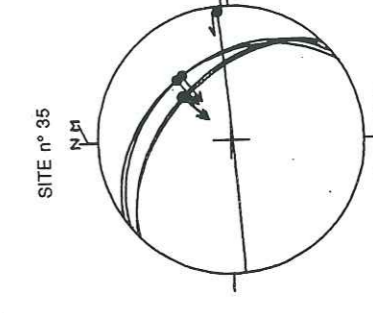
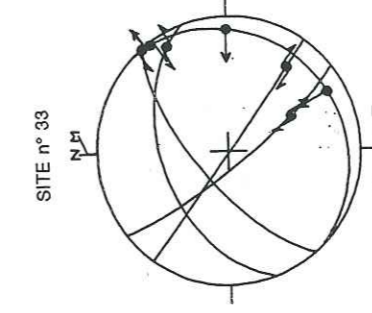
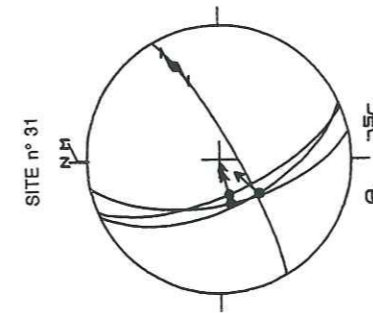
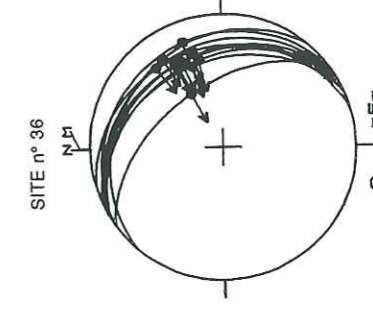
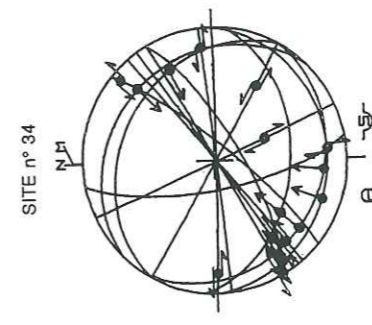
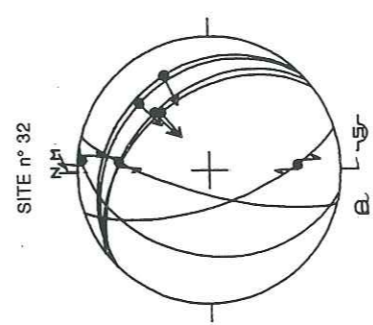
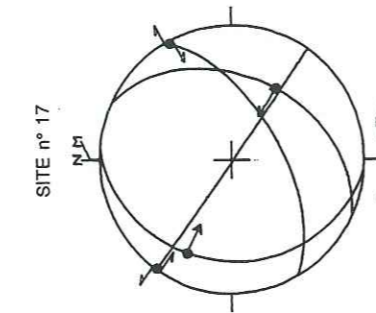
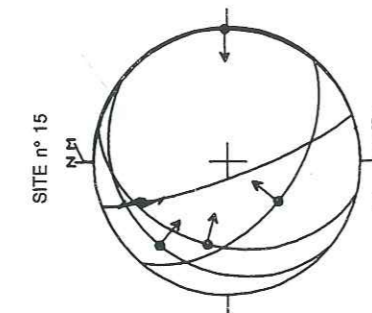
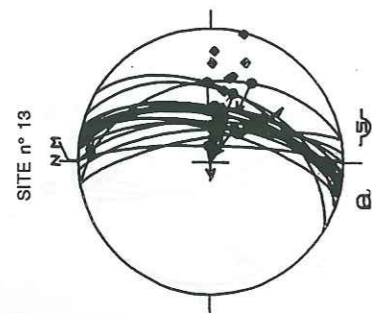
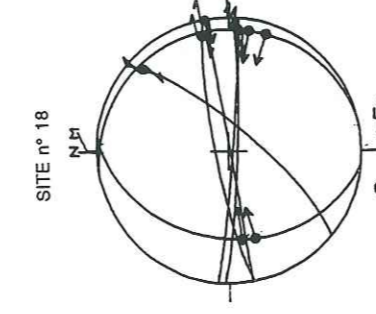
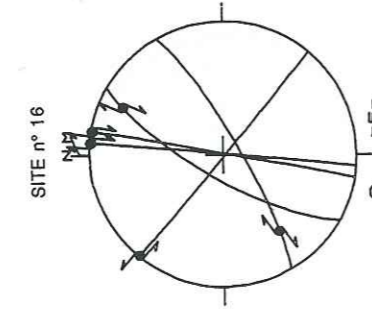
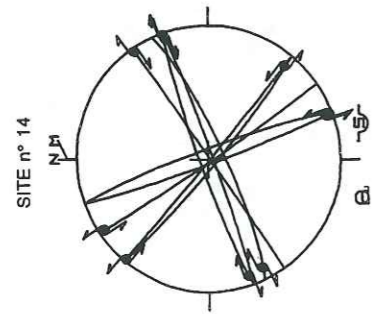
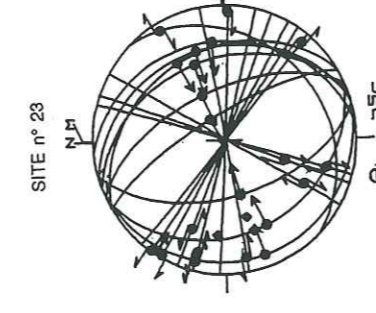
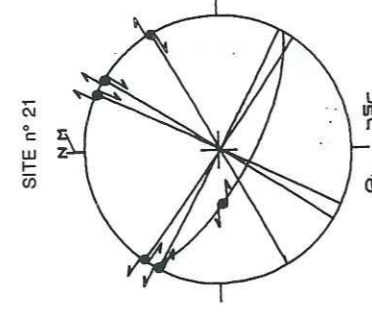
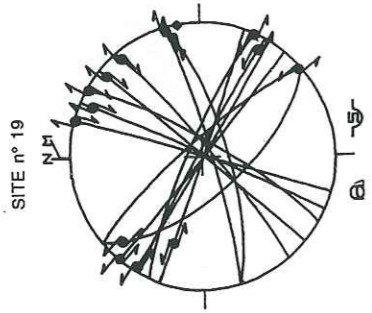
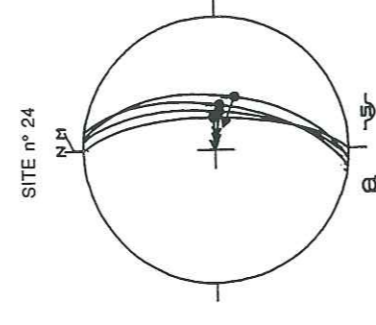
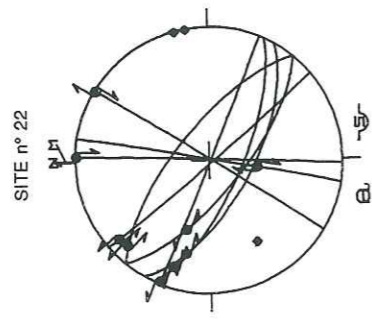
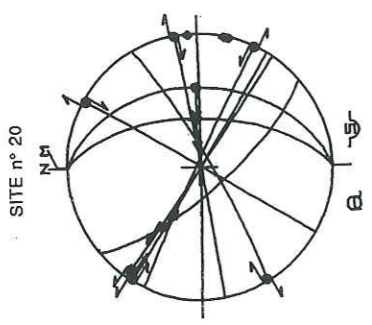
**ANNEXE PARTIE I**

**DONNÉES DE LA MICROTTECTONIQUE CASSANTE**



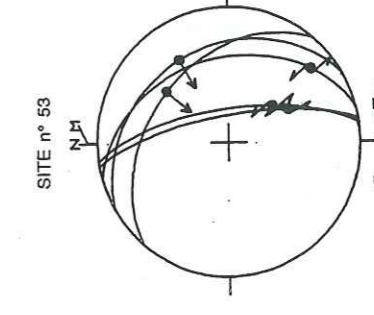
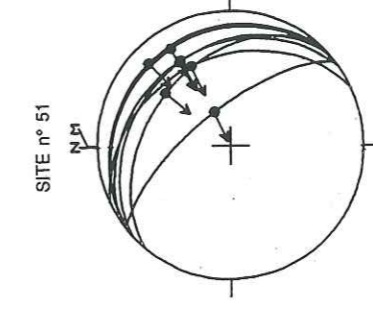
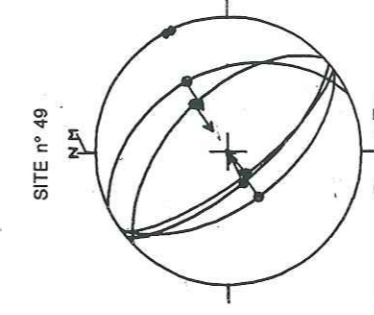
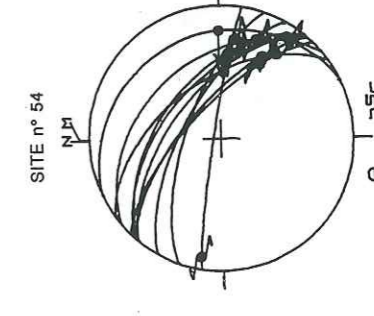
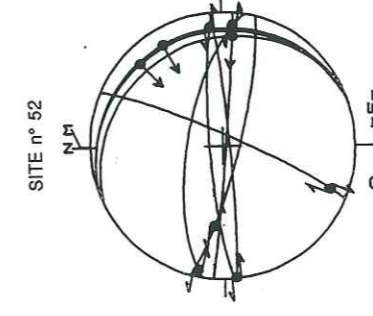
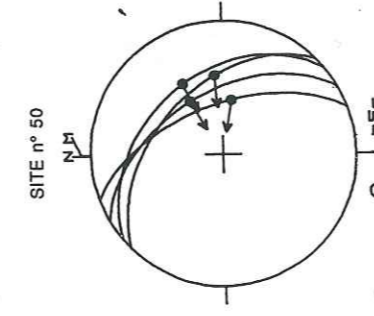
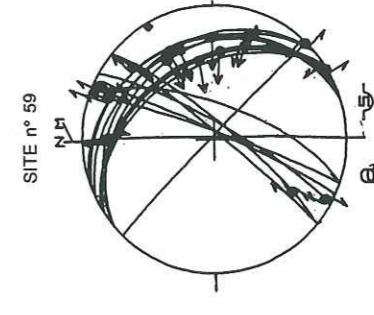
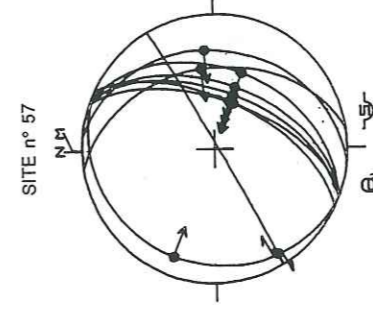
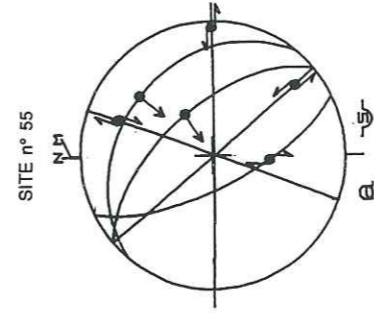
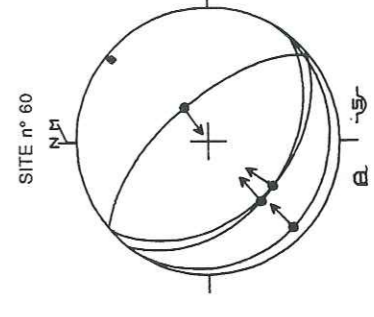
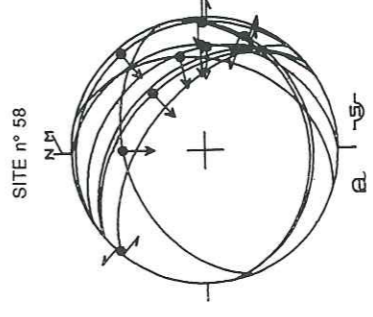
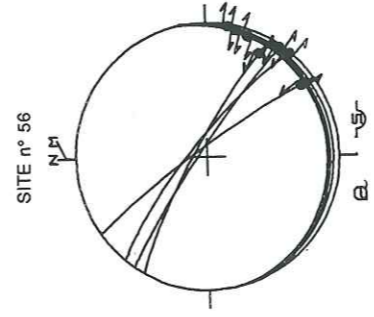
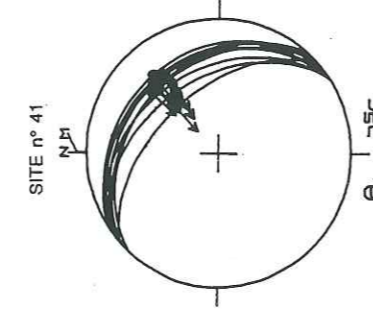
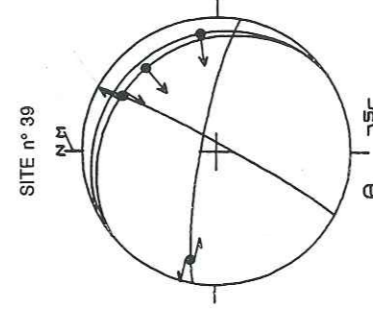
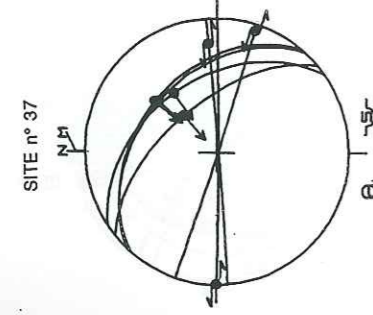
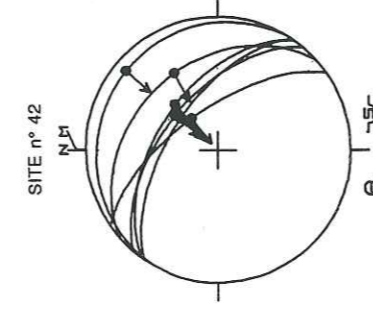
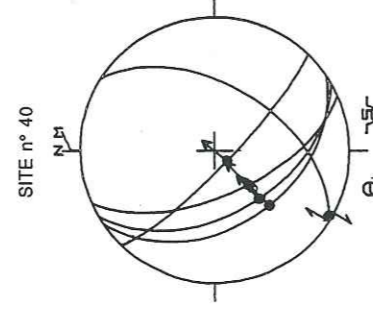
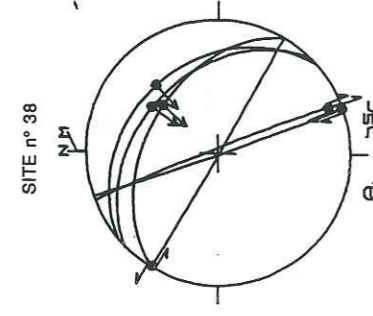
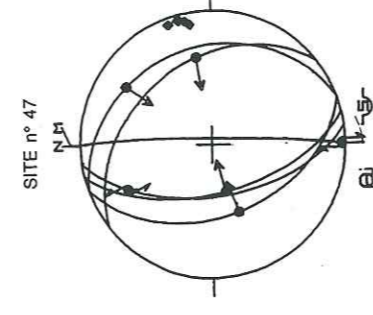
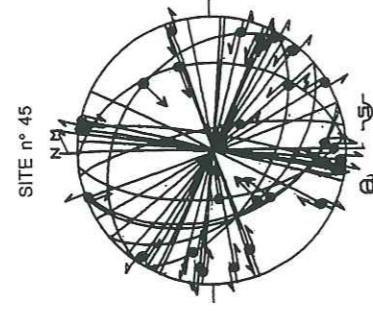
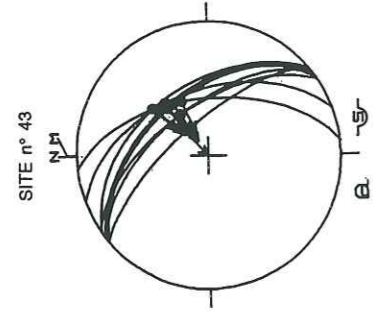
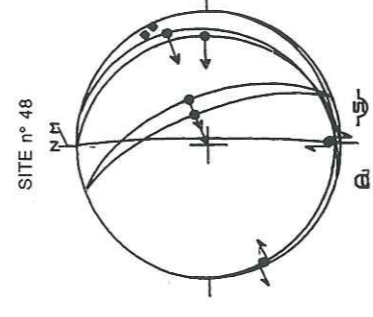
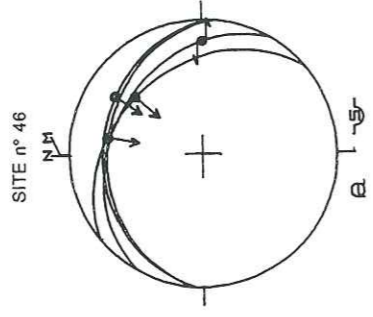
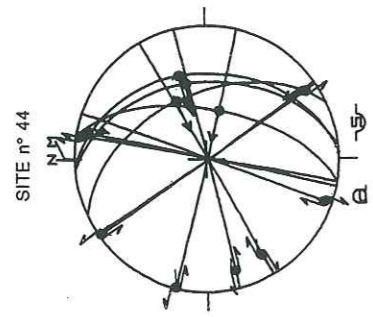






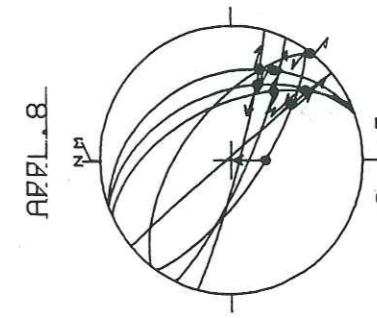
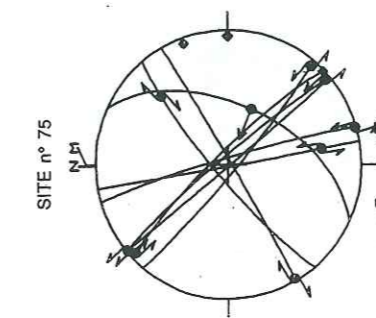
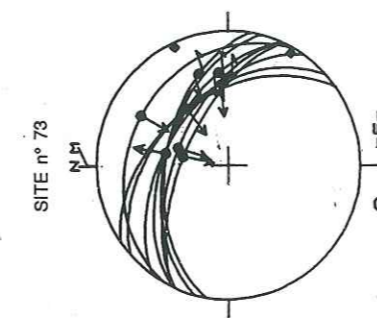
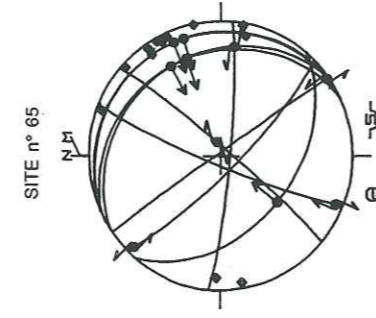
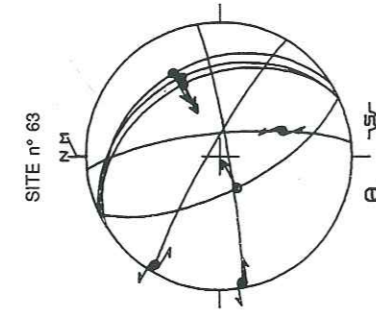
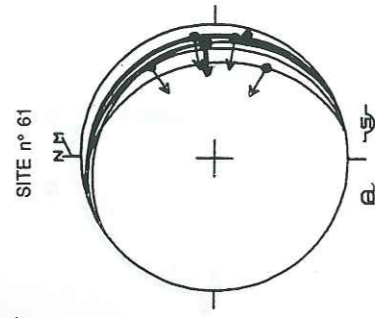
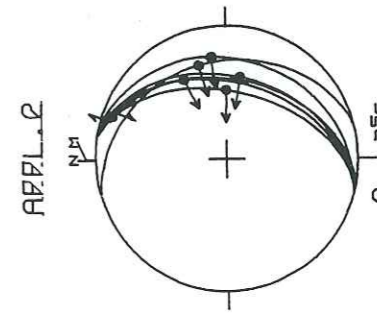
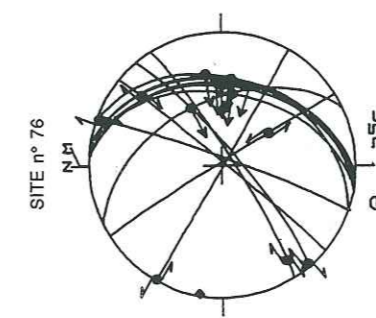
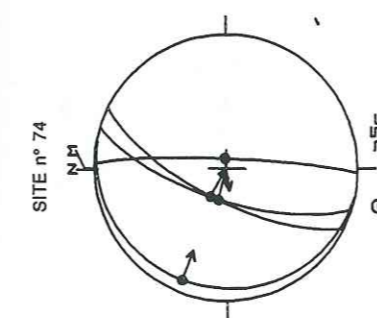
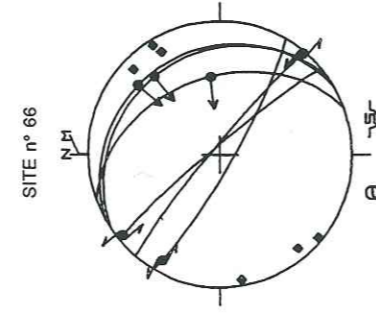
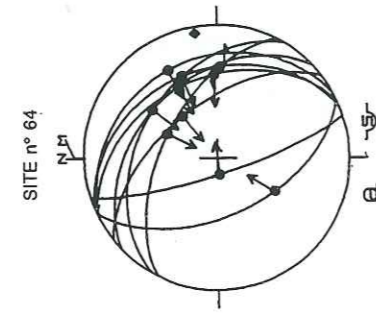
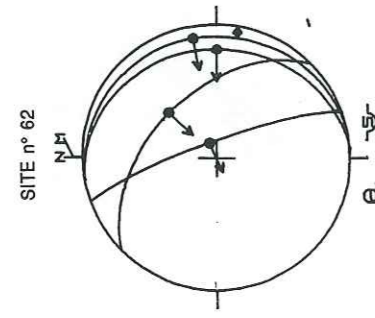
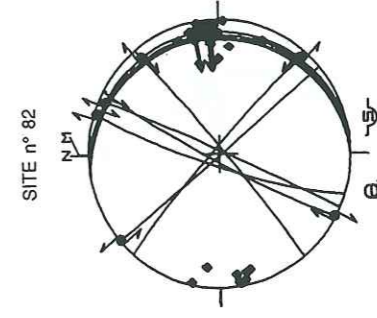
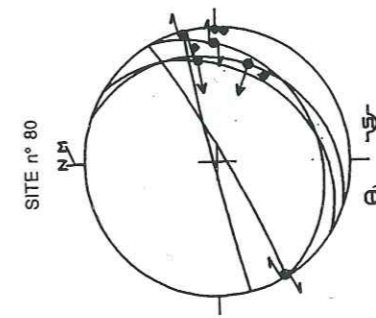
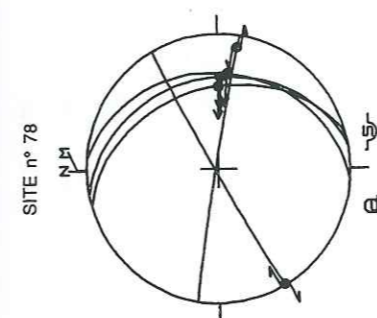
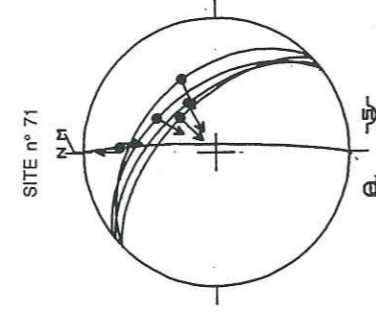
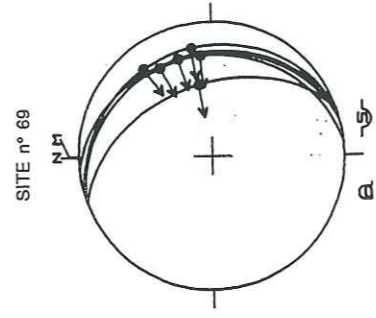
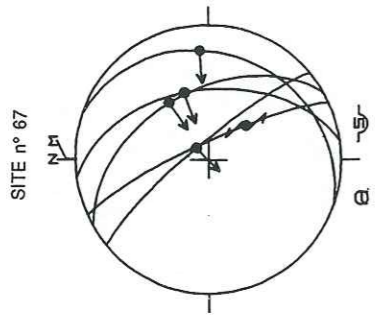
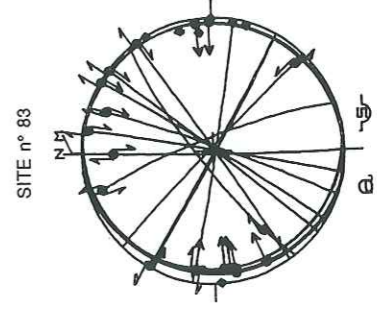
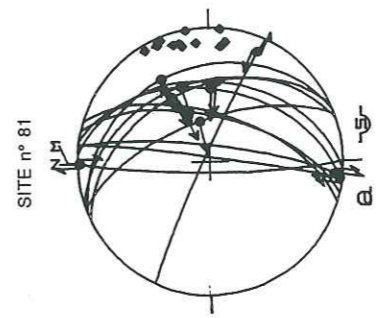
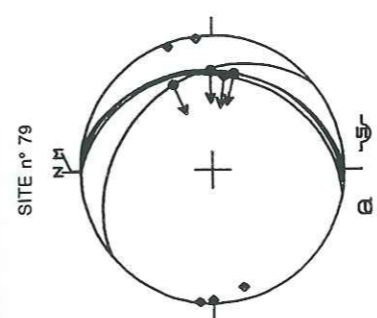
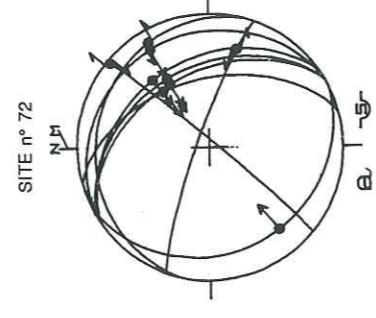
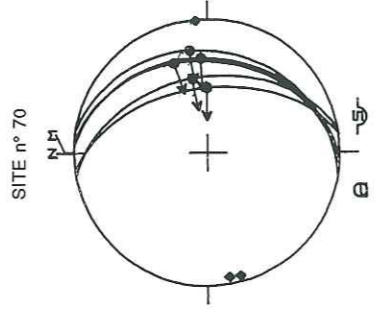
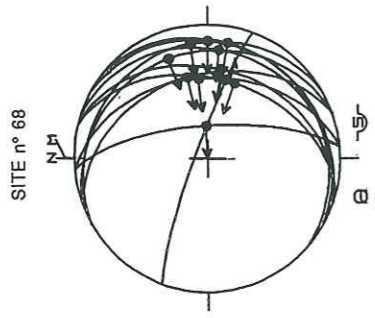
tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012





tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012

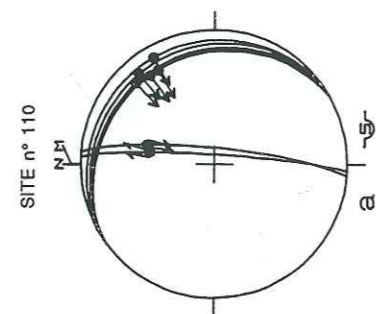
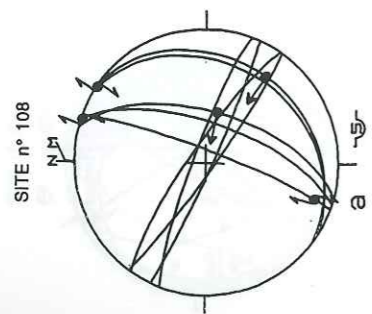
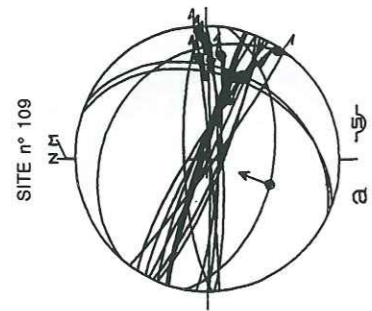








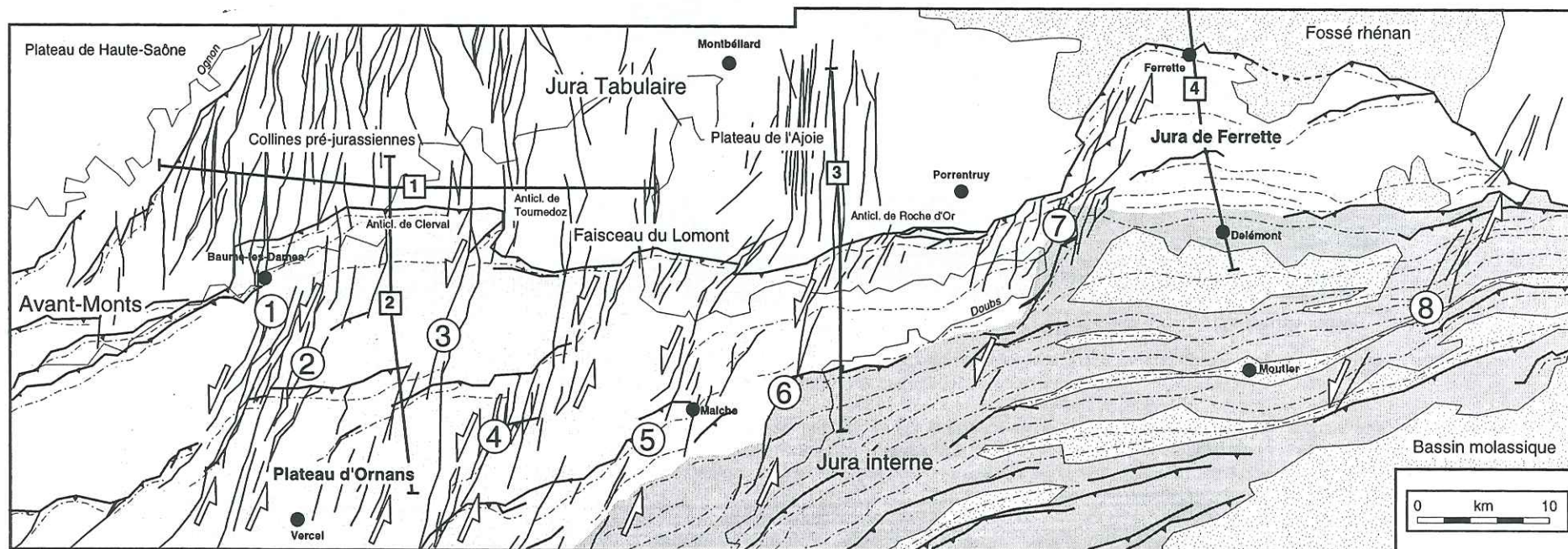




PARTIE II

LE JURA SEPTENTRIONAL





**Figure 1:** Carte structurale du Jura septentrional et localisation des coupes structurales.

- 1: Linéament de St Juan; 2: Linéament de Passavant; 3: Linéament de Germefontaine; 4: Linéament de Belleherbe;  
 5: Linéament de Mancenans; 6: Linéament de Damprichard; 7: Linéament de la Caquerelle; 8: Linéament d'Erschwill.



Figure 2: Coupes structurales simplifiées du Jura tabulaire et du Jura plissé.

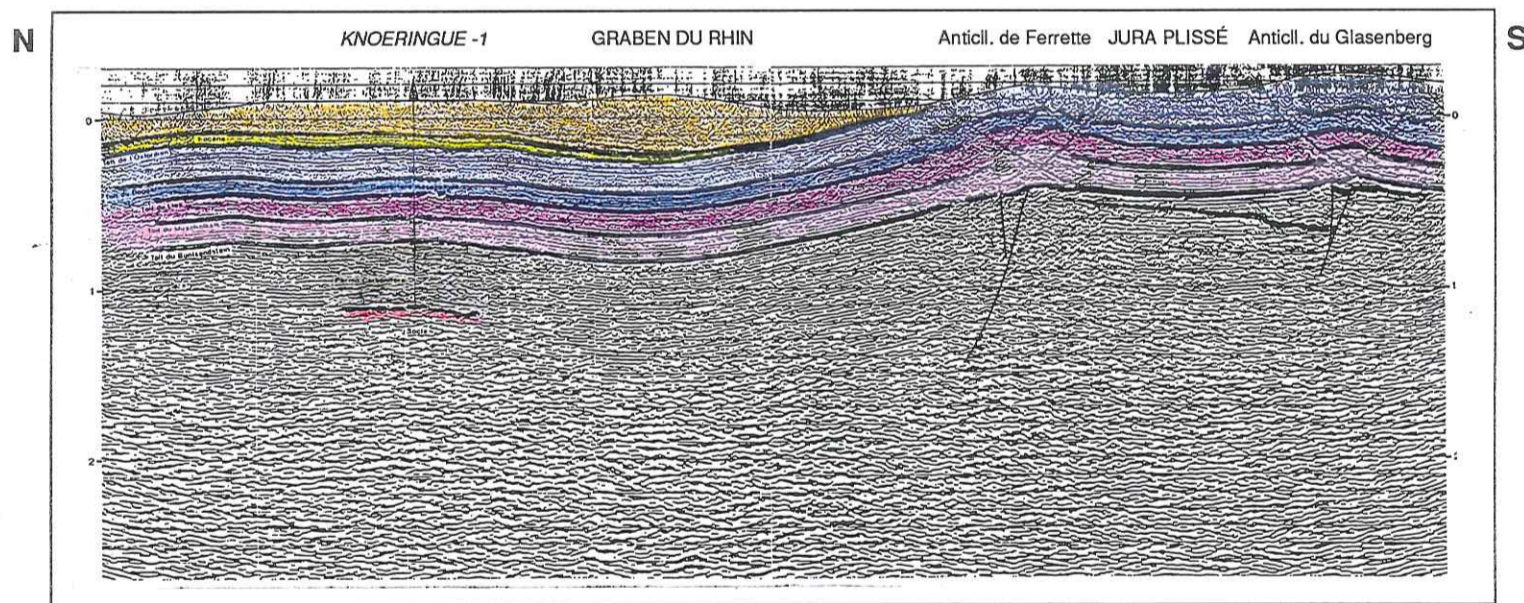
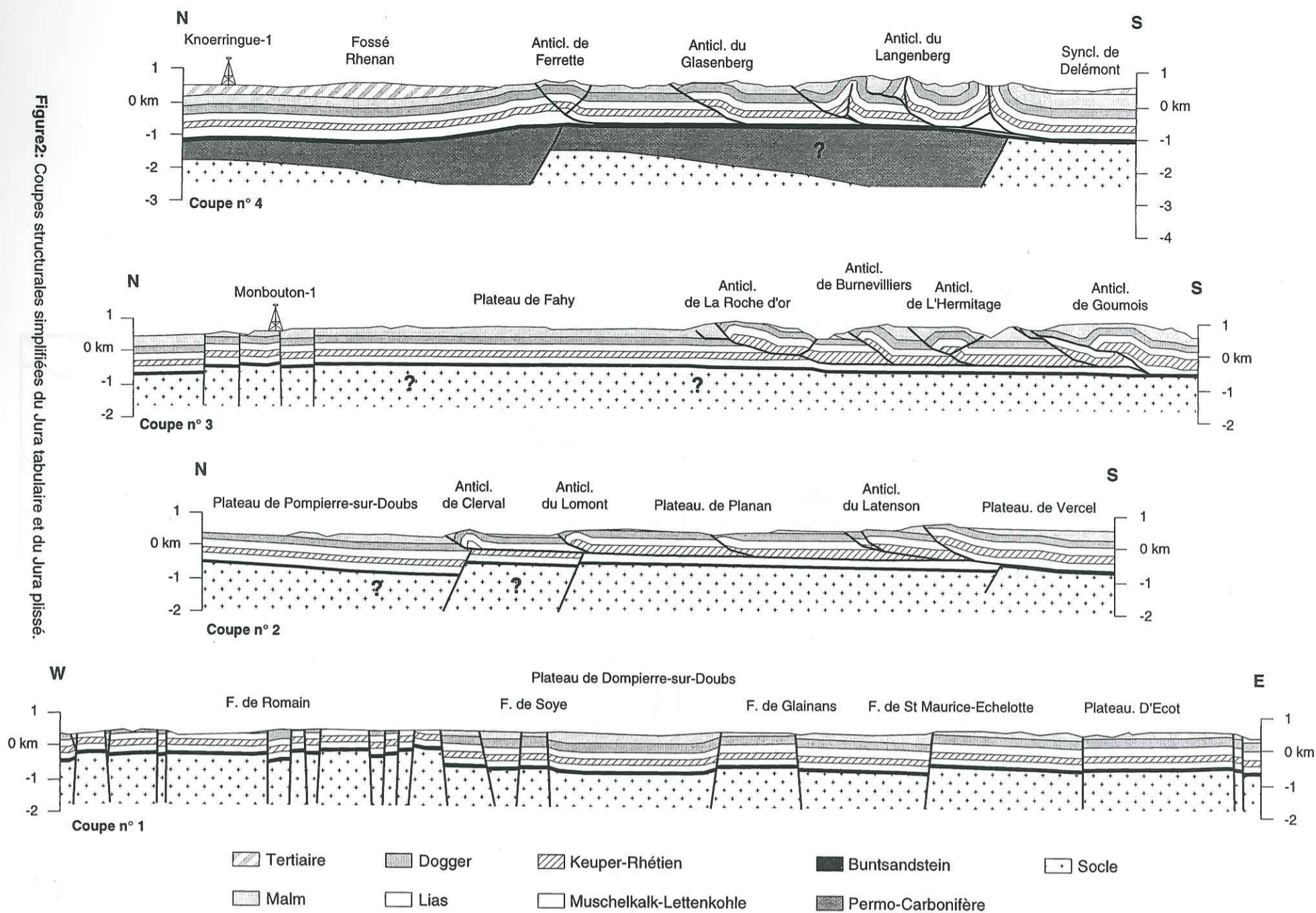


Figure 3: Profil sismique interprété montrant les relations entre le Jura plissé au sud et le Fossé rhénan au nord (publié avec l'aimable autorisation de Pétrole Saint Honoré) et plan de localisation du profil.

L'interprétation de ce profil repose essentiellement sur les données de terrain dans le Jura plissé, d'après une coupe réalisée au préalable à l'échelle 1/25 000. Dans le fossé rhénan, une loi de vitesse a permis de caler approximativement les réflecteurs-temps sur la colonne lithostratigraphique traversée par le forage Knoeringue 1, qui ne dispose pas d'enregistrement sismique.

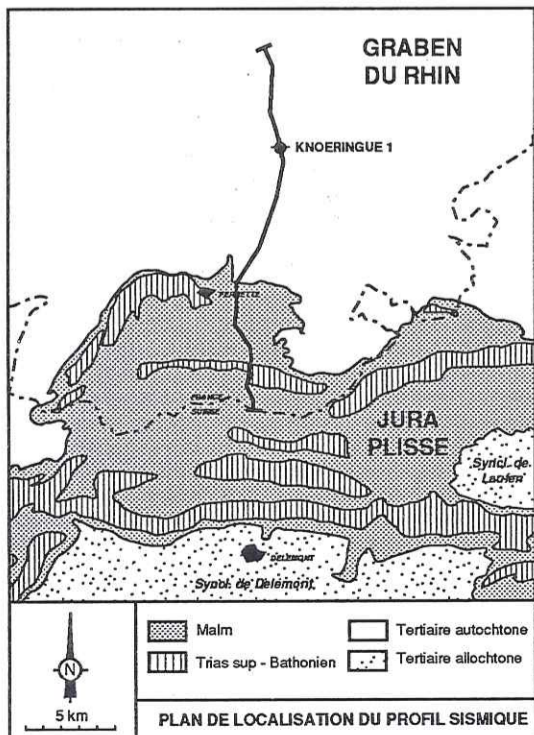
Ce profil traverse 2 domaines structuraux distincts:

(1) - Au sud, le Jura externe dit Jura de Ferrette, qui correspond à un promontoire avancé vers le nord du Jura plissé. Il est constitué par une série de couverture réduite Trias-Jurassique supérieur épaisse environ de 1200 m au maximum, décollée de son substratum (anticlinaux de Ferrette au nord et du Glasenberg au sud) à la faveur des niveaux salifères du Muschelkalk moyen.

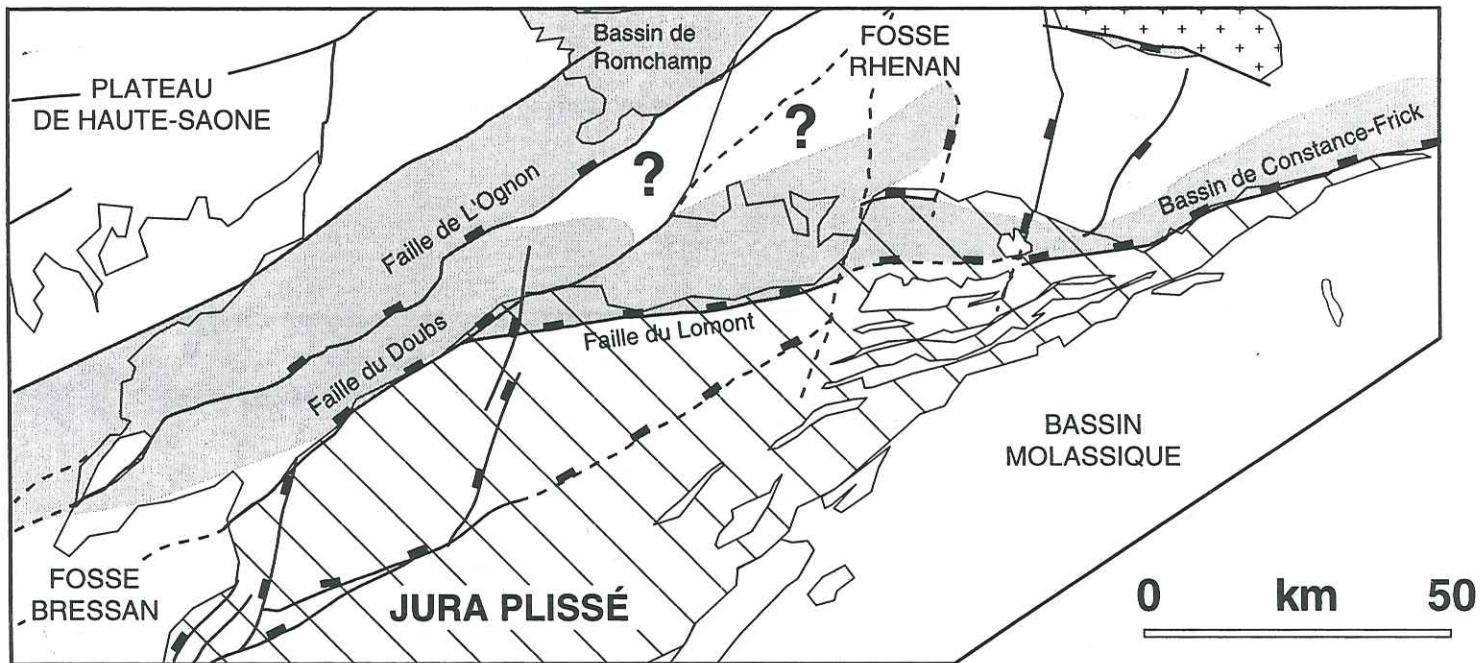
Le contact entre le Jura plissé et la fossé rhénan correspond à un front de déformation simple, sans commune mesure avec le chevauchement frontal du Jura sur la Bresse, puisque les horizons mésozoïques s'ennoient ici progressivement vers le nord sous les séries tertiaires du fossé rhénan. Sous le Jura plissé, les réflecteurs visibles sous le toit du Buntsandstein correspondent très probablement à des horizons du Paléozoïque supérieur, en continuité latérale avec les séries permo-carbonifères du bassin de Constance-Frick situé à l'est (cf. figure 4).

(2) - Au nord, la partie méridionale du graben du Rhin, qui montre une série de couverture mésozoïque Trias - Jurassique supérieur identique à celle qui affleure dans le Jura plissé, recouverte en discordance angulaire progressive (onlaps vers le sud) par le remplissage Eocène-Oligocène du fossé. Les données du forage Knoeringue 1 et les affleurements de surface montrent bien que l'Eocène se biseaute et disparaît vers le sud où les niveaux oxfordiens sont recouverts directement par l'Oligocène.

Ce type de relation sédimentaire indique que depuis le Paléogène la zone correspondant actuellement au front du Jura plissé est restée en position haute, et que le contact Jura plissé-graben du Rhin se superpose à une zone de flexure profonde qui accommode la remontée progressive du socle et de sa couverture vers le sud.







**Figure 4:** Carte simplifiée du socle anté-triasique (Laubscher, 1986; modifié).

Noter la superposition entre le front de chevauchement du Jura plissé et la présence de failles de socle en profondeur qui bordent un certain nombre de bassins permo-carbonifères.



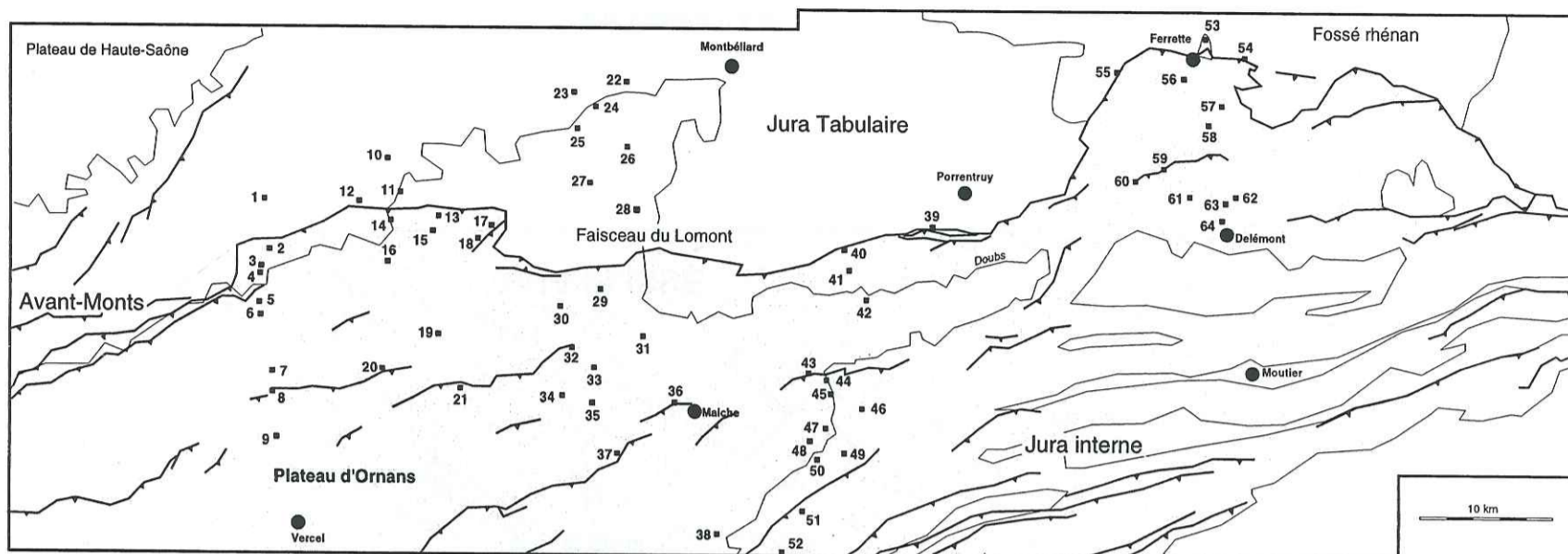


Figure 5: Localisation des sites de mesures.

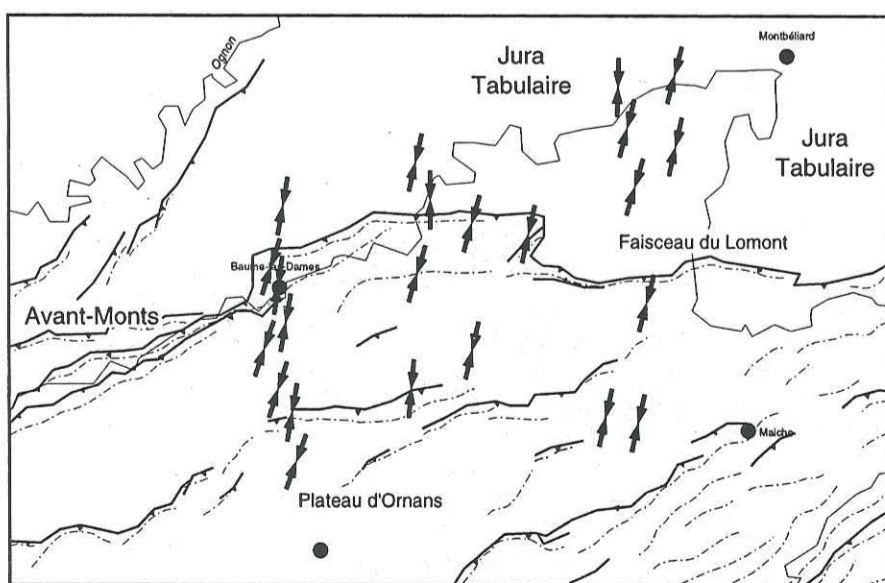
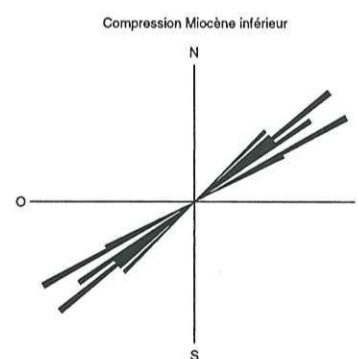
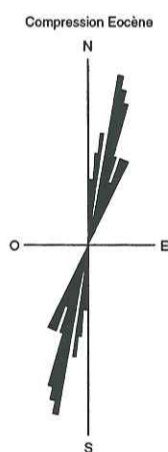


Figure 6: Carte des directions de la contrainte Eocène.

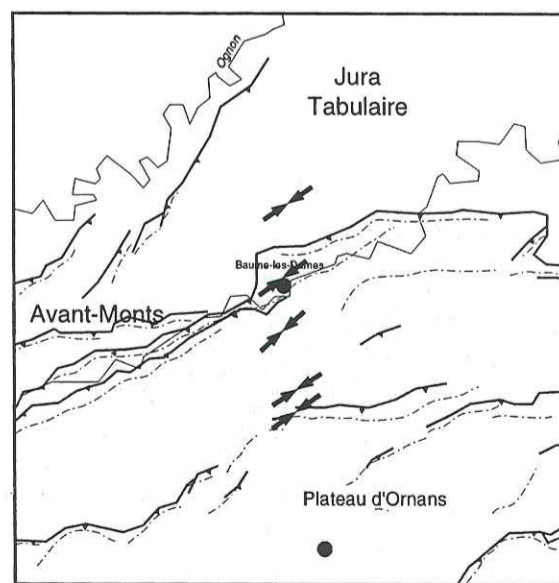


Figure 7: Carte des directions de la contrainte Miocène inférieur.



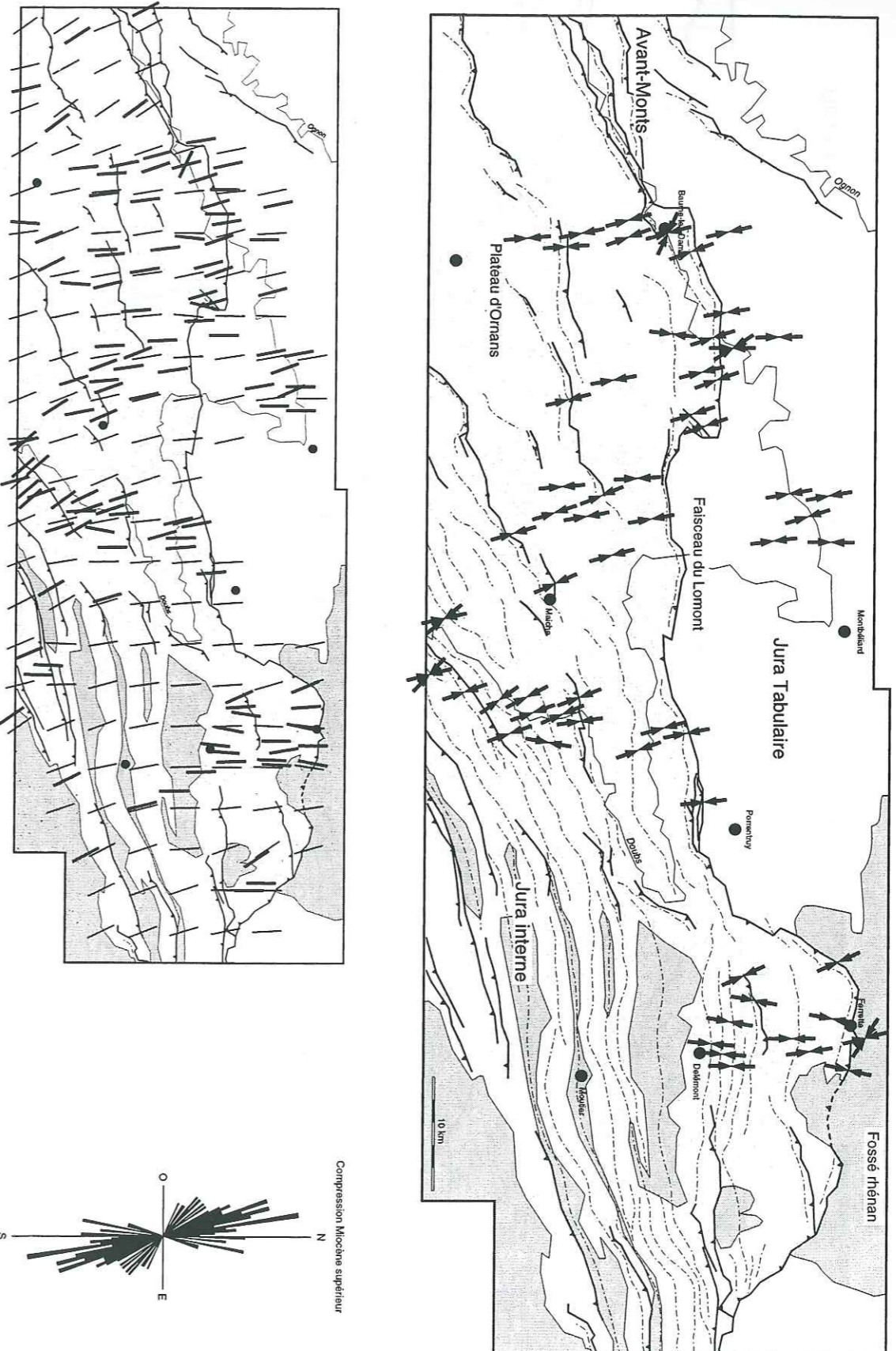


Figure 8: Carte des direction de la contrainte Mio-Pliocène et interpolation des données sur l'ensemble de la zone étudiée.

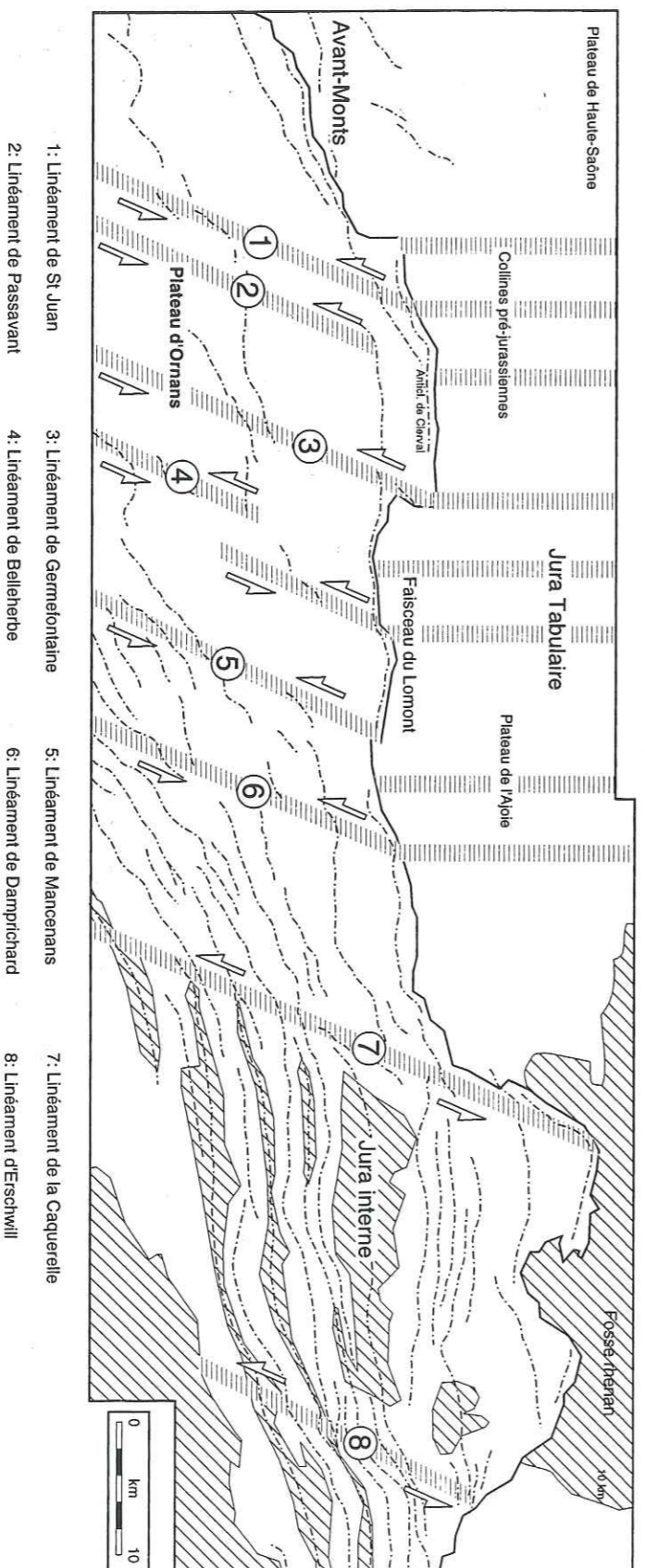
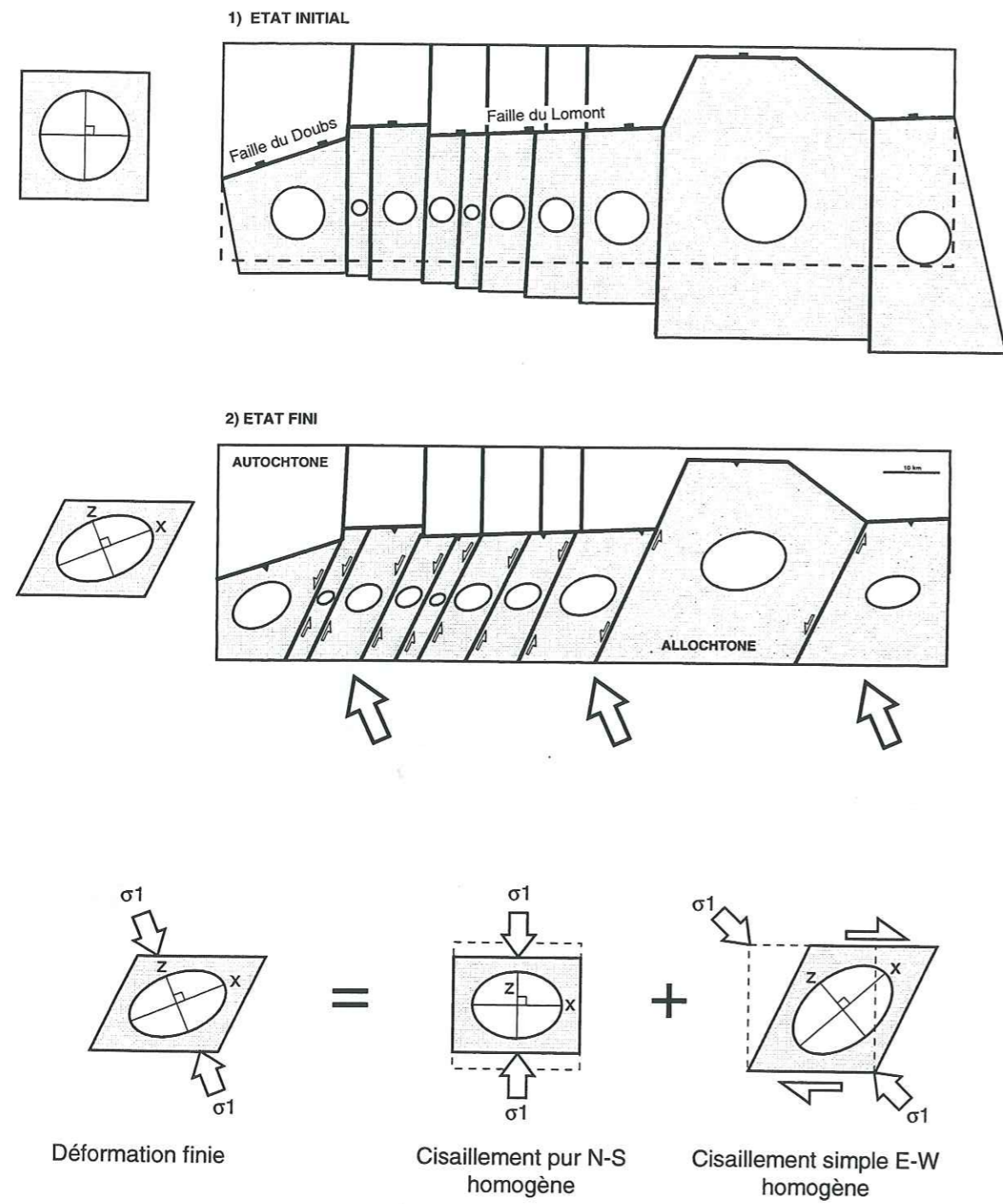


Figure 9a: Schéma de localisation des principaux accidents anté-miocènes dans le Jura septentrional.

Noter l'obliquité nette entre la direction des accidents situés dans le Jura tabulaire au nord du front de la chaîne (N-S) et celles des accidents situés dans le Jura plissé et externe (NNE-SSW), au sud du front de décollement sur le Trias.





Déformation homogène: pas de "strain-partitioning"

Figure 9b: Évolution cinématique très schématique du Jura septentrional au Mio-Pliocène.

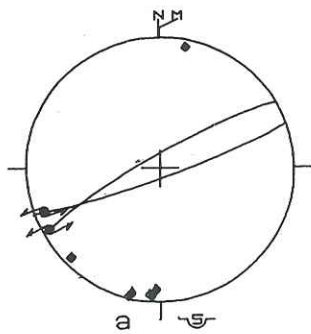
ANNEXE PARTIE II

DONNÉES DE LA MICROTTECTONIQUE CASSANTE

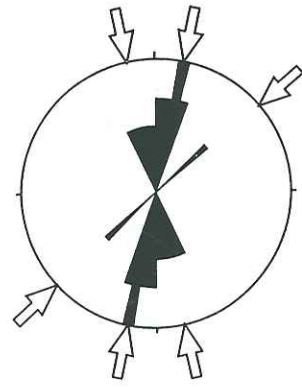
tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



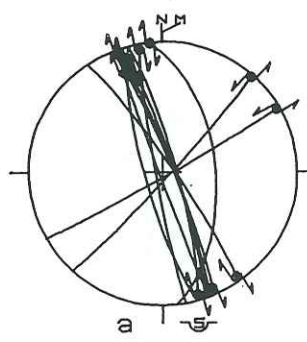
SITE n° 1: compression Eocène



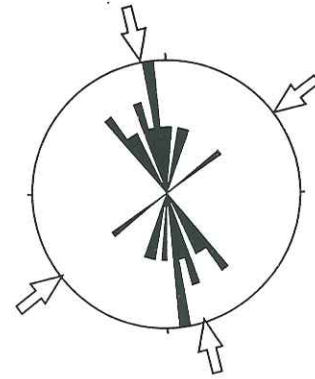
SITE n° 1: stylolites



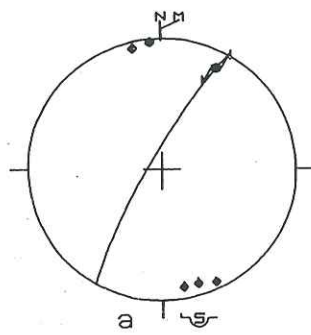
SITE n° 3: compression Eocène



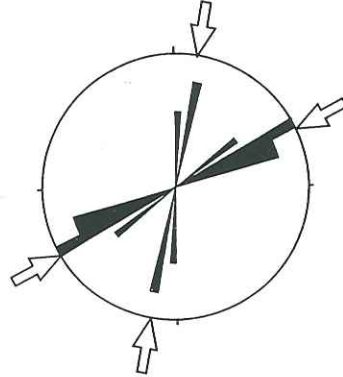
SITE n° 3: stylolites



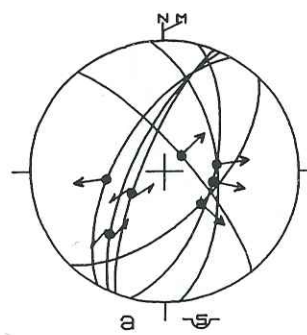
SITE n° 1: compression Miocène sup.



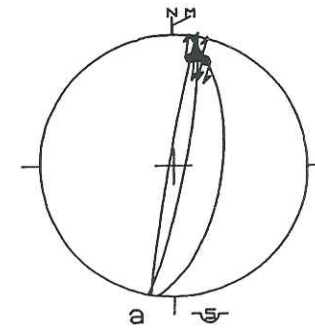
SITE n° 1: fentes de tension



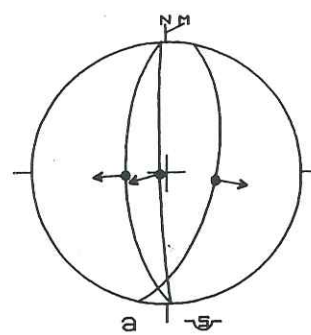
SITE n° 3: extension Oligocène



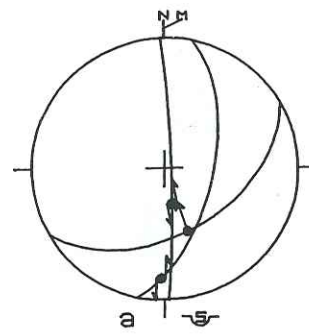
SITE n° 3: compression Miocène inf.



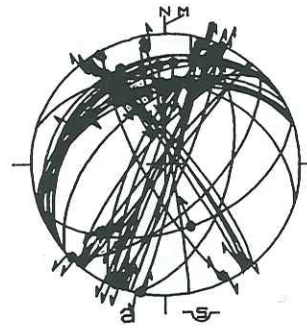
SITE n° 2: extension Oligocène



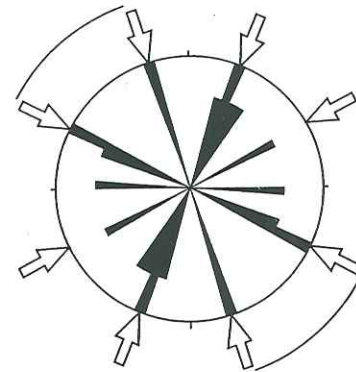
SITE n° 2: compression Miocène sup.



SITE n° 3: compression Miocène sup.

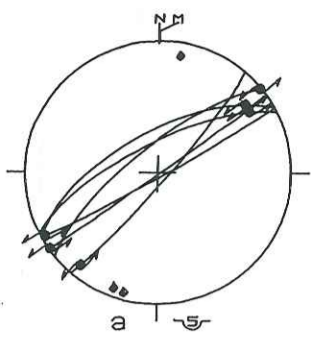


SITE n° 3: fentes de tension

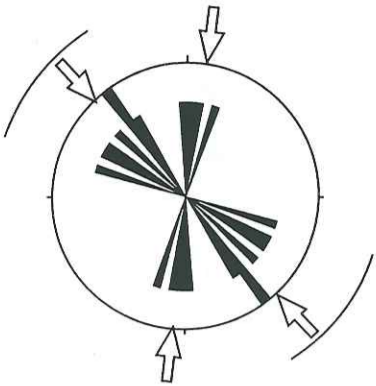




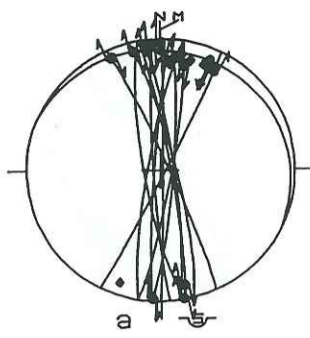
SITE n° 4: compression Eocène



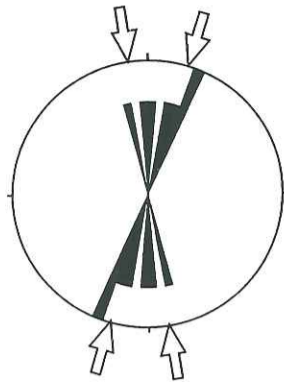
SITE n° 4: fentes de tension



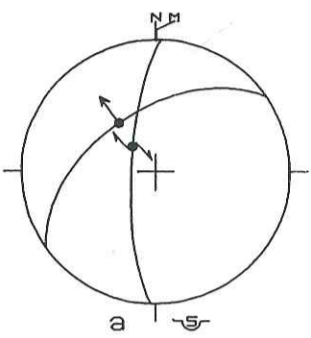
SITE n° 6: compression Eocène



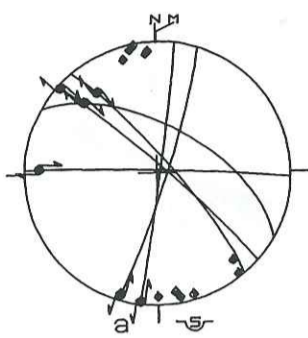
SITE n° 6: stylolites



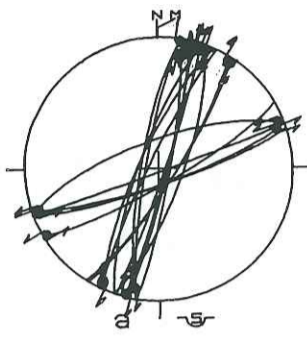
SITE n° 4: extension Oligocène



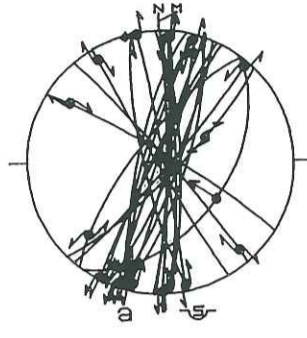
SITE n° 4: compression Miocène sup.



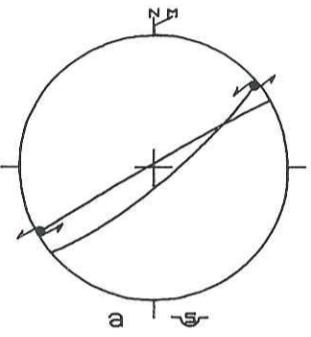
SITE n° 6: compression Miocène inf.



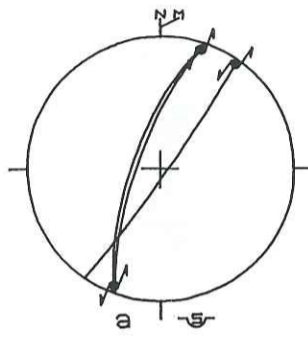
SITE n° 3: compression Miocène sup.



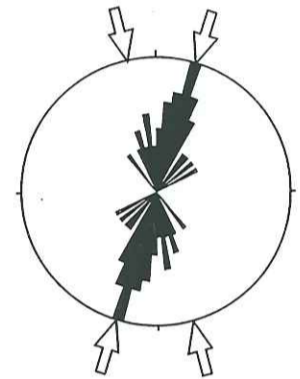
SITE n° 5: compression Eocène



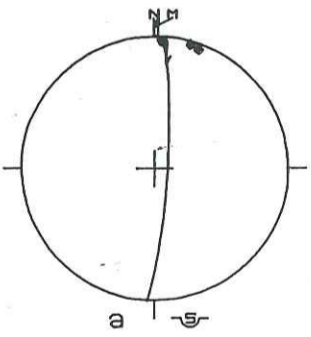
SITE n° 5: compression Miocène sup.



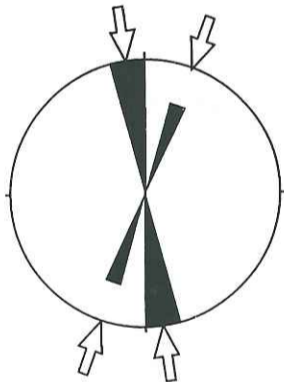
SITE n° 6: fentes de tension



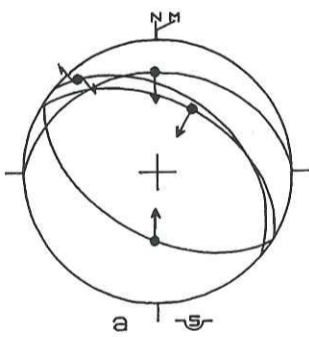
SITE n° 7: compression Eocène



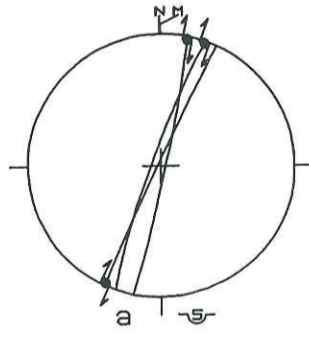
SITE n° 7: stylolites



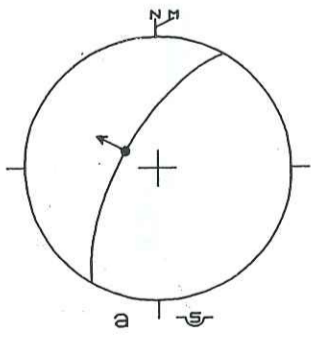
SITE n° 8: compression Eocène



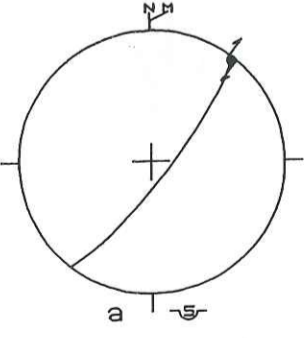
SITE n° 8: compression Miocène inf.



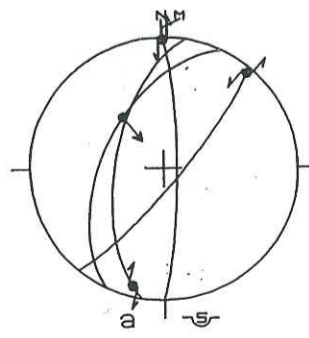
SITE n° 7: extension Oligocène



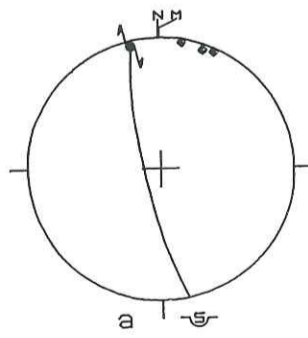
SITE n° 7: compression Miocène inf.



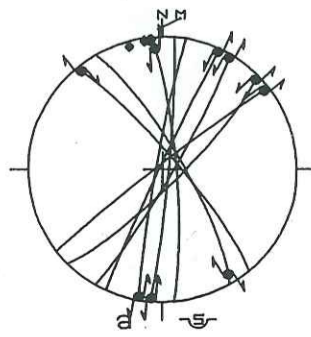
SITE n° 8: compression Miocène sup.



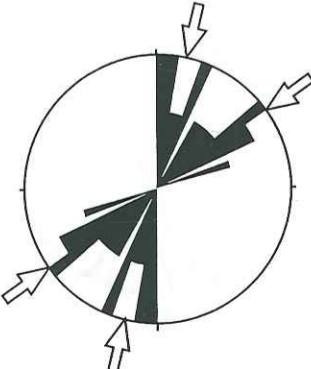
SITE n° 9: compression Eocène



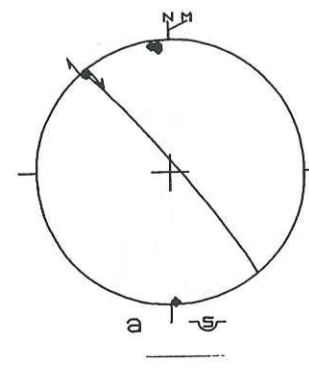
SITE n° 7: compression Miocène sup.



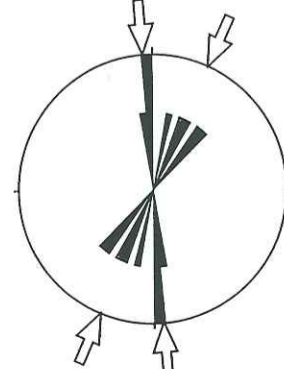
SITE n° 7: fentes de tension



SITE n° 9: compression Miocène sup.

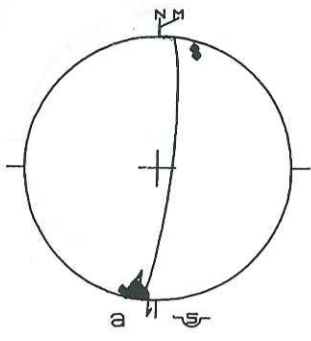


SITE n° 9: stylolites

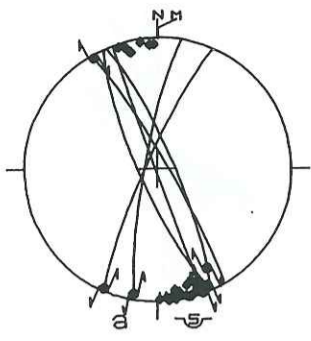




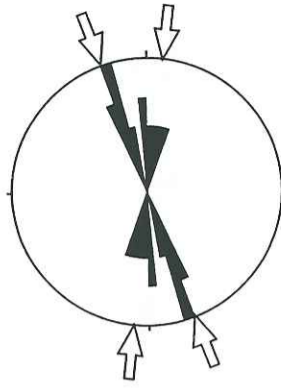
SITE n° 10: compression Eocène



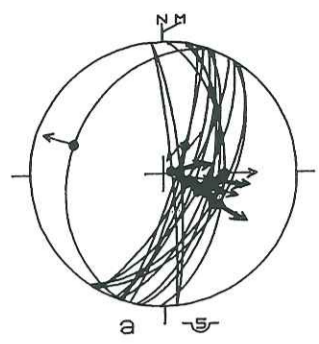
SITE n° 10: compression Miocène sup.



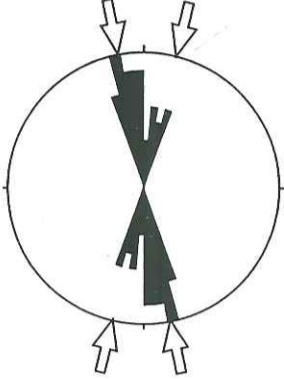
SITE n° 13: stylolites



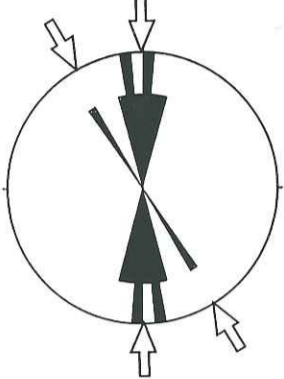
SITE n° 13: extension Oligocène



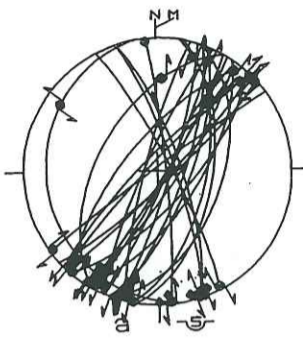
SITE n° 10: stylolites



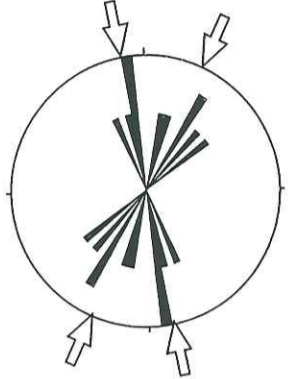
SITE n° 11: stylolites



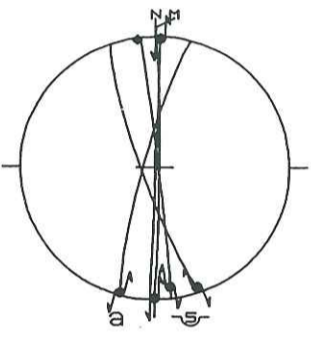
SITE n° 13: compression Miocène sup.



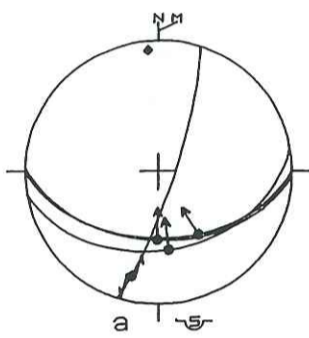
SITE n° 13: fentes de tension



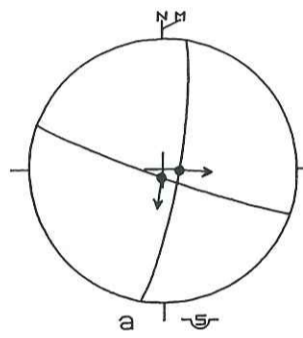
SITE n° 12: compression Miocène sup.



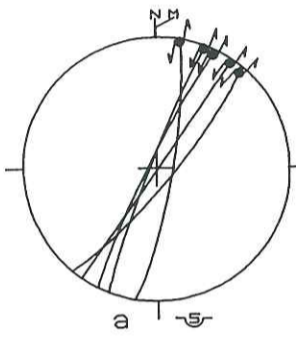
SITE n° 14: compression Miocène sup.



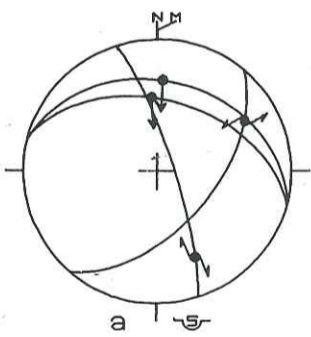
SITE n° 15: extension Oligocène



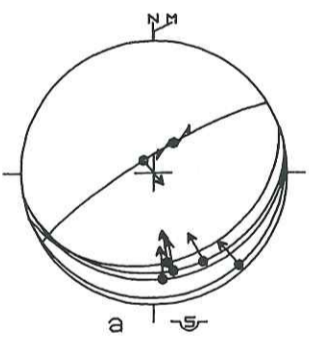
SITE n° 15: compression Miocène sup.



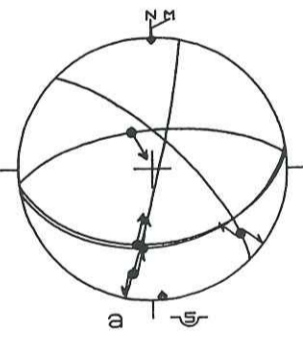
SITE n° 16: compression Miocène sup.



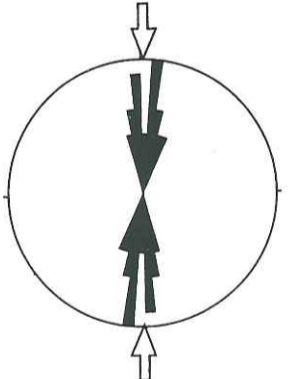
SITE n° 18: compression Miocène sup.



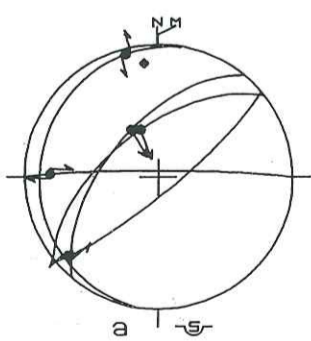
SITE n° 21: compression Miocène sup.



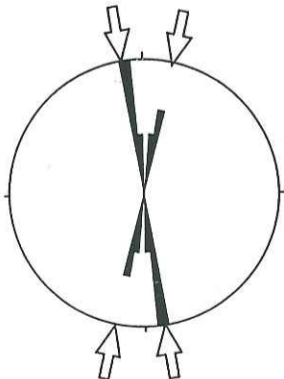
SITE n° 22: stylolites



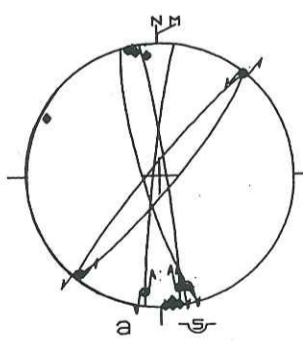
SITE n° 17: compression Miocène sup.



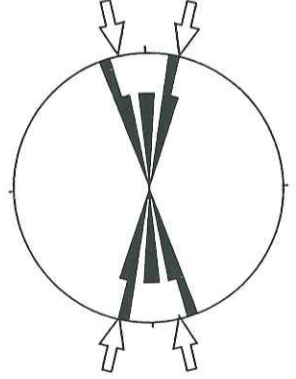
SITE n° 17: stylolites



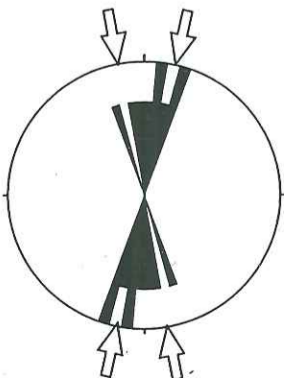
SITE n° 22: compression Miocène sup.



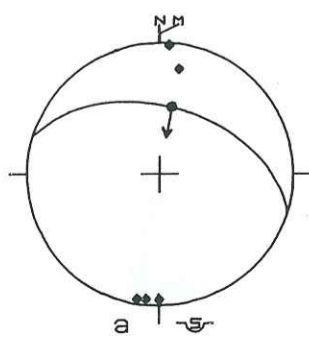
SITE n° 22: fentes de tension



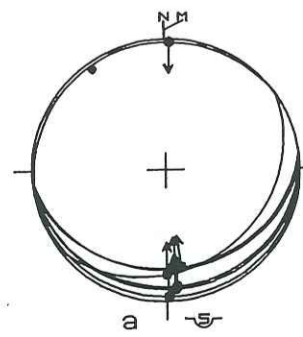
SITE n° 19: stylolites



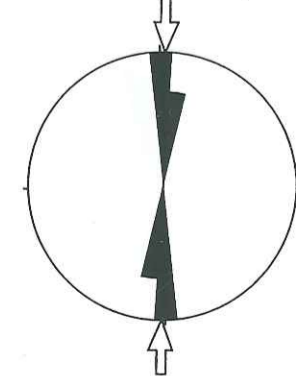
SITE n° 20: compression Eocène



SITE n° 23: compression Miocène sup.

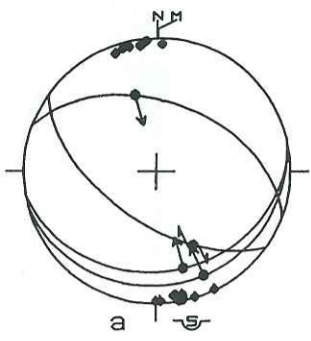


SITE n° 23: fentes de tension

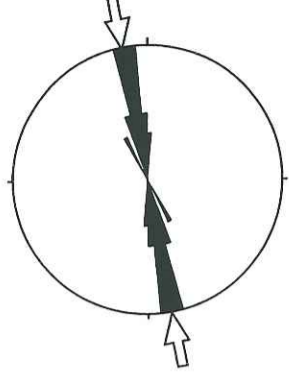




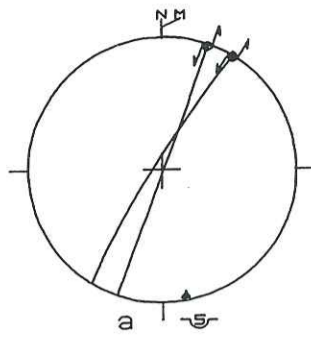
SITE n° 24: compression Miocène sup.



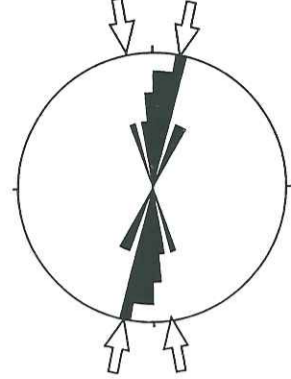
SITE n° 24: stylolites



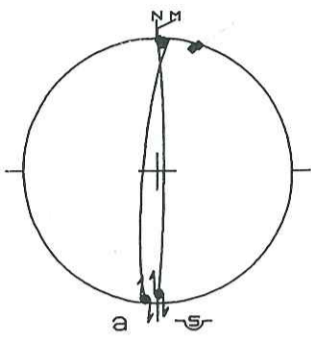
SITE n° 26: compression Miocène sup.



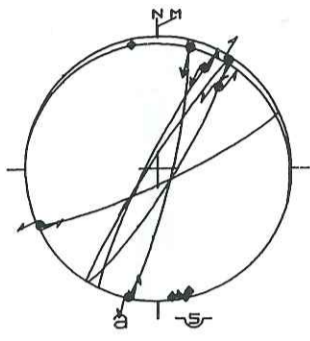
SITE n° 26: stylolites



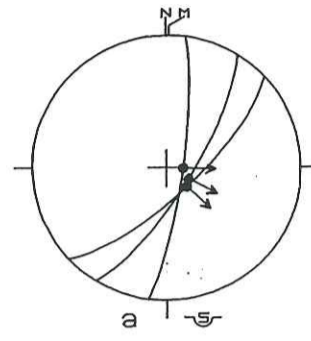
SITE n° 25: compression Eocène



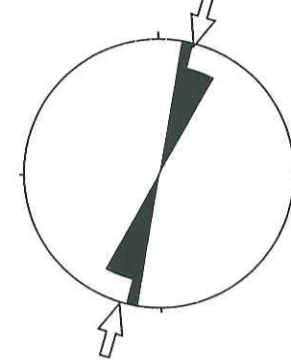
SITE n° 25: compression Miocène sup.



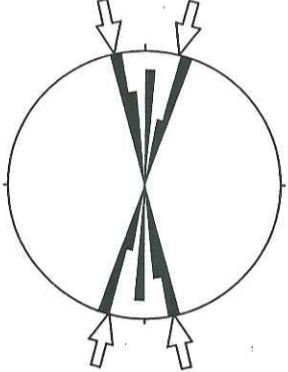
SITE n° 27: extension Oligocène



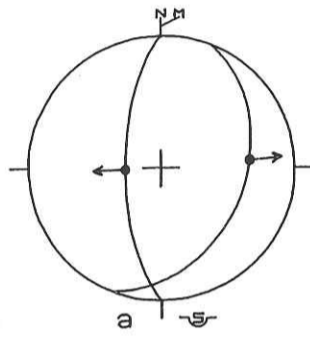
SITE n° 27: stylolites



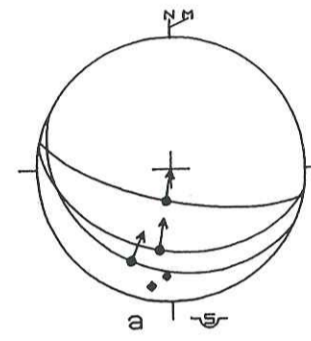
SITE n° 25: stylolites



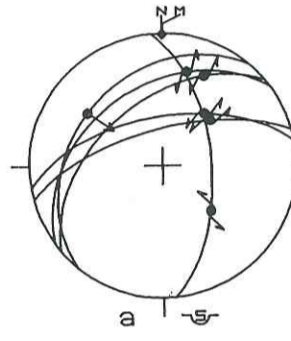
SITE n° 28: extension Oligocène



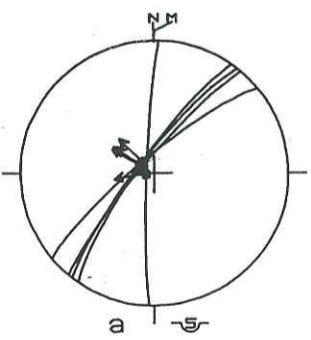
SITE n° 29: compression Eocène



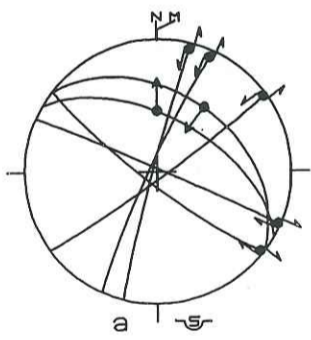
SITE n° 29: compression Miocène sup.



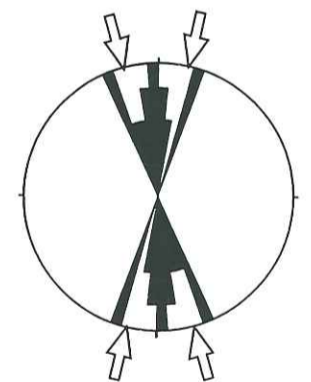
SITE n° 30: extension Oligocène



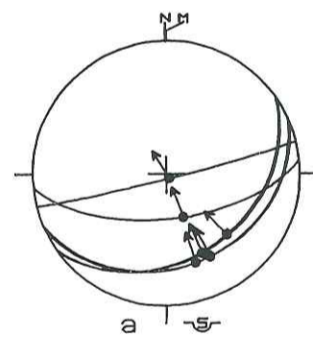
SITE n° 30: compression Miocène sup.



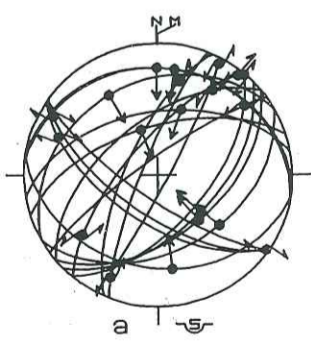
SITE n° 35: stylolites



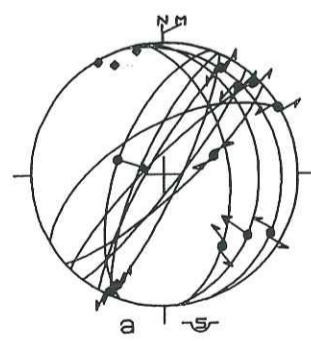
SITE n° 36: compression Miocène sup.



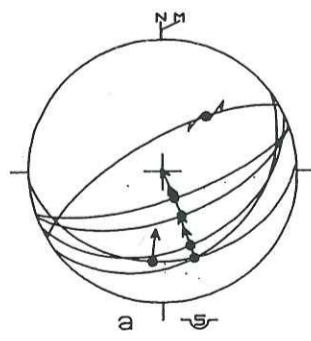
SITE n° 31: compression Miocène sup.



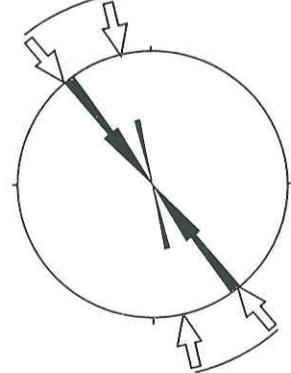
SITE n° 32: compression Miocène sup.



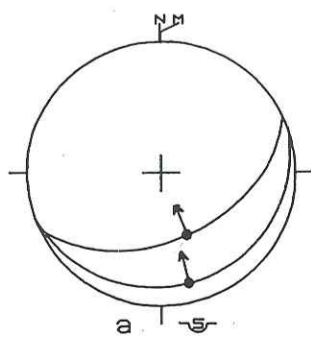
SITE n° 37: compression Miocène sup.



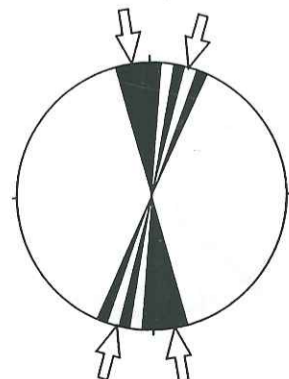
SITE n° 38: stylolites



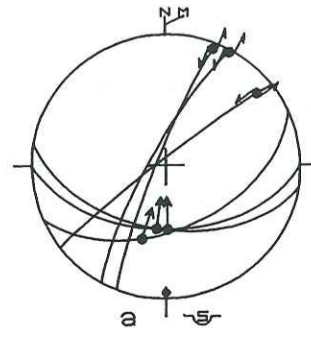
SITE n° 33: compression Miocène sup.



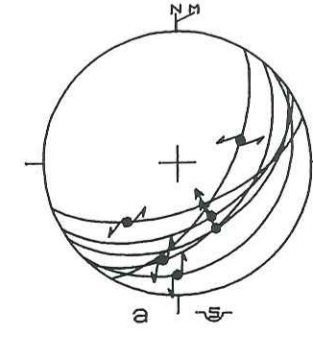
SITE n° 34: stylolites



SITE n° 39: compression Miocène sup.

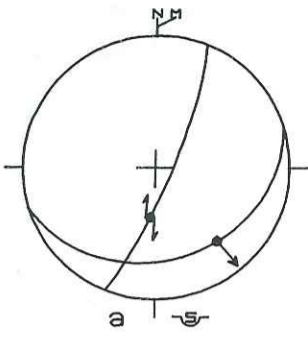


SITE n° 40: compression Miocène sup.

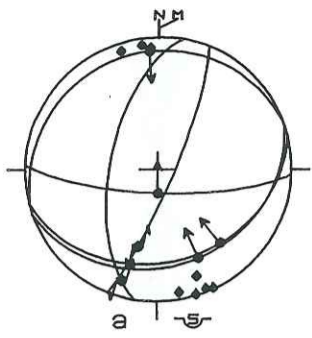




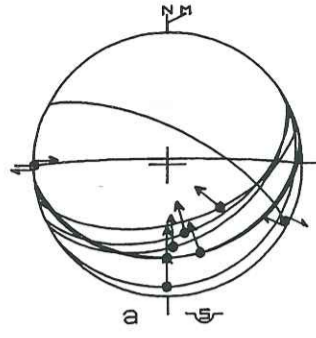
SITE n° 41: extension Oligocène



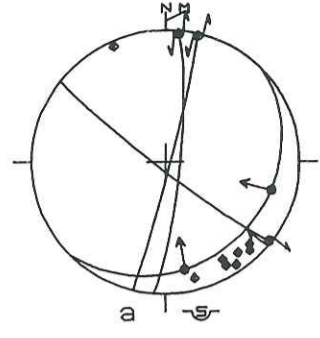
SITE n° 41: compression Miocène sup.



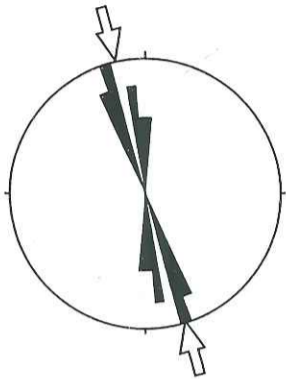
SITE n° 45: compression Miocène sup.



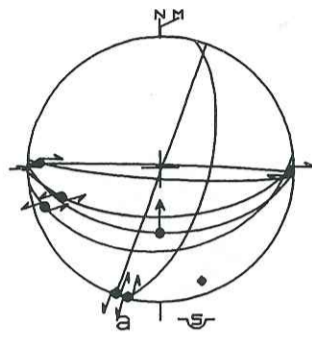
SITE n° 47: compression Miocène sup.



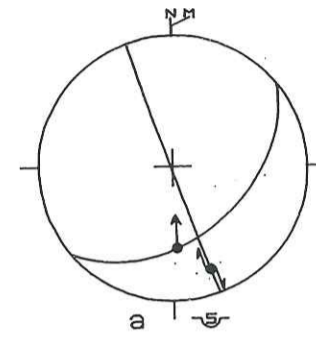
SITE n° 41: stylolites



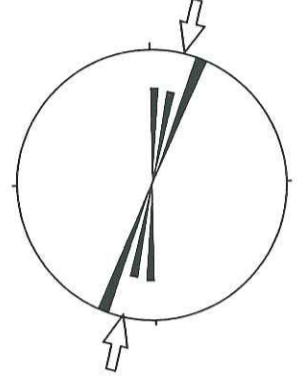
SITE n° 42: compression Miocène sup.



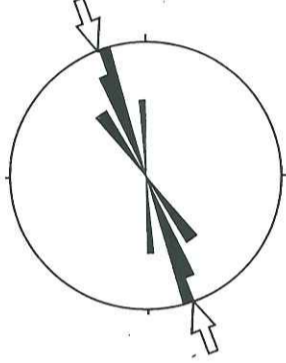
SITE n° 46: compression Miocène sup.



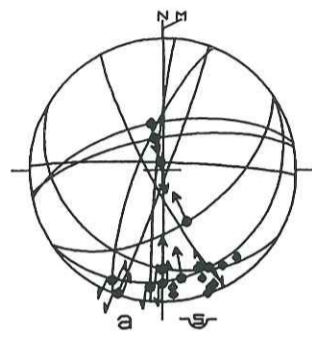
SITE n° 46: stylolites



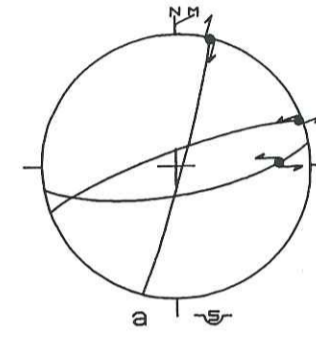
SITE n° 43: stylolites



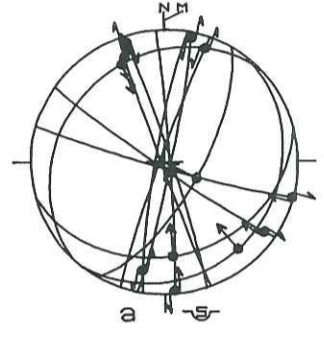
SITE n° 44: compression Miocène sup.



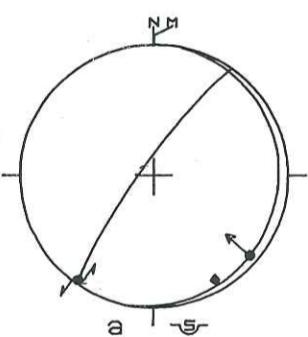
SITE n° 48: compression Miocène inf.



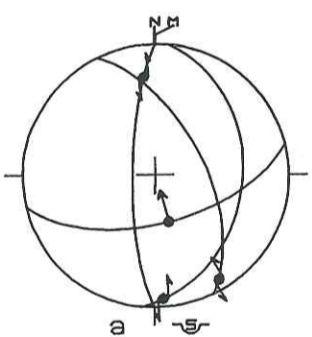
SITE n° 48: compression Miocène sup.



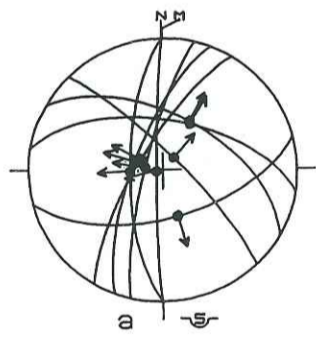
SITE n° 49: compression Miocène sup.



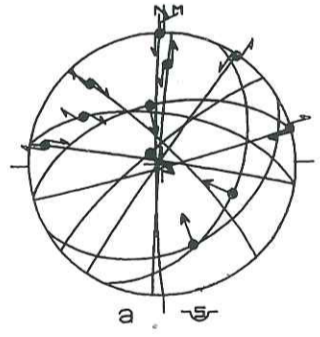
SITE n° 50: compression Miocène sup.



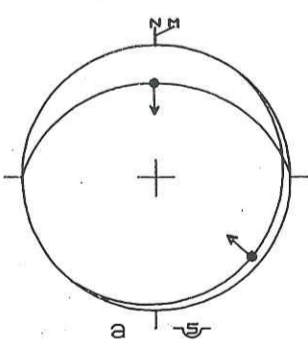
SITE n° 53: extension Oligocène



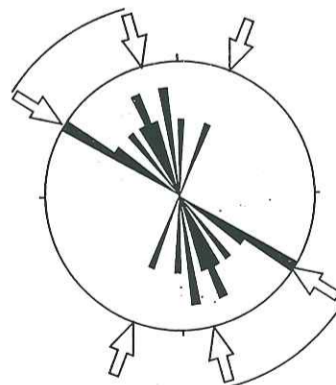
SITE n° 53: compression Miocène sup.



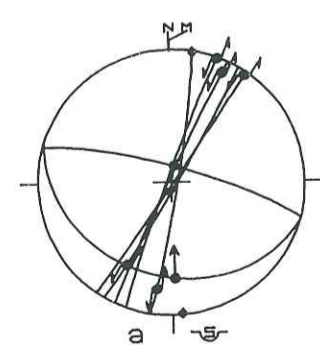
SITE n° 51: compression Miocène sup.



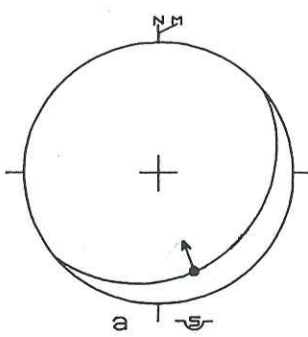
SITE n° 53: stylolites



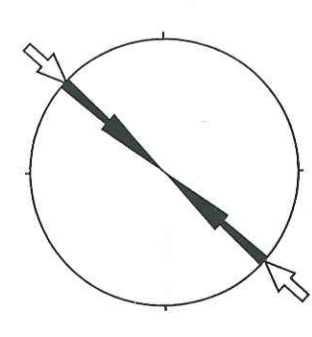
SITE n° 57: compression Miocène sup.



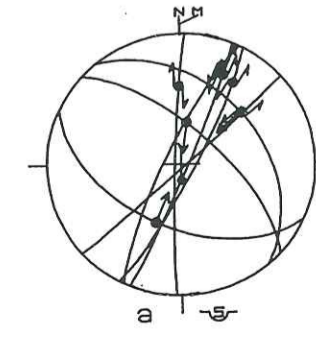
SITE n° 52: compression Miocène sup.



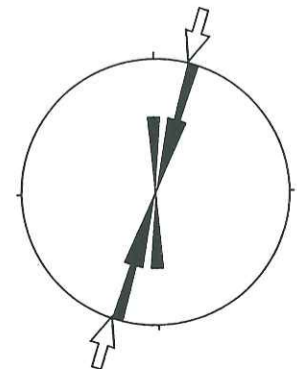
SITE n° 46: stylolites



SITE n° 54: compression Miocène sup.

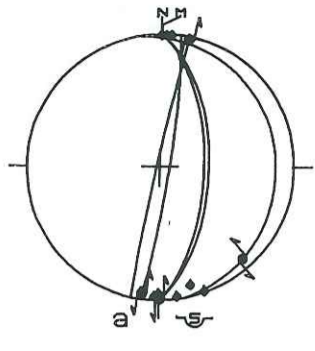


SITE n° 54: stylolites

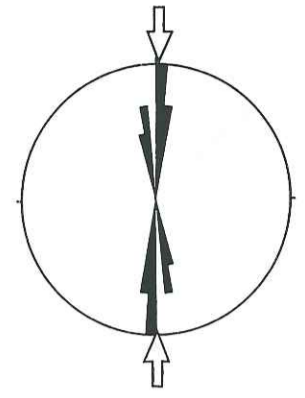




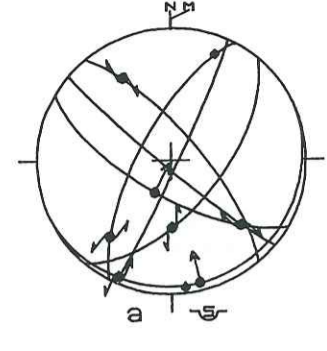
SITE n° 55: compression Miocène sup.



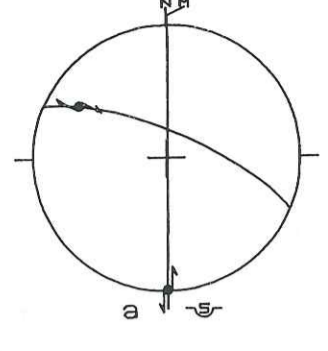
SITE n° 55: stylolites



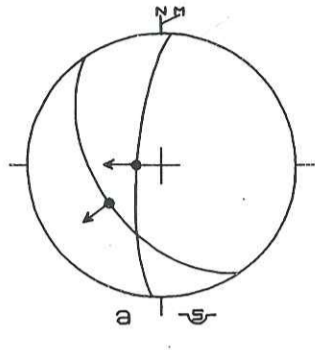
SITE n° 58: compression Miocène sup.



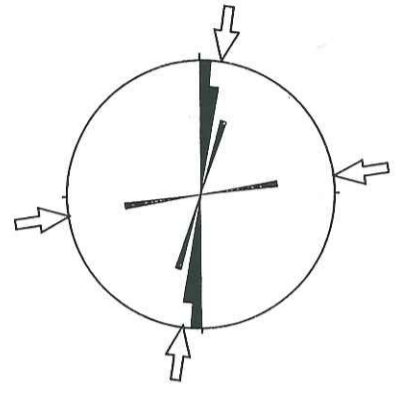
SITE n° 60: compression Miocène sup.



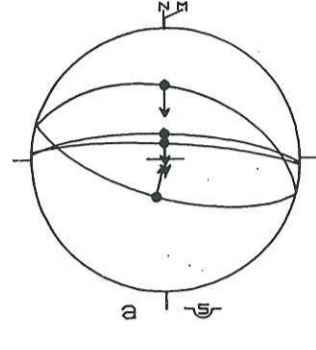
SITE n° 56: extension Oligocène



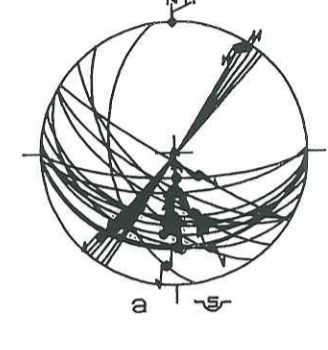
SITE n° 56: stylolites



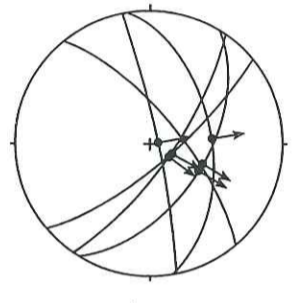
SITE n° 61: compression Miocène sup.



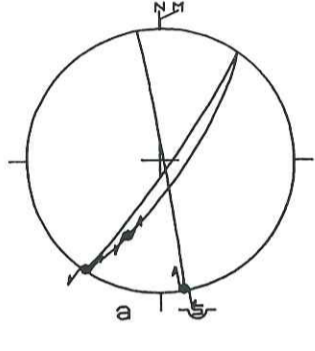
SITE n° 62: compression Miocène sup.



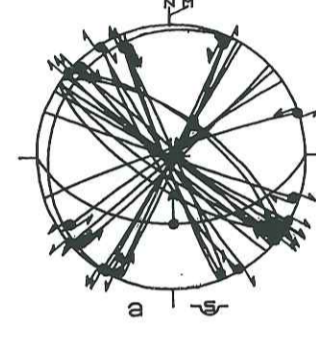
SITE n° 59: extension Oligocène



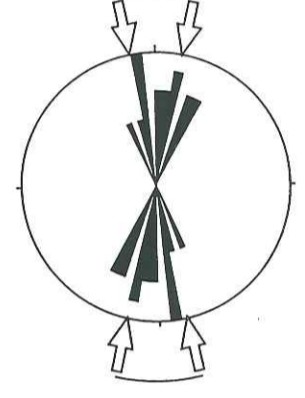
SITE n° 59: compression Miocène sup.



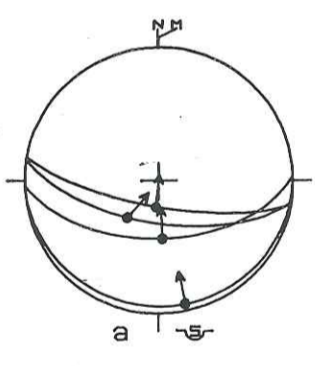
SITE n° 63: compression Miocène sup.



SITE n° 63: stylolites



SITE n° 64: compression Miocène sup.





**PARTIE III**

**LA HAUTE-CHAINE DU JURA CENTRAL**



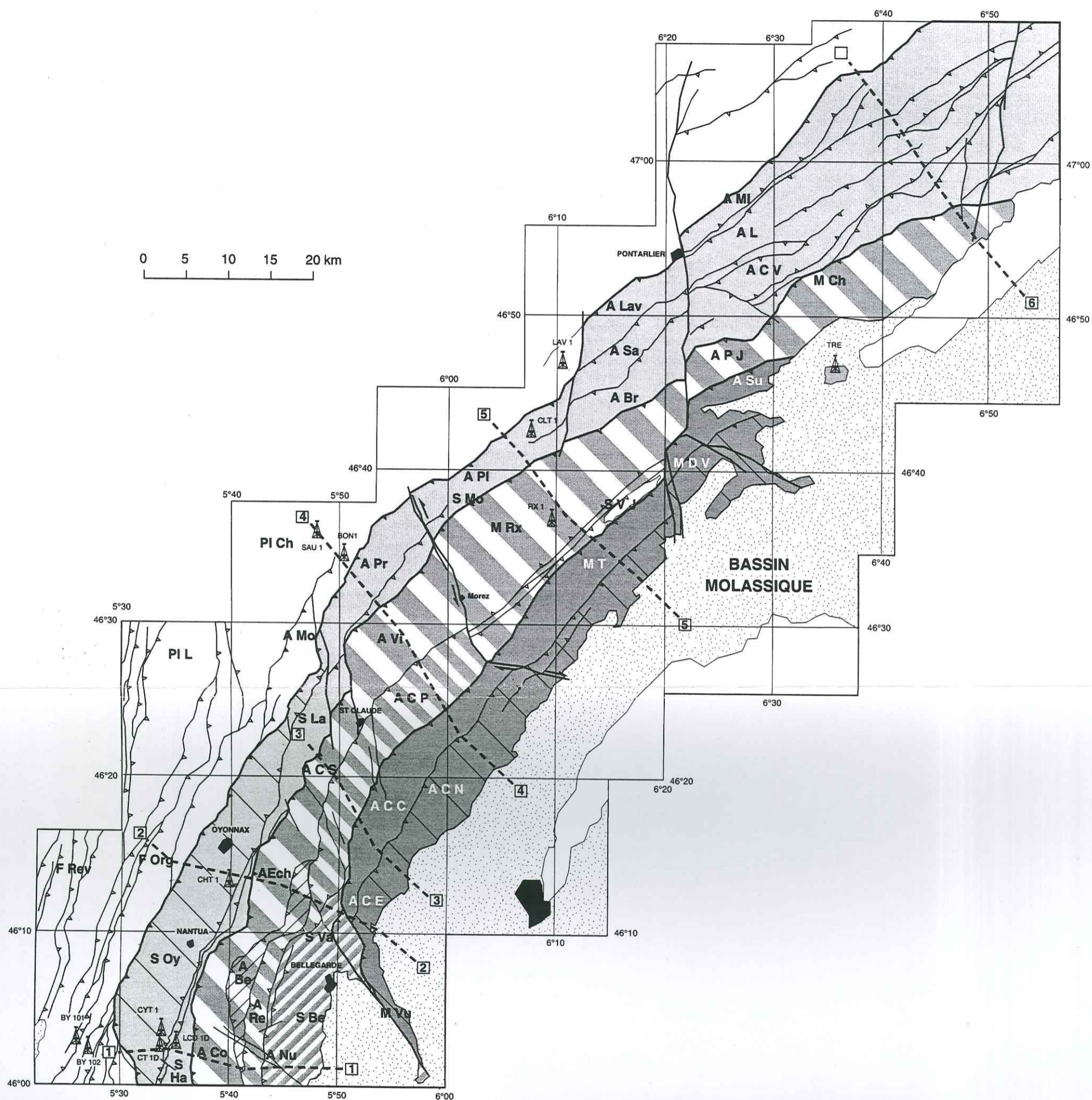


Figure 1: Carte structurale schématique du Jura interne central et méridional.

Cette figure a été construite à partir des cartes 1/250.000 du BRGM (feuilles Chalon-sur-Saône et Thonon-les-Bains) et des cartes 1/200.000 suisses (feuilles Genève-Lausanne et Neuchâtel).

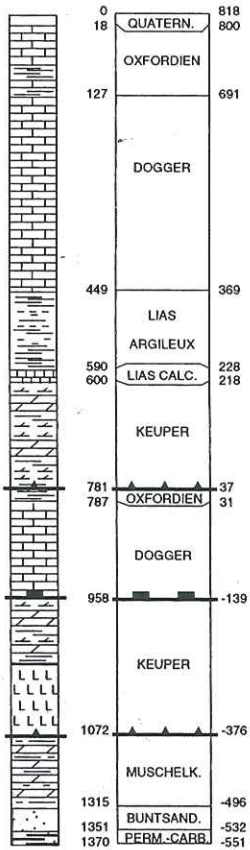
ABe: anticlinal du Bérentin; ABr: anticlinal du Brey; ACC: anticlinal du Crêt Chalam; ACE: anticlinal du Crêt d'Eau; ACN: anticlinal du Crêt de la Neige; ACo: anticlinal de Cormaranche; ACP: anticlinal du Crêt Pourri; ACS: anticlinal du Crêt du Surmontant; ACV: anticlinal du Crêt de Vourbey; AEch: anticlinal de l'Echallon; AMo: anticlinal de Moirans; AL: anticlinal du Larmont; ALav: anticlinal du Laveron; AMI: anticlinal de la Malmaison; ANu: anticlinal du Crêt du Nû; APJ: anticlinal du plateau de Jougne; API: anticlinal des Planches; APr: anticlinal de Pré novel; ARe: anticlinal de Retord; ASa: anticlinal de la Combe Saillard; ASu: anticlinal du mont Suchet; AVi: anticlinal de Villard; FRev: faisceau du Revermont; FOrg: faisceau d'Orgelet; MCh: mont Chaumont; MDV: mont de la Dent de Vaulion; MRx: mont Risoux; MT: mont Tendre; MVu: montagne du Vuache; PICH: plateau de Champagnole; PIL: plateau de Lons; SBe: synclinal de Bellegarde; SCC: synclinal de la Combe Collet; SHa: synclinal d'Hauteville; SLa: synclinal de Lavans; SMO: synclinal de Mouthé; SOy: synclinal d'Oyonnax; SVa: synclinal de la Valsérine; SVJ: synclinal du Val de Joux.

Forages - BON1: Bonlieu; BY101: Bugey 101; BY102: Bugey 102; CHT1: Charmont 1; CT1D: Chatillon 1D; CTL1: Chatelblanc 1; CYT1: Chaleyriat 1; LAV1: Laveron; LCD1D: La Chandelière 1D; RX1: Risoux 1; SAU1: Saugeot 1; TRE: Treycovagnes.

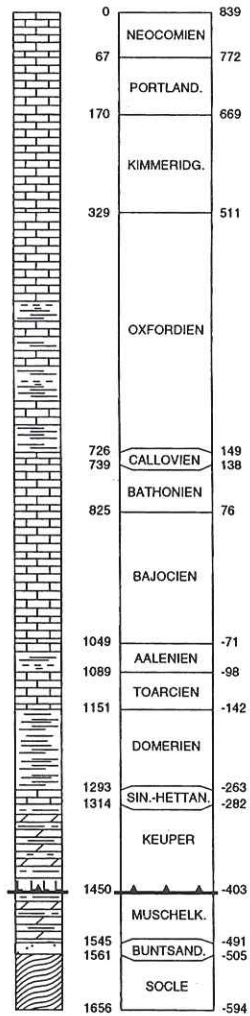
tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



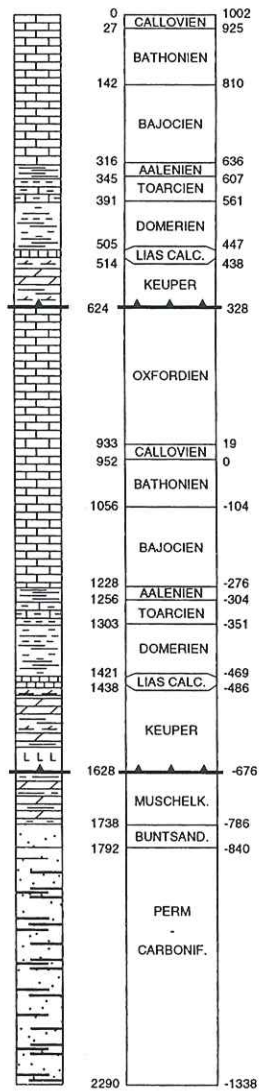
CHALEYRIAT 1



LA CHANDELIÈRE 1D



CHARMONT 1



RISOUX 1

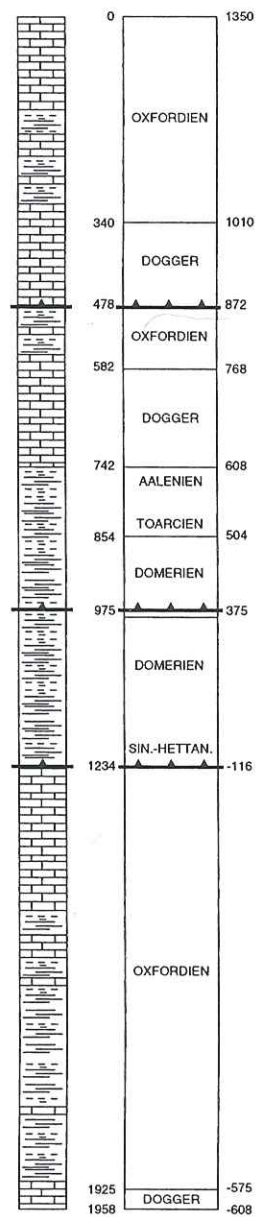


Figure 2: Colonnes lithostratigraphiques des forages pétroliers implantés dans la Haute-Chaine du Jura.



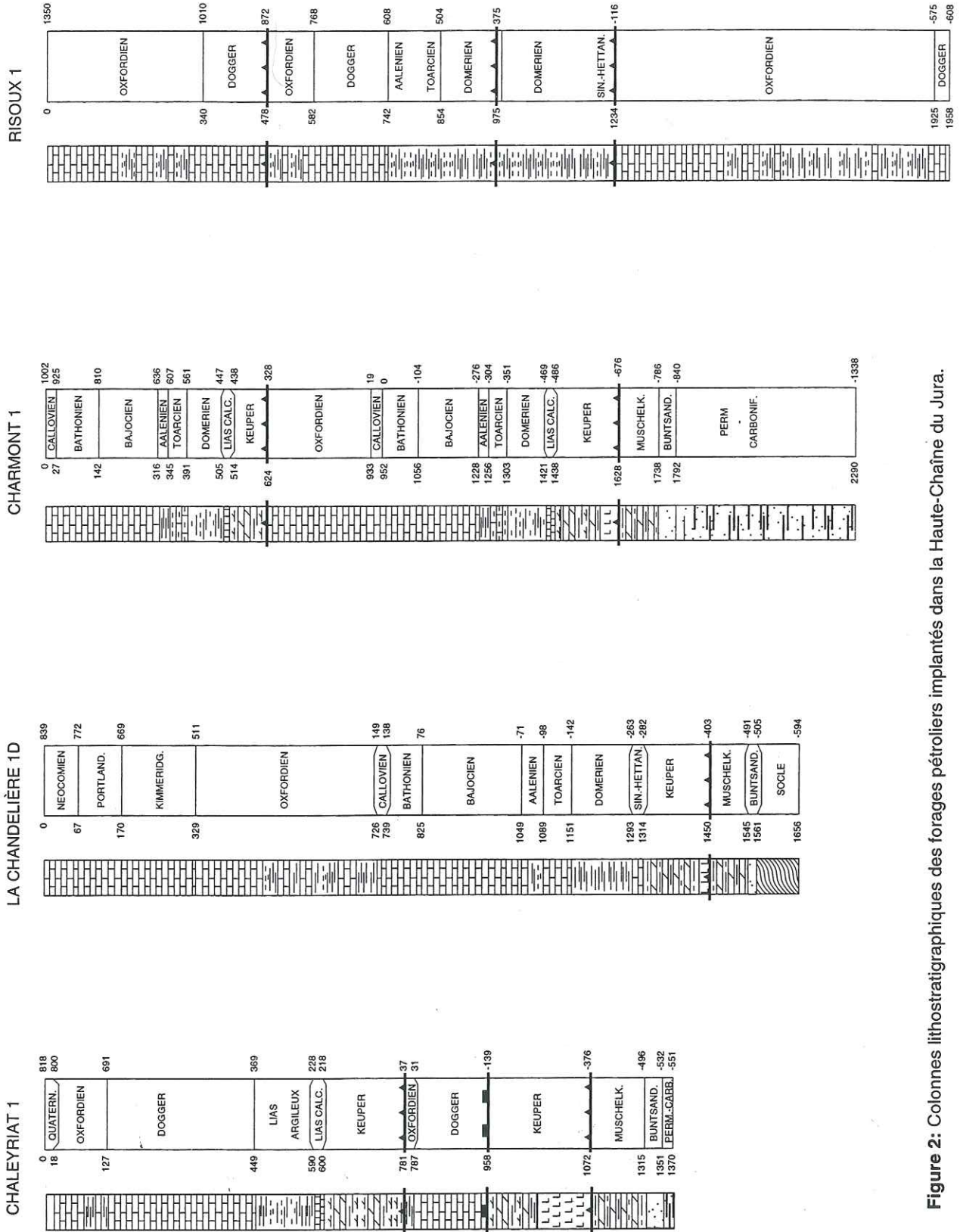


Figure 2: Colonnes lithostratigraphiques des forages pétroliers implantés dans la Haute-Chaîne du Jura.



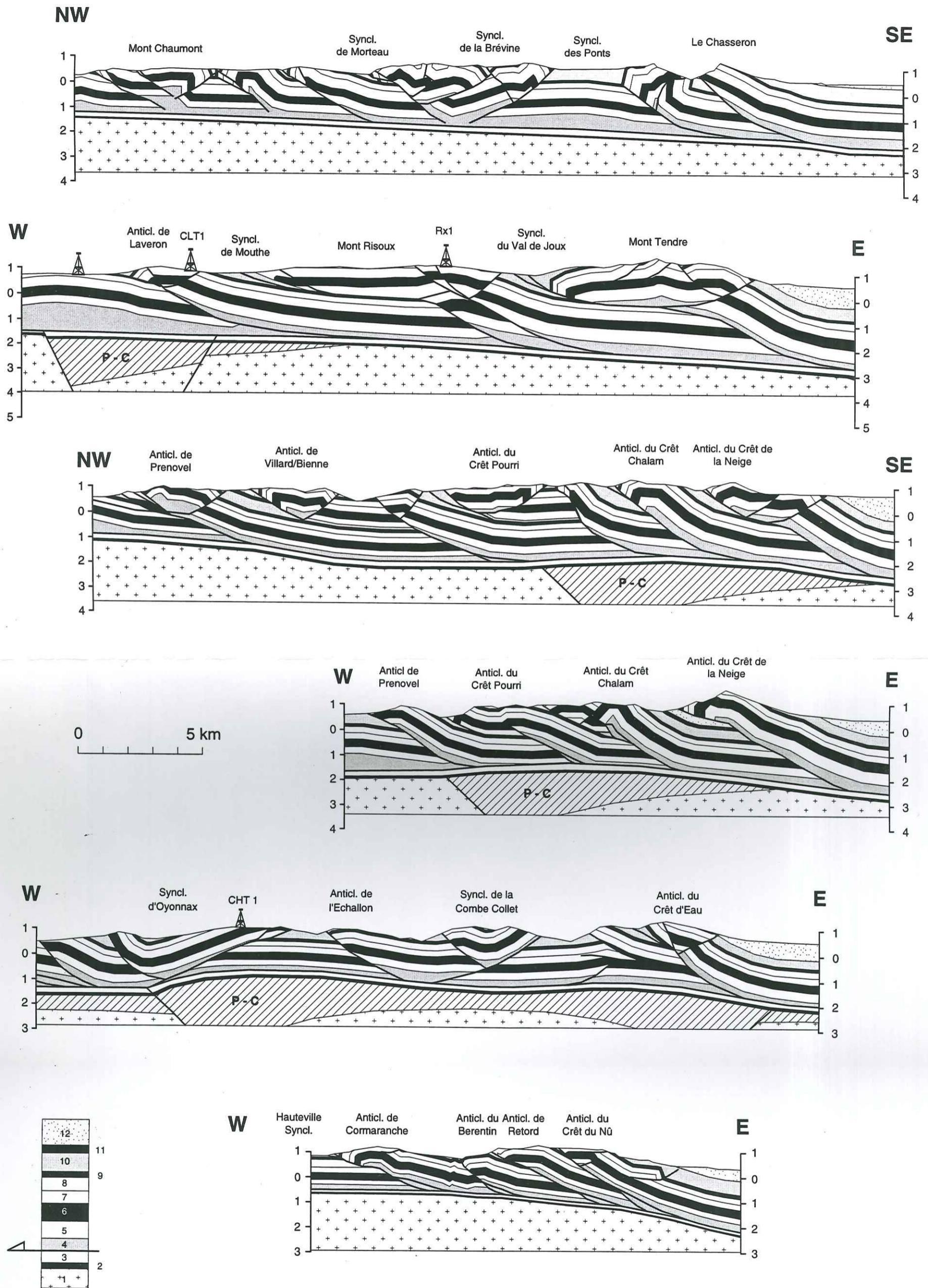


Figure 3: Coupes transversales simplifiées au travers de la Haute-Chaîne du Jura (localisation sur la figure 1).

1: Socle cristallin; 2: Buntsandstein; 3: Muschelkalk; 4: Keuper; 5: Lias + Aalénien; 6: Bajocien + Bathonien + Callovien; 7: Oxfordien; 8: Kimméridgien; 9: Portlandien; 10: Néocomien; 11: Urgonien; 12: Tertiaire.

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



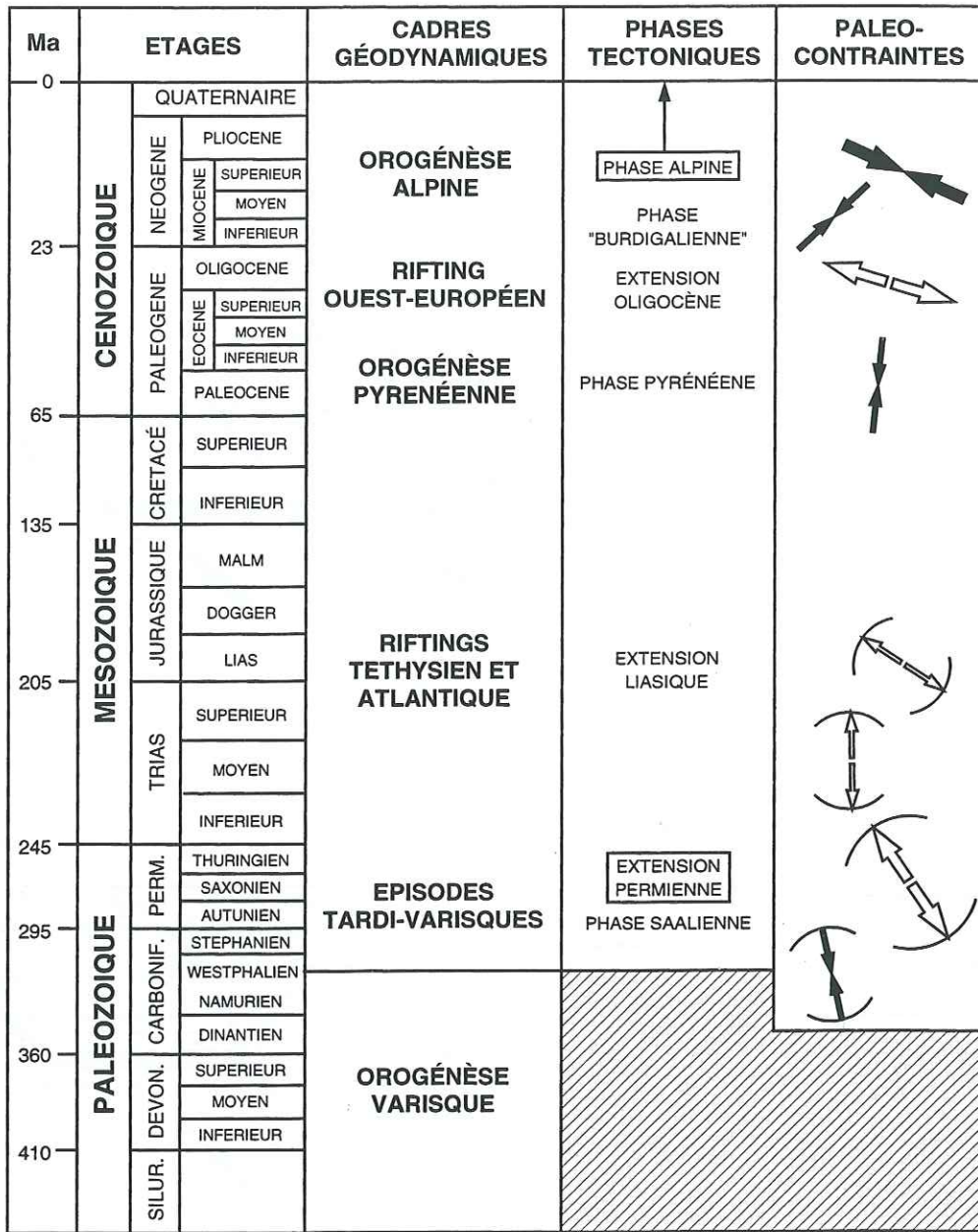
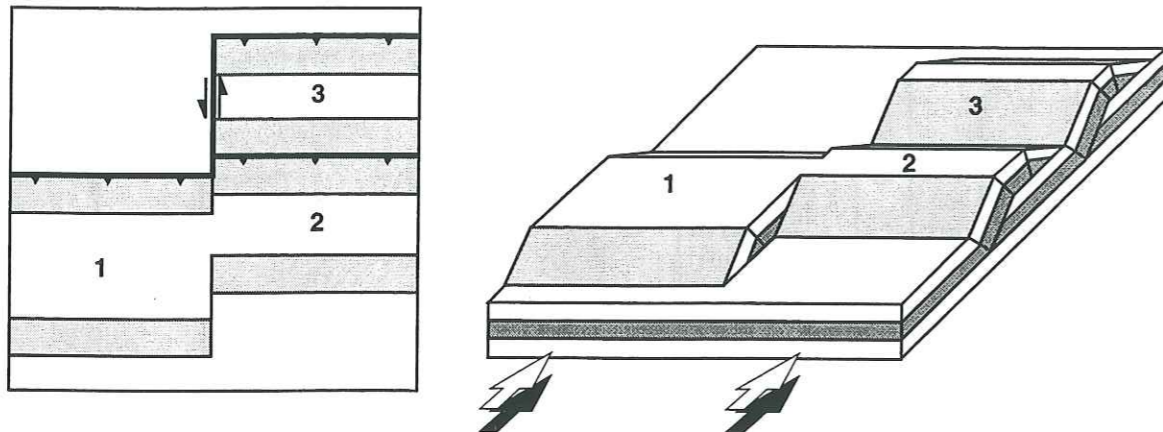


Figure 4: Calendrier tectonique du Jura central et méridional (compilé d'après Bergerat, 1985; Cornec, 1982; Philippe, 1991; Mascle et al., 1992).

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



cas (a):



cas (b):

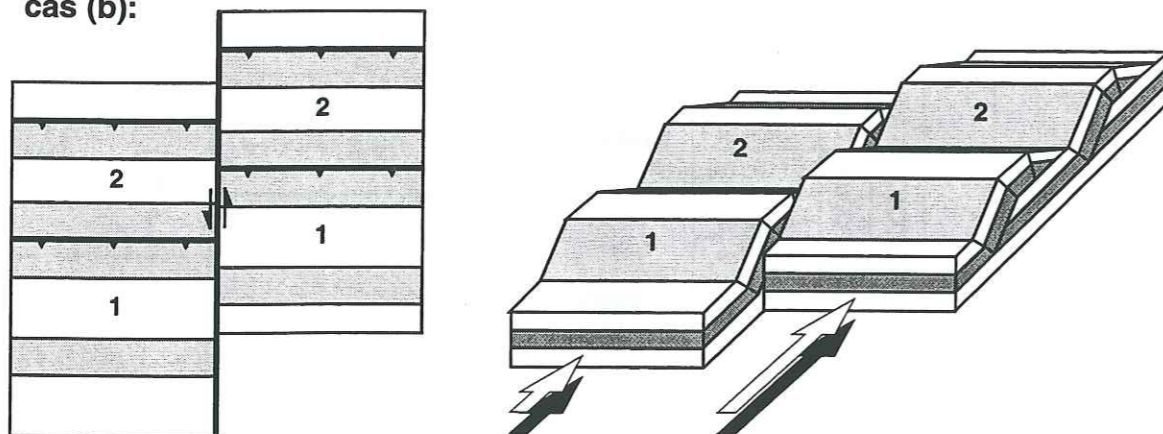
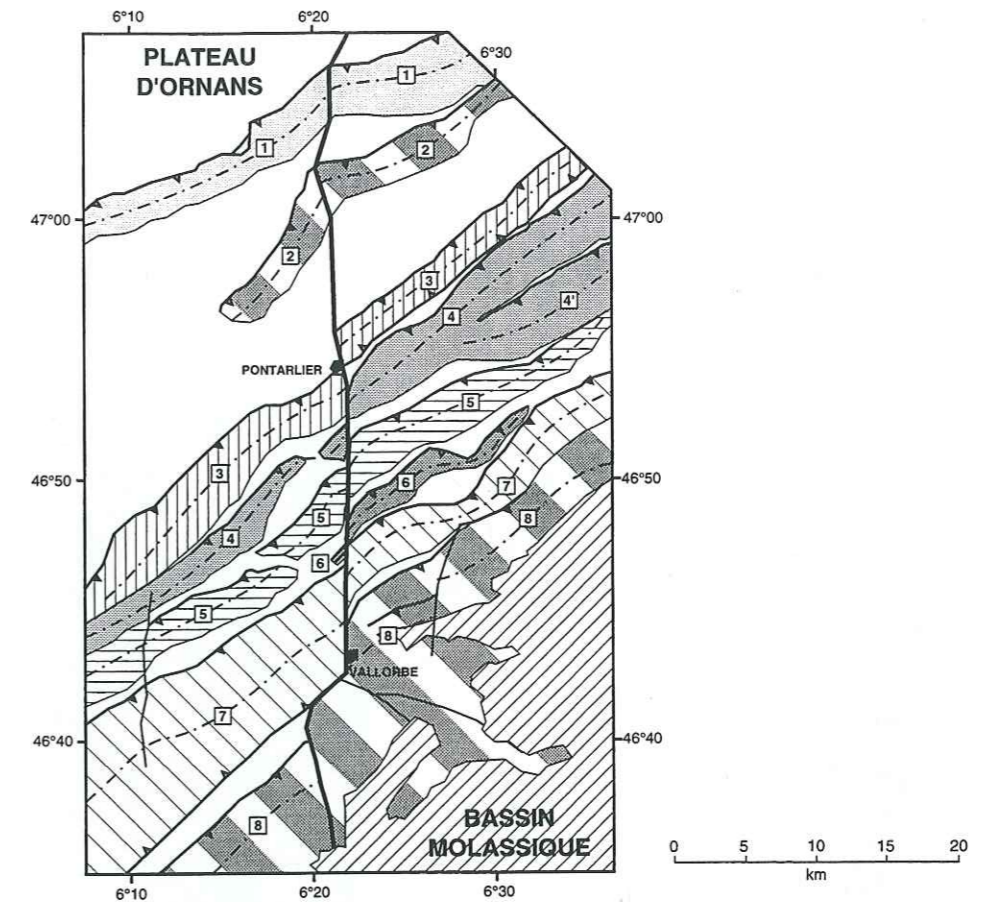


Figure 5: Classification des accidents transverses dans les chaînes plissées.

cas (a): faille de déchirement primaire (pas d'équivalence entre les structures situées de part et d'autre de la faille).

cas (b): décrochement tardif (les plis à l'origine continus ont été cisailés et décalés par le décrochement tardif = faille de déchirement secondaire qui implique que le raccourcissement est relativement plus important dans le compartiment décalé vers l'avant).



ouest de la Faille de Pontarlier	est de la Faille de Pontarlier
1: anticlinal de Mouthier	1: anticlinal de Mouthier
2: anticlinal de Bians	2: anticlinal du Mont Chaumont
3: anticlinal du Laveron	3: anticlinal de la Malmaison
4: anticlinal de la Combe Saillard - le Crosset	4: anticlinal du Larmont
5: anticlinal du Brey	5: anticlinal de la Roche Sarrasine - St Sulpice
6: anticlinal du Miroir	6: anticlinal du Crêt du Vourbey
7: anticlinal du Risoux	7: anticlinal du Plateau de Jougne
8: anticlinal du Mont Tendre	8: anticlinal du Mont Suchet

Figure 6: Carte schématique de la faille de Pontarlier-Vallorbe.

Les corrélations cartographiques entre les anticlinaux situés de part et d'autre de la faille de Pontarlier-Vallorbe sont indiquées par des numéros.



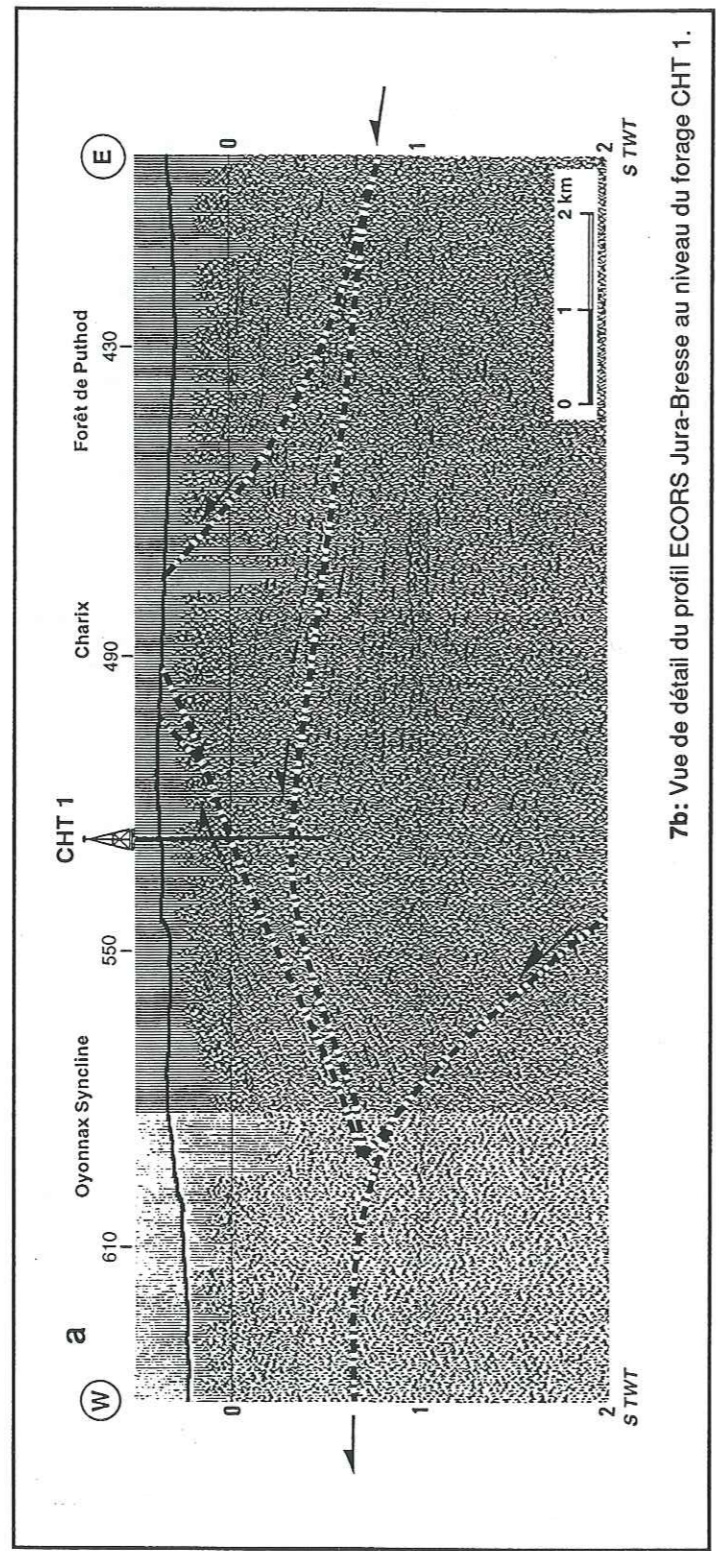
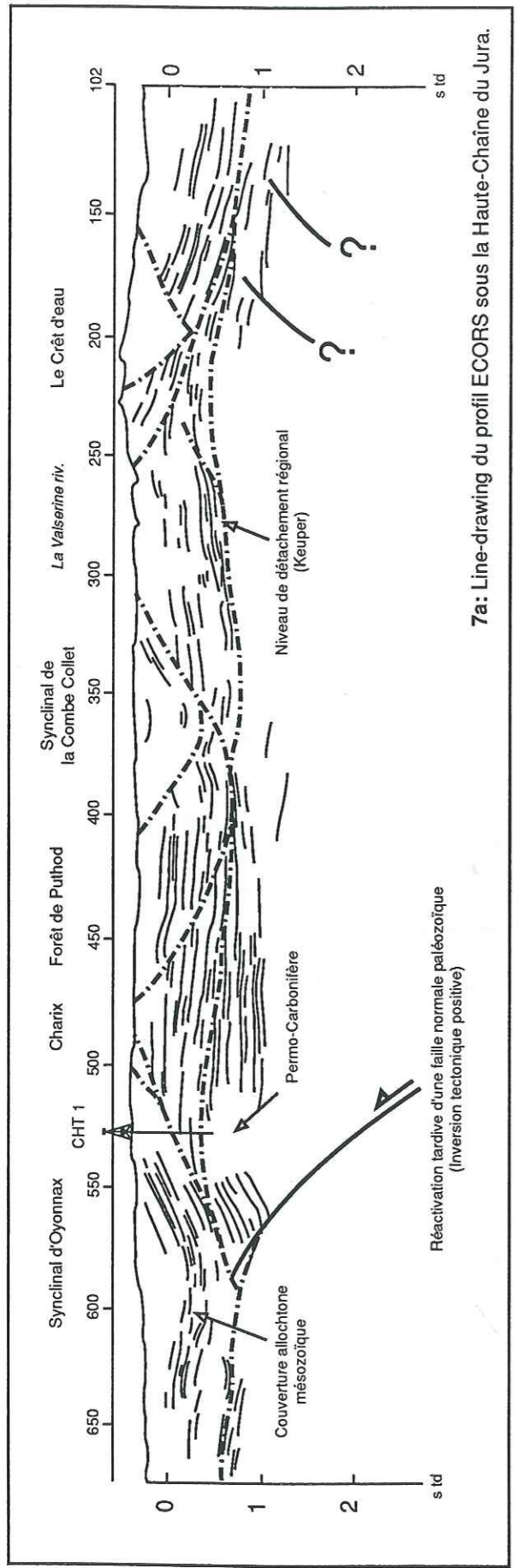


Figure 7: Interprétation du profil ECORS dans la Haute-Chaîne du Jura central.

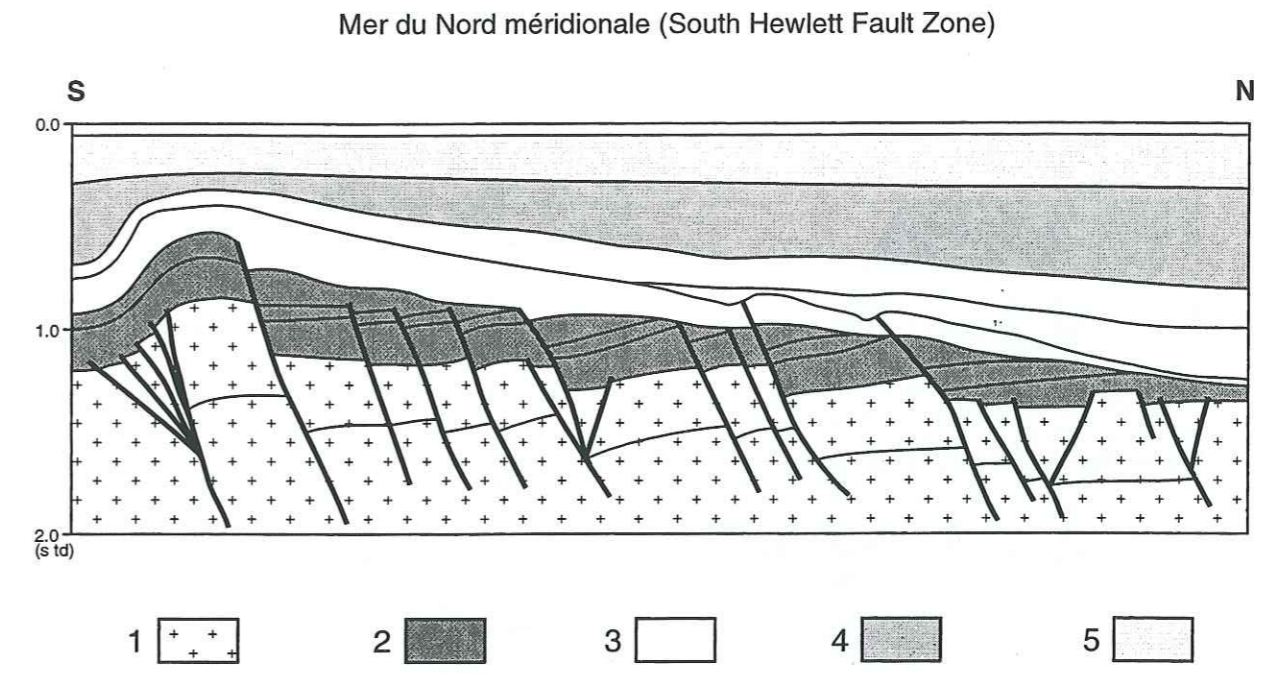


Figure 8: Exemple d'inversion tectonique (McClay, 1992).

Noter la forme en "flèche de harpon" caractéristique.

- 1: Socle anté-Triasique; 2: Trias pré-rift; 3: Crétacé inférieur post-rift; 4: Crétacé supérieur - Miocène syn-inversion; 5: Pliocène - Actuel post-inversion.



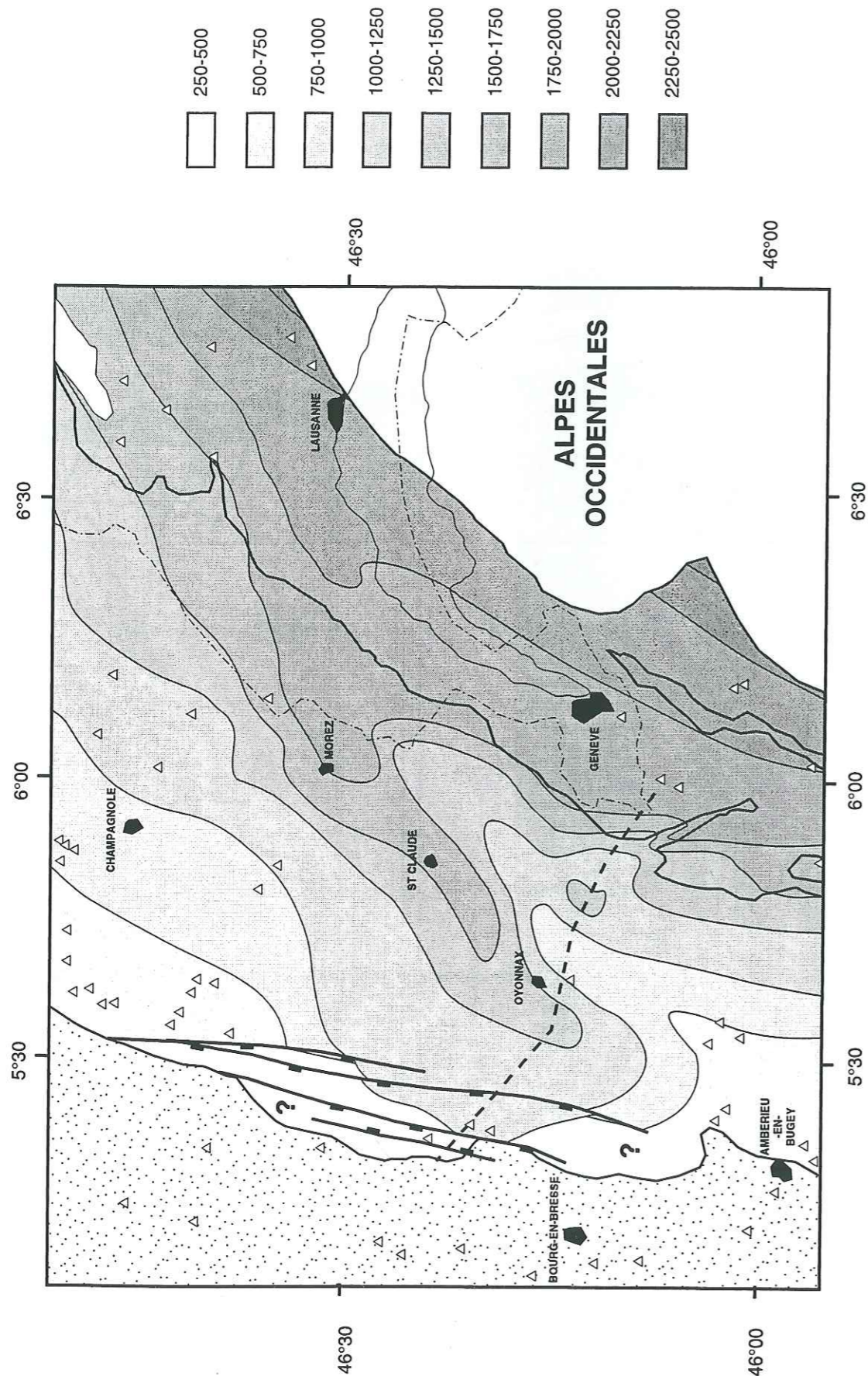


Figure 9: Carte des isohypses du toit du socle dans la région d'Oyonnax.

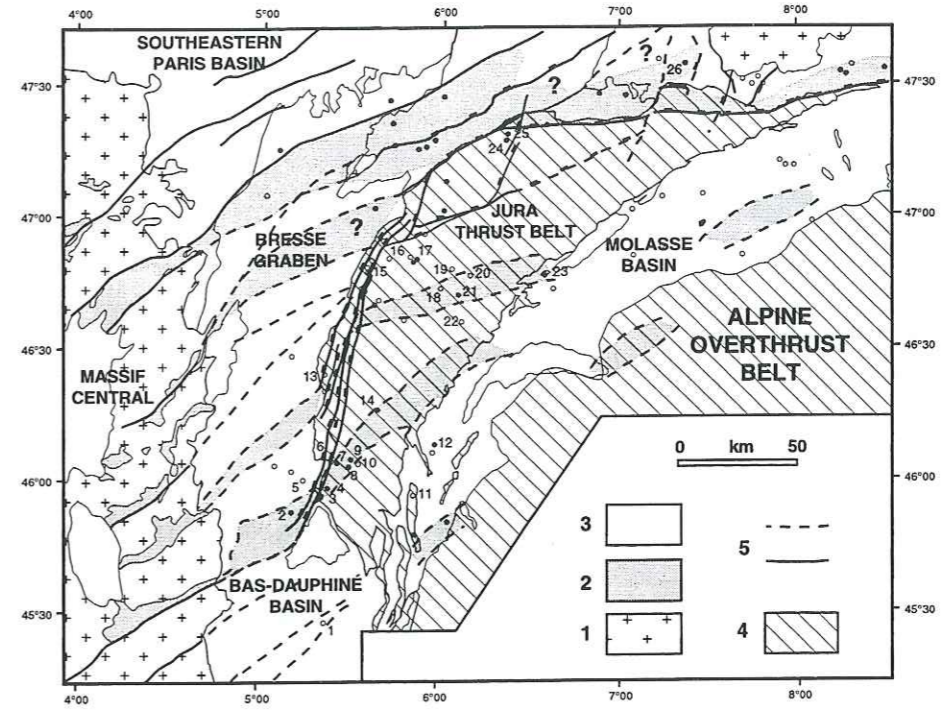


Figure 10a: Carte des bassins paléozoïques de l'est de la France (d'après BRGM, carte gravimétrique au 1/500 000; Truffert et al., 1990; modifié).

1: Socle paléozoïque; 2: Bassins Dévono-Dinantiens et Permo-Carbonifères; 3: Tertiaire et Mésozoïque autochtone; 4: Jura et Alpes occidentales; 5: Lineaments profonds tardi-varisques.

Forages: 1: Paladru; 2: Blyes; 3: Vaux-en-Bugey; 4: Torcieu; 5: Cormoz; 6: Bugey 101; 7: Bugey 102; 8: Chatillon; 9: Chaleyriat; 10: La Chandelière; 11: La Taillez; 12: Humilly; 13: Poisoux; 14: Charmont; 15: Lons-le-Saunier; 16: Grozon; 17: Valempoulières; 18: Toillon; 19: Essavilly; 20: Laveron; 21: Chatelblanc; 22: Risoux; 23: Treycovagnes; 24: Orsans; 25: Buez; 26: Knoerringue.

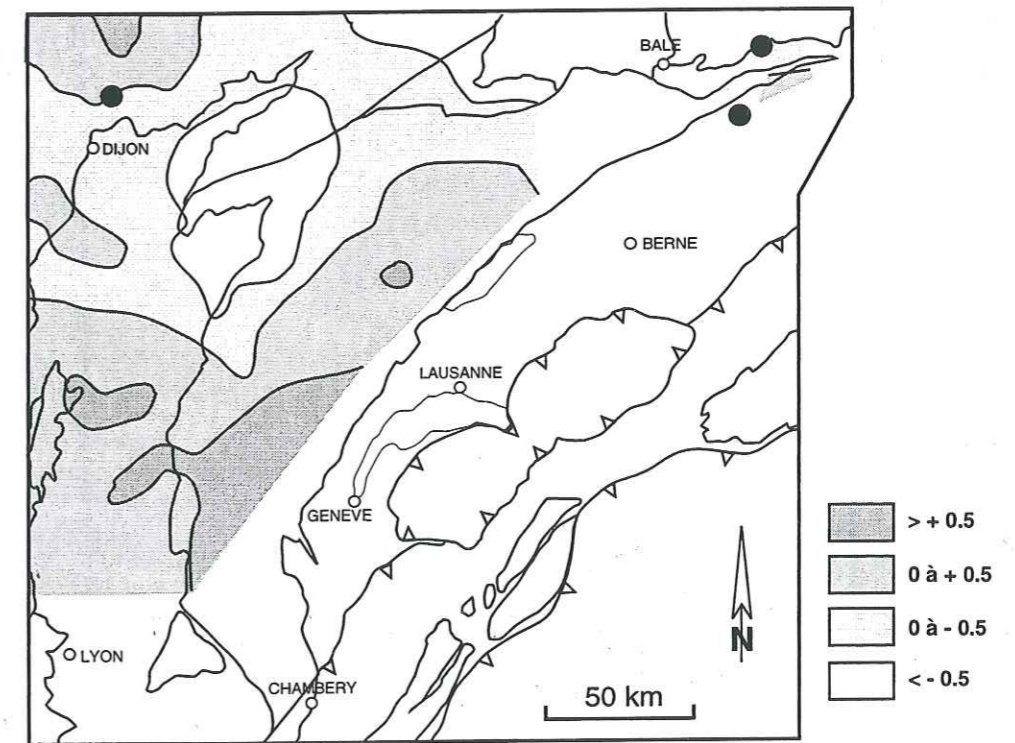


Figure 10b: Carte des mesures de nivellement dans le Jura et en Bresse (Becker, 1989).



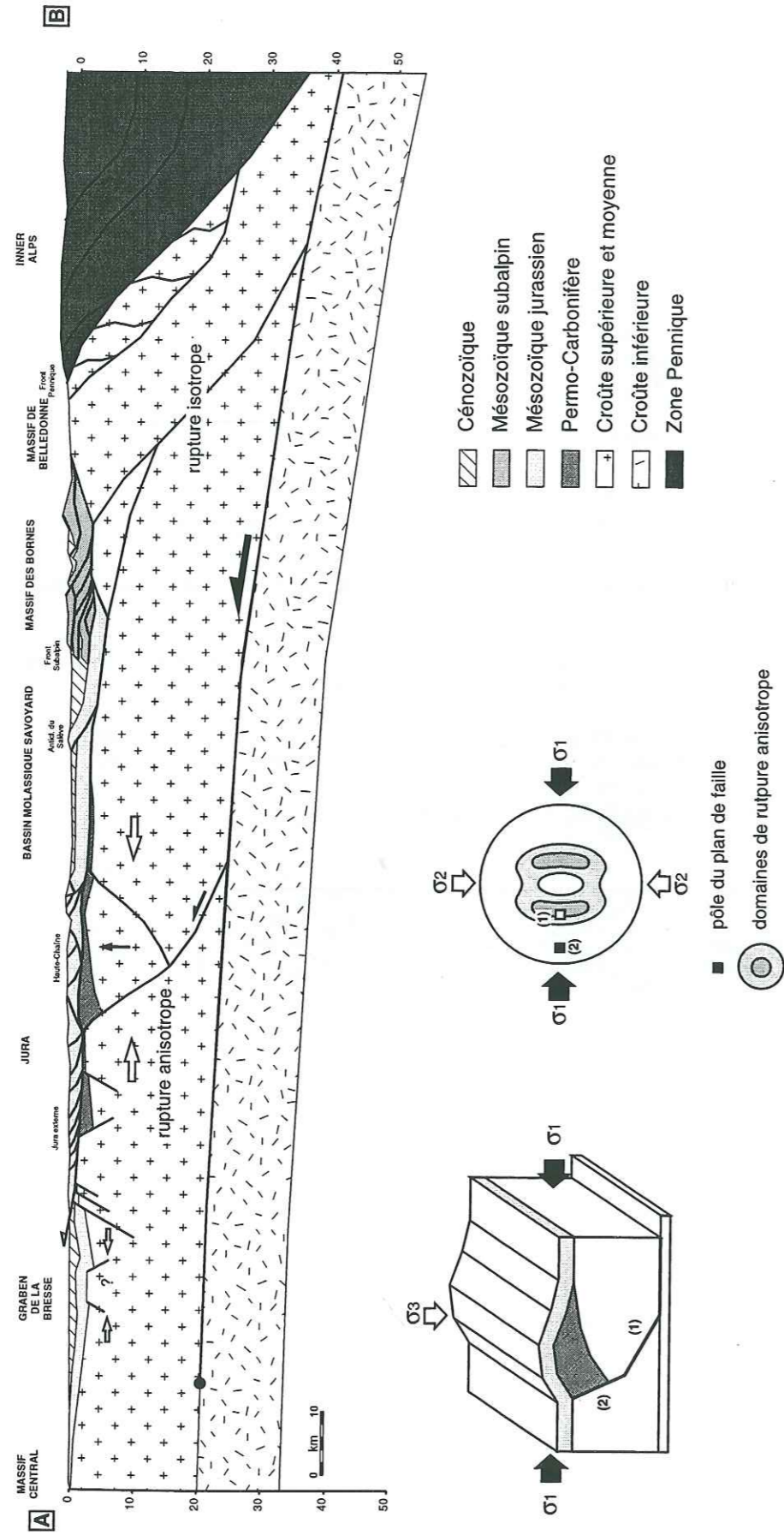


Figure 11: Coupe profonde des Alpes externes et de leur avant-pays le long du profil ECORS (Bergerat et al., 1990; Guellec et al., 1990; Tardy et al., 1990; modifié).

Le schéma rajouté montre les conditions mécaniques de réactivation d'une bordure de bassin en régime compressif ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ,  $\sigma_3$  vertical). Le segment inférieur de la faille se situe dans le domaine de réactivation car son pendage n'est pas trop fort: il y a rupture anisotrope et déplacement le long de ce plan de faille. Par contre le segment supérieur de la faille ne tombe pas dans le domaine de réactivation car son pendage est trop élevé: le rejeu en faille inverse n'est pas possible; il y a blocage et plissement du demi-graben contre ce plan de faille (d'après Letouzey, 1990).

PARTIE IV

LE ROLE DU BASSIN MOLASSIQUE DANS LA TECTOGENESE DU JURA:  
UNE APPROCHE EXPERIMENTALE



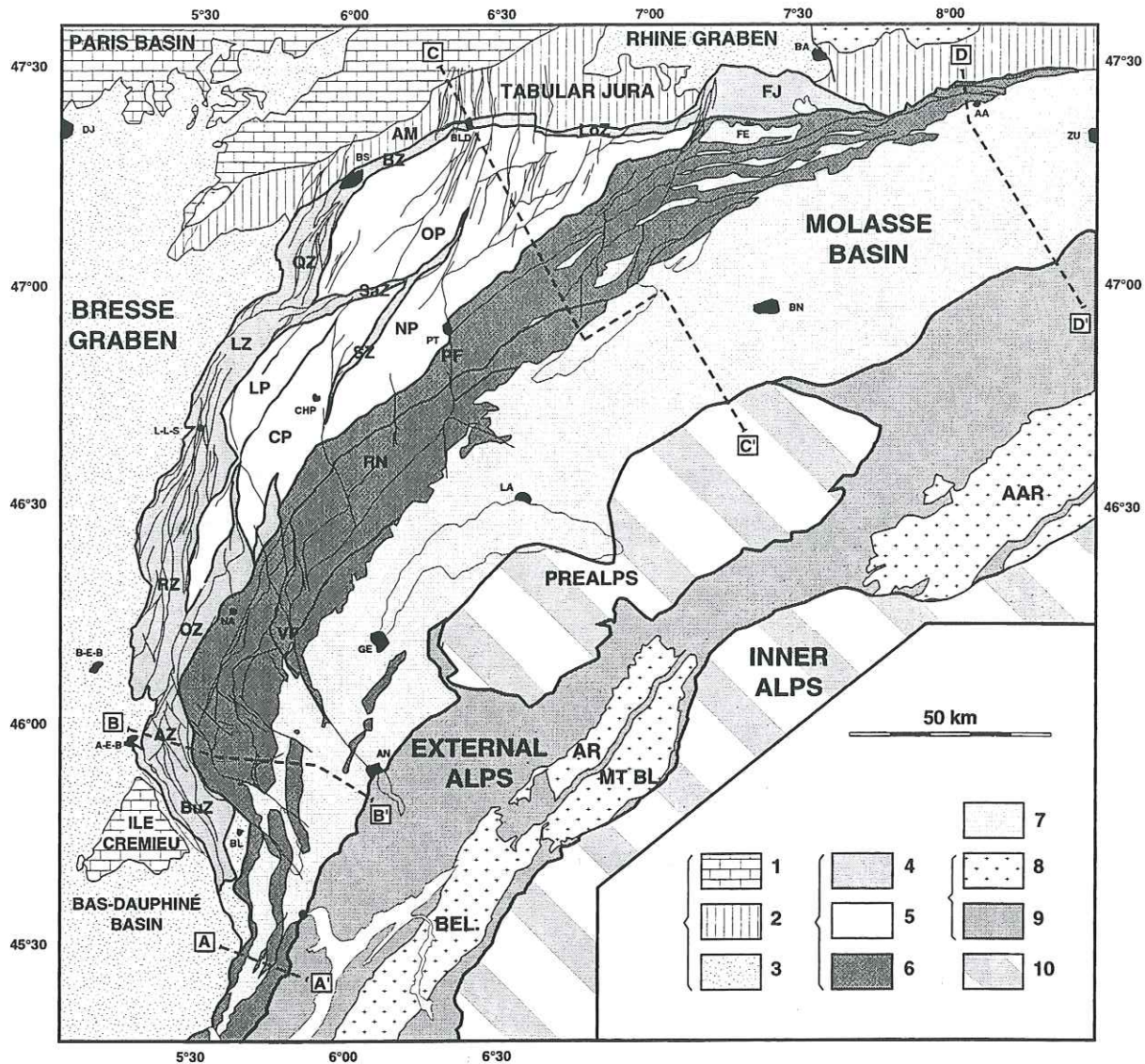


Figure 1: Tectonic map of the Jura fold-and-thrust belt (Chauve et al., 1980, modified).

1-3: Stable domain (1: Autochthonous Mesozoic cover of the Burgundy platform, 2: Para-autochthonous Mesozoic cover of the Avant-Monts zone and Tabular Jura; 3: Tertiary fill of the Bresse and Rhine grabens); 4-6: Jura fold-and-thrust belt (4: Imbricate zones ("Faisceaux"), 5: Plateaus, 6: Internal Jura); 7: Neogene deposits of the Swiss Molasse Basin; 8-9: Subalpine domain (8: Paleozoic basement, 9: Mesozoic cover); 10: Inner Alps and Swiss Prealps.

Internal Jura: BJ: Basel Jura; RN: Risoux Nappe; VF: Vuache Fault; PF: Pontarlier-Vallorbe Fault.

Imbricate zones ("faisceaux"): AZ: Ambérieu Zone; BZ: Besançon Zone; BuZ: Bugey Zone; FJ: Ferrette Jura; LZ: Lons Zone; LoZ: Lomont Zone; OZ: Orgelet Zone; QZ: Quingey Zone; SaZ: Salins Zone; SZ: Syam Zone.

Plateaux and Tabular Jura: AM: Avant-Monts zone; AP: Ajoie Plateau; CP: Champagnole Plateau; LP: Lons Plateau; NP: Nozeroy Plateau; OP: Ornans Plateau.

External Crystalline massifs: AA: Aar; AR: Aiguilles-Rouges; BEL: Belledonne; MT BL: Mont Blanc.

Cities: AA: Aarau; A-E-B: Ambérieu-en-Bugey; AN: Annecy; BA: Basel; B-E-B: Bourg-en-Bresse; BLD: Baumes-les-Dames; BL: Belley; BN: Bern; BS: Besançon; CHB: Chambéry; CHP: Champagnole; DJ: Dijon; FE: Ferrette; GE: Geneva; LA: Lausanne; L-L-S: Lons-le-Saunier; NA: Nantua; PT: Pontarlier; ZU: Zürich.

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



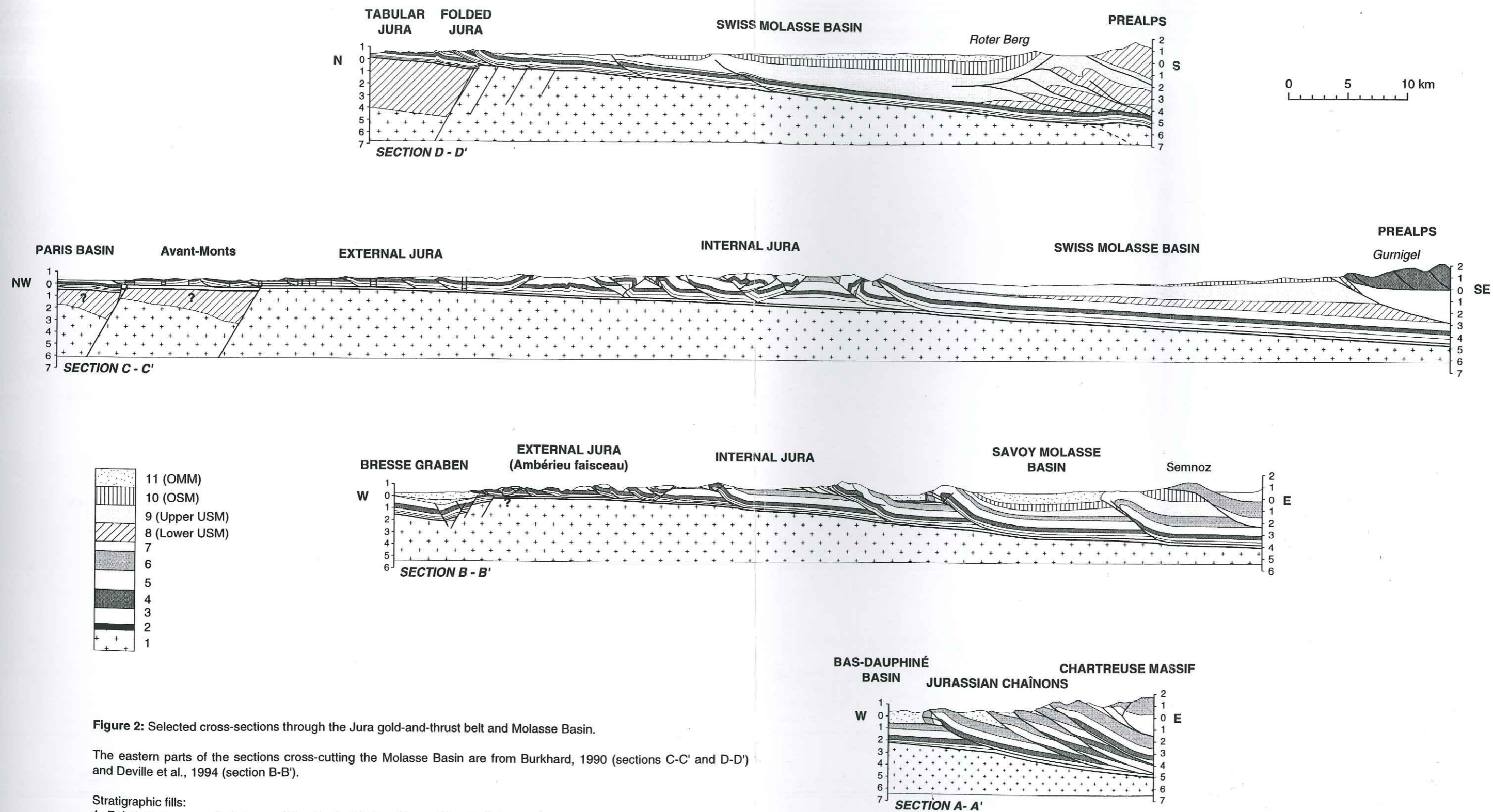


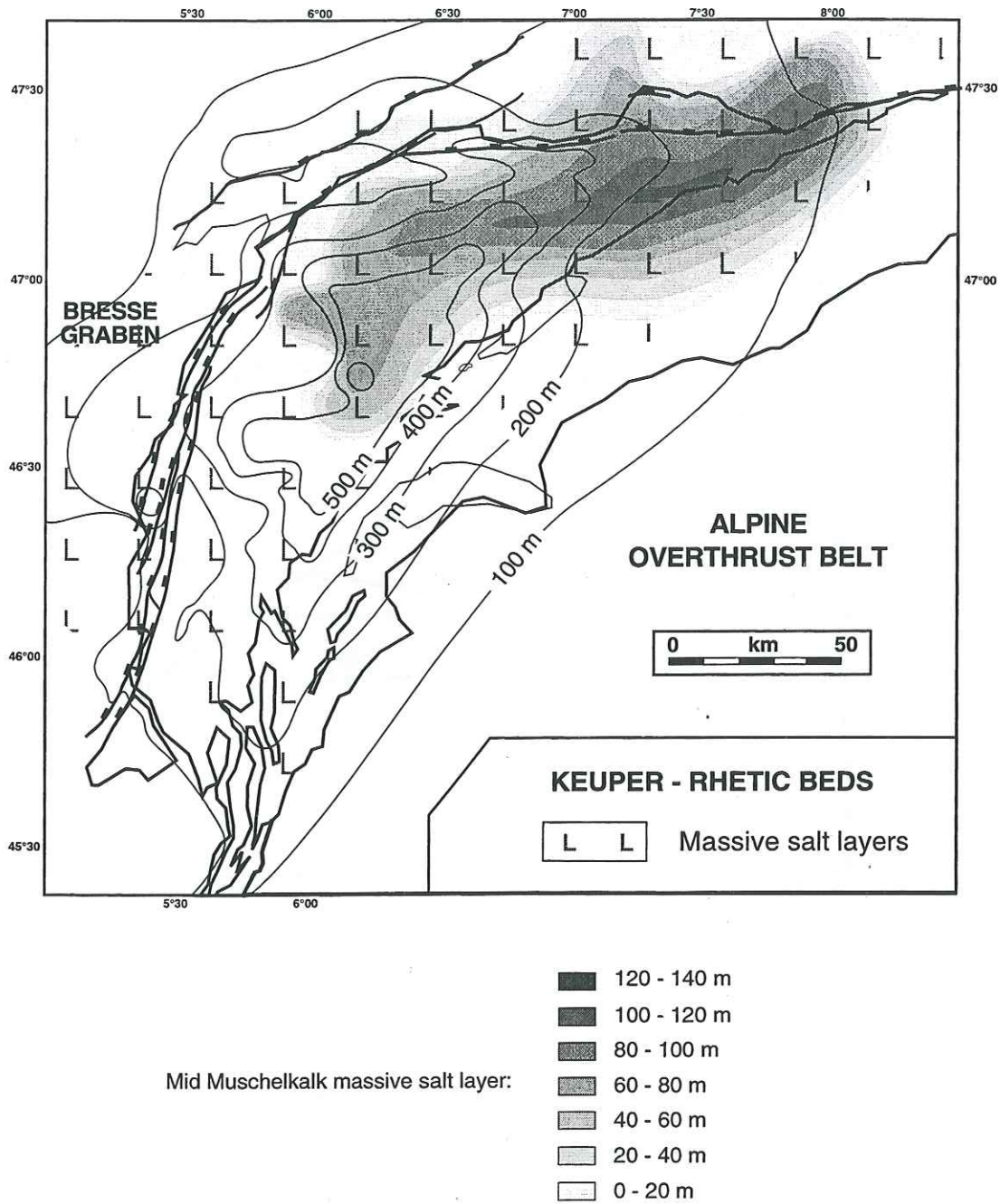
Figure 2: Selected cross-sections through the Jura gold-and-thrust belt and Molasse Basin.

The eastern parts of the sections cross-cutting the Molasse Basin are from Burkhard, 1990 (sections C-C' and D-D') and Deville et al., 1994 (section B-B').

Stratigraphic fills:

1: Paleozoic basement; 2: Lower Triassic; 3: Middle - Upper Triassic & Lower Jurassic; 4: Middle Jurassic; 5: Upper Jurassic; 6: Neocomian; 7: Aptian; 8 & 9: Rupelian - Chattian; 10: Aquitanian; 11: Burdigalian to Serravalian





**Figure 3:** Relationship between the development of the Jura fold-and-thrust belt and the distribution of the Triassic evaporites (isopachous in meters).

Full lines: thickness of Keuper-Rhaetic beds in meters.



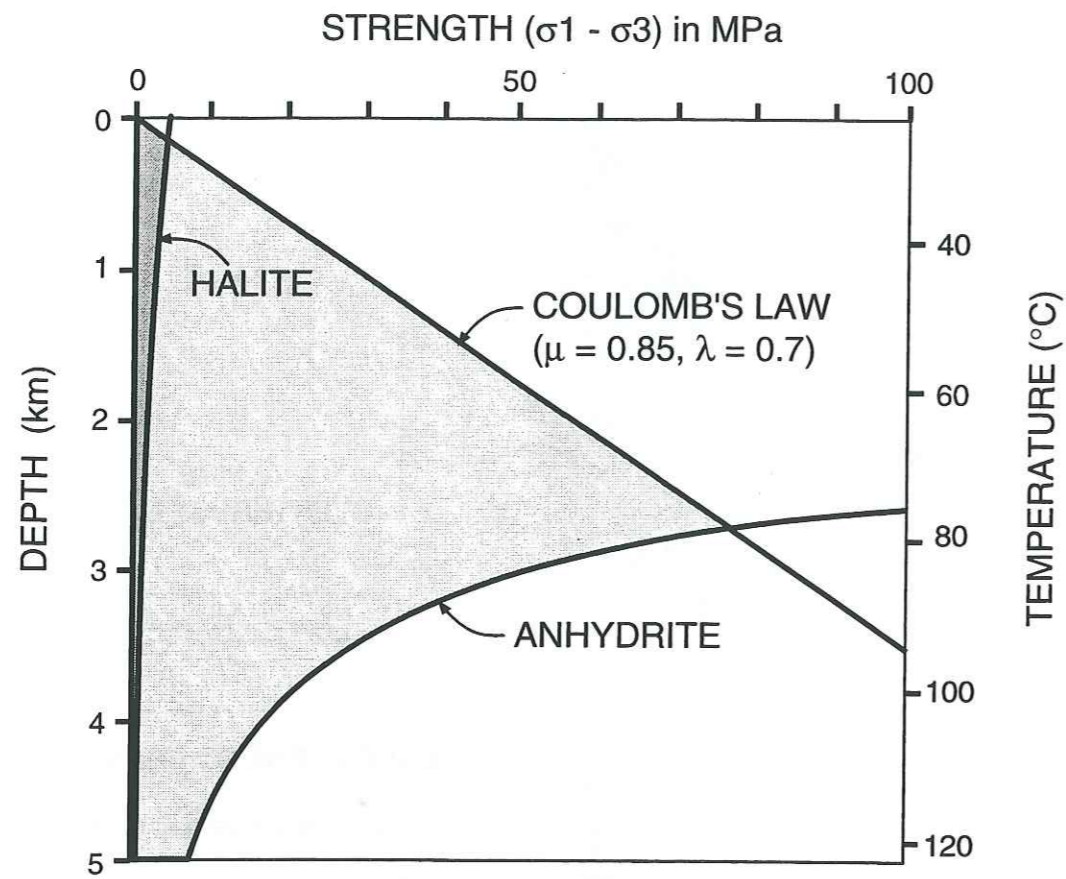


Figure 4: Diagram illustrating the shear strength versus depth of evaporites and brittle rocks in the upper crust (Carter and Hansen, 1983; Davis and Engelder, 1985).

The strength of stiff brittle rocks (limestones, quartzites) linearly increases with the lithostatic pressure  $\rho g H$ , according to the Mohr-Coulomb criteria ( $\tau = C_0 + m_b(1-l_b)\rho g H$ ). On contrast, the strength of plastic rocks does not depend on lithostatic pressure but decreases as a function of the temperature, according to the Arrhenius law relating the viscosity  $\mu$  and the temperature  $T$  ( $\mu = \mu_0 \exp(-Q/RT)$ ). Note the comparative extreme weakness of rocksalt even at shallow depths.

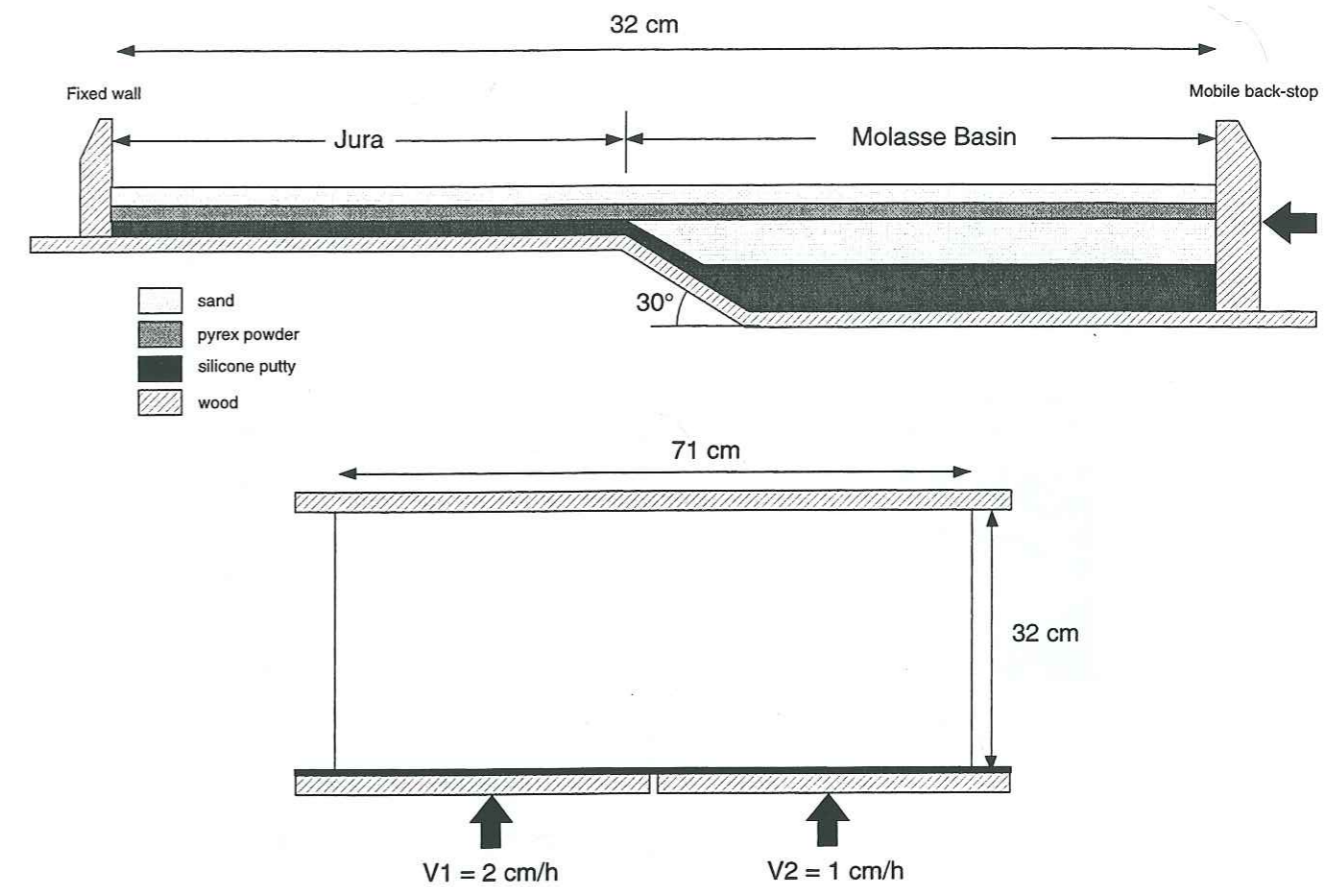


Figure 5a: Experimental set-up of the analogue model n°1.

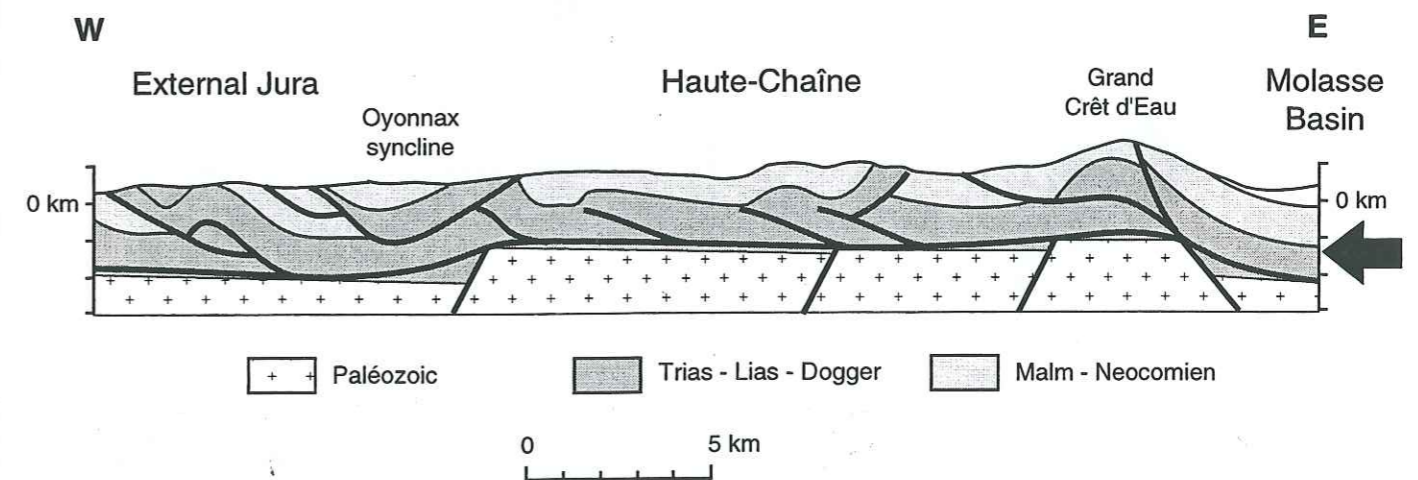


Figure 5b: A possible interpretation of the Internal "High-" Jura as a basement horst located beneath the sole thrust (Guellec et al., 1990; simplified).



Figure 6: Experimental set-up of the analogue model n°2.

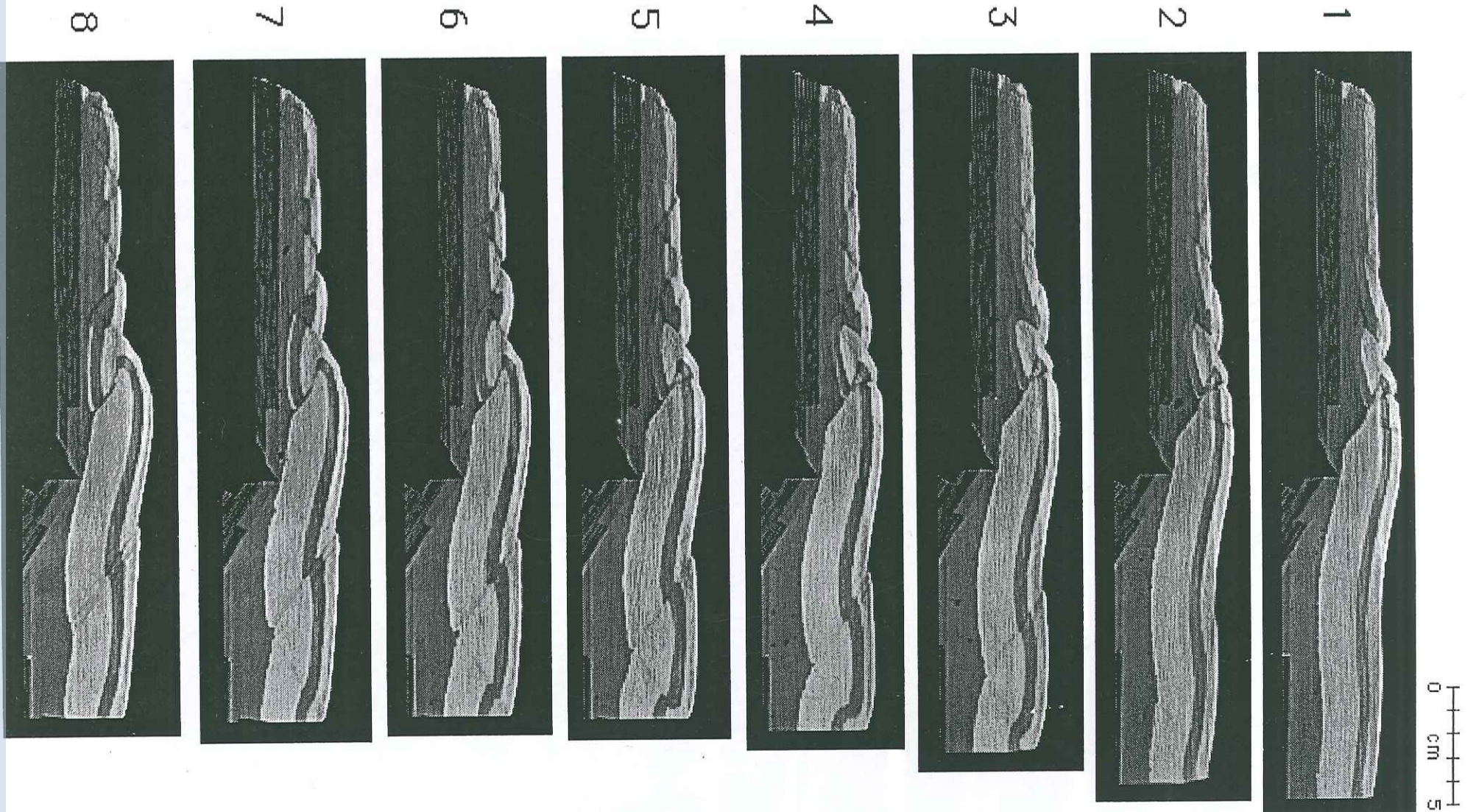
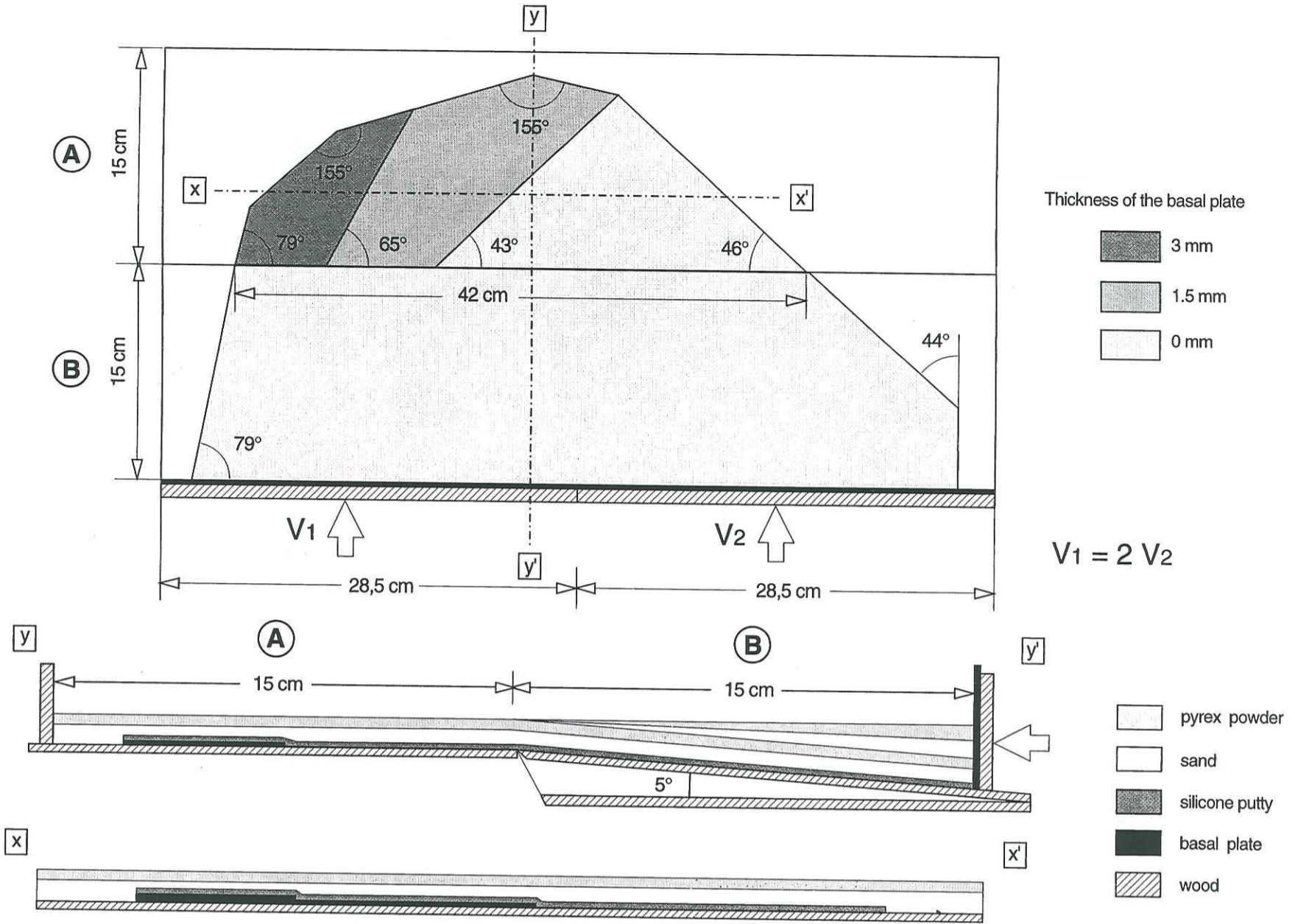


Figure 7: Serial cross-sections through the model n°1 at the final stage.



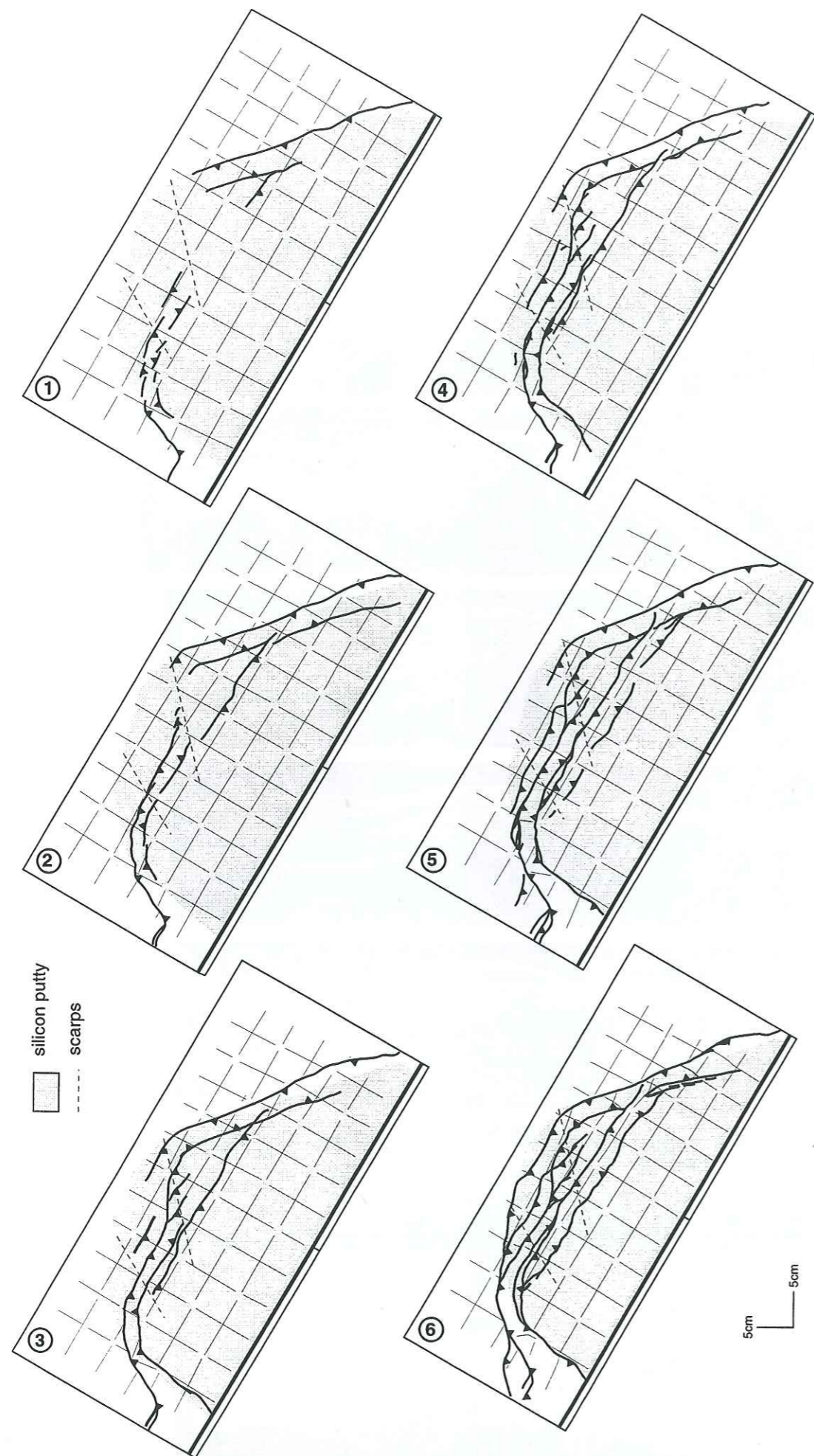


Figure 8: Surface views of the model n°2 showing the evolution of the deformation according to the amount of shortening.

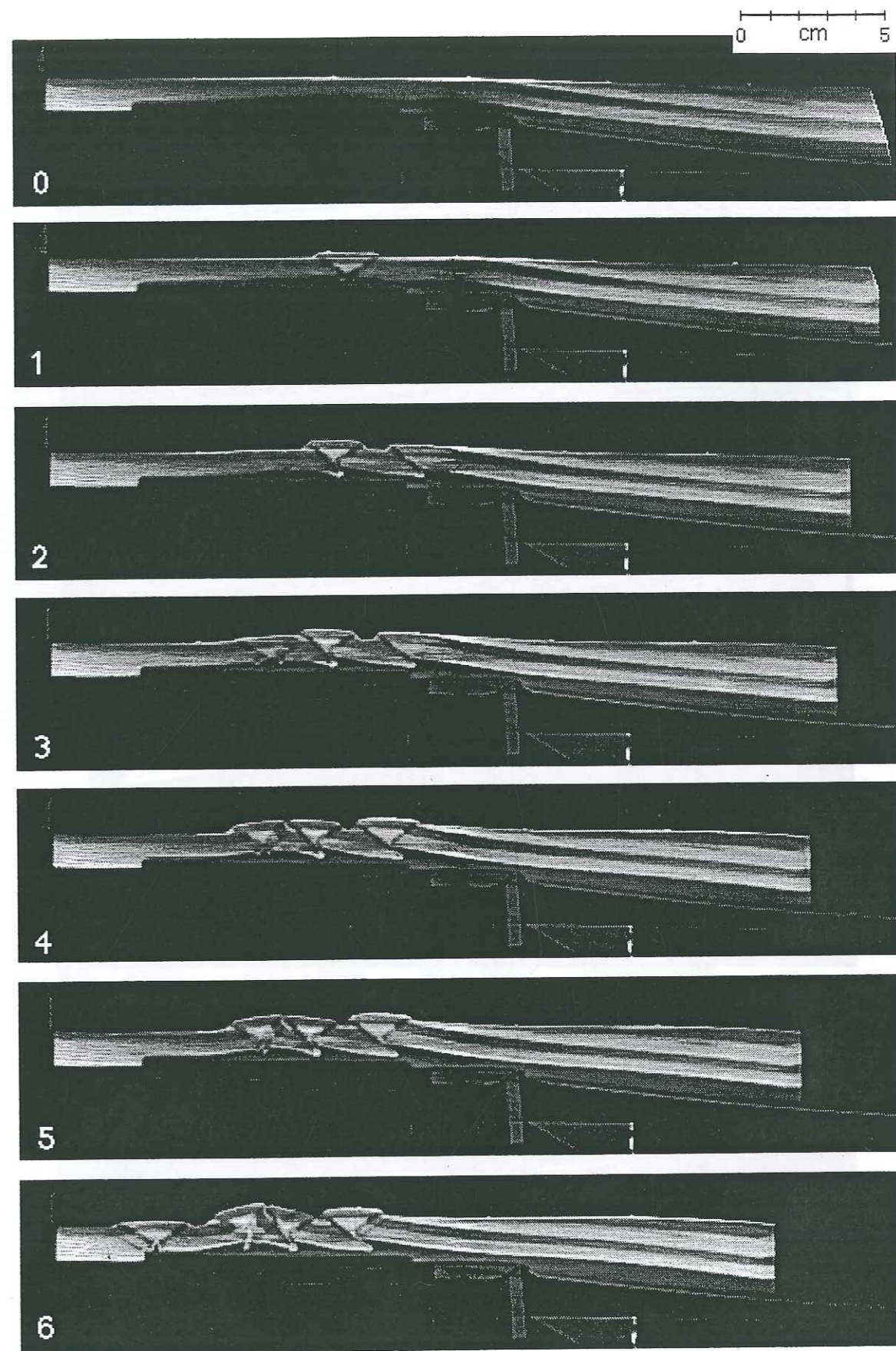


Figure 9: Evolutive cross-section of the model n°2.



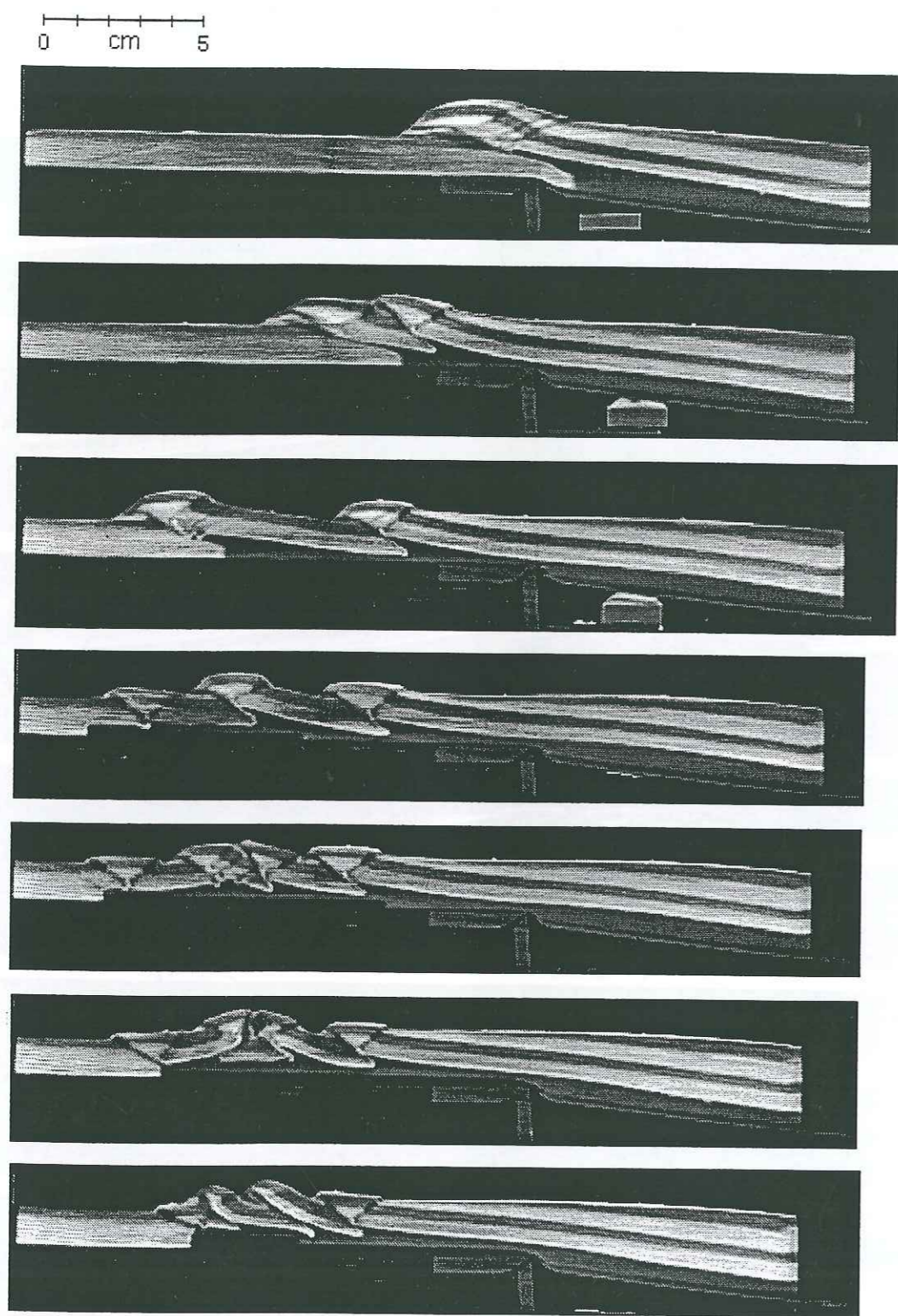


Figure 10: Seriated cross-sections through the model n°2 at the final stage illustrating the variations along strike of the deformation style.

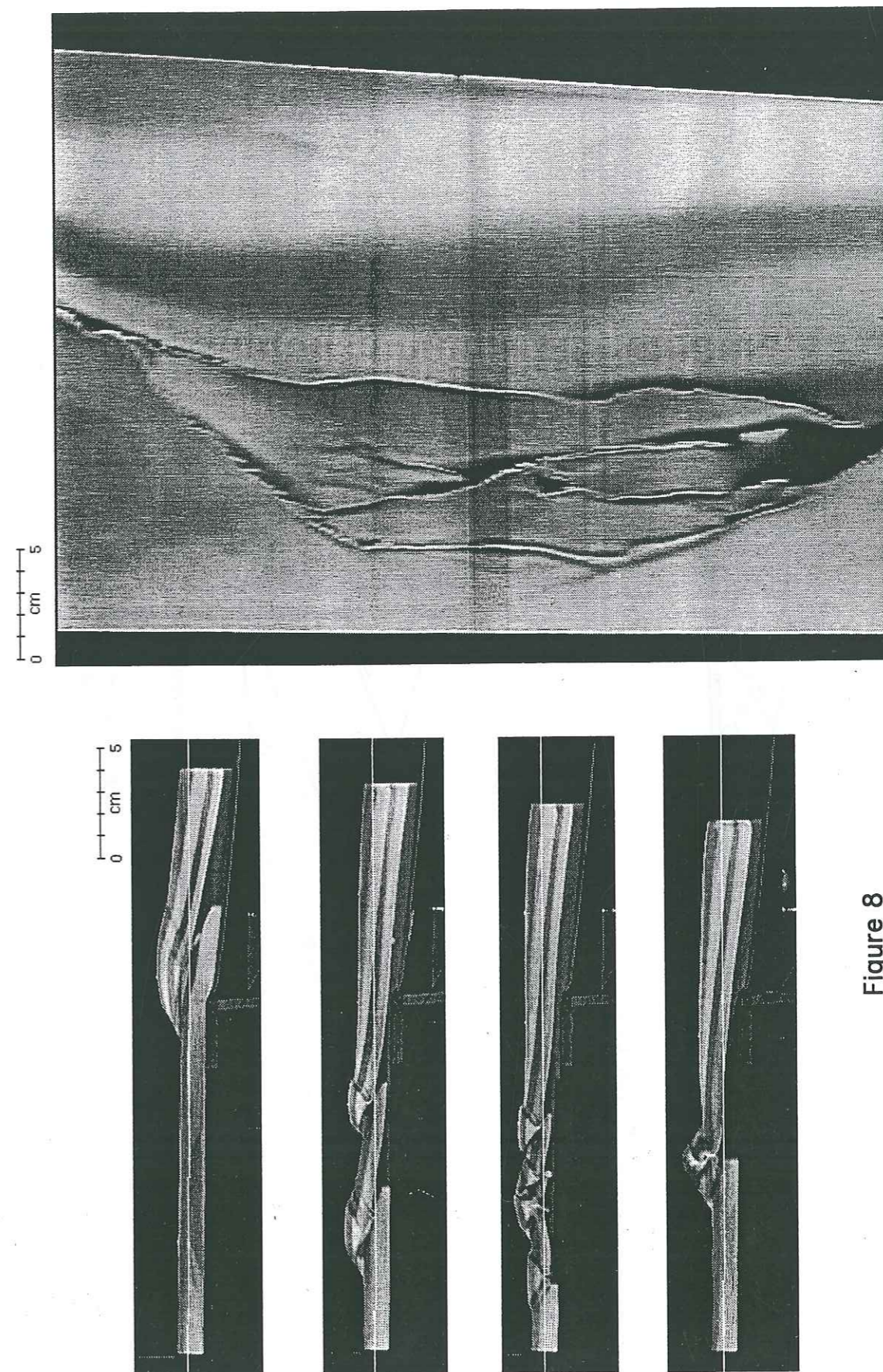


Figure 8

Figure 11: Horizontal section of the model n°2 at the final stage showing (1) the branch-lines between thrust faults and (2) the superimposition of the arcuate thrust front on the lateral boundaries of the silicone putty (compare with figure 6).



(a) Jura fold-and-thrust belt and Molasse Basin:

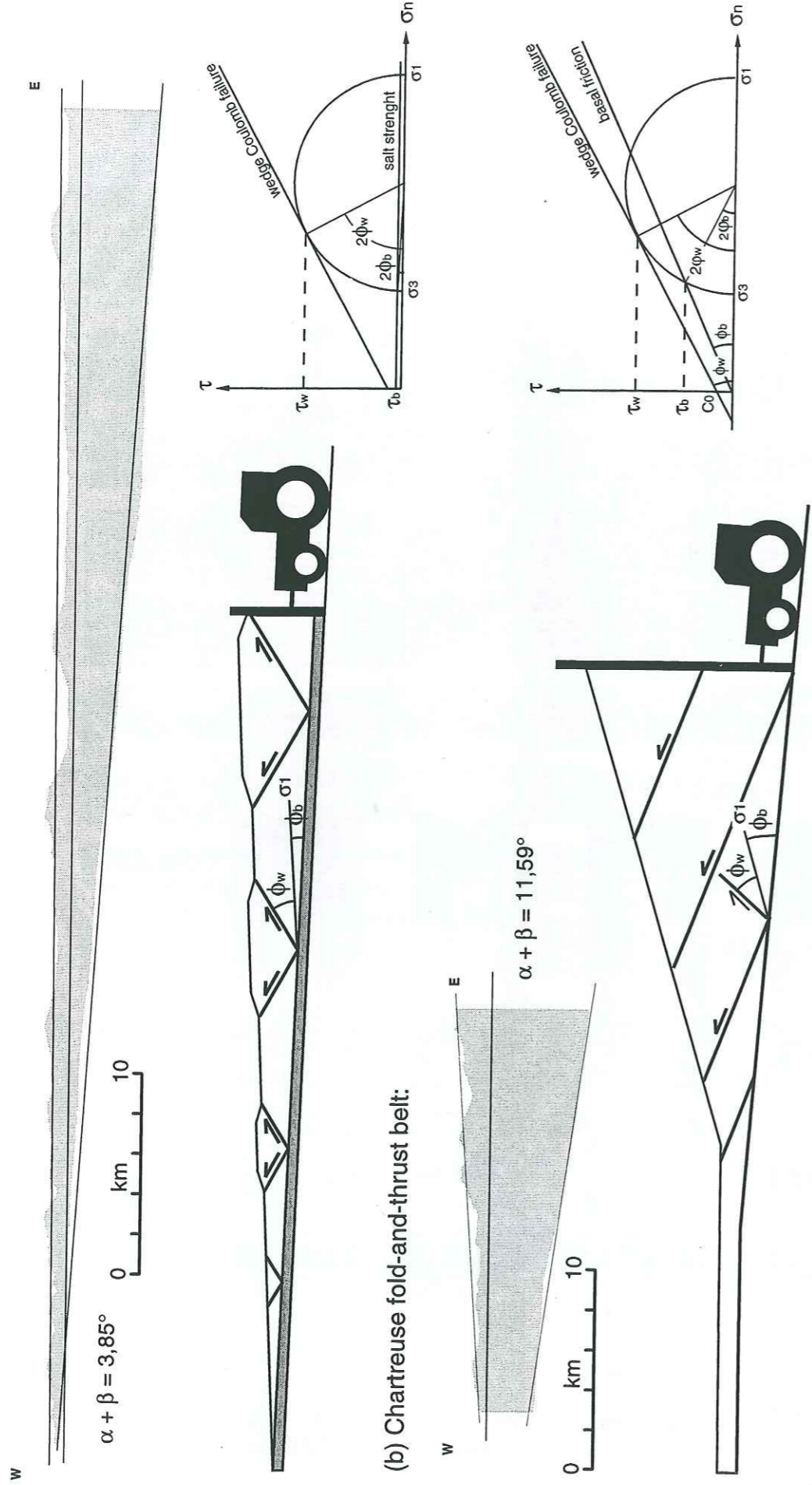


Figure 12: Comparison between cross-sectional tapers of natural examples of fold-and-thrust belts and theoretical models depending on the shear strength of the basal detachment layer (from Davis and Engelder, 1985).

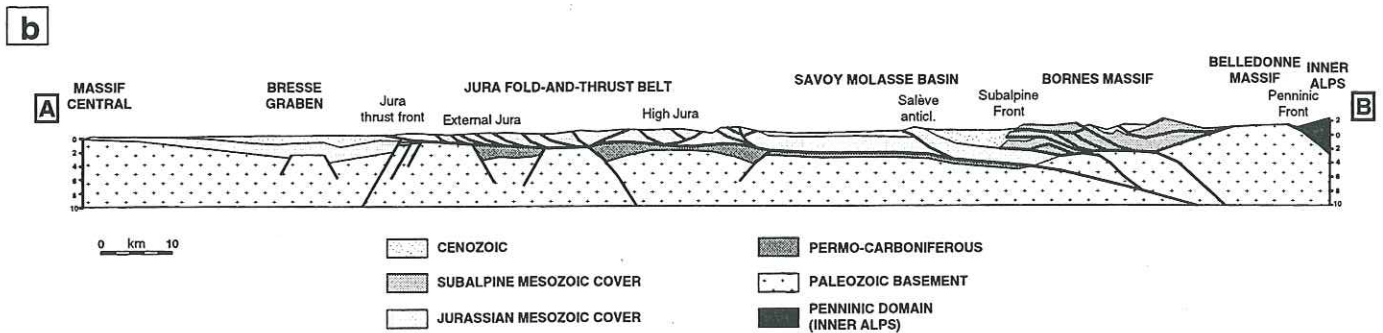
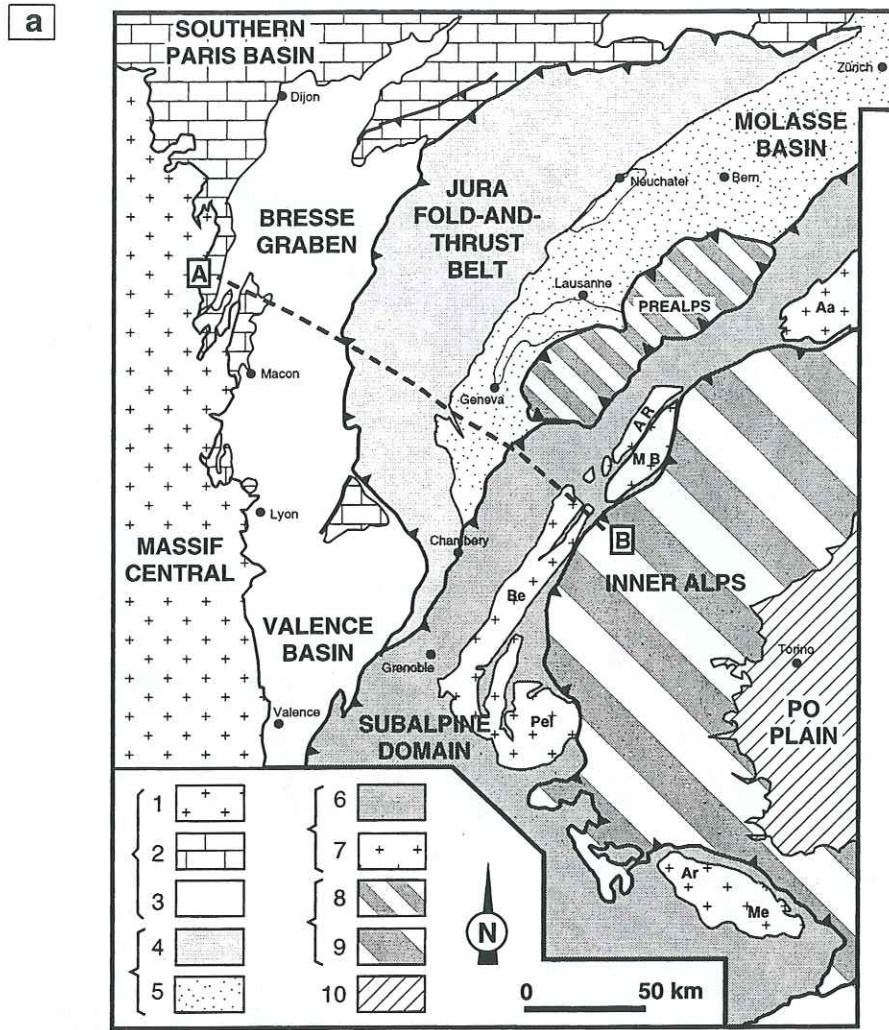
(a) A weak-basal wedge, i.e. underlain by salt (very low shear strength) has a narrow cross-sectional taper, a wide deformation belt, and nearly symmetrical structures (Jura fold-and-thrust belt and Savoy molasse basin, located north of the transverse zone, section B-B' of fig.3).

(b) A strong-basal wedge not underlain by salt or evaporites has a large taper, a narrow deformation belt and relatively shallow forward-verging thrust planes (western Chartreuse thrust belt, located south of the transfer zone, section A-A' of fig.3).

PARTIE V

ANALYSE CINÉMATIQUE ET MÉCANIQUE DU JURA





**Figure 1a:** Schematic structural map of western Alps and foreland.

1-3: Stable Western European craton (1: basement, 2: Autochthonous Mesozoic sediments, 3: Tertiary sediments); 4-5: Alpine foreland (4: Mesozoic sediments of Jura thrust belt, 5: Neogene molasse); 6-7: Subalpine domain (6: Mesozoic sediments, 7: basement); 8: Internal Alps and Swiss Prealps; 9: Southern Alps.  
 External Crystalline massifs: Aa: Aar; AR: Aiguilles-Rouges; Be: Belledonne; MB: Mont Blanc.

**Figure 1b:** Schematic cross-section through western Alps and their foreland, along the ECORS deep seismic profile (Bergerat et al., 1990; Guellec et al., 1990a; modified).

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



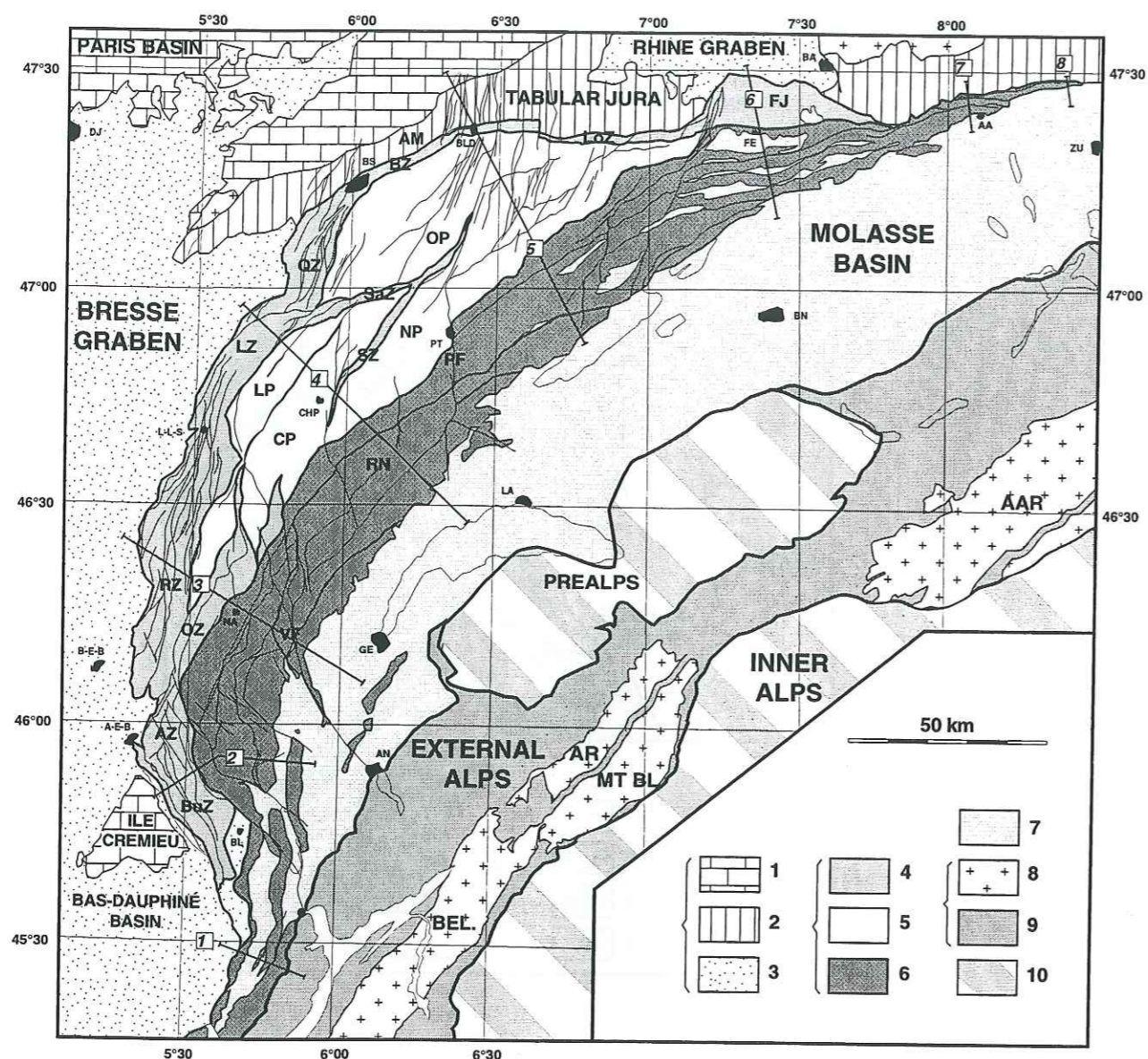


Figure 2: Tectonic map of the Jura fold-and-thrust belt (Chauve et al., 1980, modified) showing location of the cross-sections.

1-3: Stable domain (1: Autochthonous Mesozoic cover of the Burgundy platform, 2: Para-autochthonous Mesozoic cover of the Avant-Monts zone and Tabular Jura; 3: Tertiary fill of the Bresse and Rhine grabens); 4-6: Jura fold-and-thrust belt (4: Imbricate zones ("Faisceaux"), 5: Plateaus, 6: Internal Jura); 7: Neogene deposits of the Swiss Molasse Basin; 8-9: Subalpine domain (8: Paleozoic basement, 9: Mesozoic cover); 10: Inner Alps and Swiss Prealps.

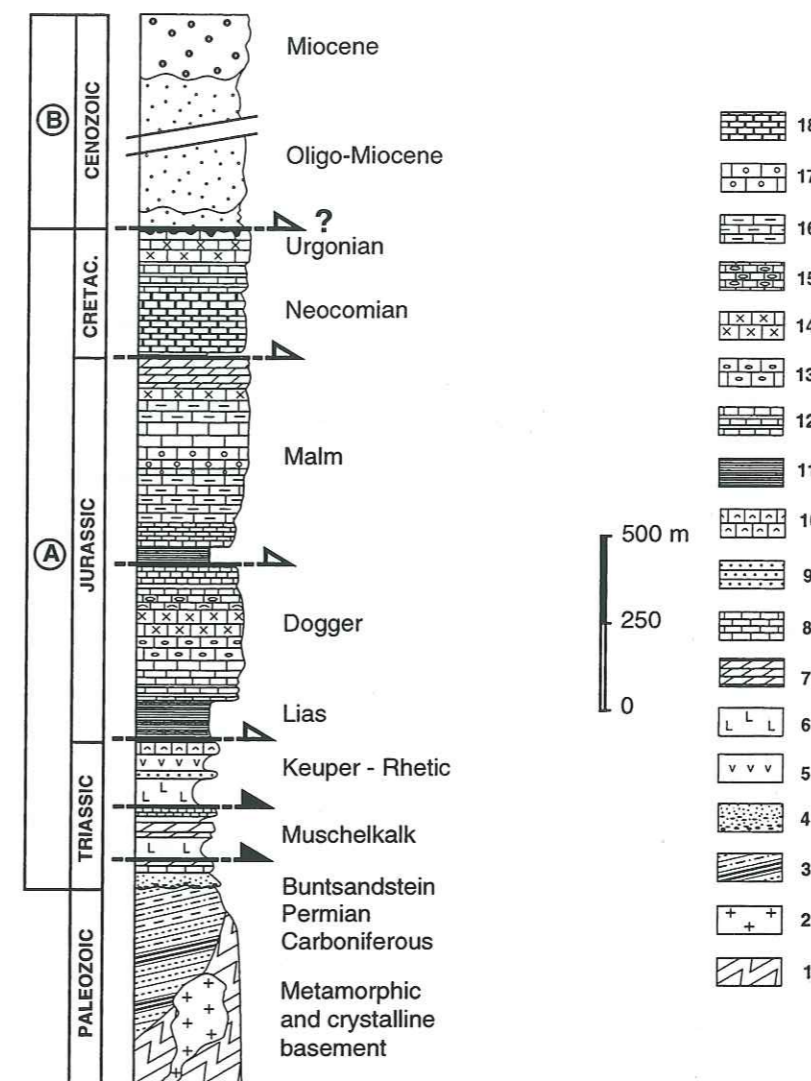
Internal Jura: BJ: Basel Jura; RN: Risoux Nappe; VF: Vuache Fault; PF: Pontarlier-Vallorbe Fault.

Imbricate zones ("faisceaux"): AZ: Ambérieu Zone; BZ: Besançon Zone; BuZ: Bugey Zone; FJ: Ferrette Jura; LZ: Lons Zone; LoZ: Lomont Zone; OZ: Orgelet Zone; QZ: Quingey Zone; SaZ: Salins Zone; SZ: Syam Zone.

Plateaux and Tabular Jura: AM: Avant-Monts zone; AP: Ajoie Plateau; CP: Champagnole Plateau; LP: Lons Plateau; NP: Nozeroy Plateau; OP: Ornans Plateau.

External Crystalline massifs: AA: Aar; AR: Aiguilles-Rouges; BEL: Belledonne; MT BL: Mont Blanc.

Cities: AA: Aarau; A-E-B: Ambérieu-en-Bugey; AN: Annecy; BA: Basel; B-E-B: Bourg-en-Bresse; BLD: Baumes-les-Dames; BL: Belley; BN: Bern; BS: Besançon; CHB: Chambéry; CHP: Champagnole; DJ: Dijon; FE: Ferrette; GE: Geneva; LA: Lausanne; L-L-S: Lons-le-Saunier; NA: Nantua; PT: Pontarlier; ZU: Zürich.



(B) TERTIARY INFILLING OF THE MOLASSE BASIN

(A) MESOZOIC COVER OF THE JURA FOLD-AND-THRUST BELT AND ADJACENT AREAS (BRESSE GRABEN AND MOLASSE BASIN)

Figure 3: Summary lithostratigraphic column of Mesozoic and Tertiary series of the Jura and the Molasse basin.

Arrows indicate the potential décollement levels (black arrows show the location of the two regional sole thrusts. Eastern Jura: Middle Muschelkalk salt; Central and Southern Jura: Early Keuper salt).

1: Metamorphic basement; 2: Granites; 3: Coal-measures and black shales; 4: Conglomerates, pebbles and sandstones; 5: Evaporites; 6: Massive salt layers; 7: Dolomites; 8: Limestones; 9: Sandstones; 10: Shelly limestones; 11: Marls; 12: Alternating marls and limestones; 13: Oncolitic limestones; 14: Reef limestones; 15: Cherty limestones; 16: Argillaceous limestones; 17: Nodular limestones; 18: Bioclastic limestones.



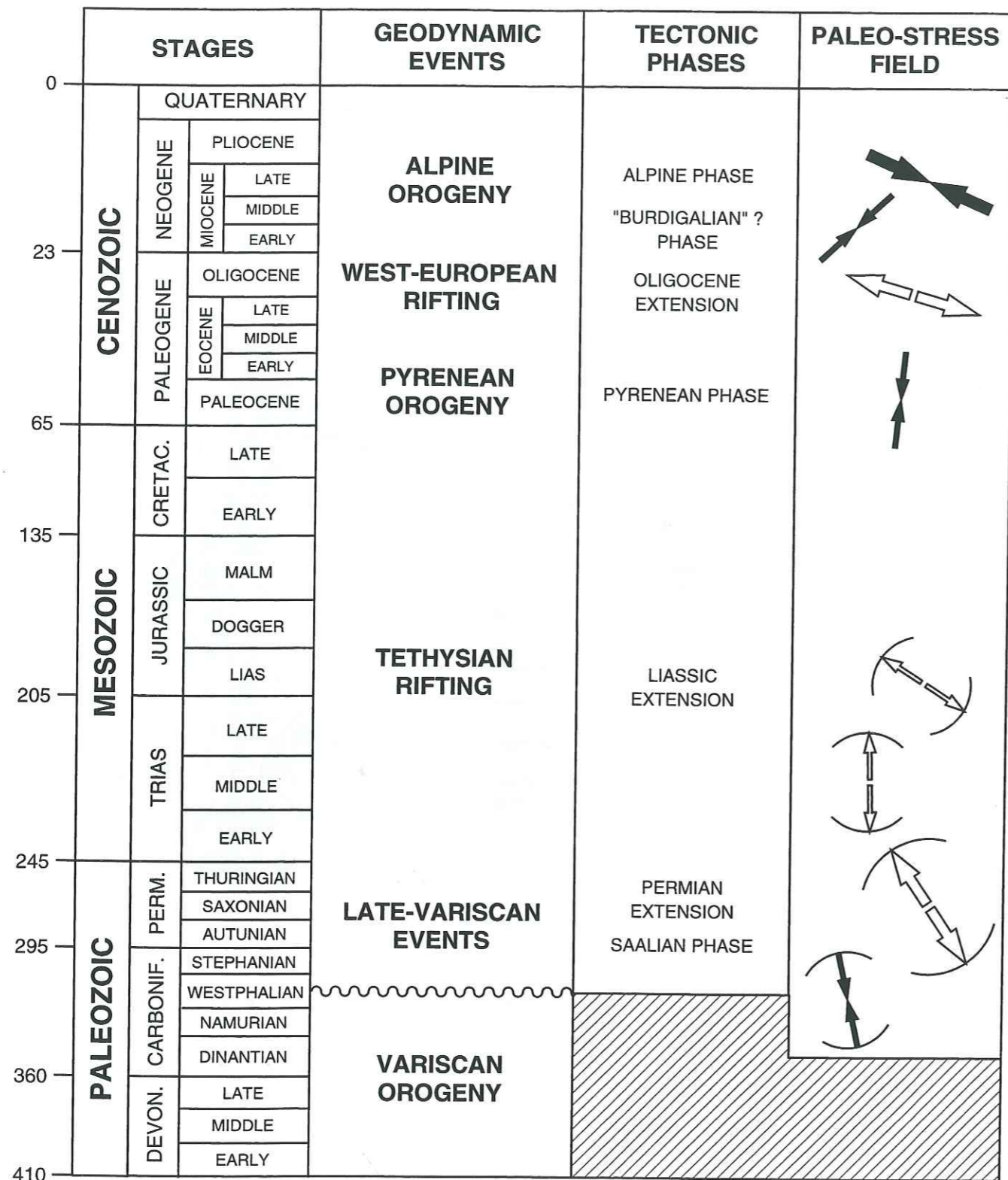


Figure 4: Tectonic events recorded in the Jura domain.

Black arrows: maximum ( $\sigma_1$ ) principal stress axis; open arrows: minimum ( $\sigma_3$ ) principal stress axis.

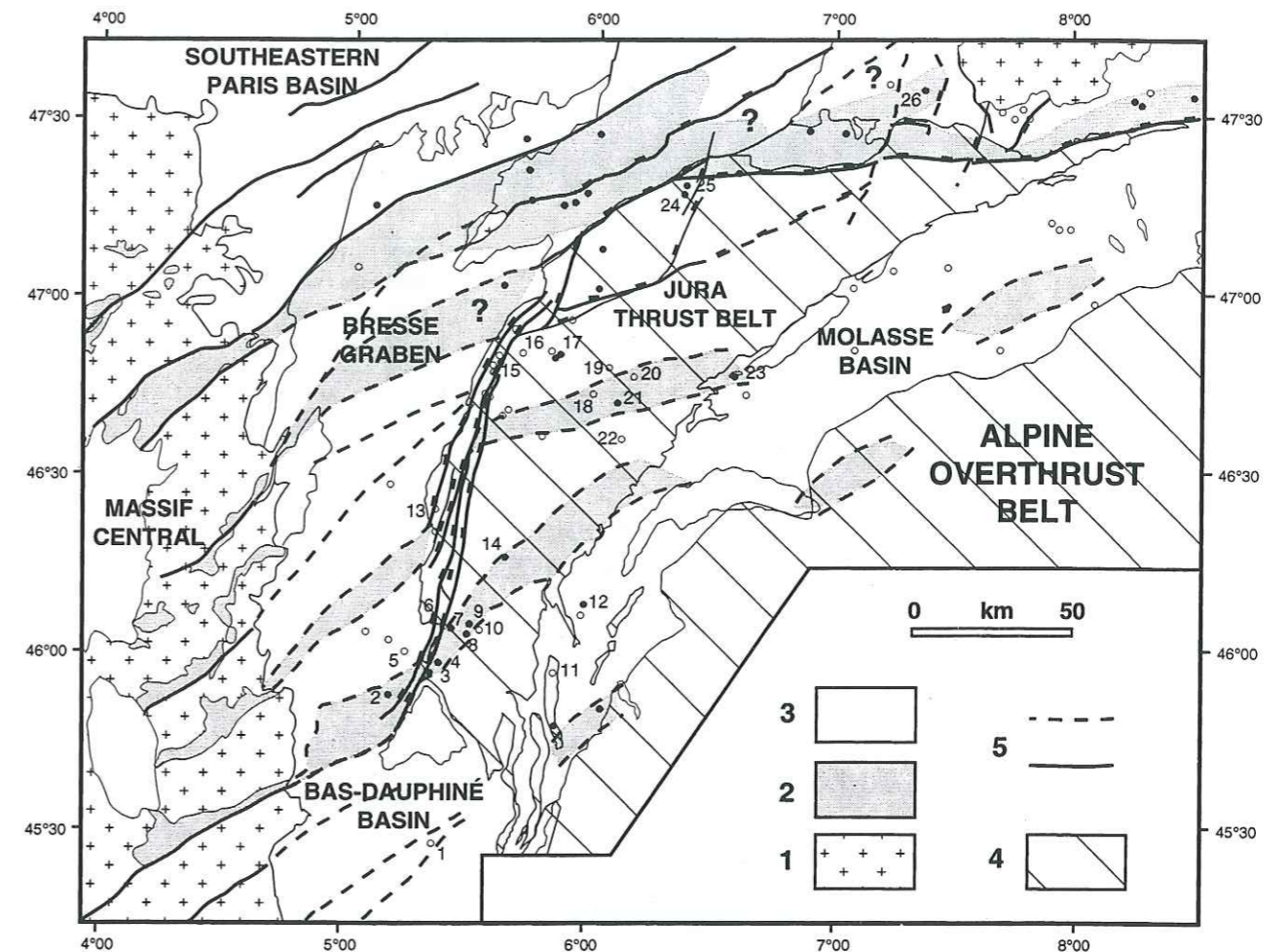


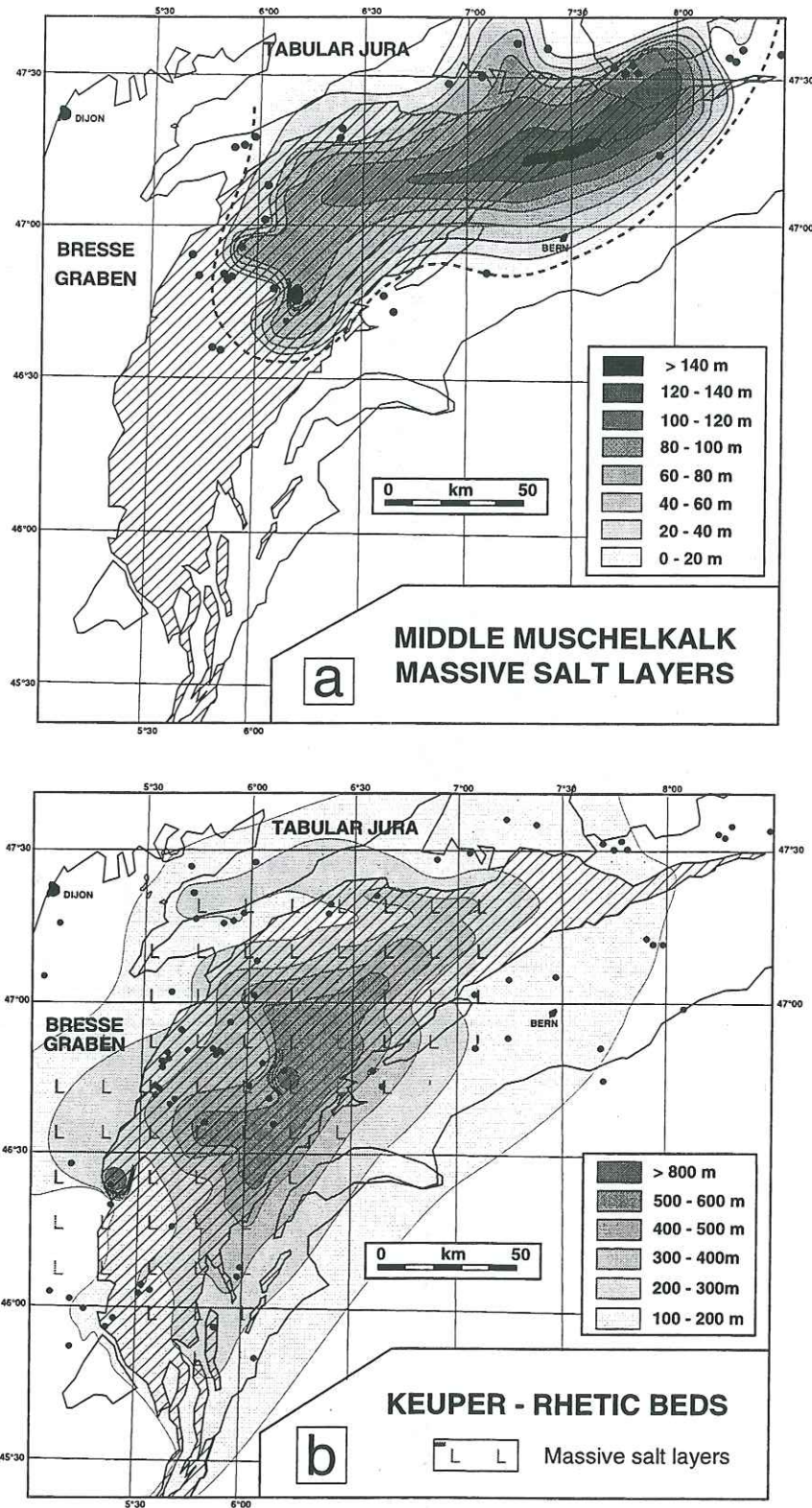
Figure 5: Relationship between basement faults and the location of the Jura thrust front.

The deep-seated basement faults in the Bresse graben are inferred from gravimetry data (BRGM, 1980; Truffert et al., 1990; modified).

1: Autochthonous Paleozoic crystalline basement; 2: Devono-Dinantian and Late Variscan Permo-Carboniferous troughs (outcropping, drilled or imaged on seismic profiles); 3: Autochthonous Mesozoic cover and Tertiary sediments; 4: Jura fold-and-thrust belt and Western Alps; 5: Late Variscan deep-seated lineaments.

Boreholes: 1: Paladru; 2: Blyes; 3: Vaux-en-Bugey; 4: Torcieu; 5: Cormoz; 6: Bugey 101; 7: Bugey 102; 8: Chatillon; 9: Chaleyriat; 10: La Chandelière; 11: La Taillaz; 12: Humilly; 13: Poisoux; 14: Charmont; 15: Lons-le-Saunier; 16: Grozon; 17: Valempoulières; 18: Toillon; 19: Essavilly; 20: Laveron; 21: Chatelblanc; 22: Risoux; 23: Treycovagnes; 24: Orsans; 25: Buez; 26: Knoerringue.





**Figure 6:** Relationship between the development of the Jura fold-and-thrust belt and the distribution of the Triassic evaporites (thicknesses in meters).

**Figure 6a:** Isopach map of the Muschelkalk massive salt layers.

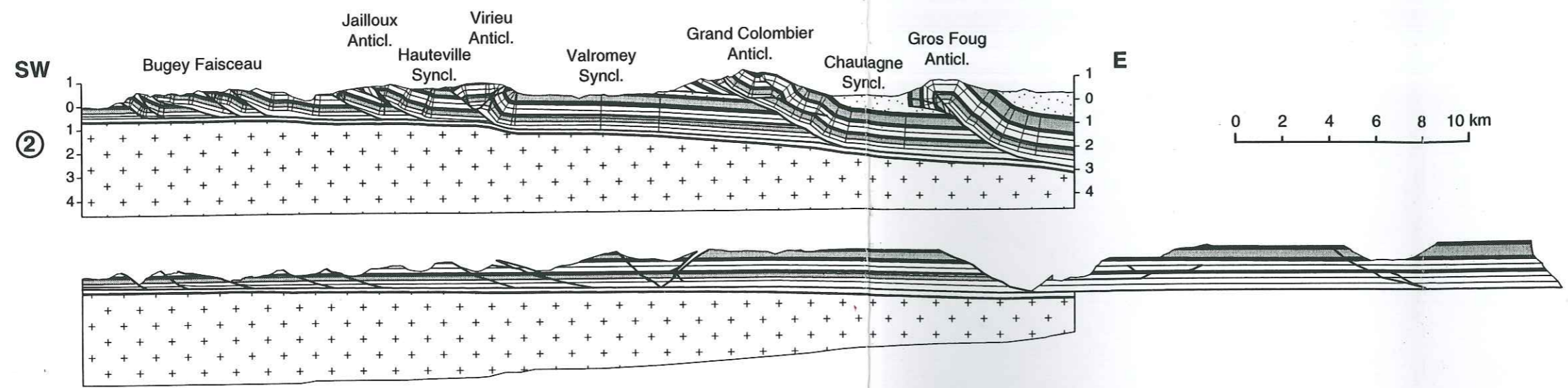
**Figure 6b:** Isopach map of the Upper Triassic (Keuper-Rhetic) layers (Lienhardt, 1984; modified).

Note that these maps are based only on wells data, thus iso-values are indicative, especially in the eastern central part of the belt where no data are available.

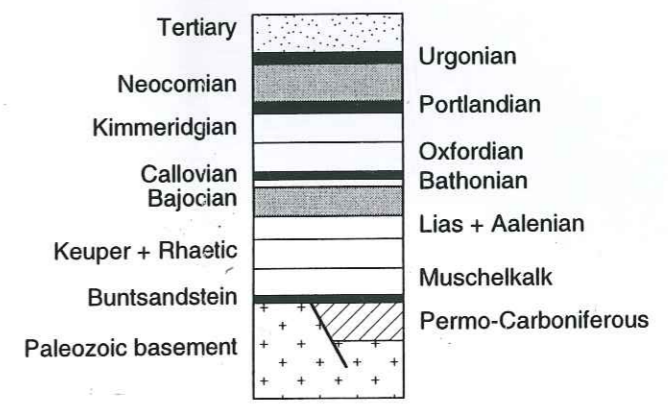
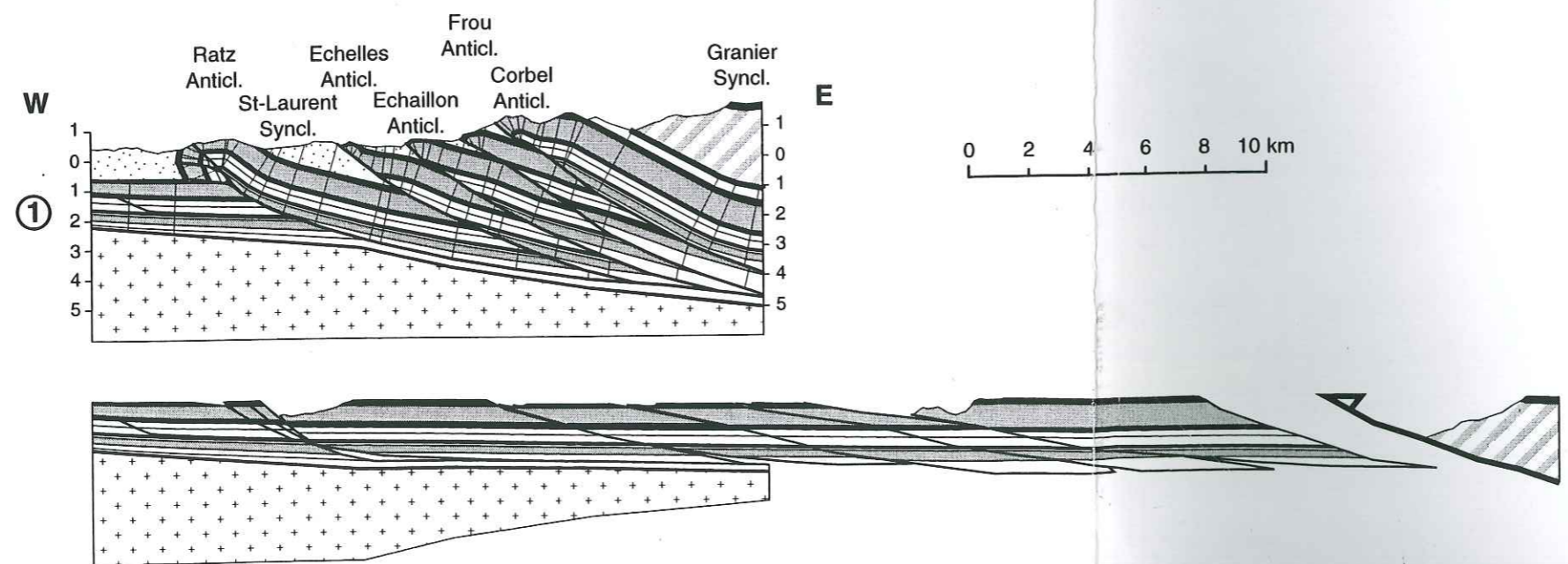
tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



ILE CREMIEU    EXTERNAL JURA    INTERNAL JURA    MOLASSE BASIN



BAS-DAUPHINÉ BASIN    JURASSIAN CHAÎNONS    CHARTREUSE MASSIF

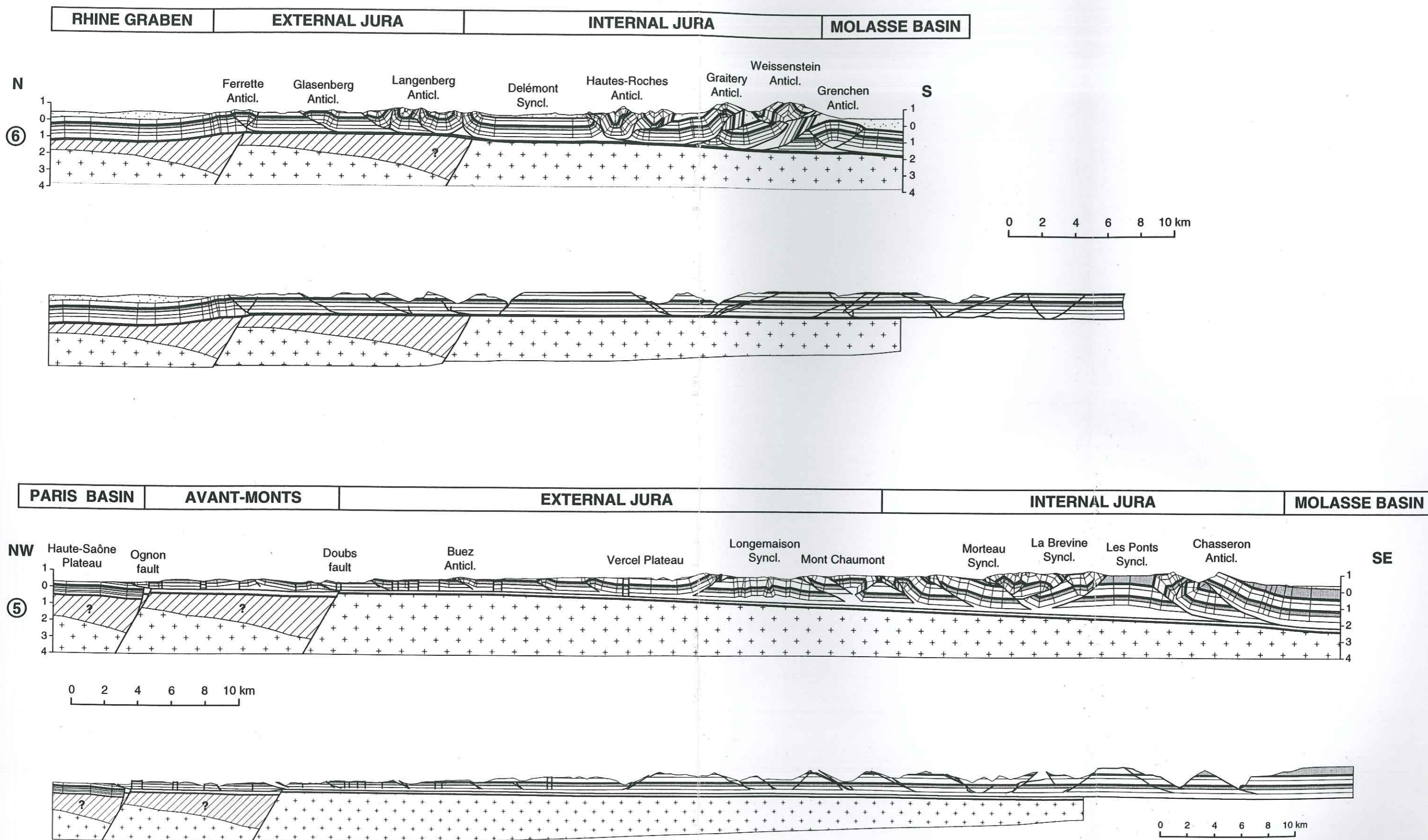


tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012





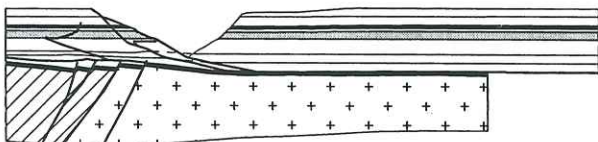
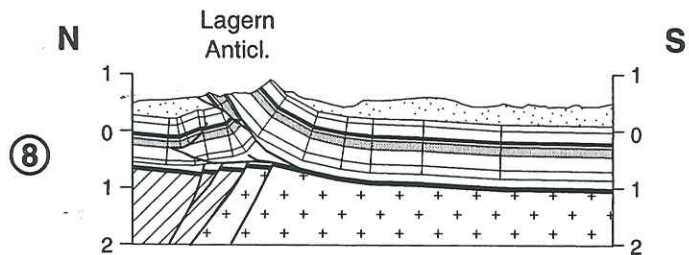




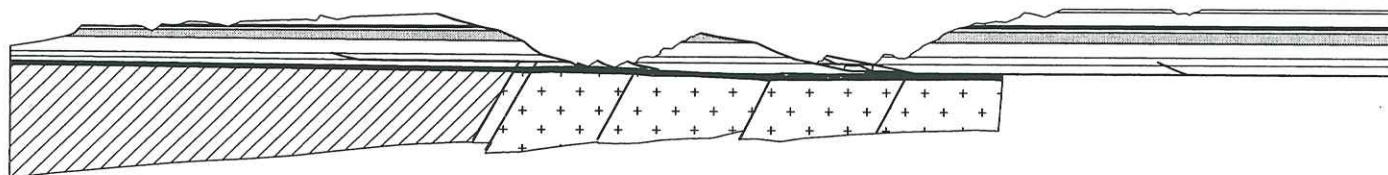
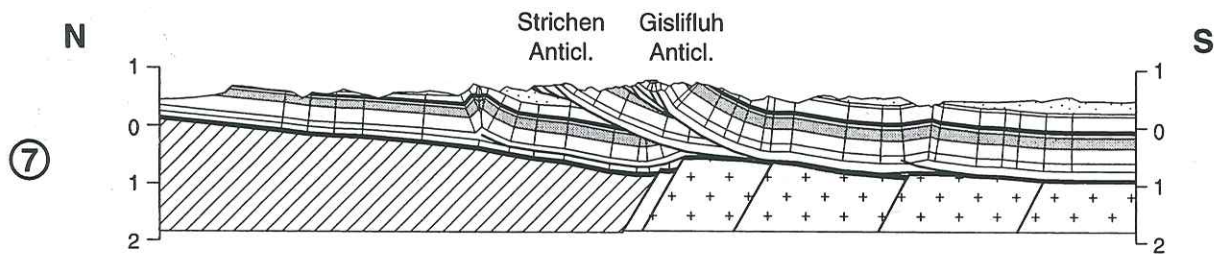
tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



**TABULAR JURA    FOLDED JURA    MOLASSE BASIN**



**TABULAR JURA    FOLDED JURA    MOLASSE BASIN**





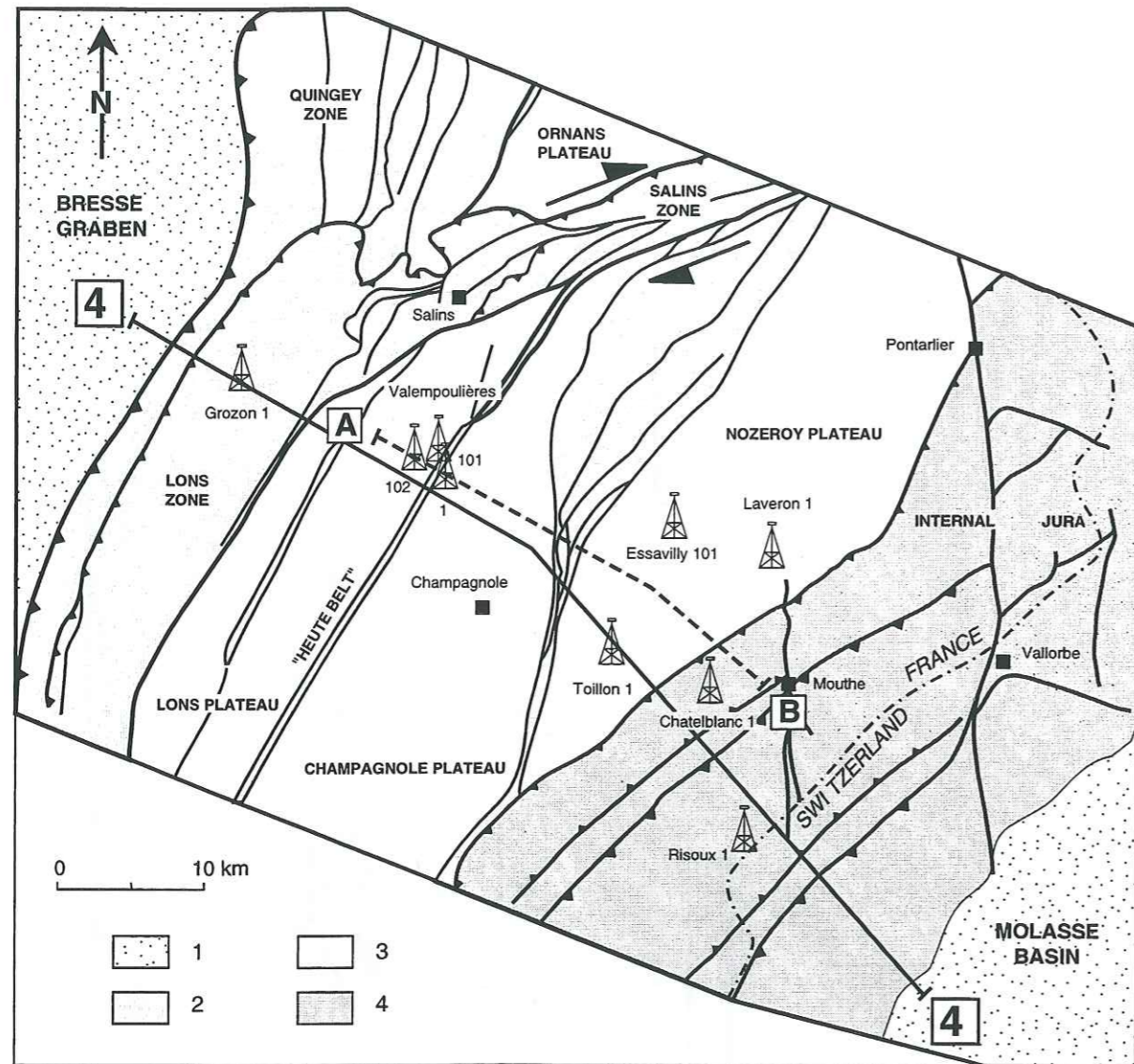


Figure 7a: Schematic structural map of the Valempoulières area.

1: Tertiary; 2: Jura Faisceaux; 3: Jura Plateaux; 4: Haute-Chaine

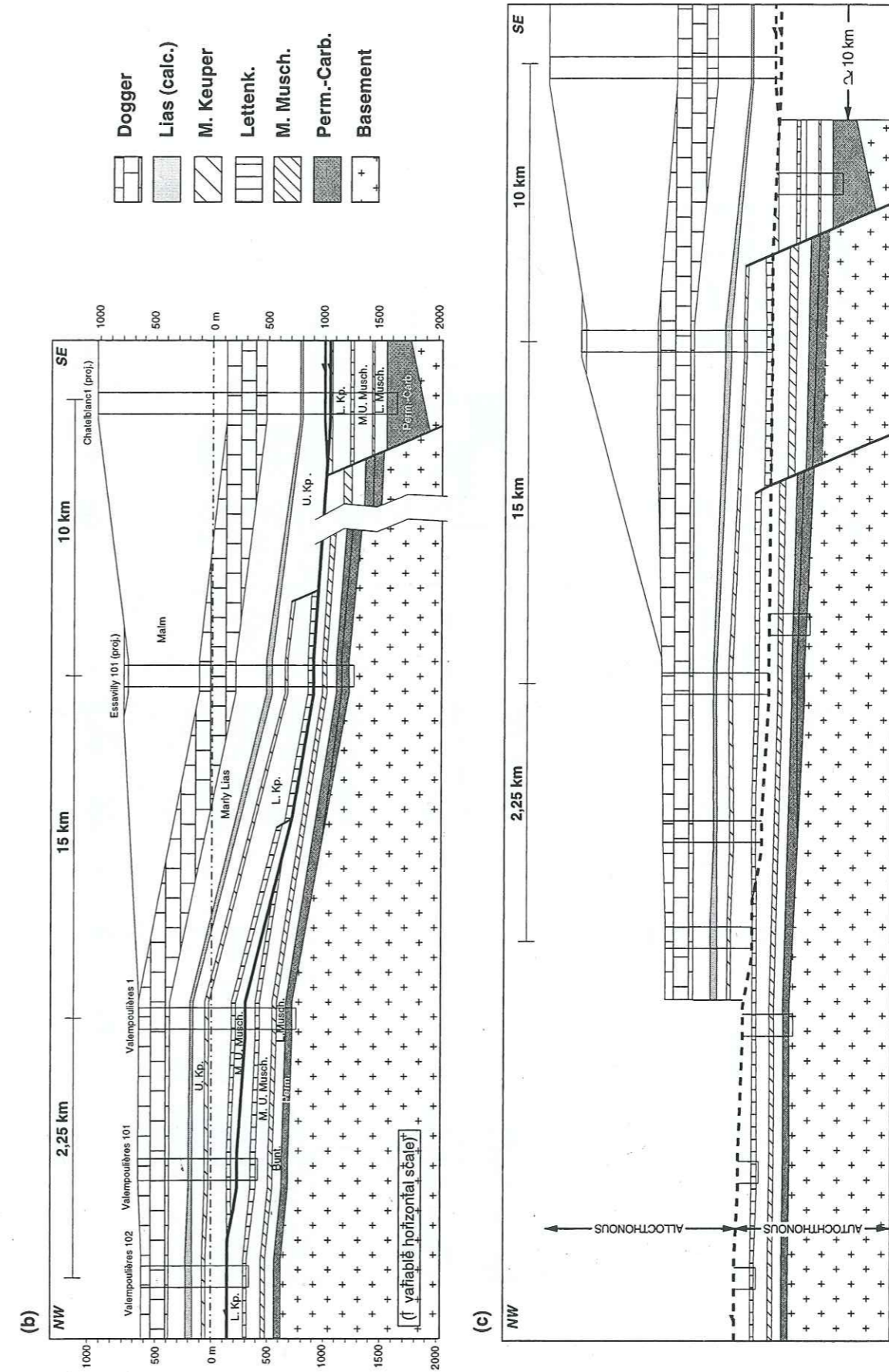


Figure 7b: Structural correlation between selected boreholes along a NW-SE transect.

Figure 7c: Restoration of the previous section.



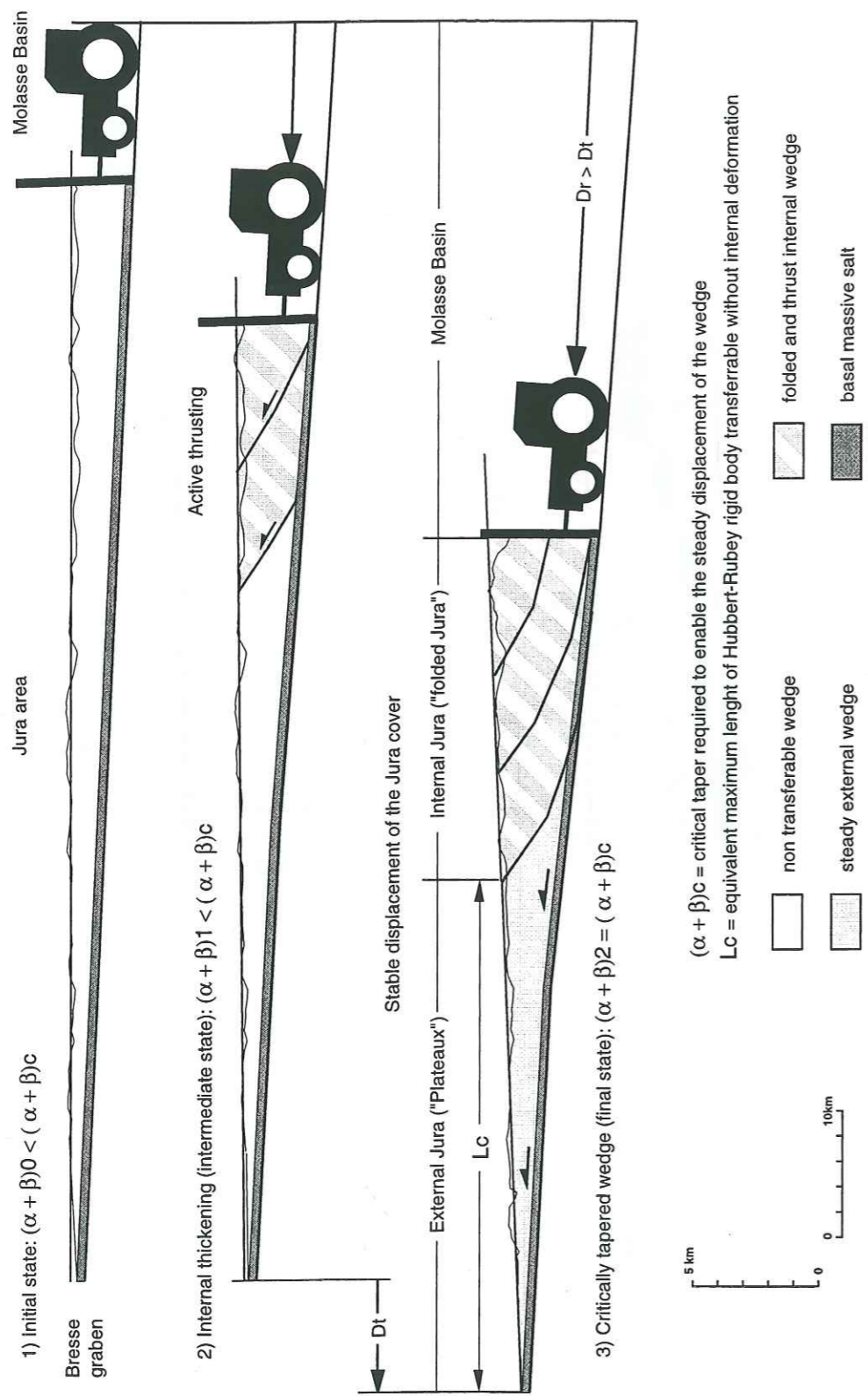


Figure 8: Critical taper model of Davis et al. (1983) applied to the Jura fold-and-thrust belt.

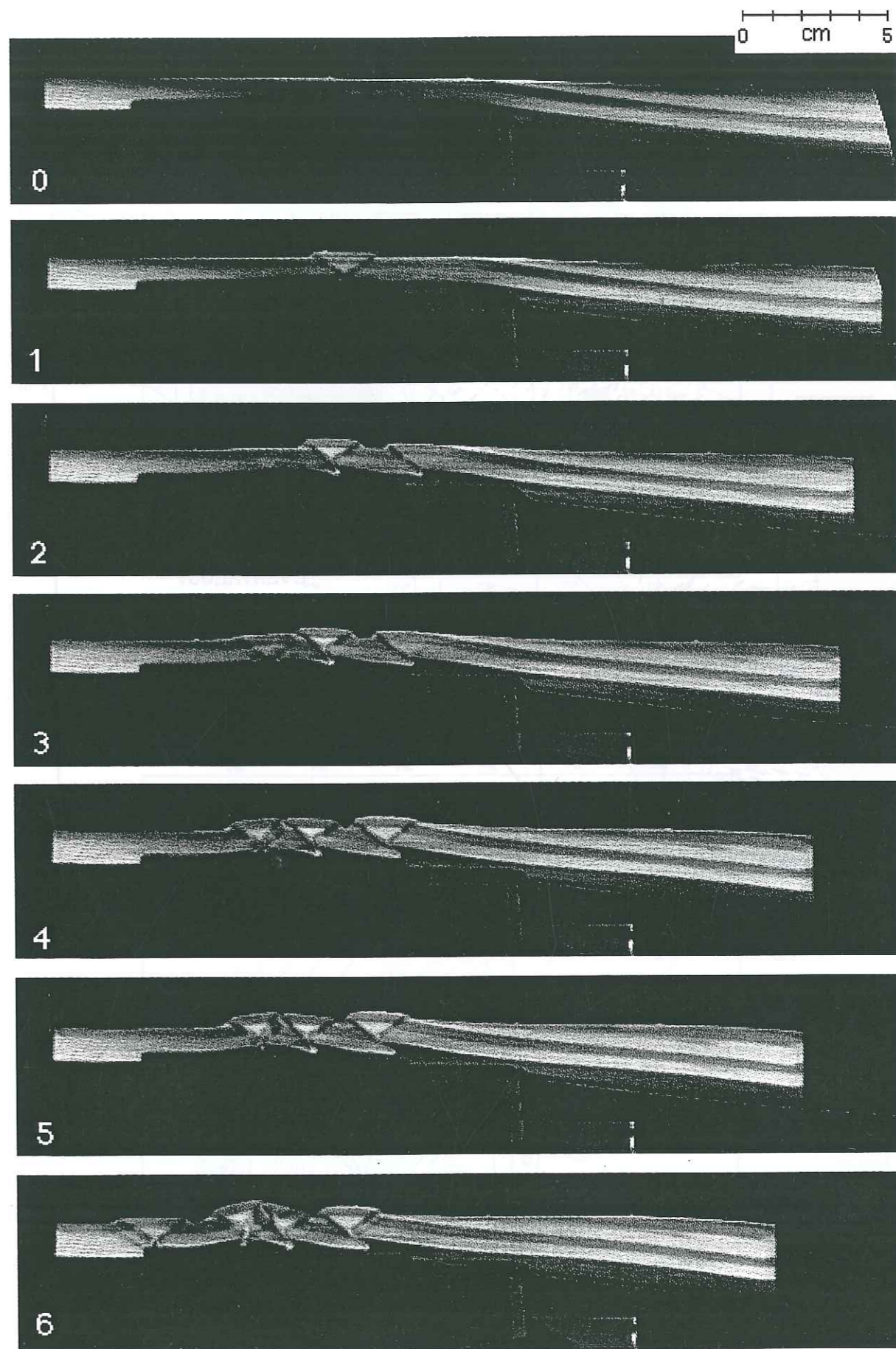


Figure 9: Evolutive cross-sections of an analogue model simulating the horizontal push exerted by a mobile back-stop on the Alpine foreland.



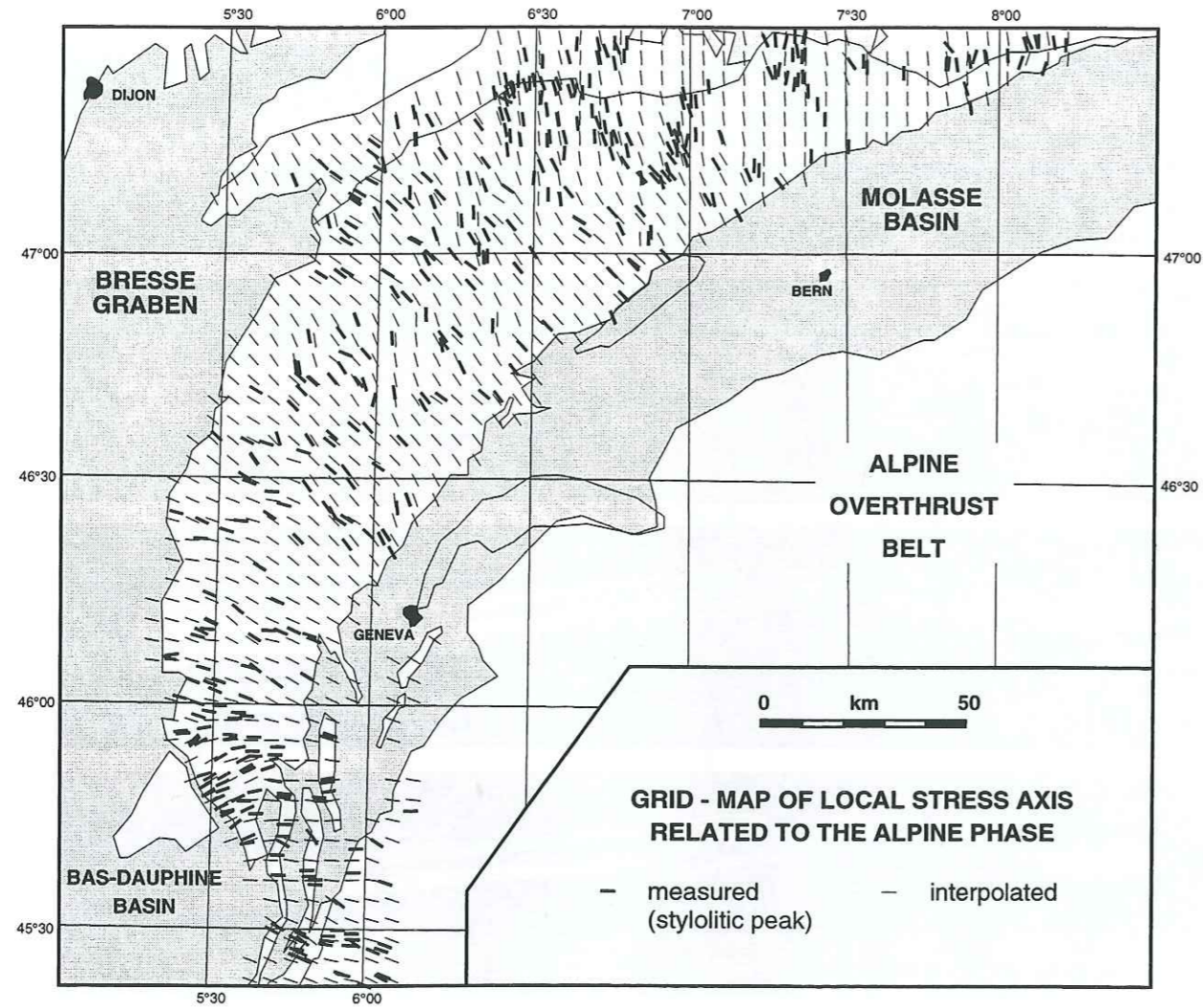


Figure 10: Grid-map of the Mio-Piocene principal stress axes in the Jura fold-and-thrust belt based on stylolitics peaks (compiled after Plessman, 1972; Meier, 1984; Tschanz, 1990; Philippe, 1994; 1995).

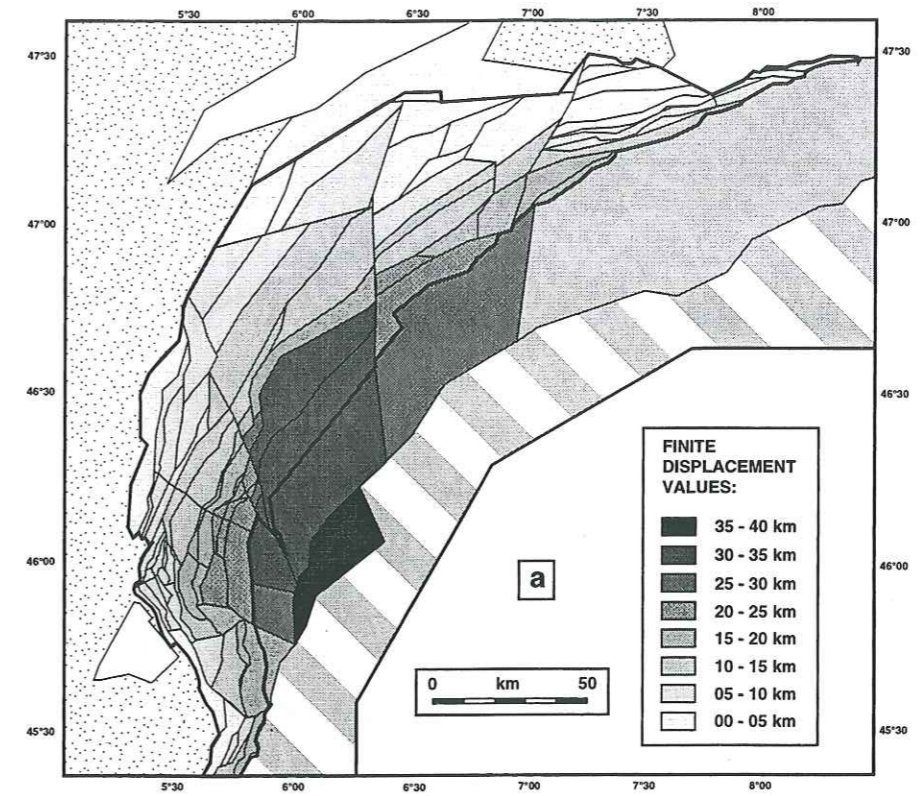


Figure 11a: Structural map of the Jura fold-and-thrust belt divided in surface units.

Finite displacement values are calculated from the figure 11b

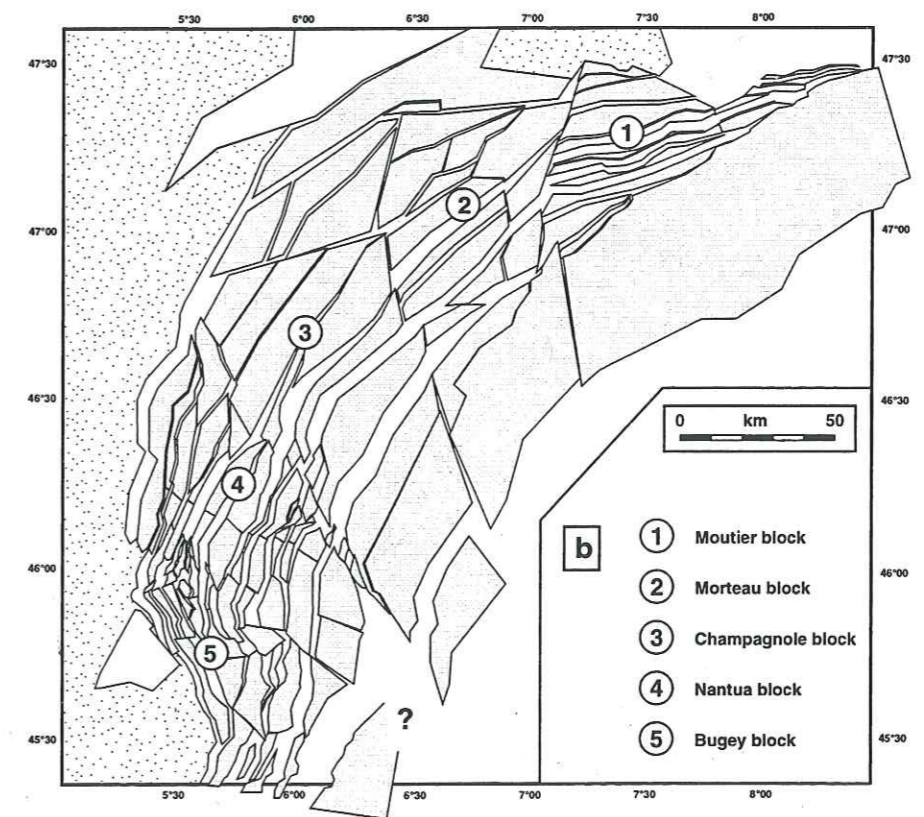


Figure 11b: Final restored map.



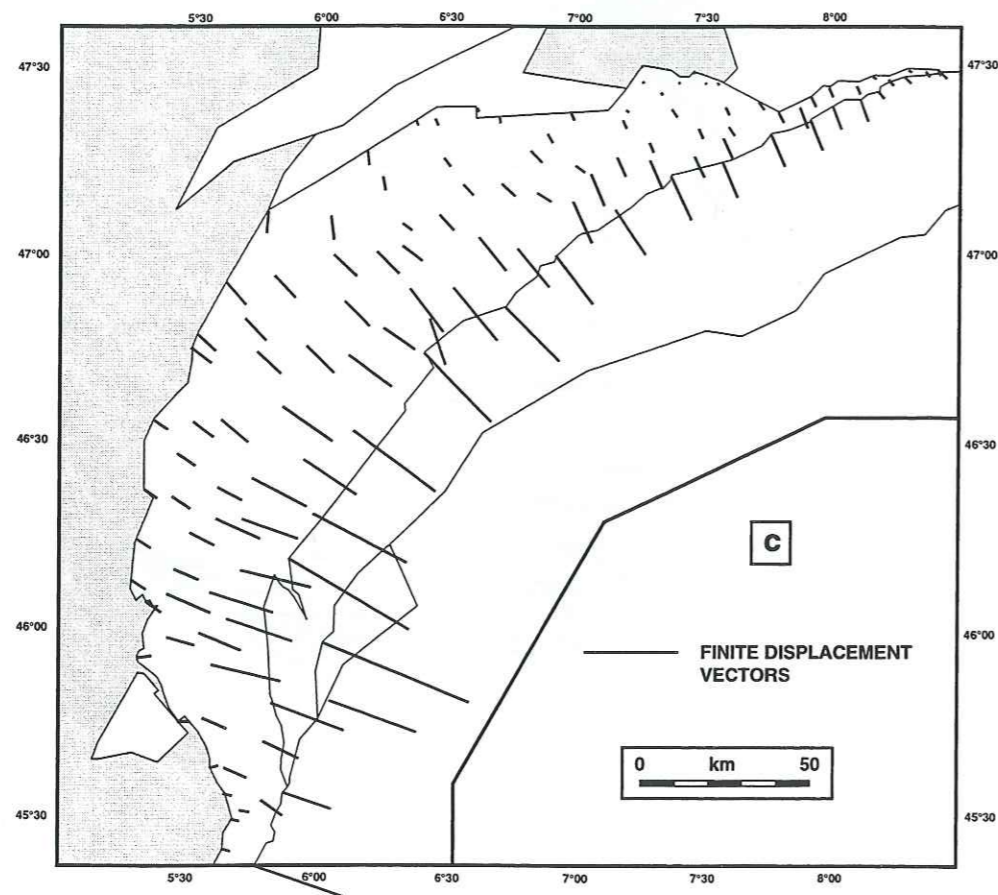


Figure 11c: Finite displacement vectors derived from figure 11b.

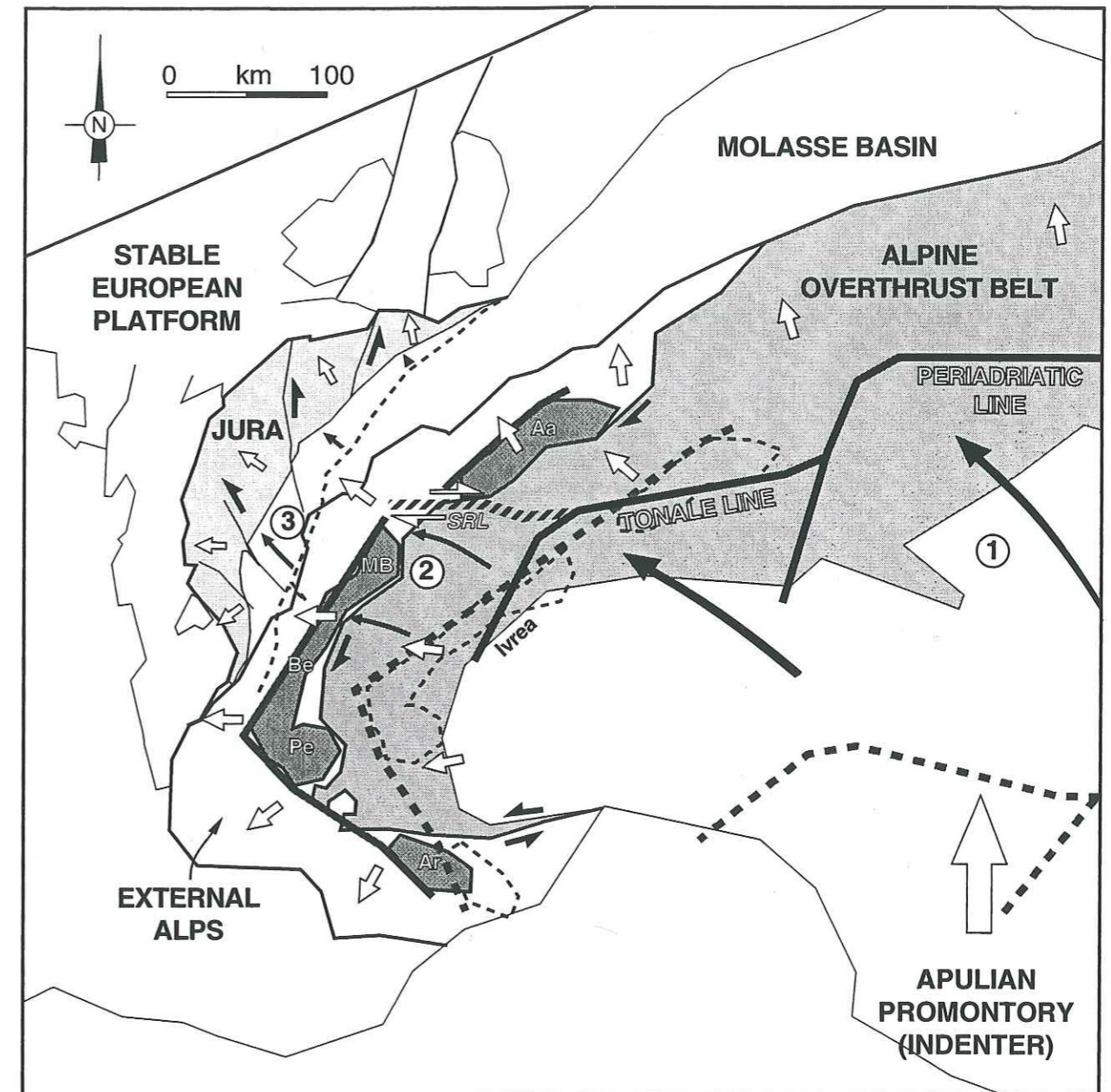


Figure 12: Megatectonic map illustrating indenter effect of West Alpine arc and position of Jura fold-belt relative to the External crystalline massifs and Simplon-Rhône line (see text for explanation).

The palinspastic reconstitution of the Periadriatic line and External crystalline massifs is based on Vialon et al. (1989).

SRL: Simplon-Rhône Line.

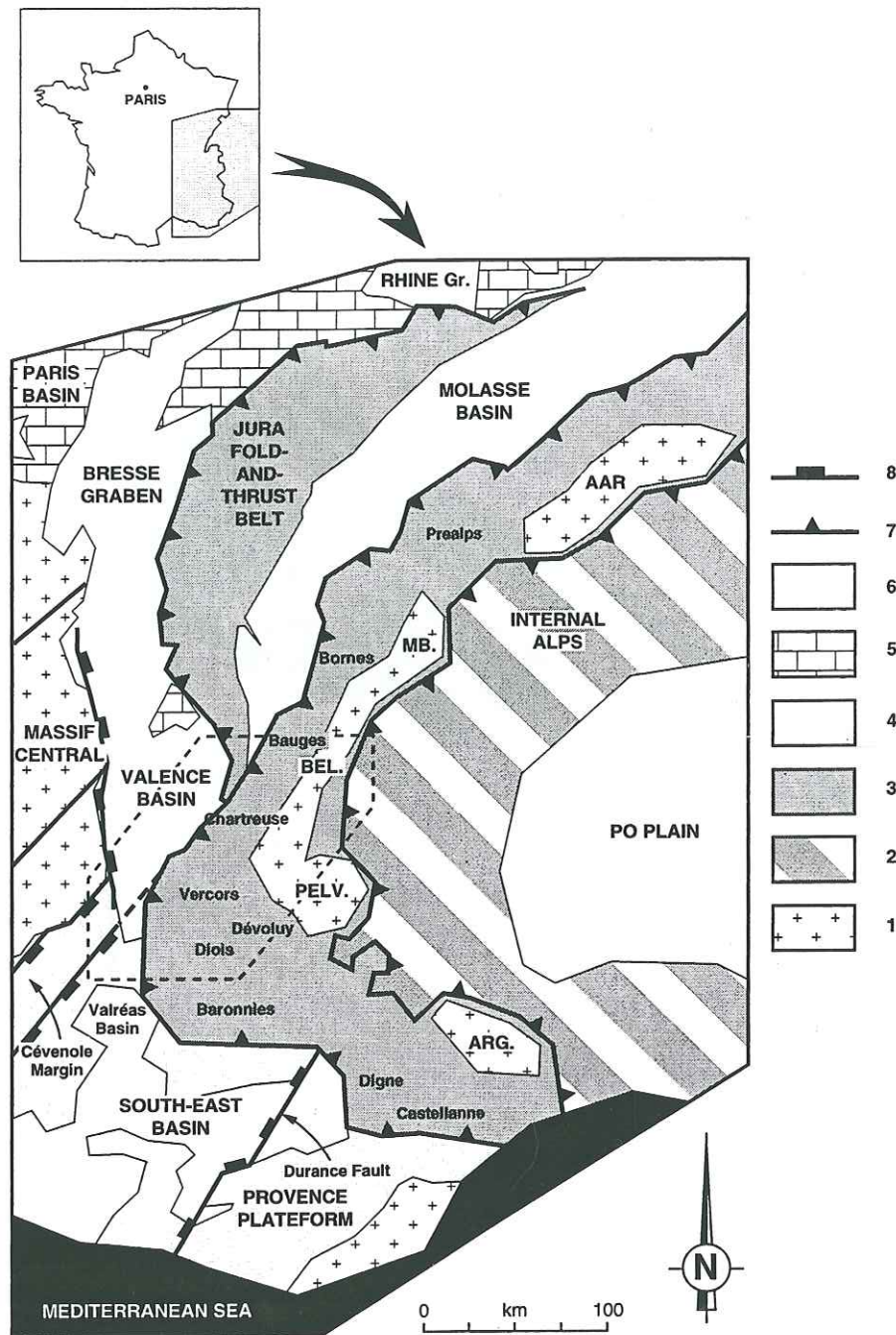
External Crystalline massifs: Aa: Aar-Gothard massif; Ar: Argentièrre massif; Be: Belledonne; MB: Mont Blanc - Aiguilles-Rouges massifs; Pe: Pelvoux massif.



**PARTIE VI**

**LE VERCORS OCCIDENTAL**





**Figure 1:** Schematic structural map of southeastern France and location of the study area.

The dotted line indicates the location of figure 1b.

1: Paleozoic basement; 2: Internal Alps; 3: External Alps (Dauphino-Helvetic domain) and Alpine foreland (Jura fold-and-thrust belt); 4: Pyreneo-Provençal domain and foreland; 5: Stable European craton; 6: Neogene; 7: Main Alpine thrust fronts; 8: Main Early Mesozoic normal faults.

Aar: Aar massif; Arg: Argentière massif; Bel: Belledonne massif; MB: Mont Blanc massif; Pelv: Pelvoux massif.



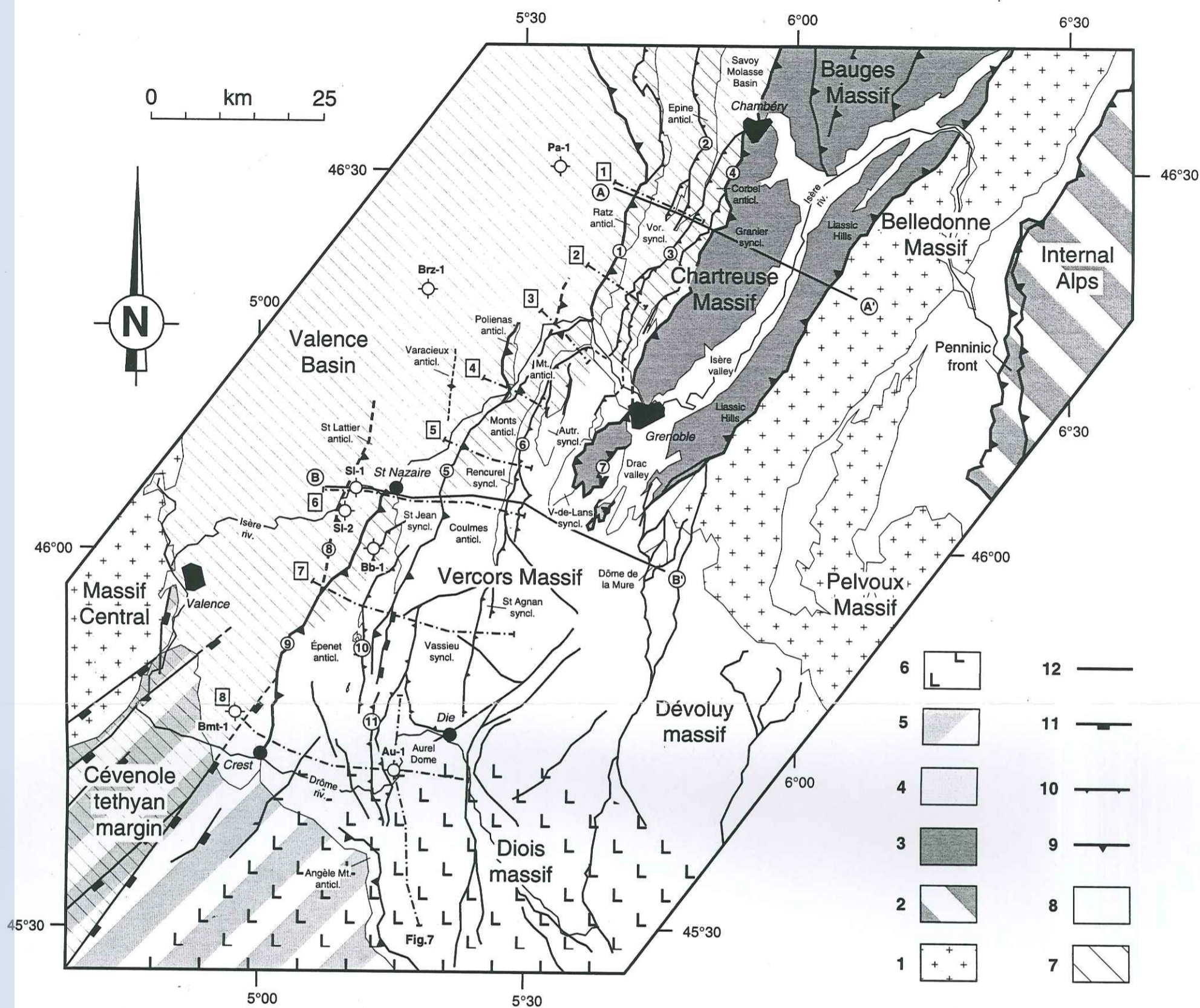


Figure 1b: Structural map of the Chartreuse and Vercors Subalpine massifs (location in figure 1a).

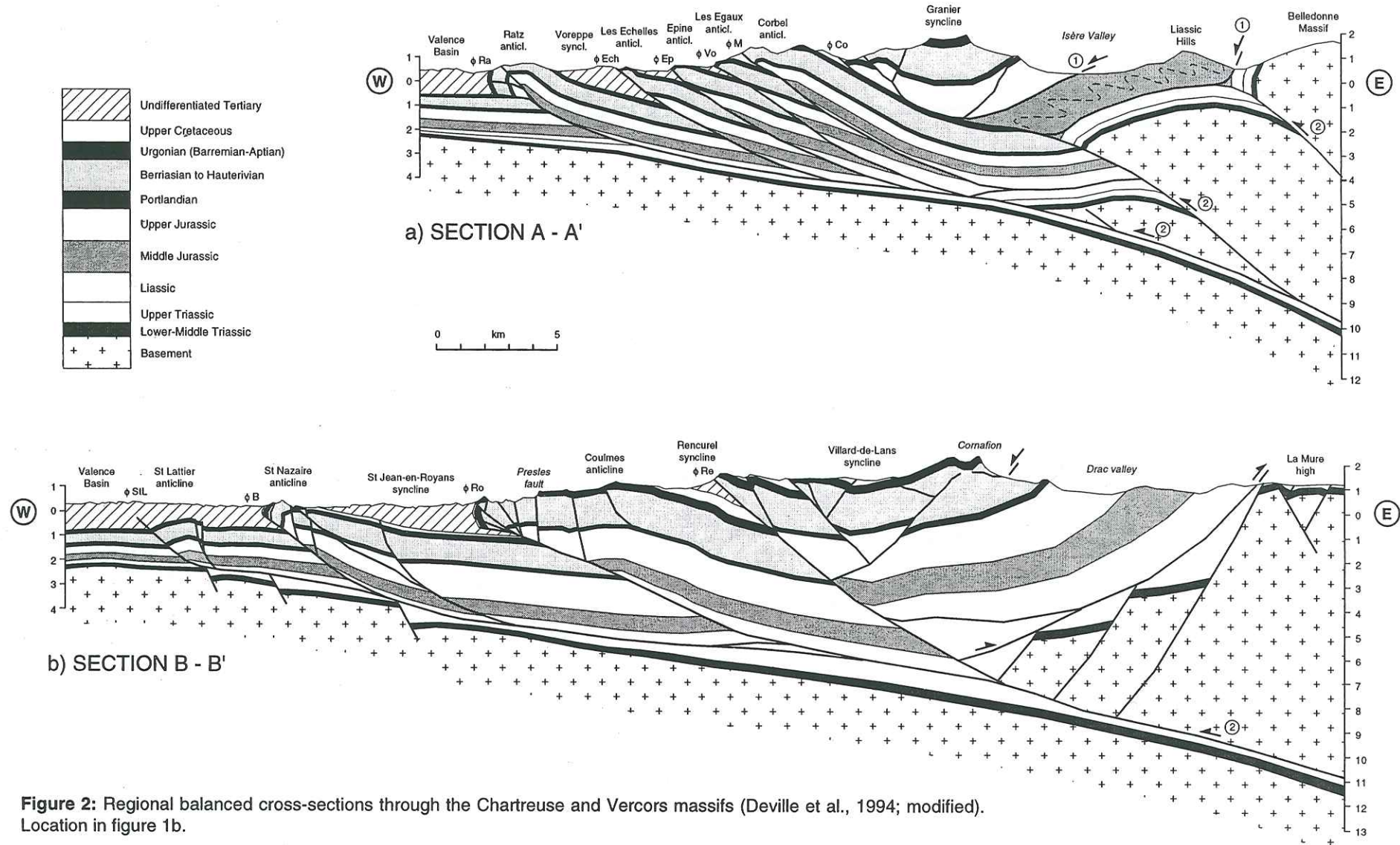
1: Paleozoic basement; 2: Alpine metamorphic units; 3: Subalpine zone (sensu-stricto); 4: Detached Mesozoic cover of the Chartreuse and Vercors massifs; 5: Autochthonous Mesozoic cover; 6: Extension of the Triassic rocks; 7: Approximate extension of the thin "Jurassien" platform-type and "Pre-Subalpin" transitional-type Mesozoic series; 8: Cenozoic; 9: Major thrusts; 10: Minor thrusts and backthrusts; 11: Major normal faults; 12: Strike-slip and minor faults.

Numeration of thrusts: 1: Ratz thrust; 2: Epine thrust; 3: Voreppe thrust; 4: "Chartreuse orientale" thrust; 5: Royans thrust; 6: Rencurel thrust; 7: Moucherotte thrust; 8: St. Lattier thrust; 9: Barbières thrust; 10: Léoncel thrust; 11: Saillans thrust.

Boreholes: Au-1: Aurel-1; Bb-1: Beaugard-Barret-1; Bmt-1: Montoisson-1; Brz-1: Brézins-1; SI-1: St. Lattier-1; SI-2: St. Lattier-2; Pa-1: Paladru-1.

Autr: Autrans; Mt: Monteau; V-de-Lans: Villard-de-Lans; Vor: Voreppe.





**Figure 2:** Regional balanced cross-sections through the Chartreuse and Vercors massifs (Deville et al., 1994; modified). Location in figure 1b.

Major thrust faults:  $\phi$ B: Barbières thrust;  $\phi$ Co: Chartreuse orientale thrust;  $\phi$ Ech: Les Echelles thrust;  $\phi$ Ep: Epine thrust;  $\phi$ M: Median thrust;  $\phi$ Ra: Ratz thrust;  $\phi$ Re: Rencurel thrust;  $\phi$ Ro: Royans thrust;  $\phi$ St: St. Lattier thrust;  $\phi$ Vo: Voreppe thrust.



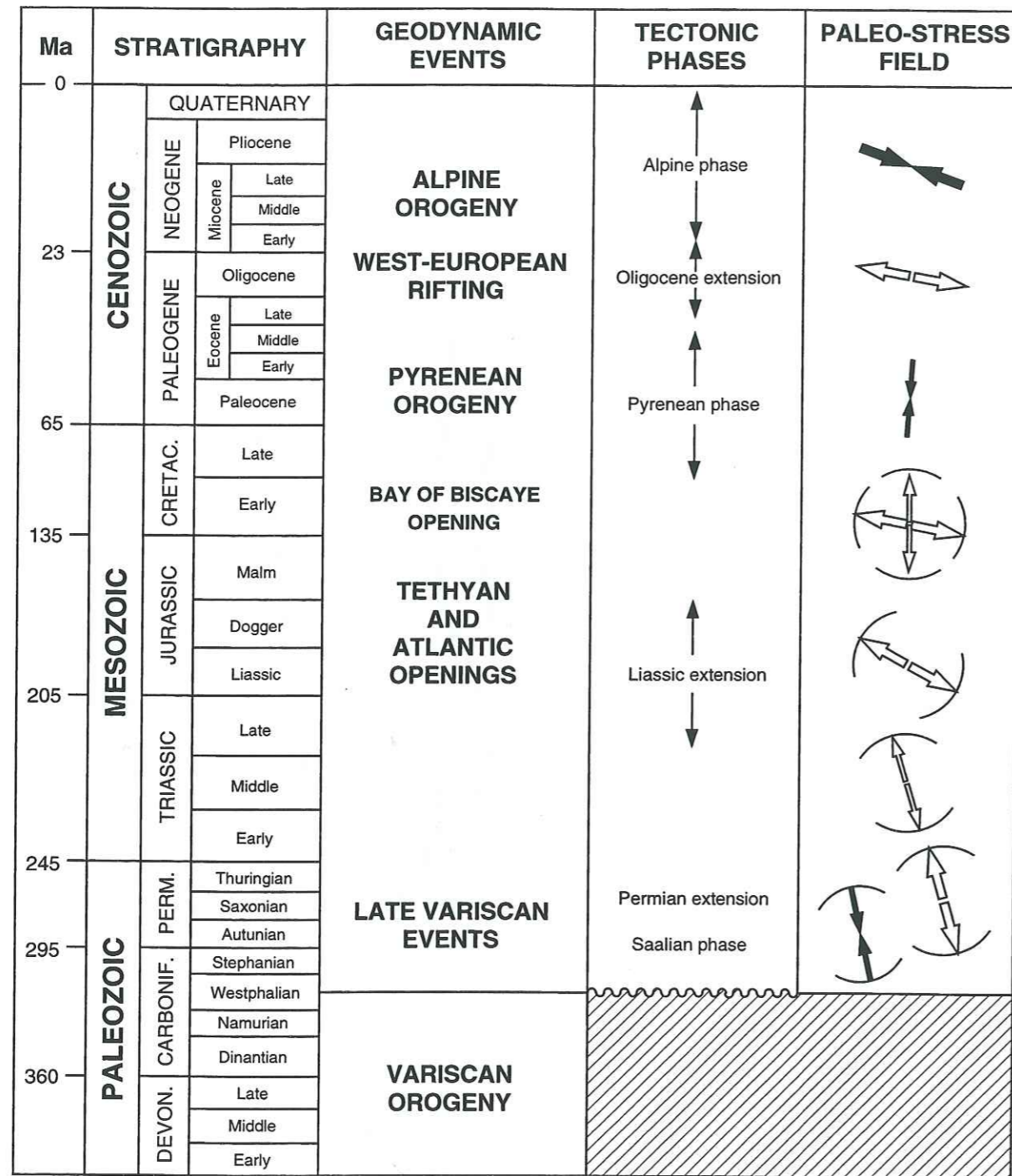


Figure3: Successive tectonic phases recorded in the Chartreuse and Vercors massifs (Masclé, 1994; modified). Large arrows correspond to significant events.

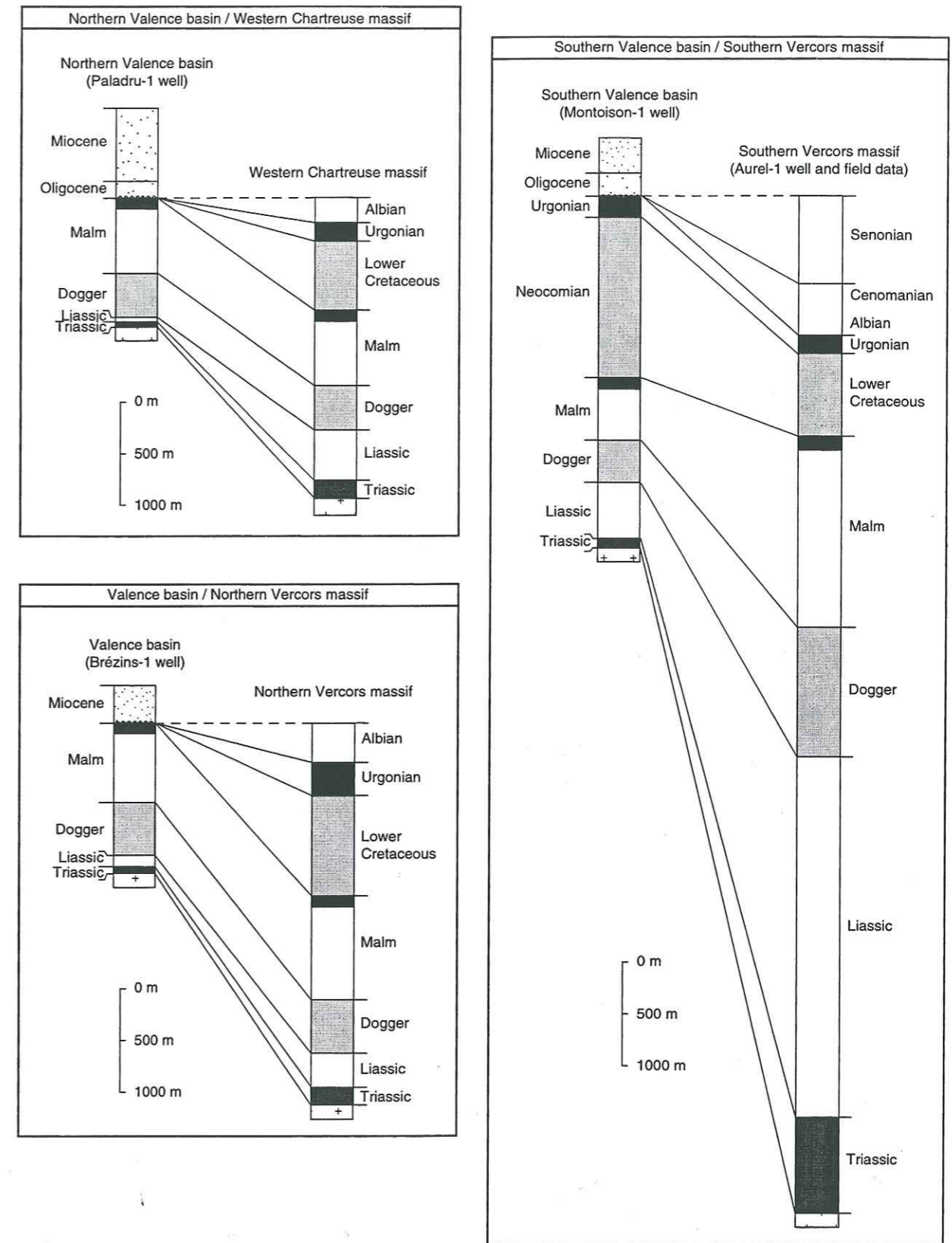


Figure 4: Seriated WNW-ESE stratigraphic correlations characterizing the Jurassic and Dauphinois Mesozoic domains of southeastern France, from north to south.

Thicknesses are based on subsurface (boreholes, seismic-reflection profiles) and field data.



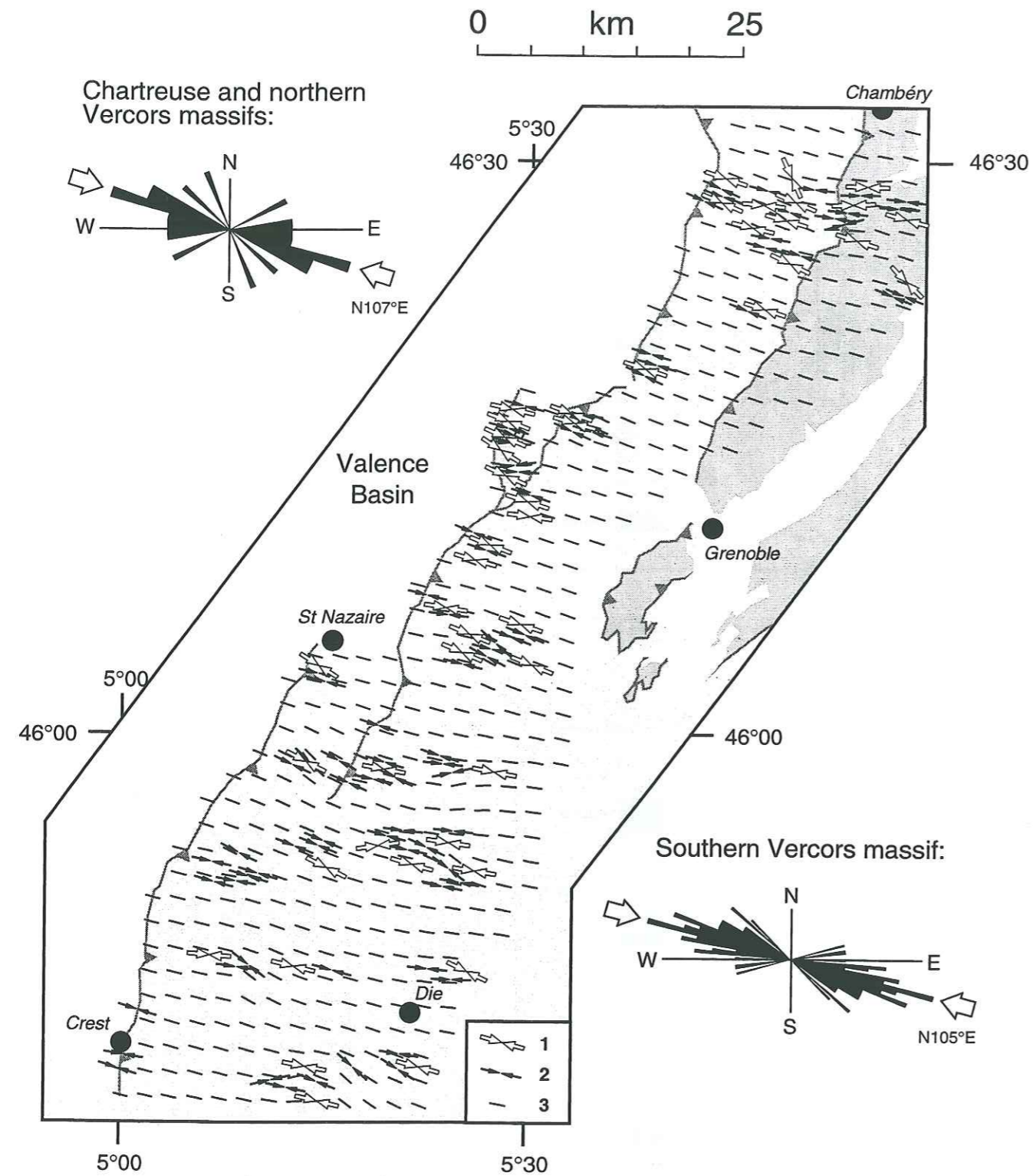


Figure 5: Grid-map of Late Miocene main shortening axes in the western Chartreuse and Vercors massifs.

1:  $\sigma_1$  axis calculated from fault slip data (obtained from Angelier's inverse method INVD; Angelier, 1984);  
 2: stylolitic peak measured; 3:  $\sigma_1$  axes interpolated from stylolitic peaks.

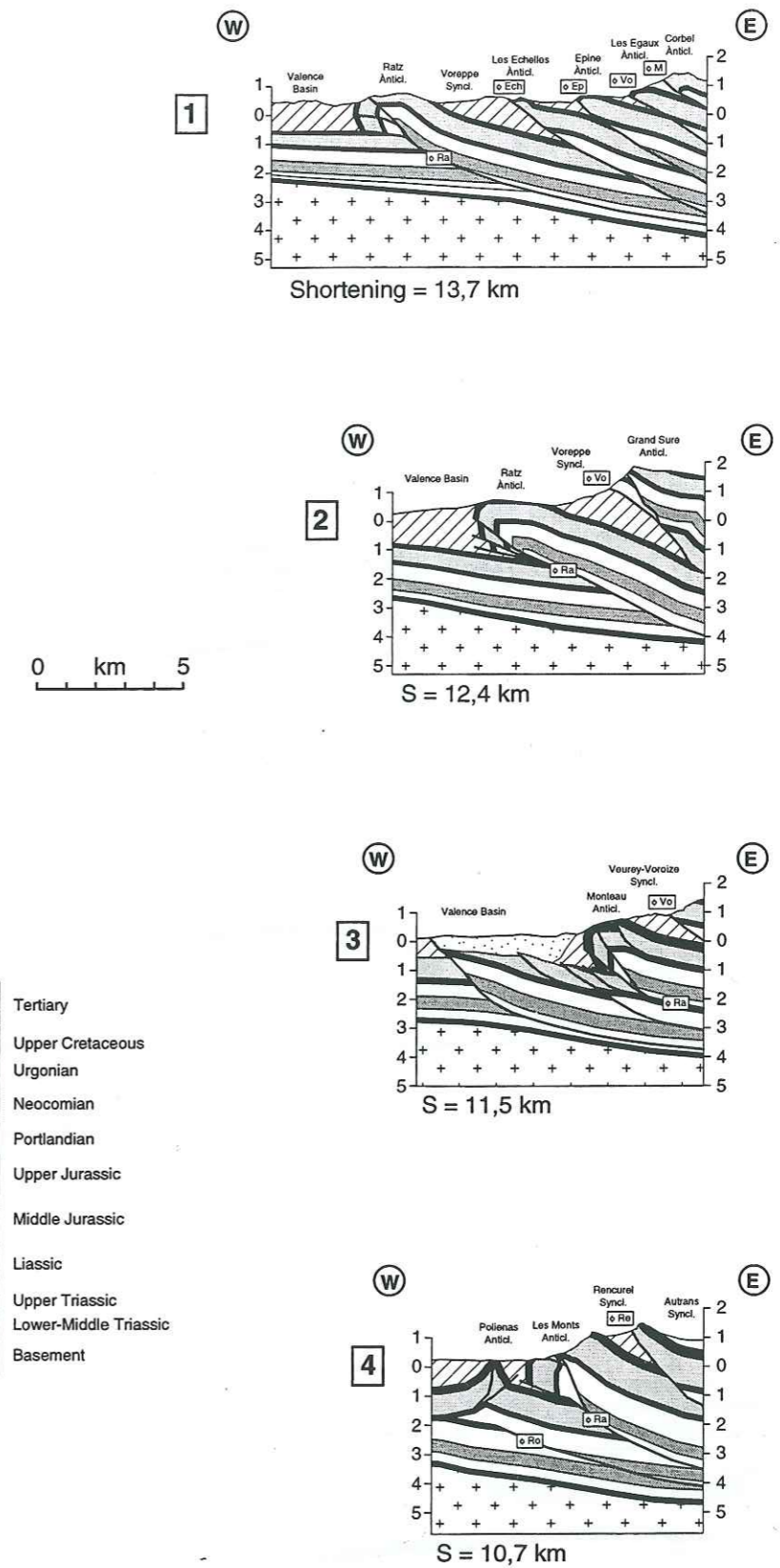


Figure 6: Serial balanced cross-section through the western Chartreuse and Vercors massifs (location in figure 1b).

Major thrust faults:  $\phi B$ : Barbières thrust;  $\phi Co$ : Chartreuse orientale thrust;  $\phi Ech$ : Les Echelles thrust;  $\phi Ep$ : Epine thrust;  $\phi L$ : Leoncel thrust;  $\phi M$ : Median thrust;  $\phi Ra$ : Ratz thrust;  $\phi Re$ : Rencurel thrust;  $\phi Ro$ : Royans thrust;  $\phi Si$ : St. Lattier thrust;  $\phi Vo$ : Voreppe thrust.



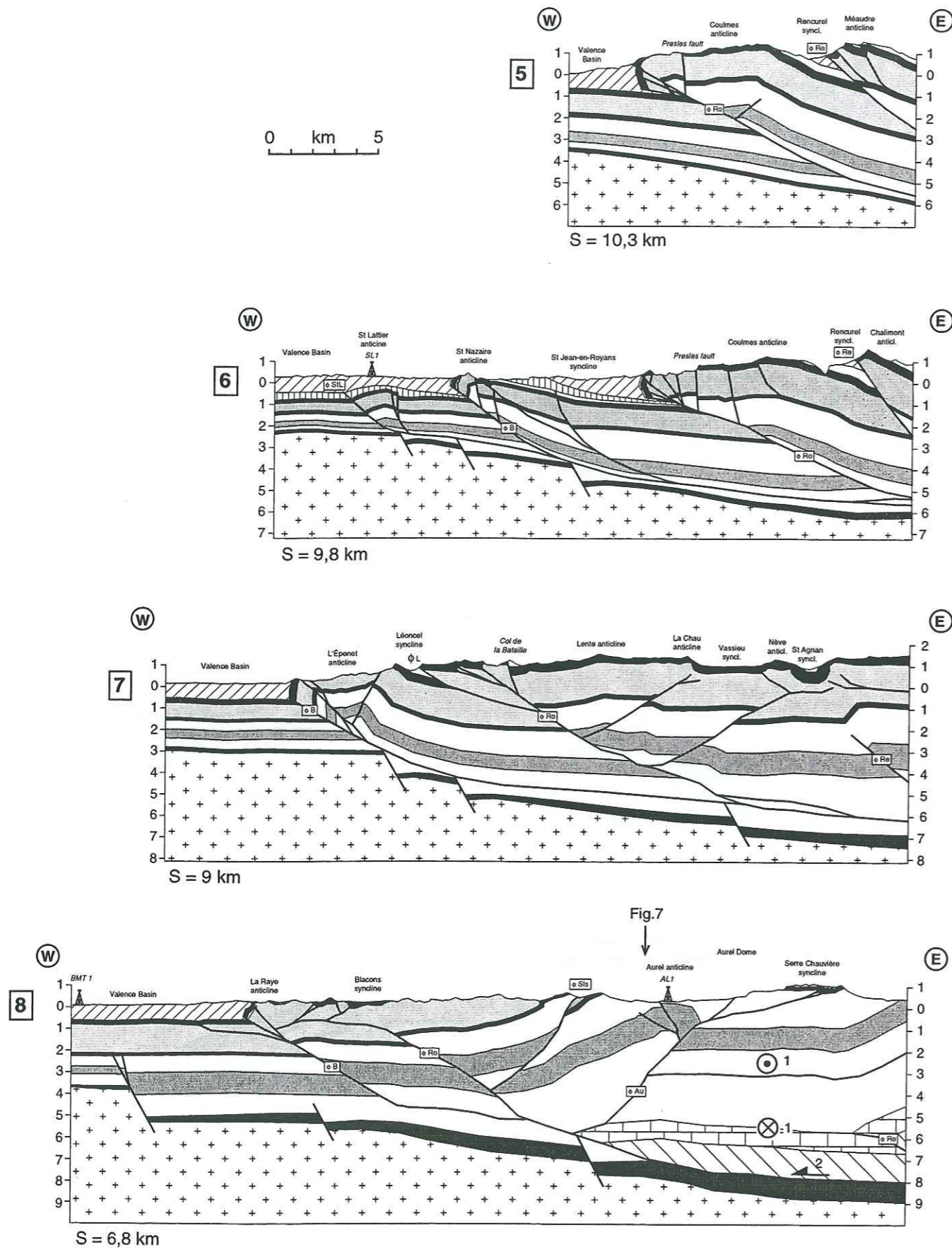


Figure 6 (continued)

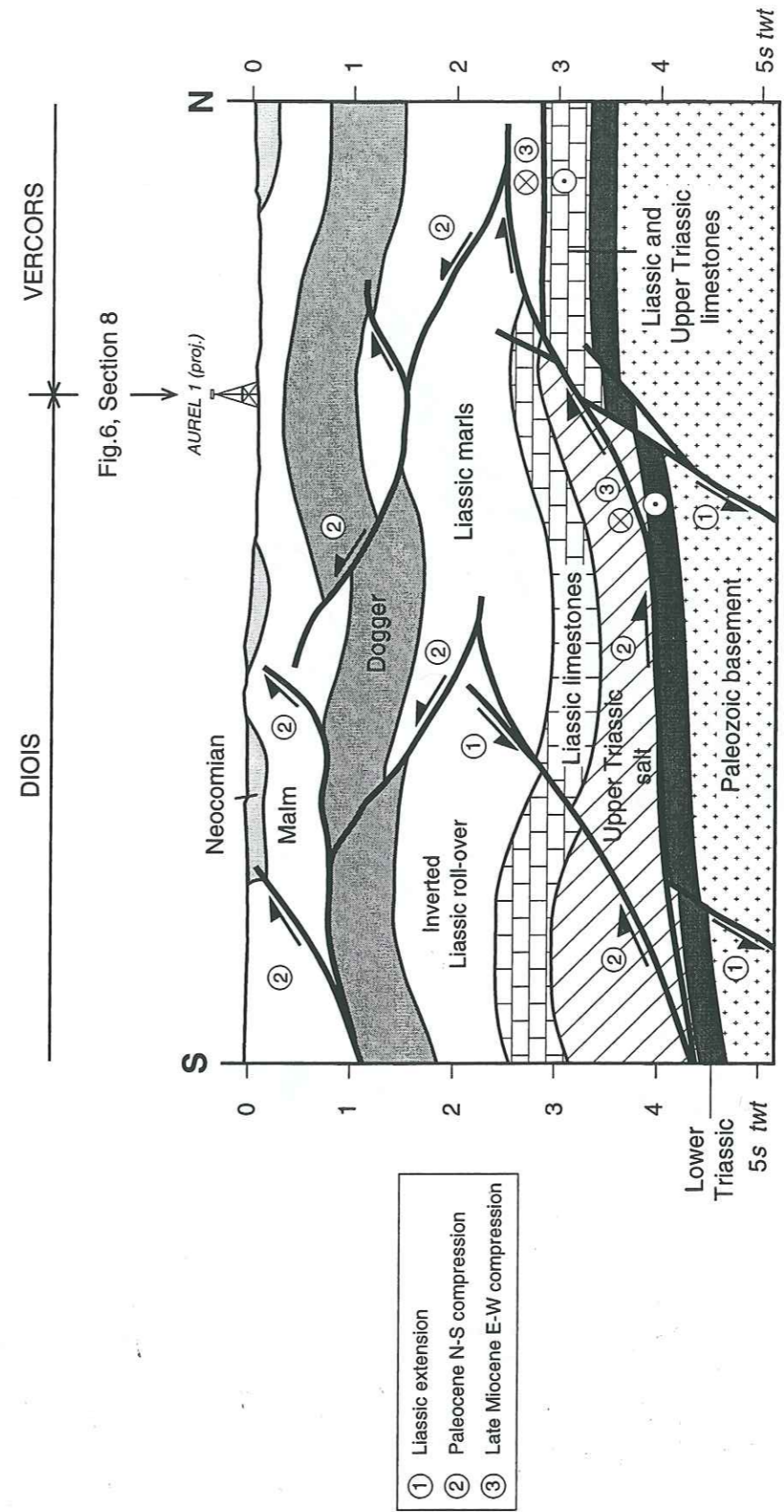
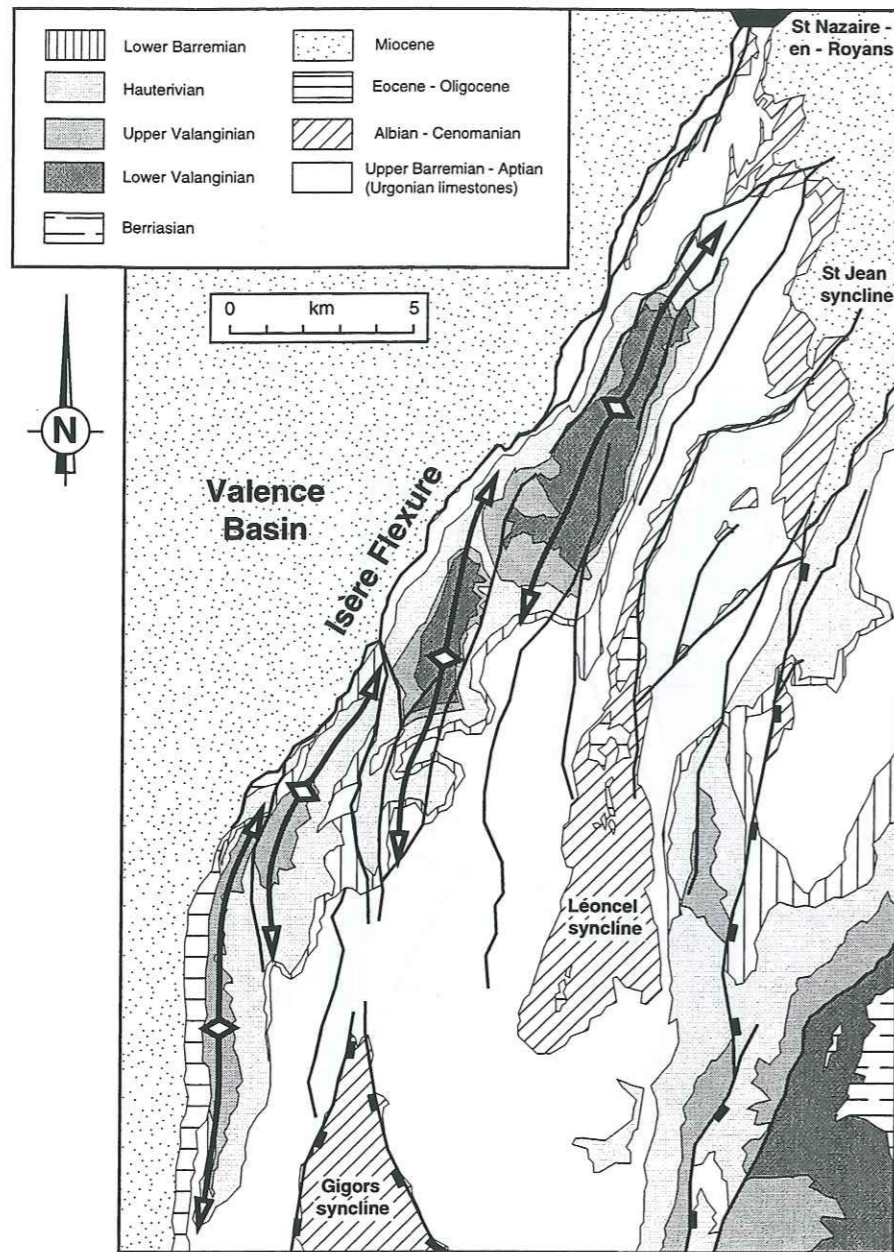


Figure 7: N-S time-section of the northern Diois massif and the Aurel Dome based on a seismic-reflection profile (location in figure 1b).

Note the southward deepening of the basement/cover interface and the development of Triassic massive salt layers south of the Aurel Dome.

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012





**Figure 8:** Detailed geological map of the Épenet - St. Nazaire fault-propagation anticline (after 1/50,000 geological maps edited by the Bureau de Recherches Géologiques et Minières).

Note the superimposition of a wide box-fold parallel to the basin margin, implying the Urgonian limestones, upon second-order en-échelon folds that affect Lower Cretaceous layers in its core.



**Figure 9a:** Stress trajectories within a rectangular body horizontally shortened by a vertical mobile back-stop and location of potential conjugated forethrust and backthrust (Mandl & Shippman, 1981; modified).

**Figure 9b:** Scheme illustrating the sequential development of pop-up structures bounded by conjugated thrust and backthrusts in an homogeneous model, the spacing of which is related to the thickness of the initially rectangular body (Colletta et al., 1990; modified).

**Figure 9c:** Application of the Coulomb wedge model to the western Chartreuse and Vercors massifs, based on numerical models (Davis et al., 1983; Davis & Engelder, 1985) and analogue models (Colletta et al., 1990; Calassou et al., 1993; Liu Huiqi et al., 1992; Philippe, 1994; 1995). In these cases, the slope at the base of the wedges  $\beta$  equals to zero.



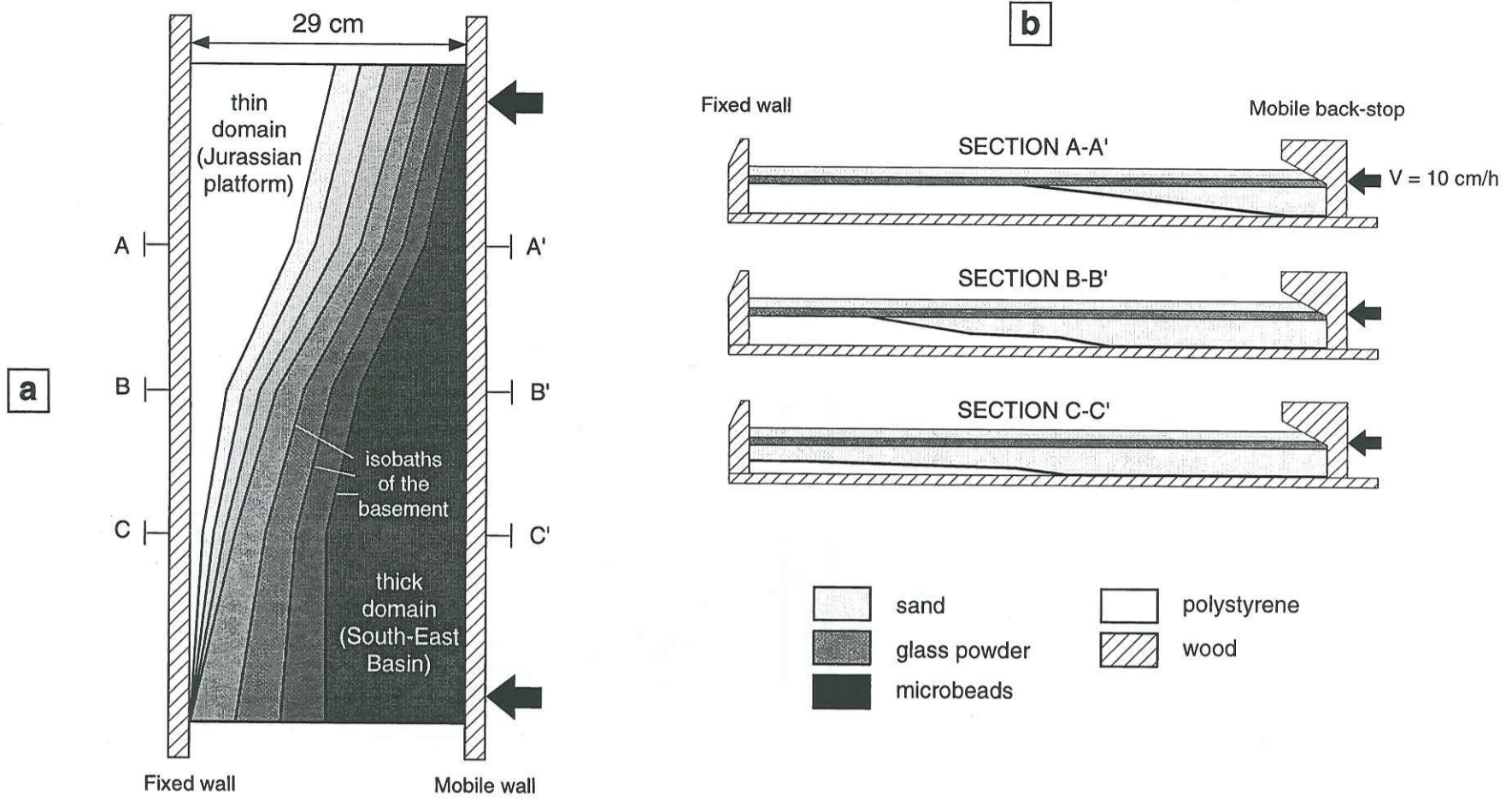


Figure 10a: Surface view of the bottom of the model.

Figure 10b: Three serial cross-sections of the model showing along-strike thickening of the sedimentary cover from the upper edge to the lower edge of the model.

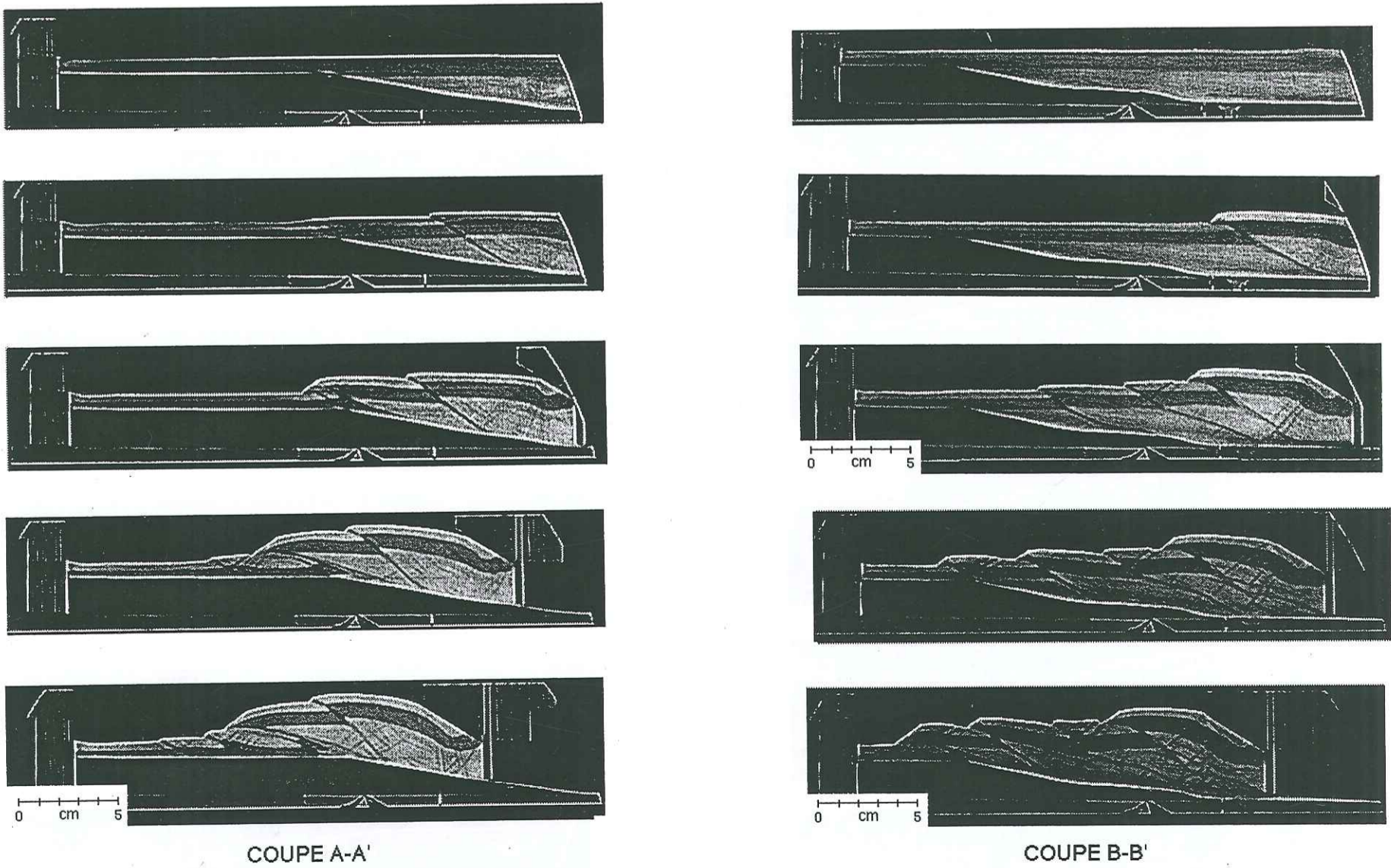
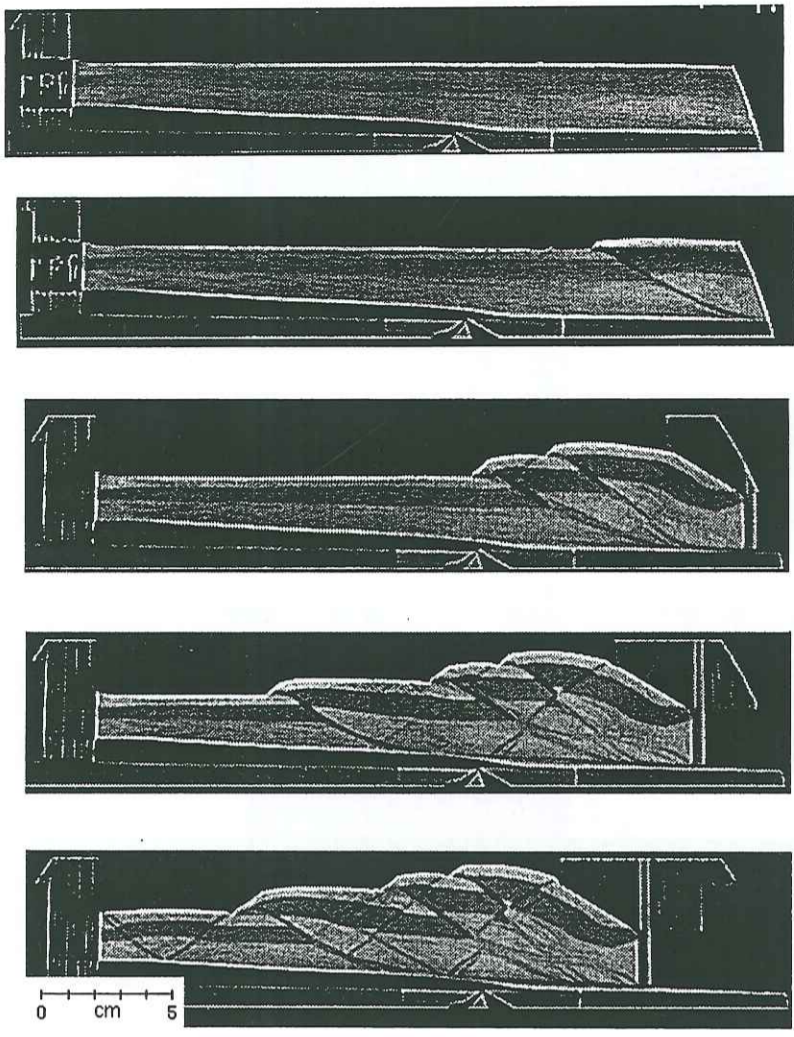


Figure 11: Serial evolutive cross-sections of the model during the experiment.

Location in figure 10





COUPE C-C'

Figure 11 (continued).

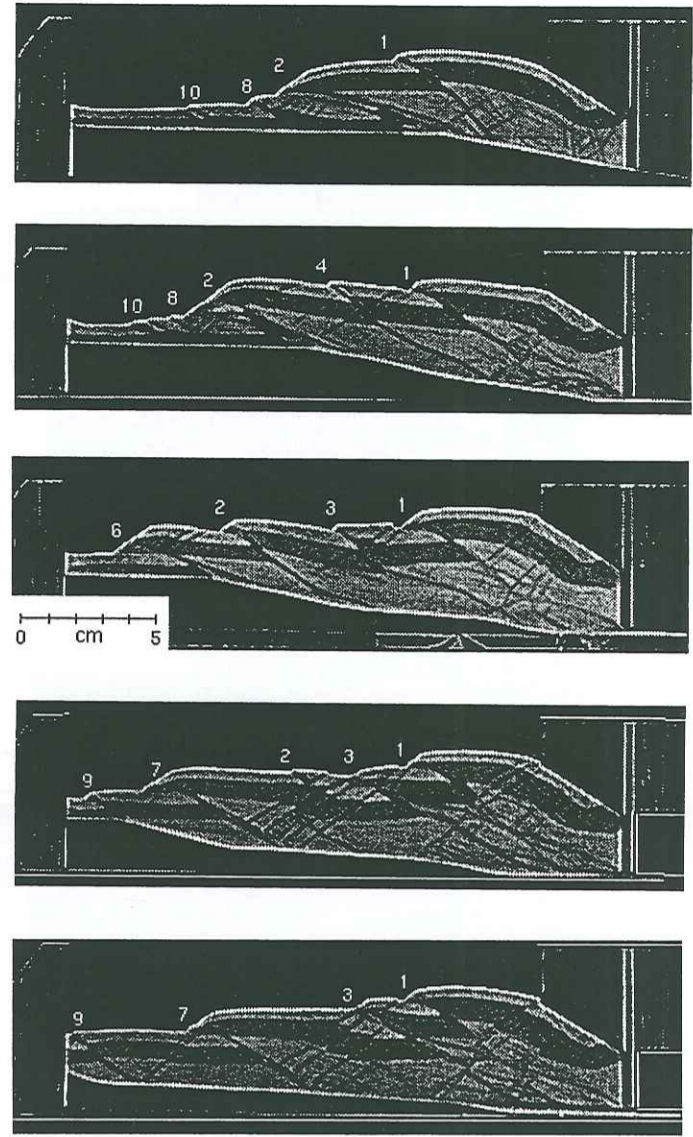


Figure 13: Seriated cross-sections between sections A-A' and C-C' at the final stage showing spatial evolution along strike of the internal structures.

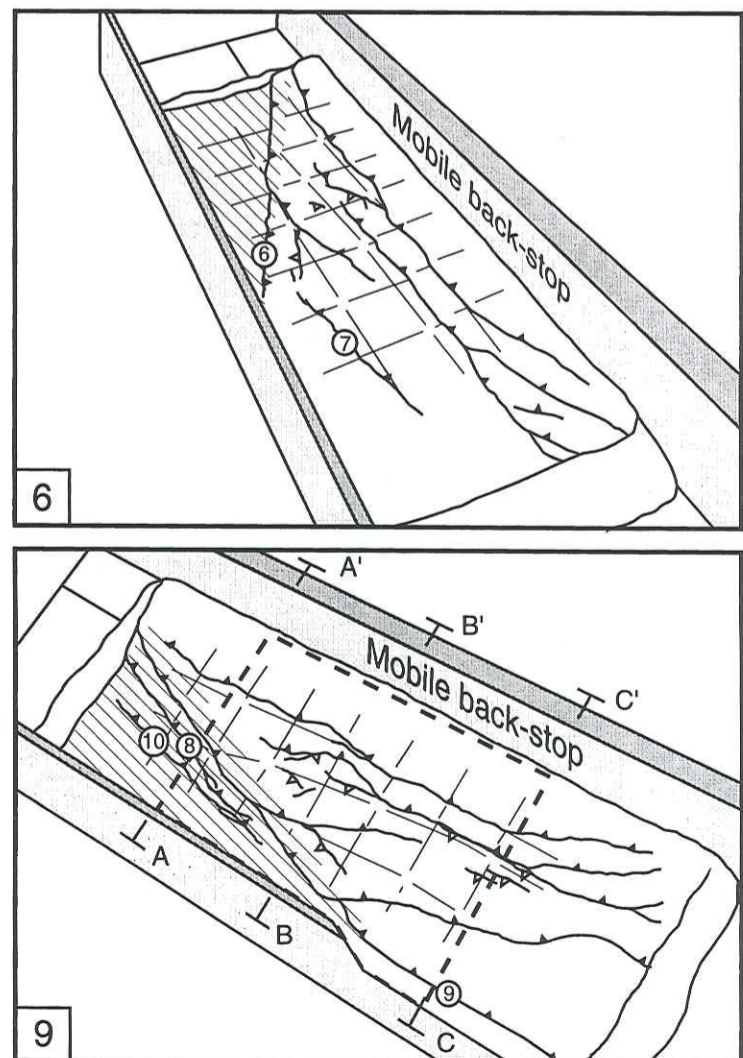
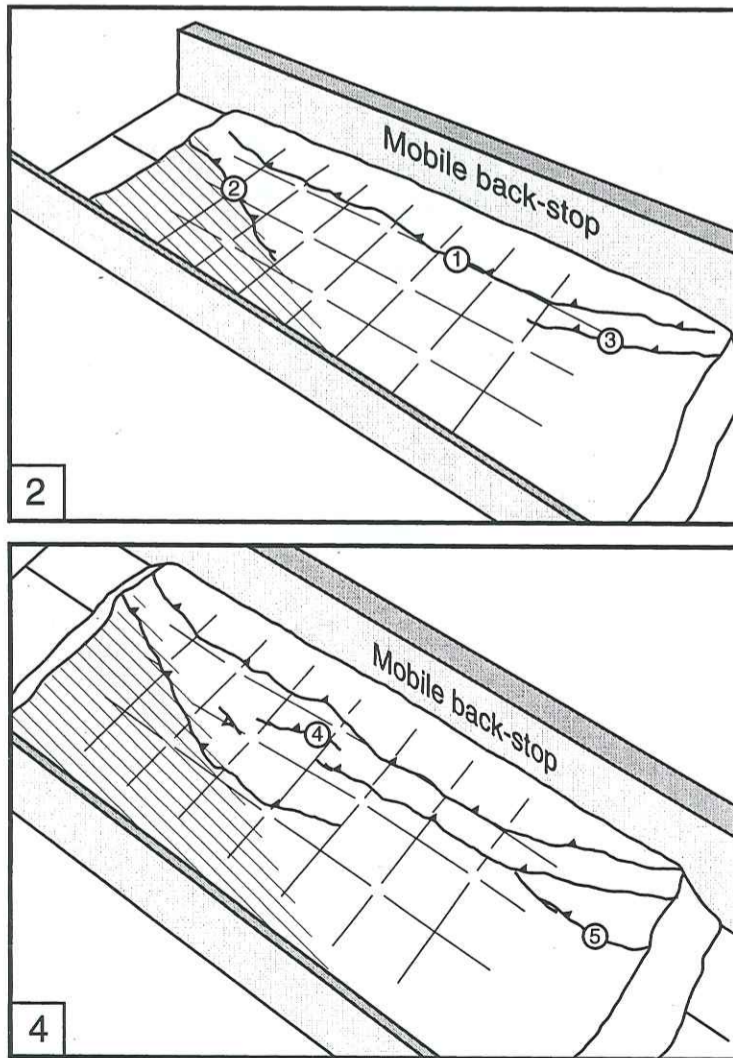
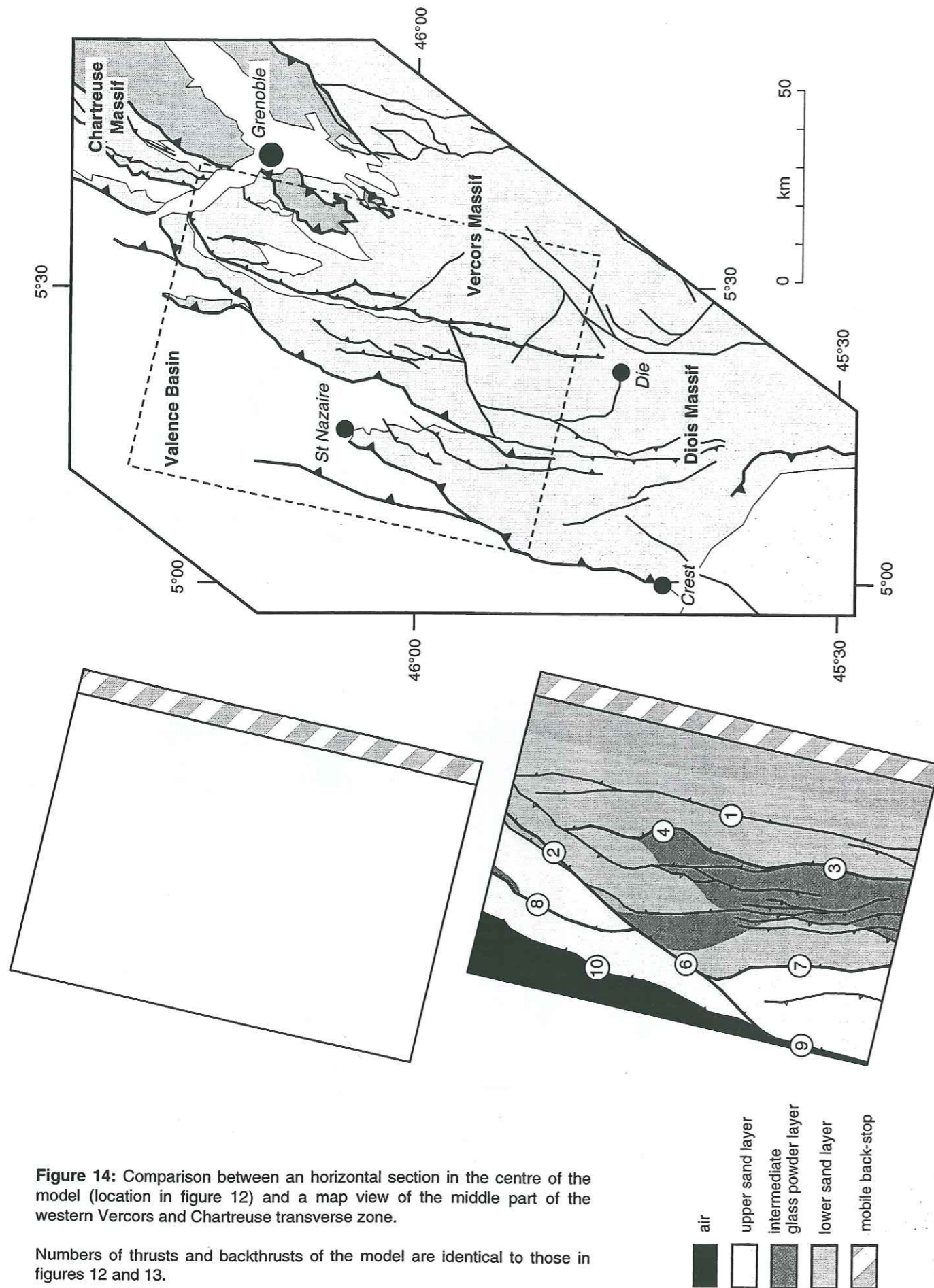


Figure 12: Surface views of the model at four steps of the experiment among nine stages of deformation (drawn after photographs).

Numbers of thrusts and backthrusts are related to their order of appearance. The cross-hatched area corresponds to the thin compartment simulating the Jurassic platform-domain. Discontinuous lines are passive markers forming squares of 5 cm x 5 cm. The dotted area in the centre of the model at the final stage (n°9) indicates the zone covered by a 3D acquisition (see figures 13 and 14).





**Figure 14:** Comparison between an horizontal section in the centre of the model (location in figure 12) and a map view of the middle part of the western Vercors and Chartreuse transverse zone.

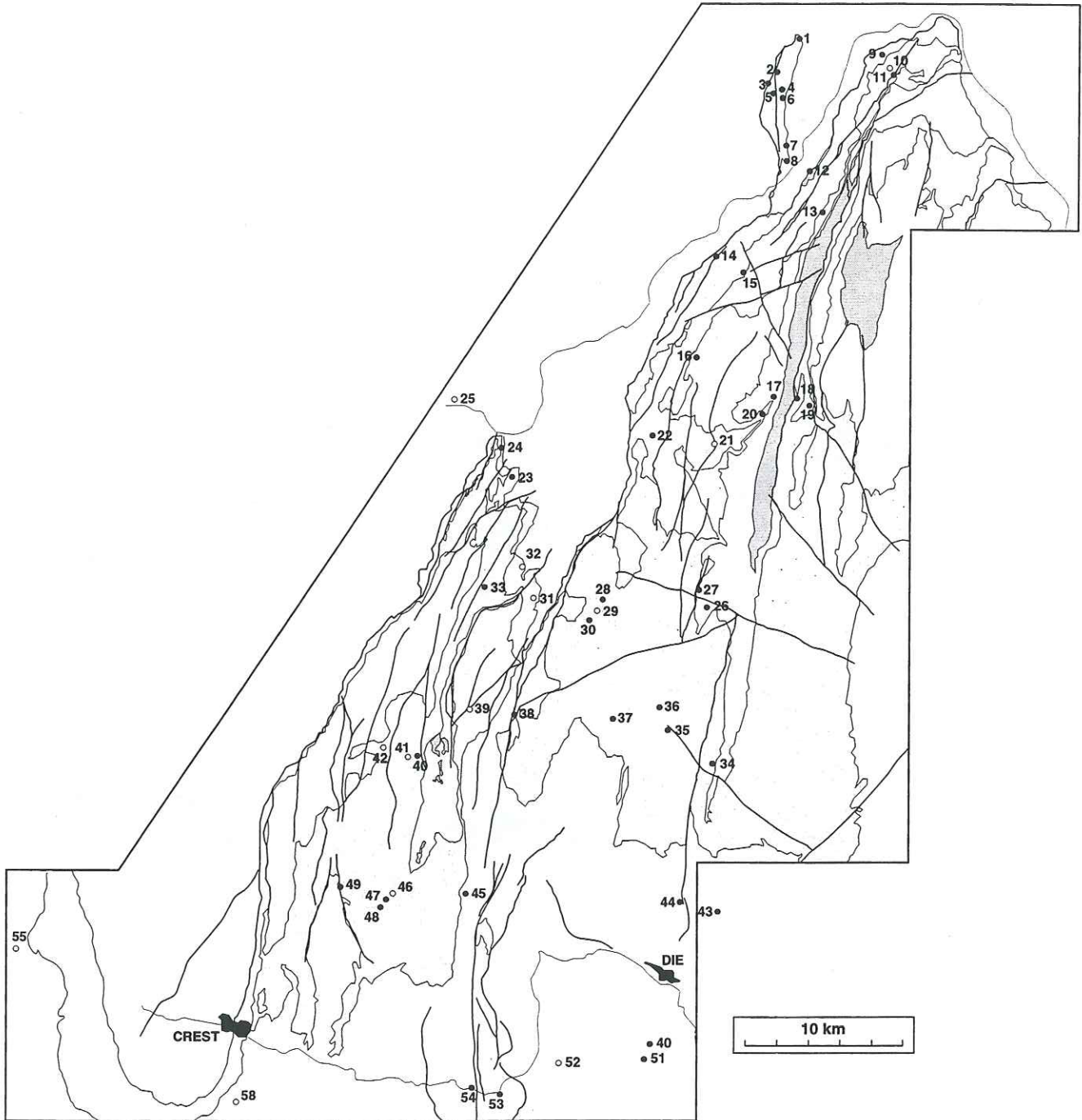
Numbers of thrusts and backthrusts of the model are identical to those in figures 12 and 13.

ANNEXE PARTIE VI

DONNÉES ET RÉSULTATS DE LA MICROTÉCTONIQUE CASSANTE  
ET DU CYLINDRAGE DES PLIS

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012





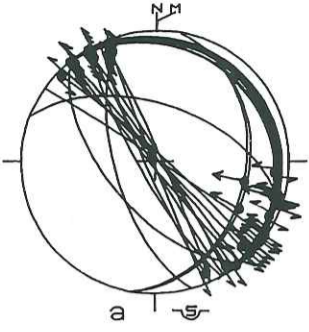
- Station de mesures de microtectonique cassante
- Station de cylindrage de pli

Annexe III - figure 1: Plan de position des stations de mesures microtectoniques et des plis cylindrés.

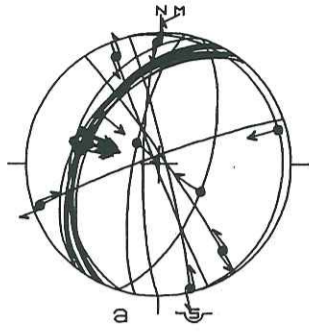
tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



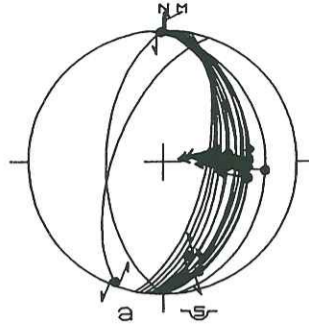
SITE n° 1: compression Miocène supérieur



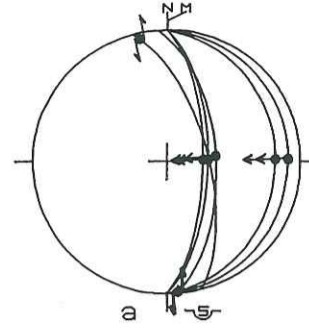
SITE n° 2: compression Miocène supérieur



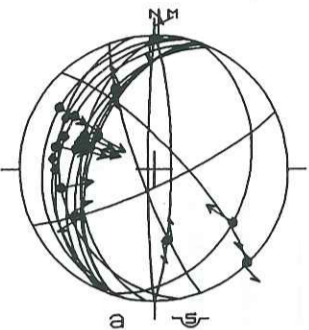
SITE n° 7: compression Miocène supérieur



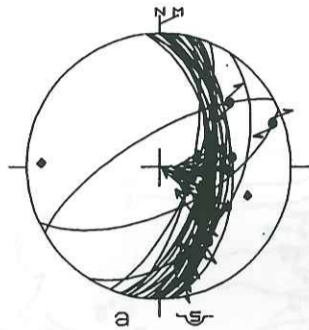
SITE n° 8: compression Miocène supérieur



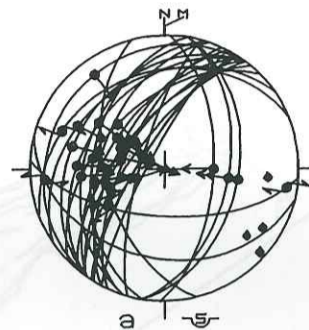
SITE n° 3: compression Miocène supérieur



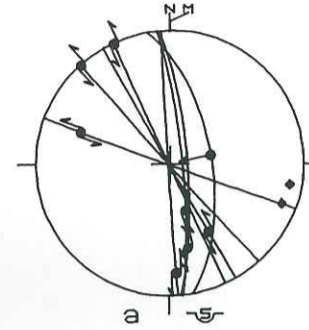
SITE n° 4: compression Miocène supérieur



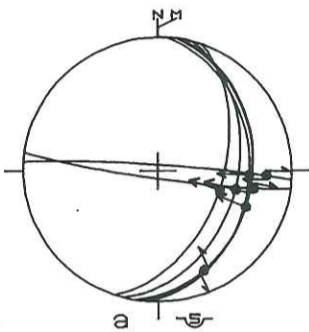
SITE n° 9: compression Miocène supérieur



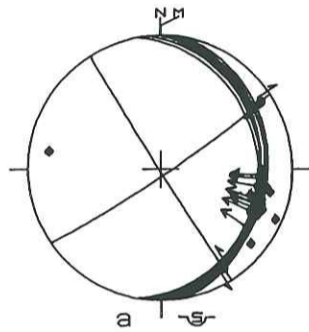
SITE n° 11: compression Miocène supérieur



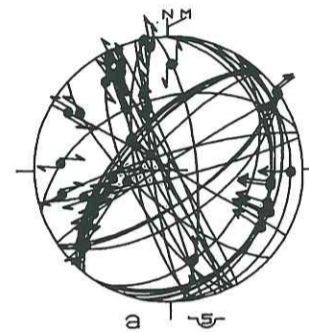
SITE n° 5: compression Miocène supérieur



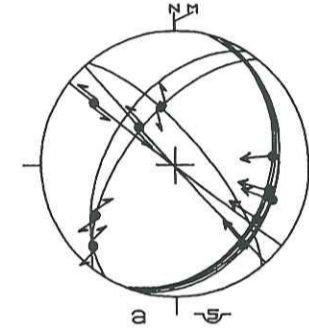
SITE n° 6: compression Miocène supérieur



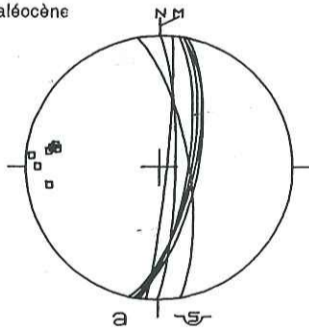
SITE n° 12: compression Miocène supérieur



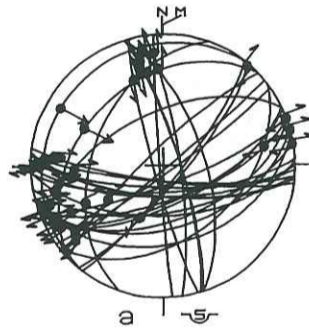
SITE n° 13: compression Miocène supérieur



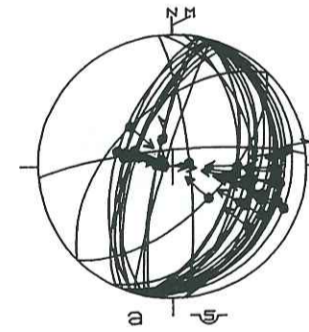
SITE n° 14: compression Crétacé supérieur - Paléocène



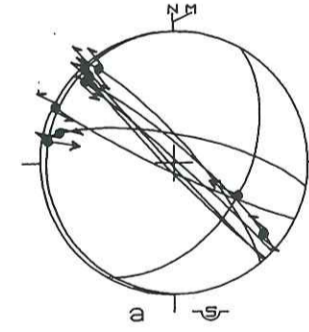
SITE n° 14: compression Miocène supérieur



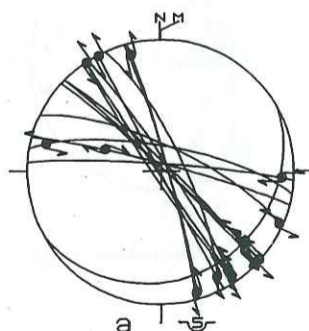
SITE n° 18: compression Miocène supérieur



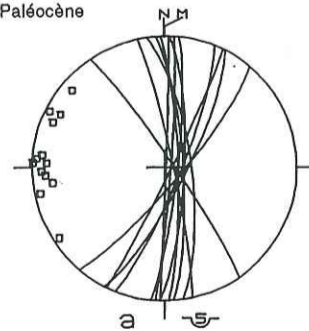
SITE n° 19: compression Miocène supérieur



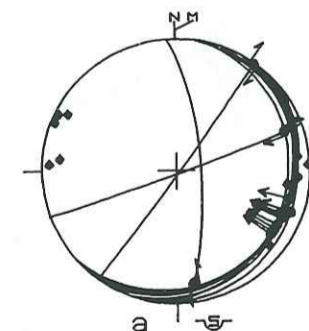
SITE n° 15: compression Miocène supérieur



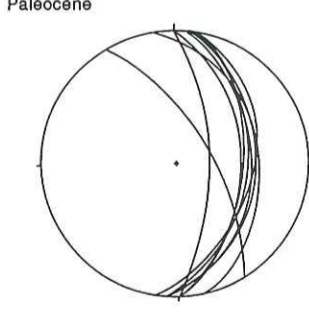
SITE n° 16: compression Crétacé supérieur - Paléocène



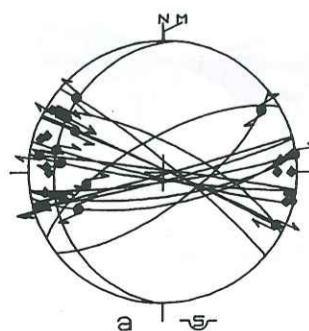
SITE n° 20: compression Miocène supérieur



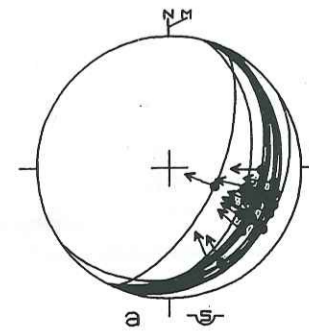
SITE n° 22: compression Crétacé supérieur - Paléocène



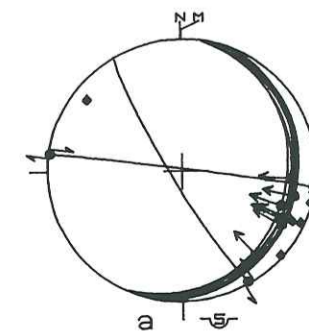
SITE n° 16: compression Miocène supérieur



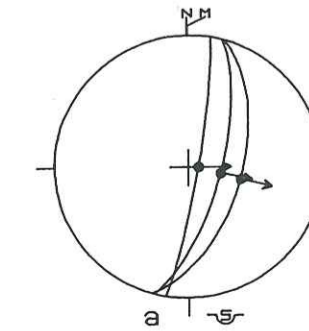
SITE n° 17: compression Miocène supérieur



SITE n° 23: compression Miocène supérieur

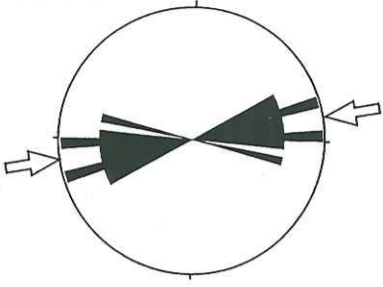


SITE n° 24: extension Eocène supérieur - Aquitainien

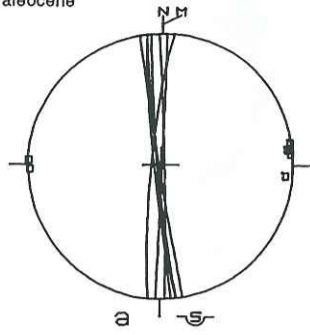




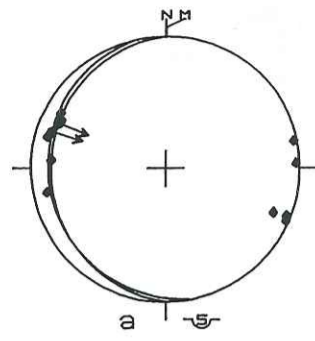
SITE n° 26: compression Miocène supérieur (stylolites)



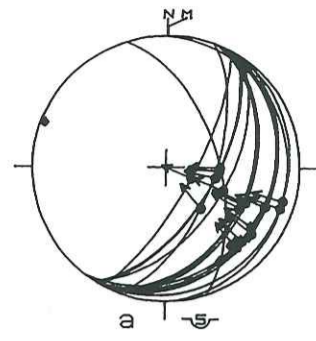
SITE n° 27 compression Crétacé supérieur - Paléocène



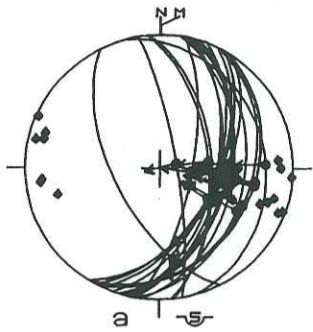
SITE n° 30: compression Miocène supérieur



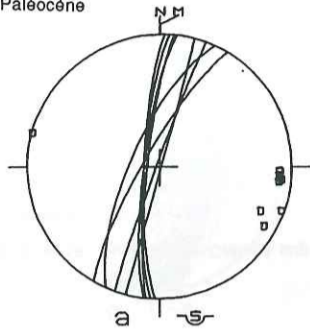
SITE n° 33: compression Miocène supérieur



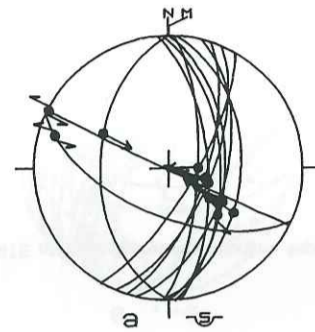
SITE n° 27: compression Miocène supérieur



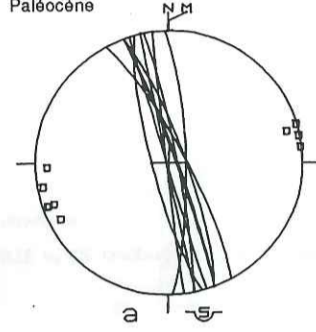
SITE n° 28: compression Crétacé supérieur - Paléocène



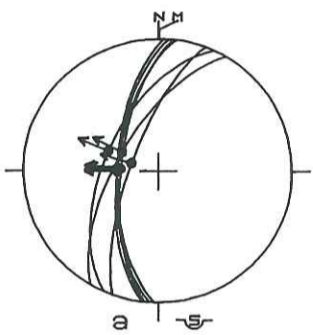
SITE n° 34: compression Miocène supérieur



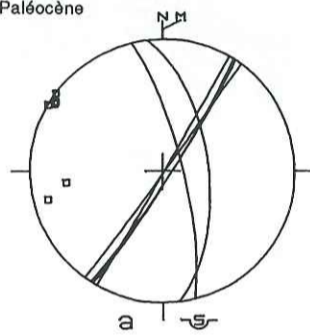
SITE n° 35: compression Crétacé supérieur - Paléocène



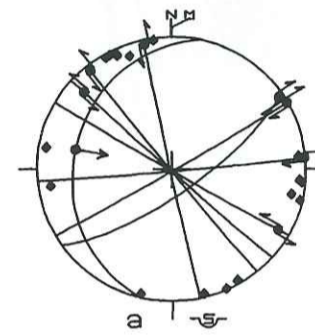
SITE n° 28: extension Eocène supérieur - Aquitainien



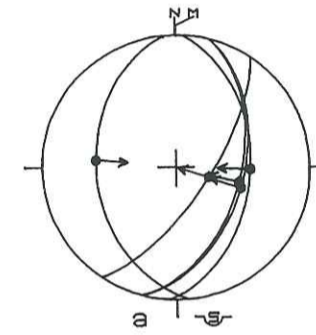
SITE n° 30: compression Crétacé supérieur - Paléocène



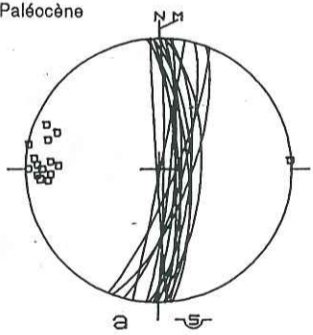
SITE n° 35: compression Miocène supérieur



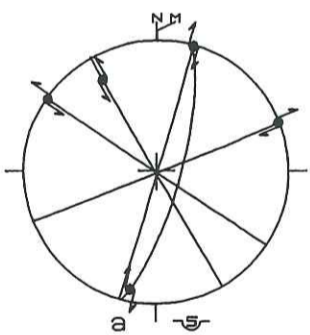
SITE n° 36: compression Miocène supérieur



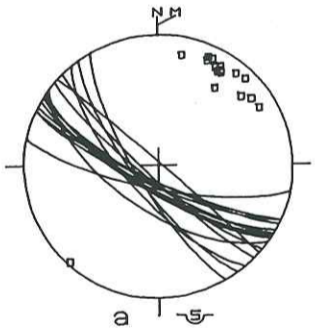
SITE n° 37: compression Crétacé supérieur - Paléocène



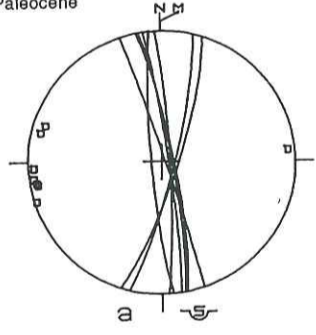
SITE n° 37: compression Miocène supérieur



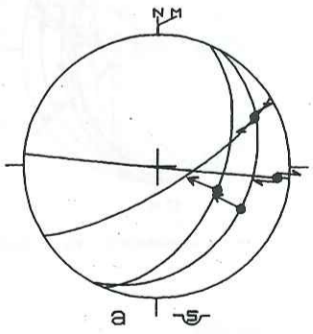
SITE n° 46: compression Miocène supérieur



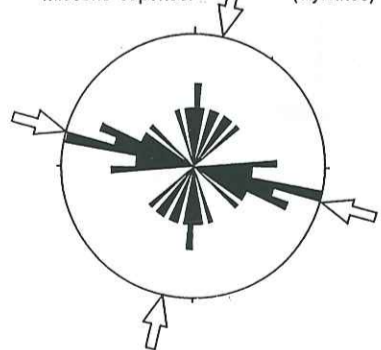
SITE n° 47: compression Crétacé supérieur - Paléocène



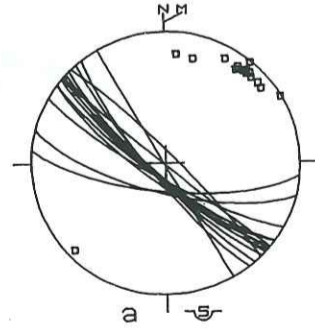
SITE n° 38: compression Miocène supérieur



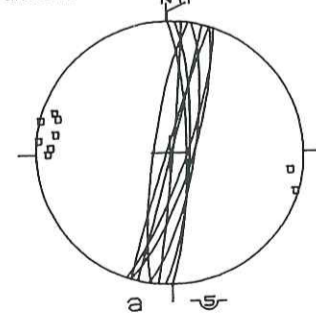
SITE n° 40: compressions Paléocène + Miocène supérieur (stylolites)



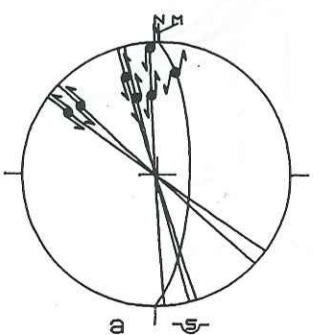
SITE n° 48: compression Miocène supérieur



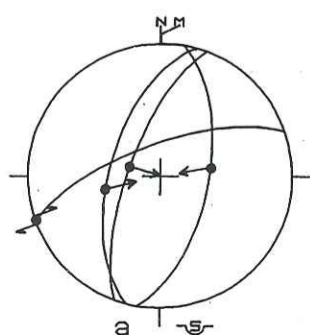
SITE n° 49: compression Crétacé supérieur - Paléocène



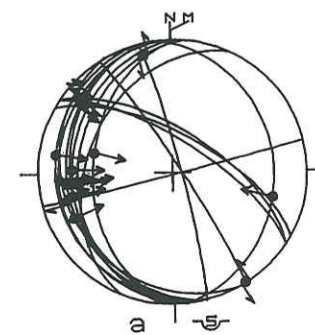
SITE n° 43: compression Miocène supérieur



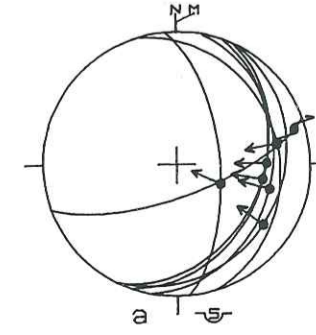
SITE n° 45: compression Miocène supérieur



SITE n° 49: compression Miocène supérieur

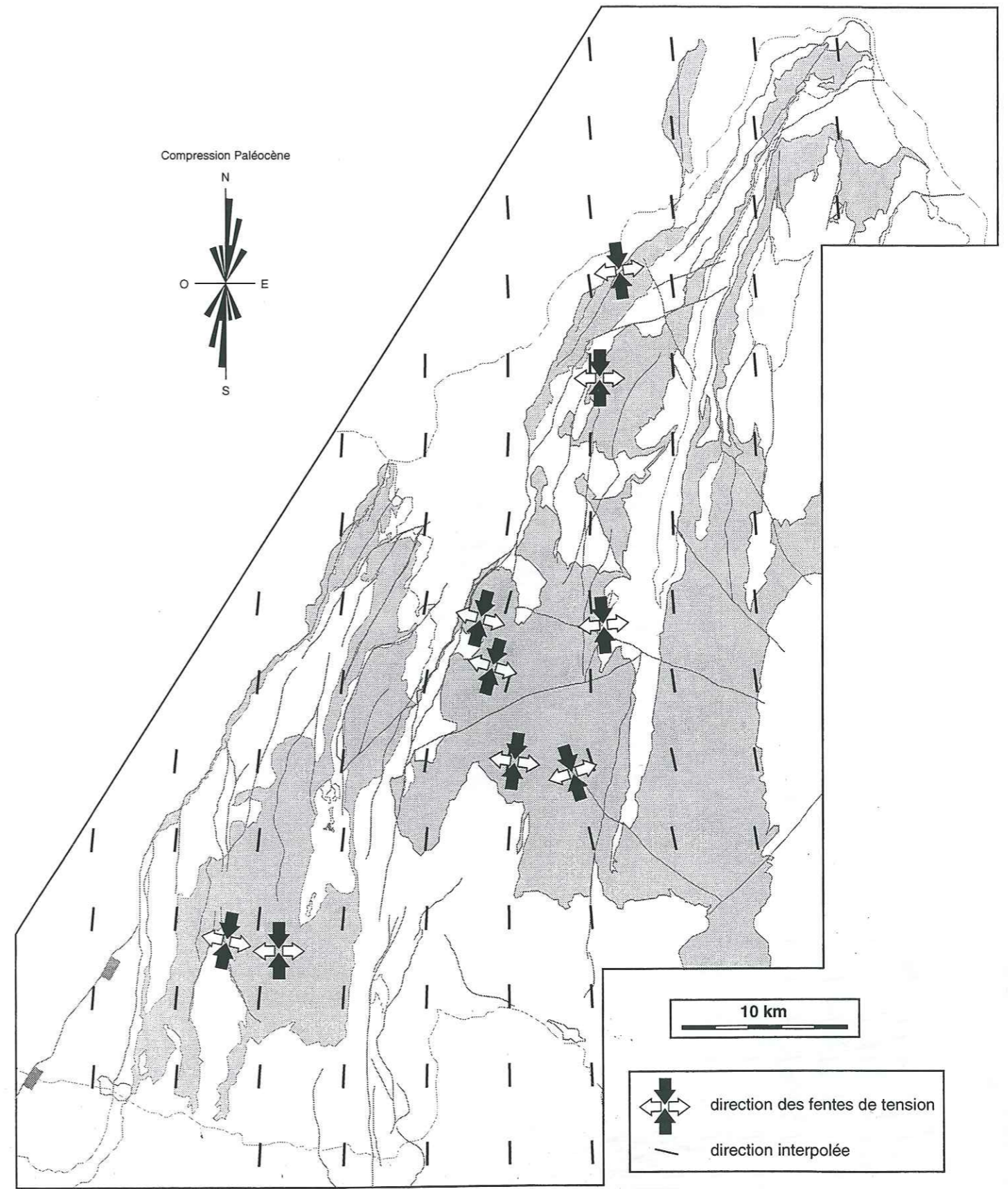
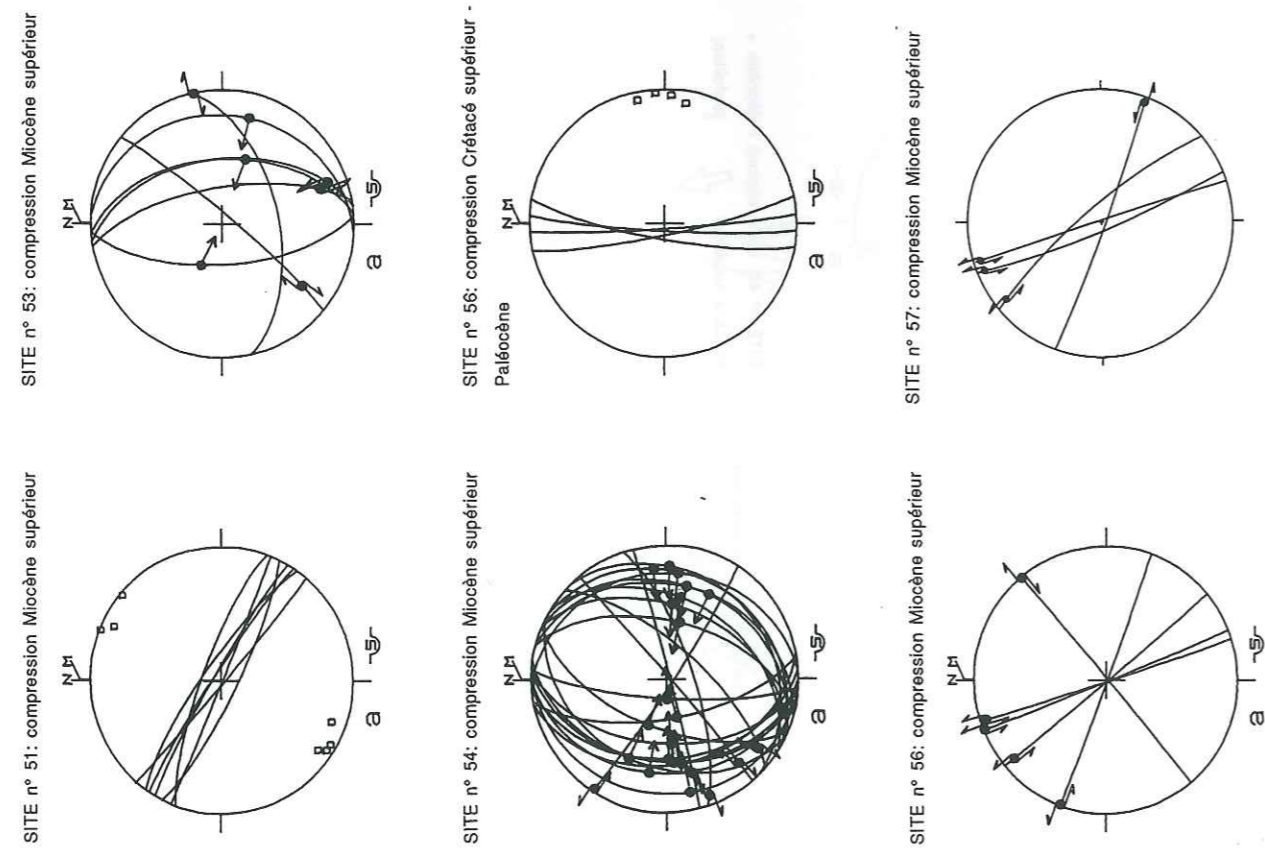


SITE n° 50: compression Miocène supérieur



tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012

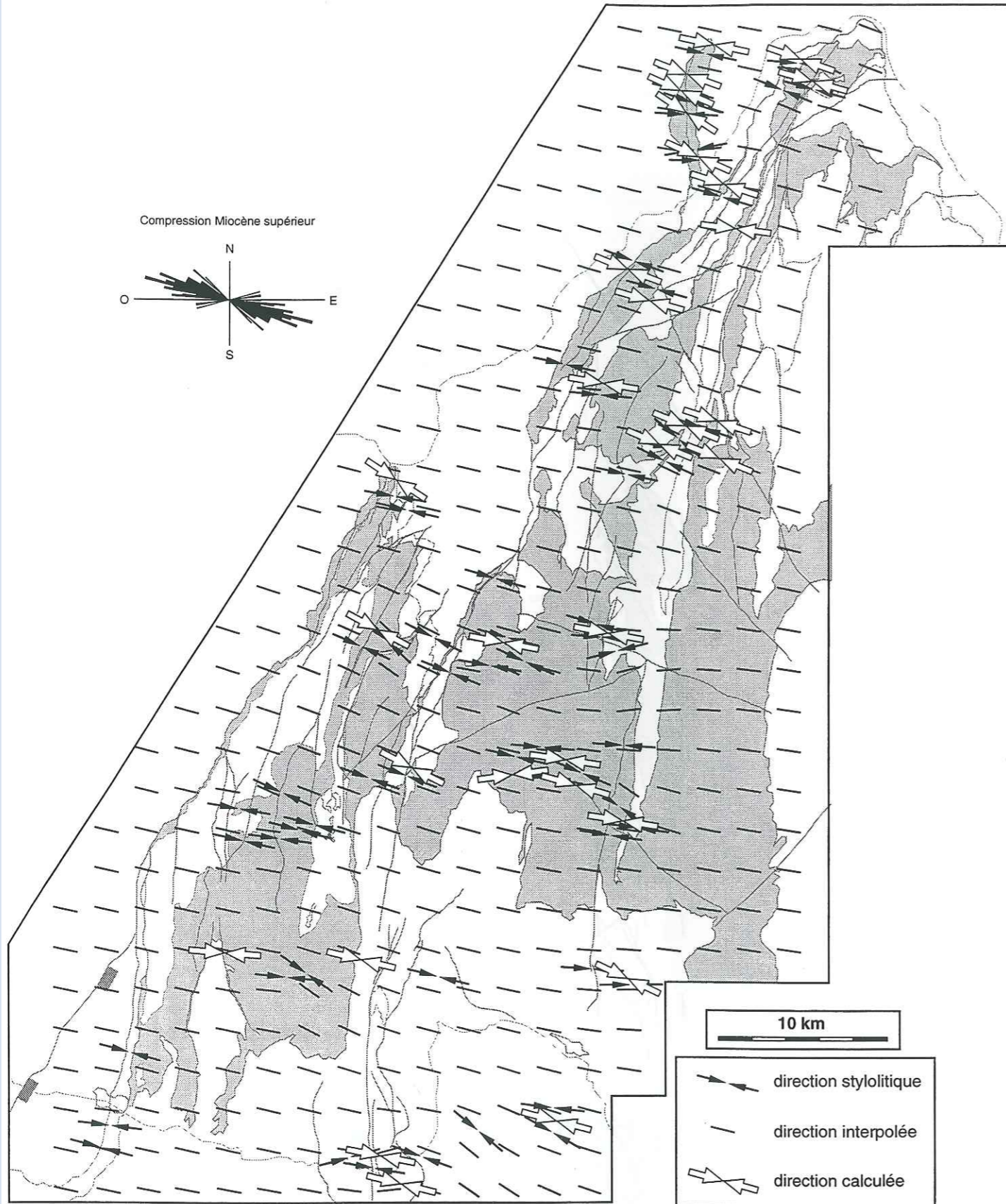




Annexe III - figure 2: Carte des directions de contrainte Crétacé supérieur - Paléocène ("phase pyrénéenne").

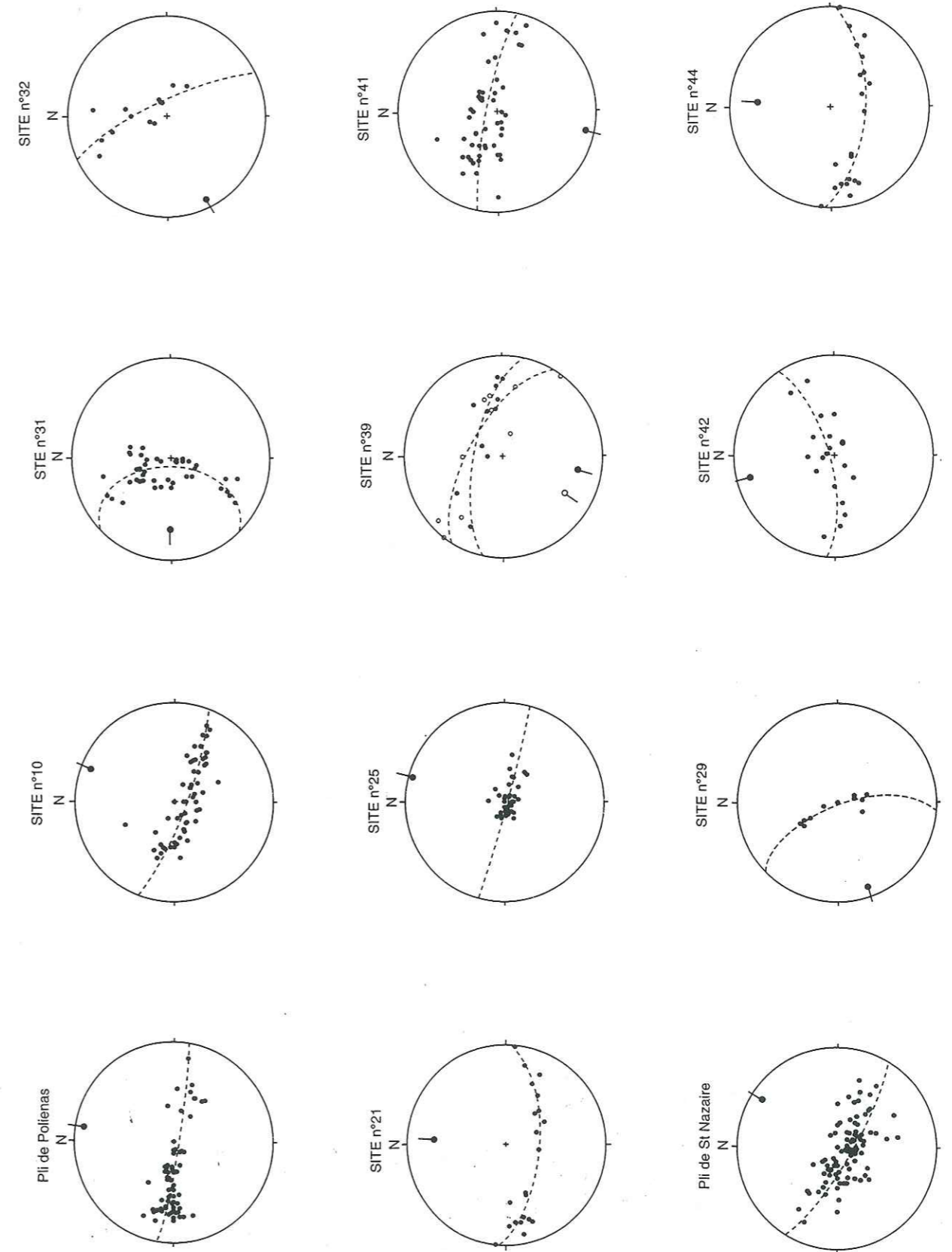
tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012





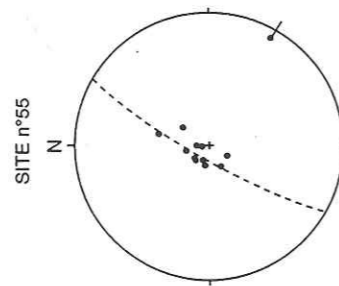
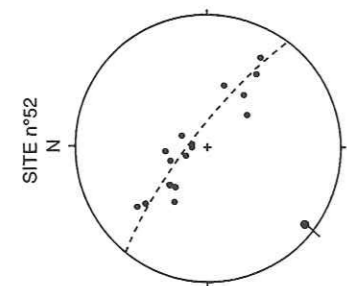
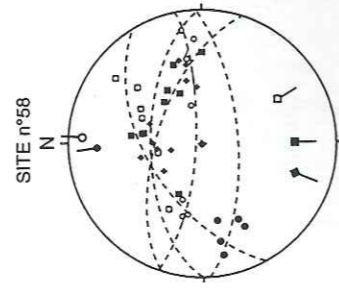
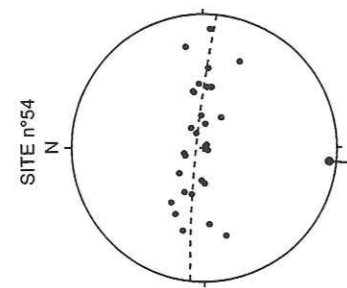
Annexe III - figure 3: Carte des directions de contrainte Miocène supérieur ("phase alpine").

L'interpolation est basée sur l'orientation des pics stylolitiques.



tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012

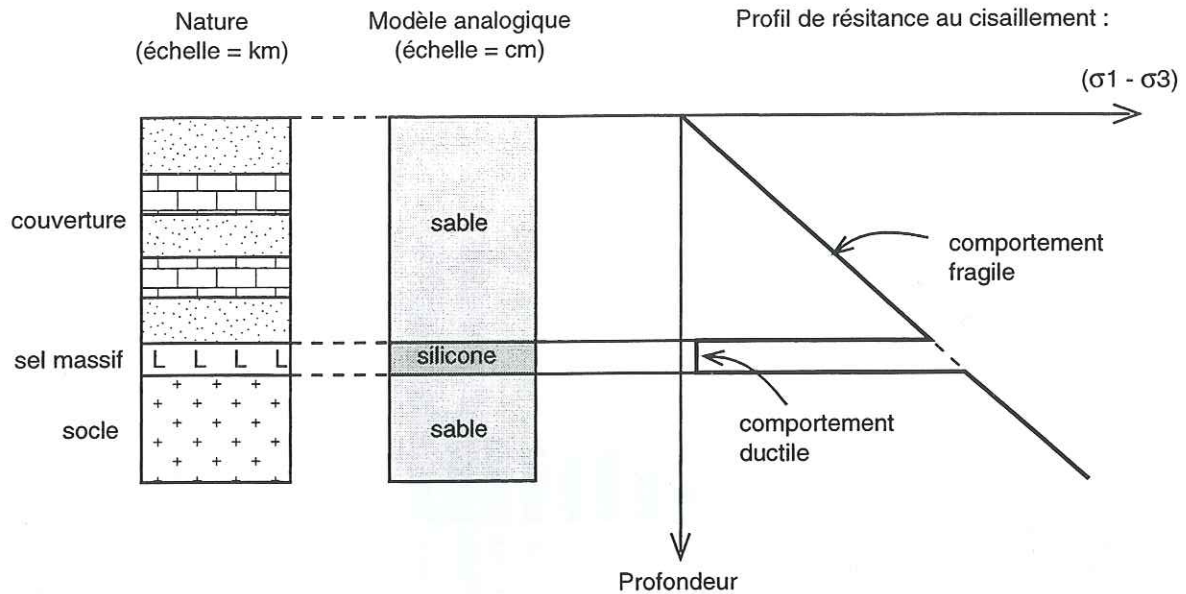




### CHAPITRE III

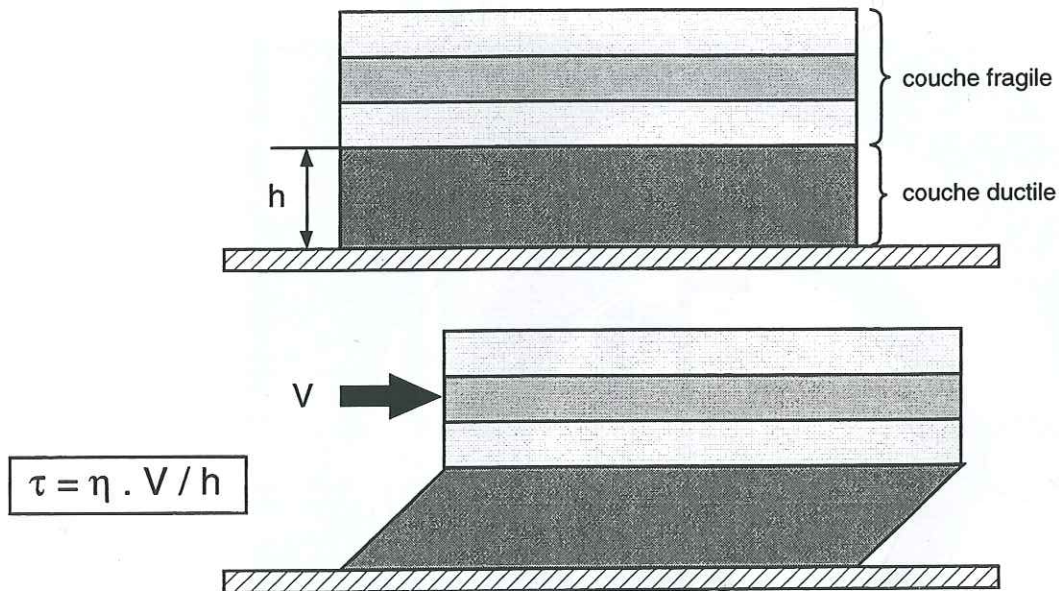
### APPORTS DE LA MODÉLISATION ANALOGIQUE DES SYSTEMES CHEVAUCHANTS ET DES ZONES DE TRANSFERT





**Fig.III-1:** Profil de résistance au cisaillement d'une couverture sédimentaire naturelle et d'un modèle analogique dimensionné (d'après Davy, 1986).

La résistance au cisaillement des matériaux fragiles augmente linéairement avec la pression lithostatique suivant le critère de Mohr-Coulomb, alors que la résistance des matériaux ductiles est indépendante de la pression.



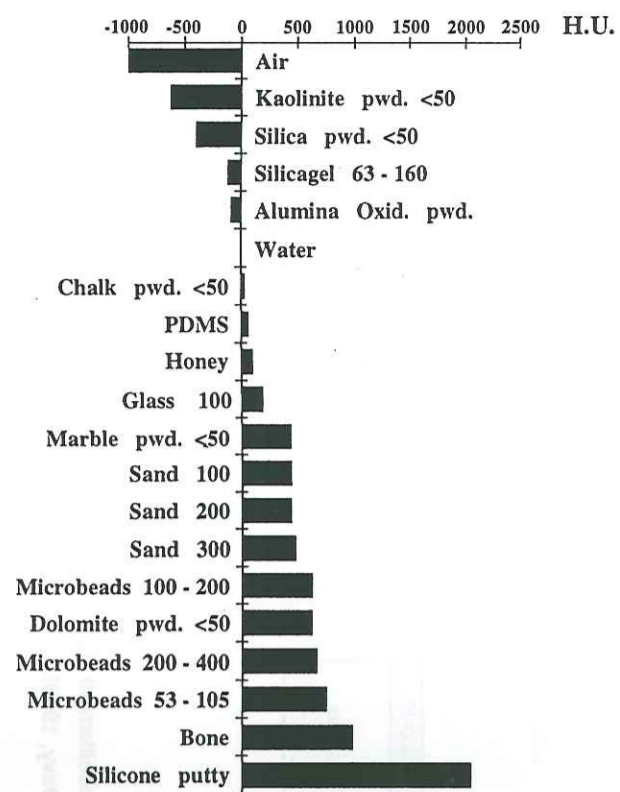
**Fig.III-2:** Relation entre résistance au cisaillement et vitesse de déformation pour une couche ductile (Ballard, 1989).

$V$  = vitesse de déformation;  $\tau$  = résistance au cisaillement;  $\eta$  = viscosité dynamique;  $h$  = épaisseur de la couche ductile



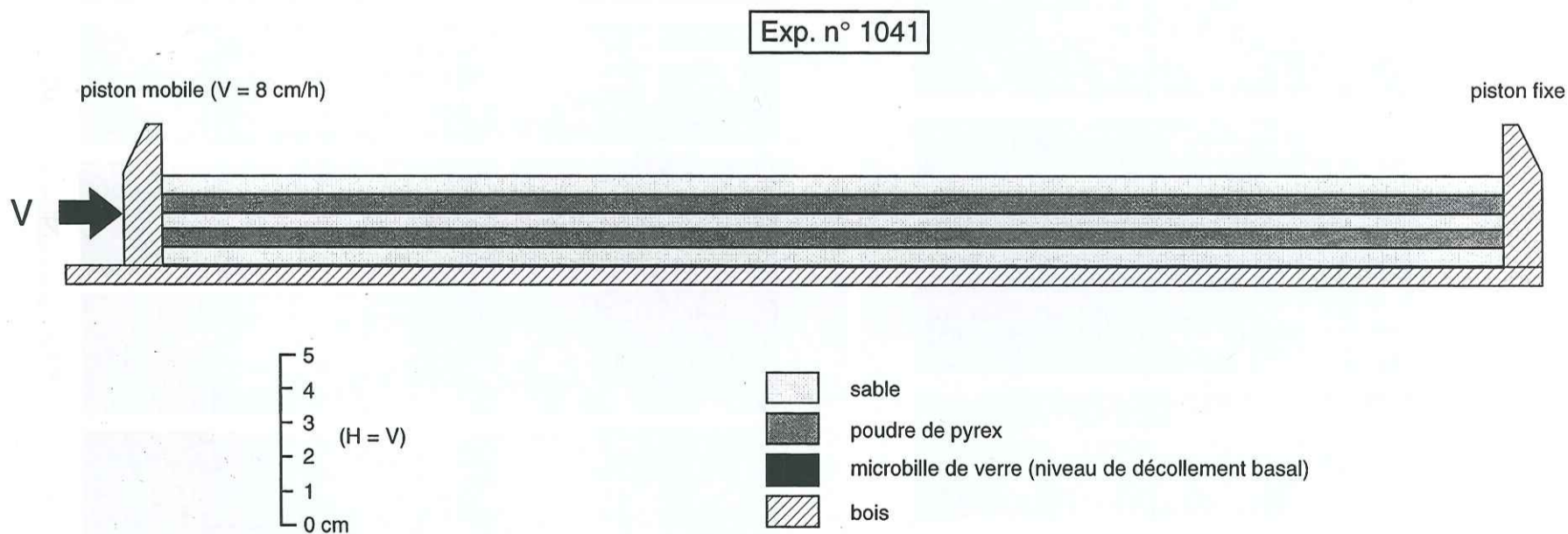


**Fig.III-3:** Principe d'acquisition du scanner X.  
Le diamètre du hublot contraint la dimension des modèles à une longueur maximum de 42 cm (Colletta *et al.*, 1991).



**Fig.III-4:** Valeurs du coefficient d'atténuation des rayon X en unités Hounsfield pour différents matériaux (Colletta *et al.*, 1991).

Noter en particulier les différences de valeurs d'atténuation pour le sable 100µm, la poudre de pyrex 100µm, la microbille de verre 53-103µm et la silicone (PDMS = Dow Corning SGM 36 polydiméthyl-siloxilane) qui sont employés dans les modèles analogiques. La taille des grains est donnée en micromètres.



**Fig.III-5:** Dispositif expérimental du modèle n°1041.



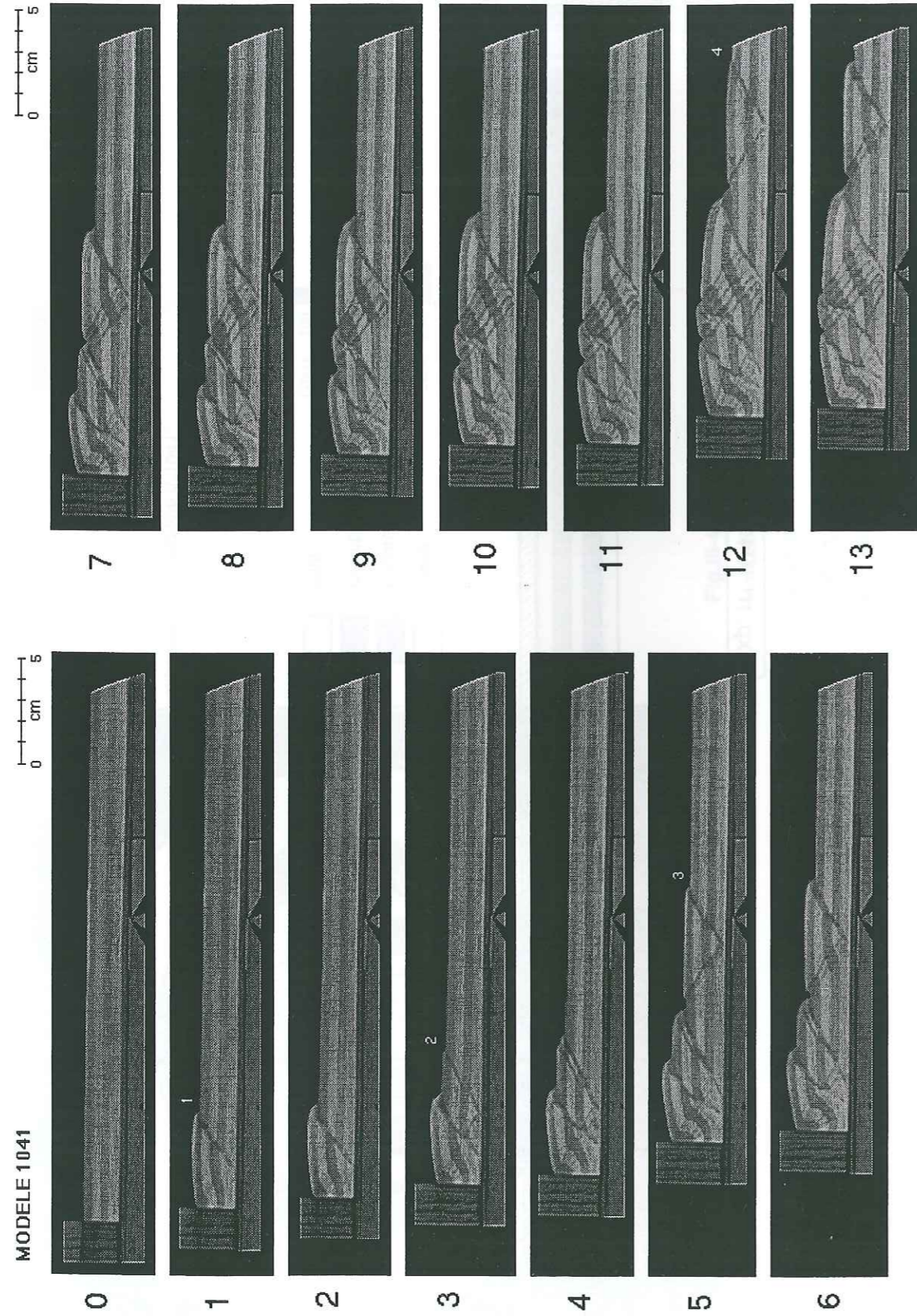


Fig.III-6: Coupes évolutives transversales montrant la séquence de développement des chevauchements et la géométrie des structures associées.

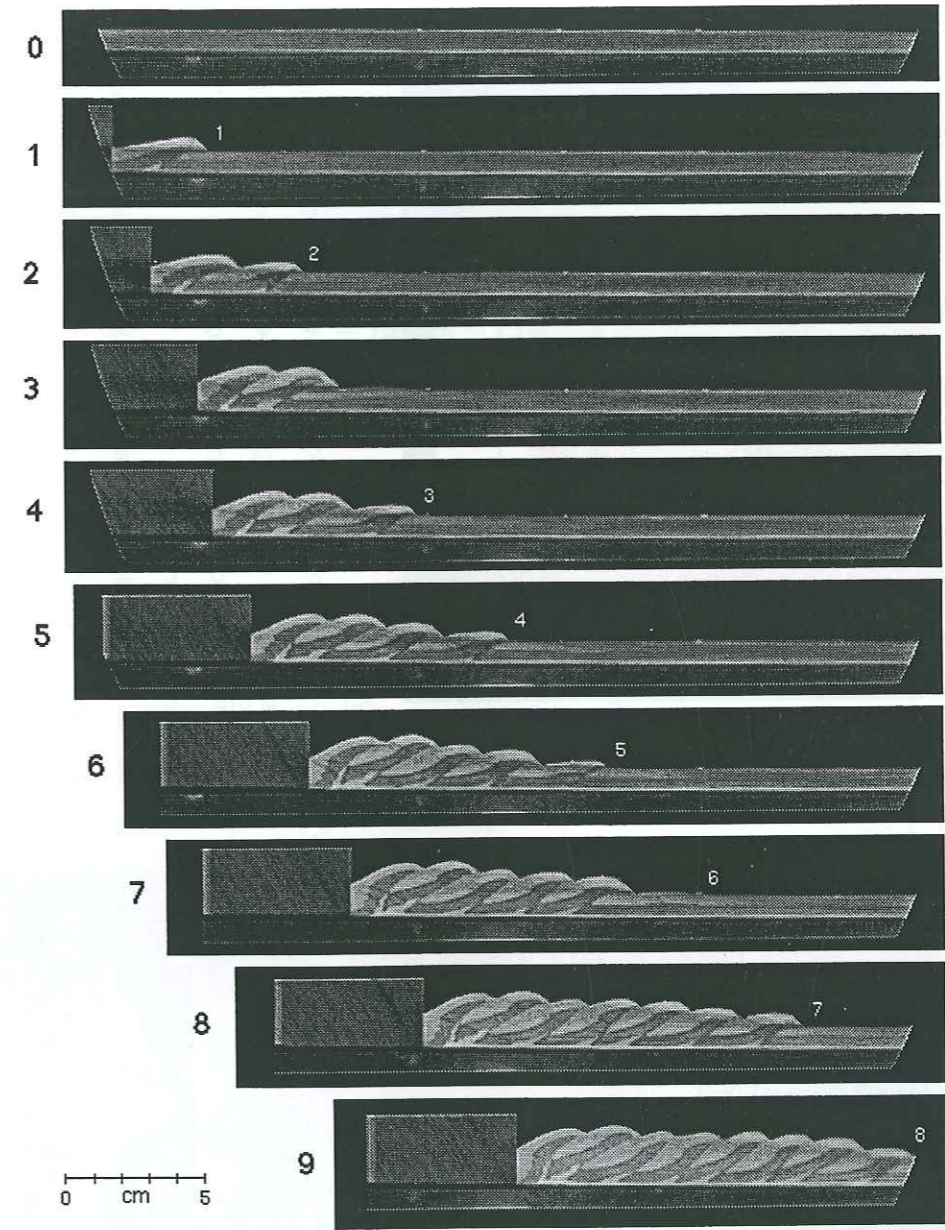
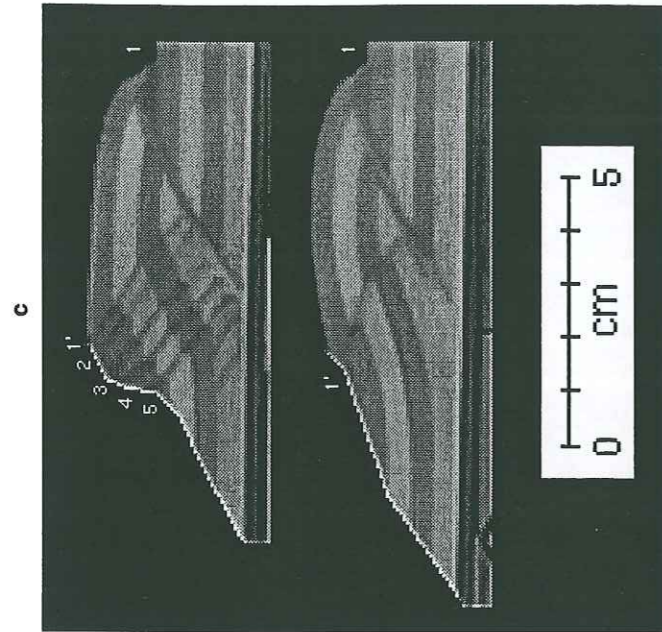


Fig.III-7: Coupes évolutives transversales d'un modèle fragile de faible épaisseur. Noter la séquence prograde typique de l'activation des chevauchements et la remarquable régularité des écaillés du fait de l'épaisseur initiale constante.



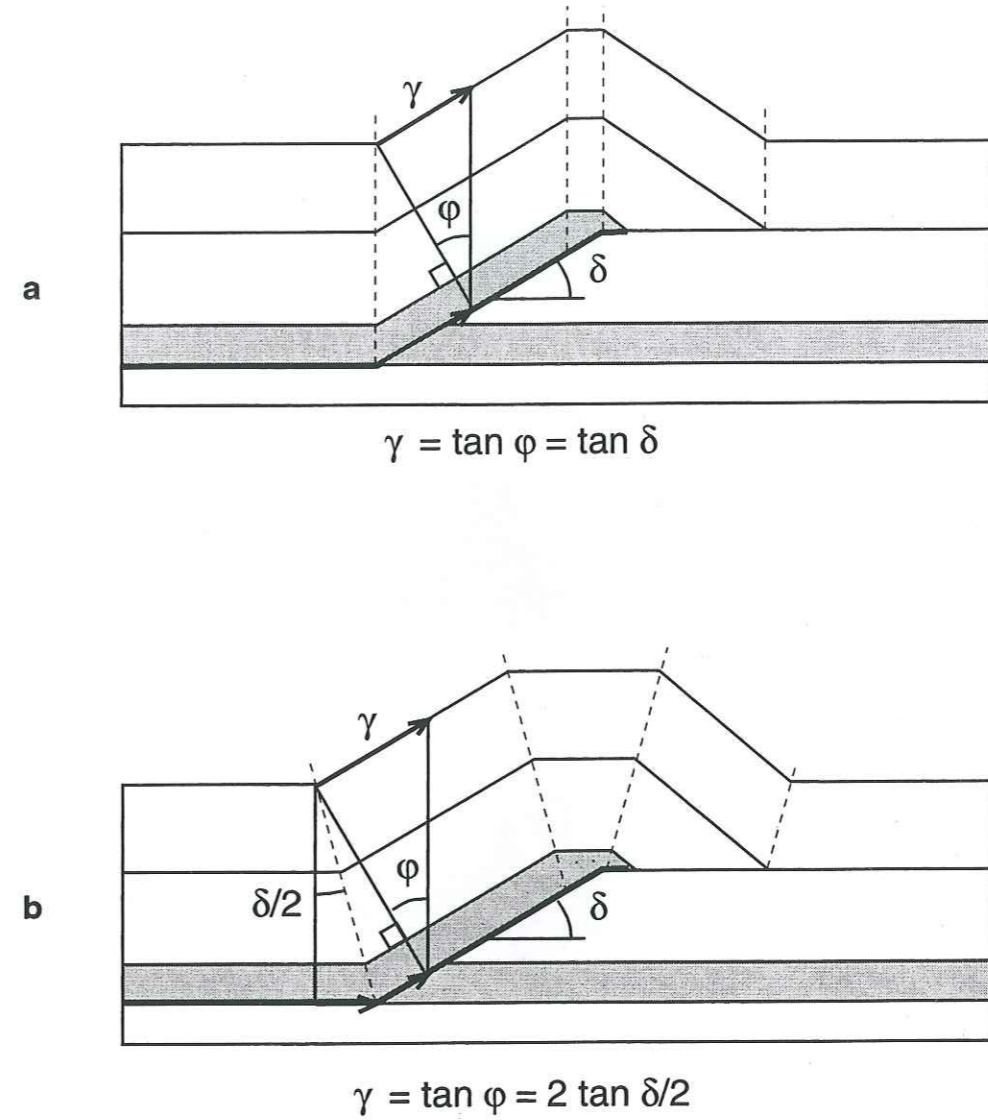
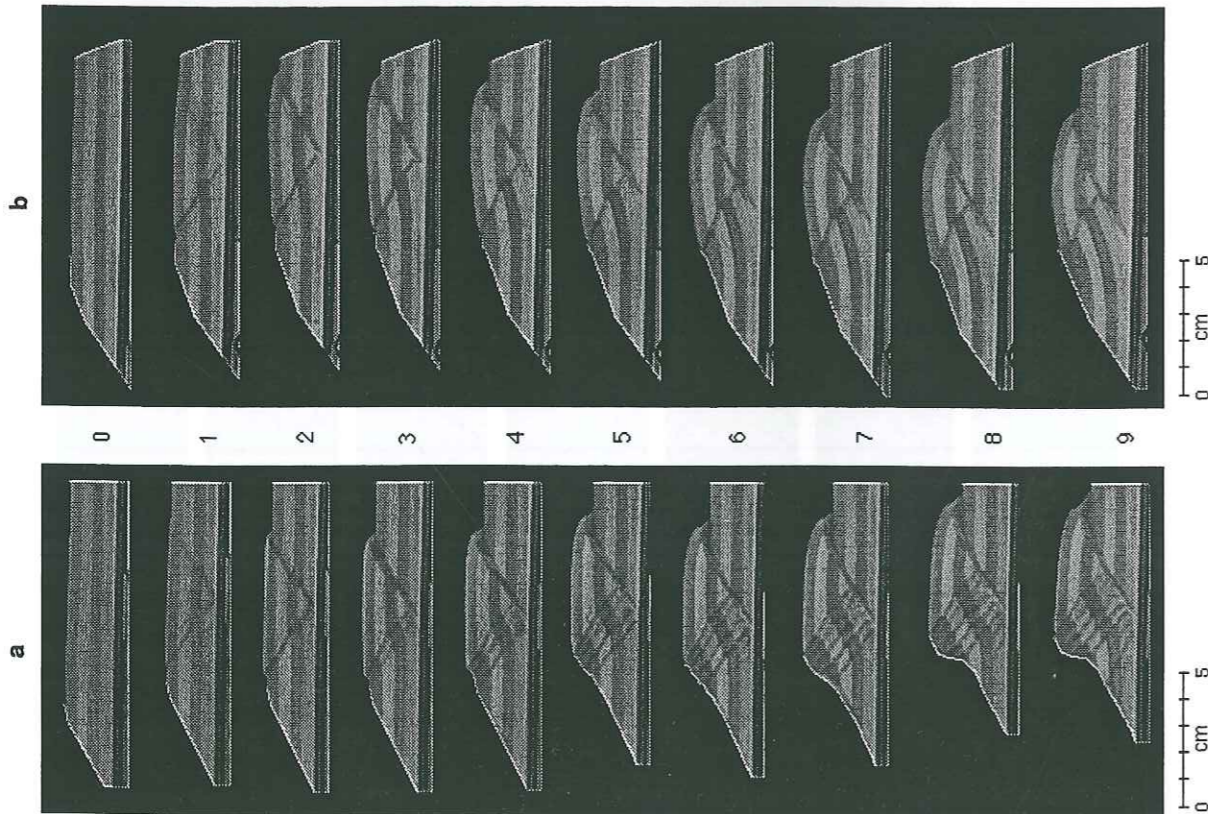


**Fig.III-8:** Évolution d'une écaille chevauchante dans un modèle isopaque d'après la valeur du pendage relatif de la rampe dans le compartiment supérieur, en fonction de l'implication ou non du niveau de détachement dans le glissement sur la faille.

**8a:** le pendage de la rampe est identique pour le toit et le mur de la faille.

**8b:** le pendage de la rampe est plus faible pour le toit que pour le mur de la faille.

**8c:** agrandissement de la structure au stade n°8. La numérotation des accidents indique leur ordre d'apparition.



**Fig.III-9:** Modèles de déformation d'une écaille chevauchante par plissement flexural (Sanderson, 1982; Apotria, 1990, 1992).

**9a:** pli flexural semblable (conservation de l'épaisseur verticale des couches).

**9b:** pli flexural parallèle (conservation de l'épaisseur normale des couches).

Dans les 2 cas, la valeur de la déformation interne accommodée par le cisaillement couche/couche  $\gamma$  est proportionnelle au pendage  $\delta$  de la rampe.



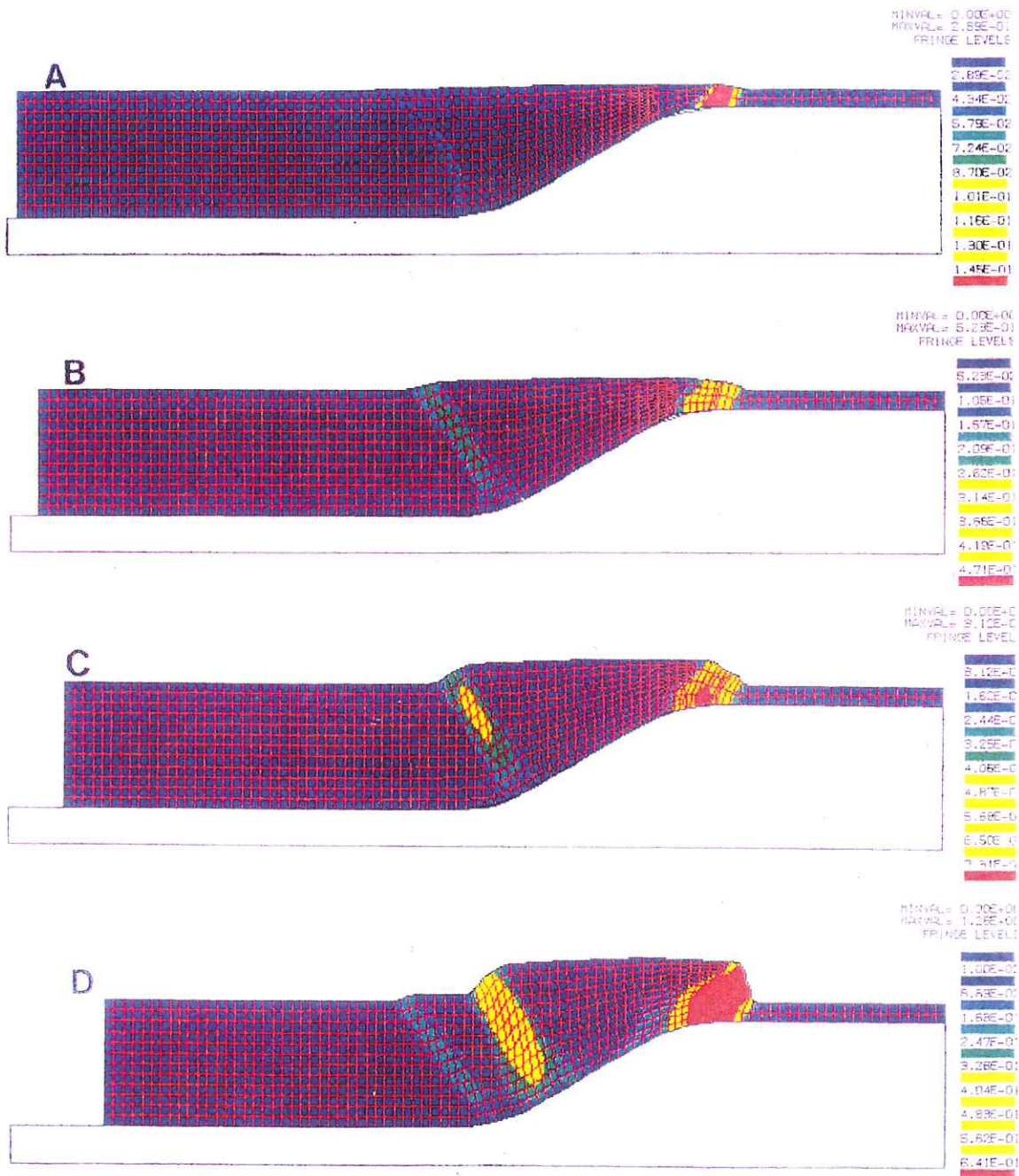
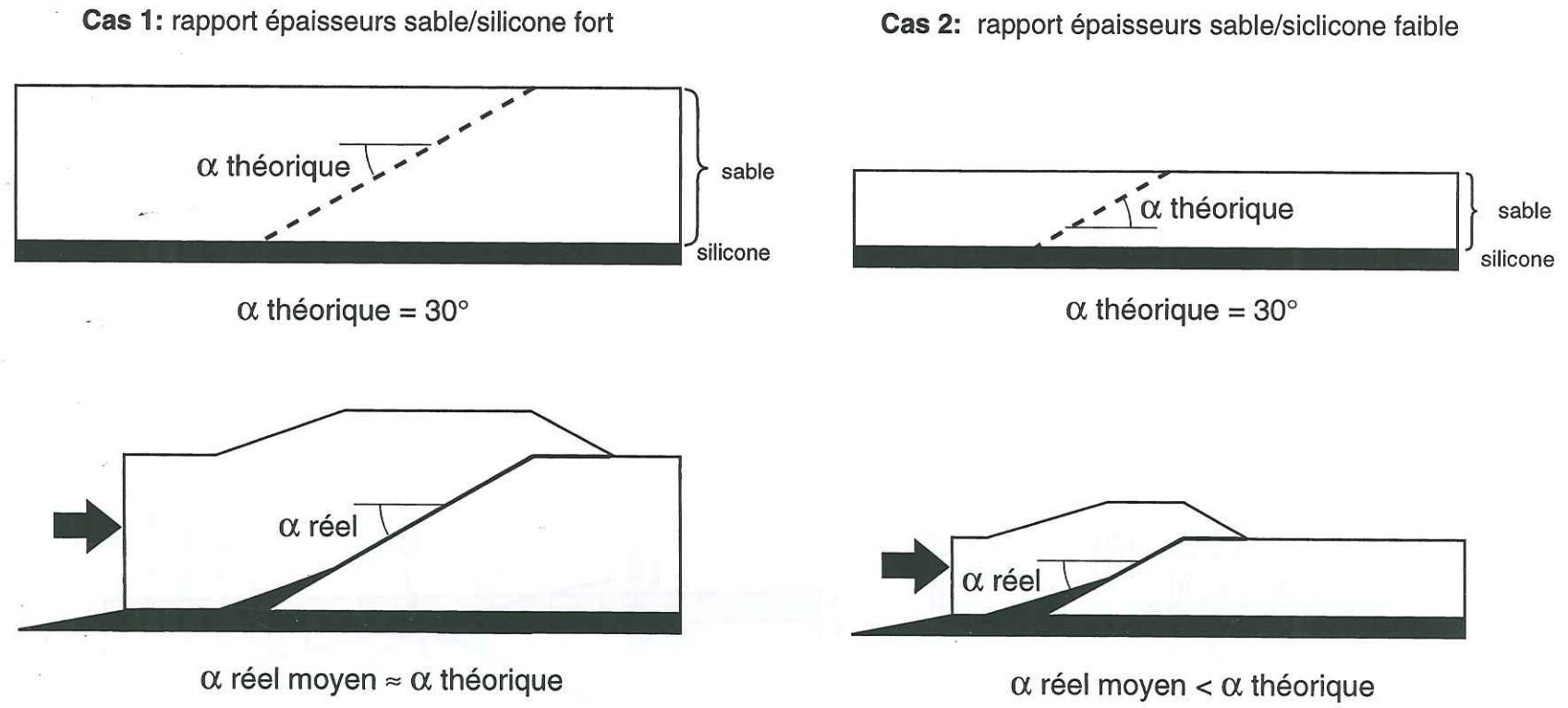


Fig.III-10: Modélisation d'un pli de rampe passif (Bathelier, 1994).

L'échelle des couleurs représente les isovaleurs de la déformation plastique équivalente aux cycles de calcul A, B, C et D. Noter le développement séquentiel de bandes de cisaillement antithétiques au niveau du passage plat-rampe.





**Fig.III-11:** Valeur du pendage effectif de la rampe dans le compartiment supérieur d'une écaille chevauchante en fonction du rapport épaisseur couche fragile/épaisseur niveau de détachement.

Dans le cas 1, l'écaille subit une déformation interne importante au passage plat-rampe qui se traduira par la formation de rétrochevauchements dans les modèles en sable.

Dans le cas 2, le pendage réel de la rampe étant relativement faible, la déformation interne imposée à l'écaille au passage plat-rampe le sera d'autant plus.



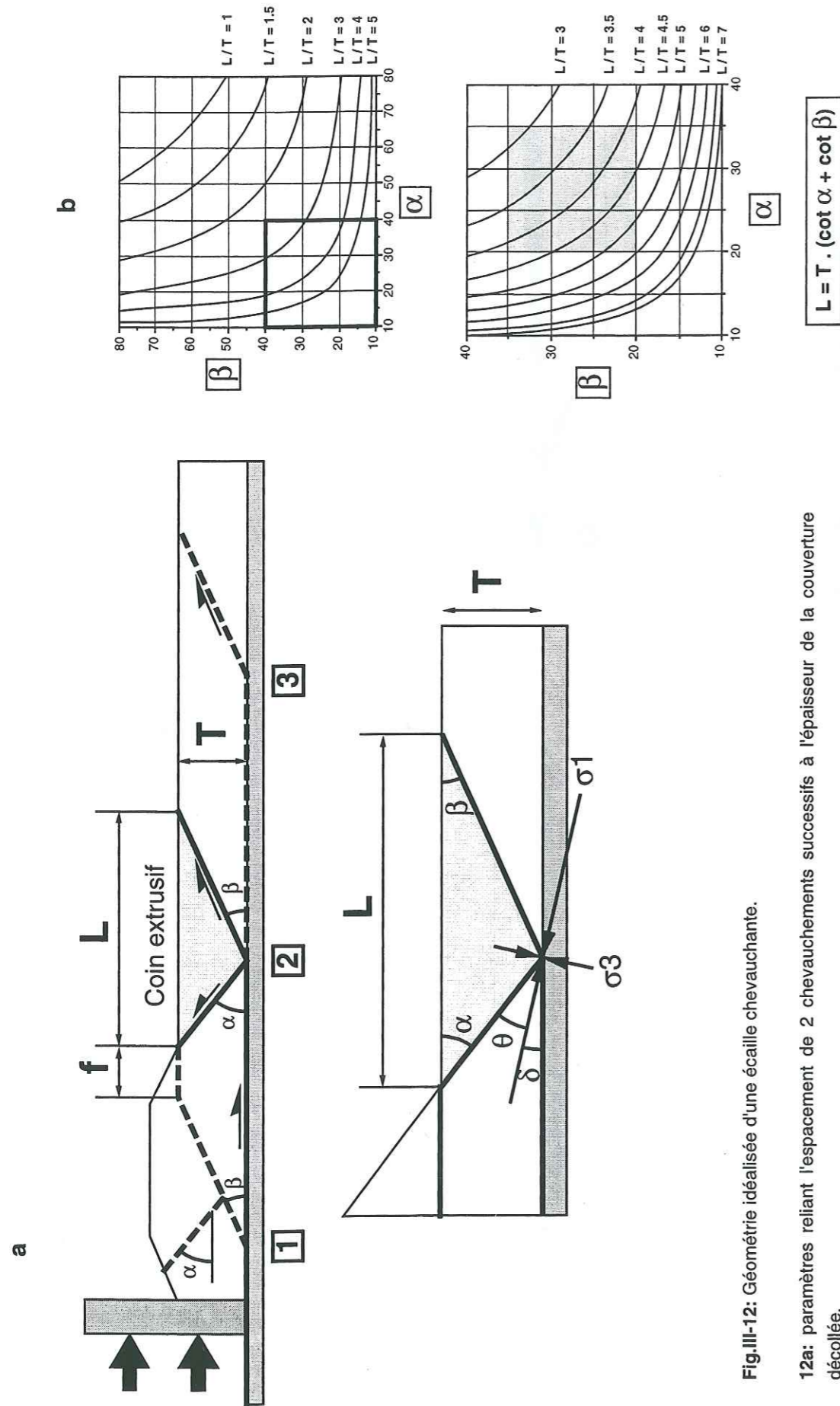


Fig.III-12: Géométrie idéalisée d'une écaille chevauchante.

12a: paramètres reliant l'espacement de 2 chevauchements successifs à l'épaisseur de la couverture décollée.

12b: valeurs du rapport espacement/épaisseur en fonction du pendage des accidents anasthétiques limitant le coin extrusif.

$$L = T \cdot (\cot \alpha + \cot \beta)$$

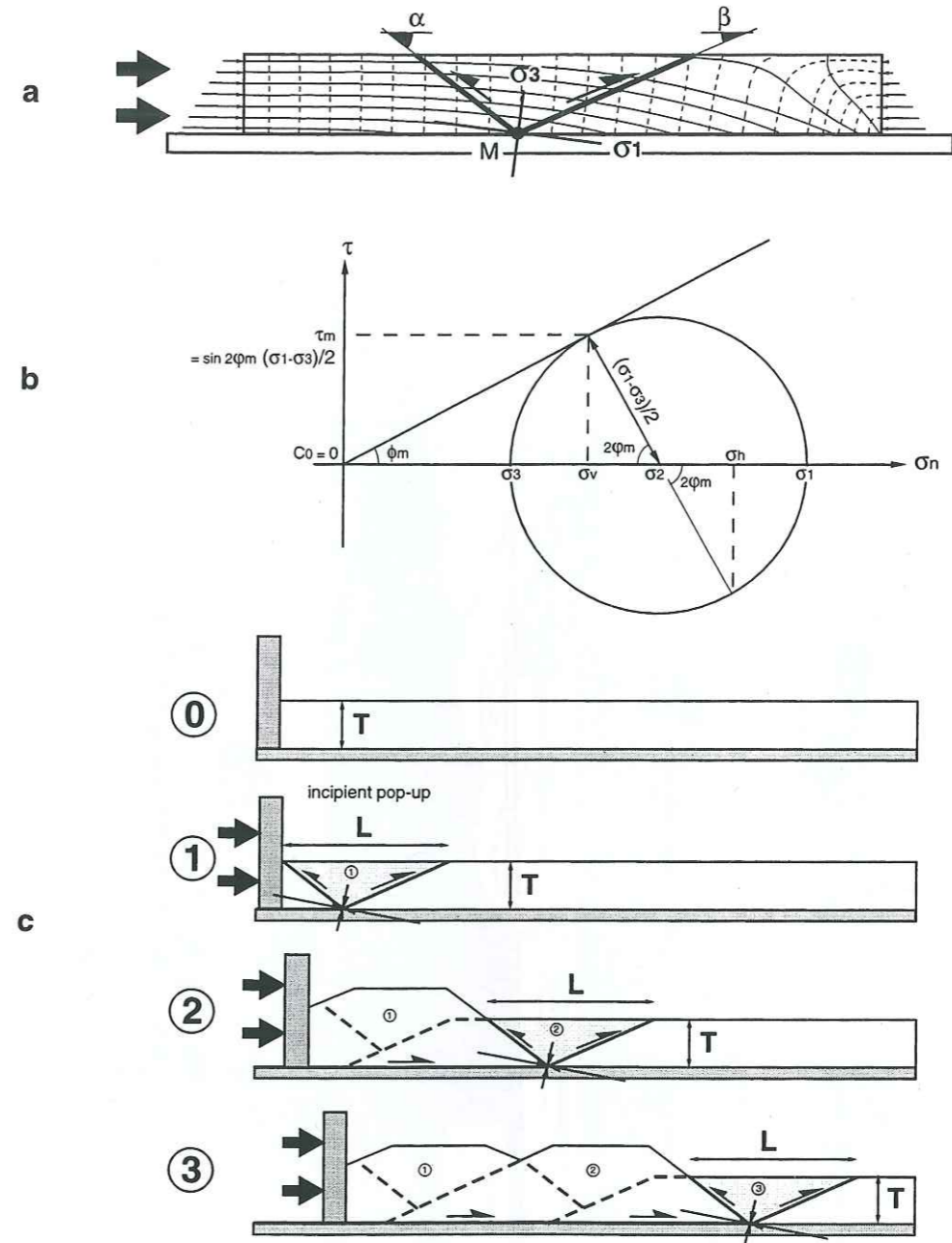


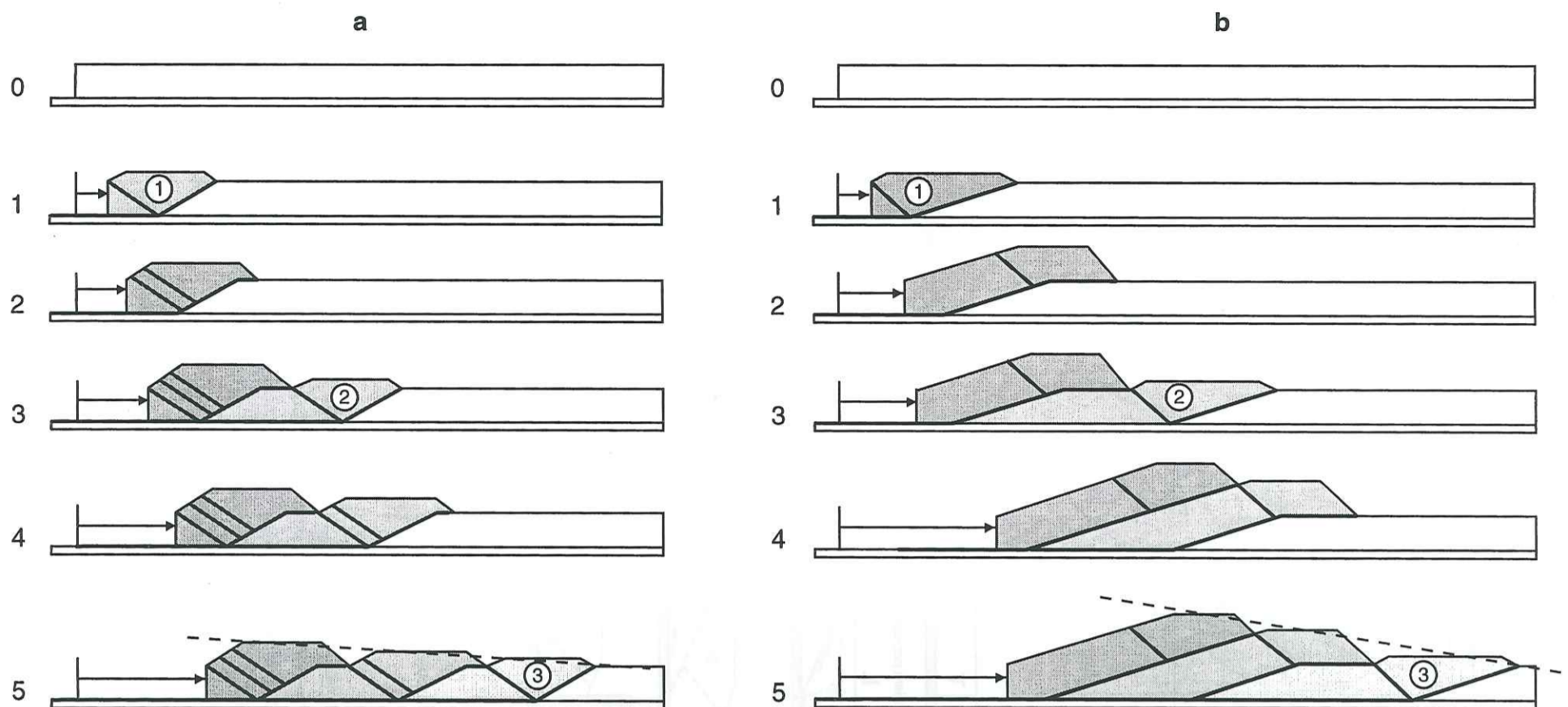
Fig.III-13: Relation entre la friction basale et le pendage des accidents (chevauchement + rétrochevauchement).

13a: visualisation des courbes d'isovaleurs des contraintes principales minimales et maximales dans un modèle soumis à une poussée arrière (Mandl et Shipman, 1981; Davis et Engelder, 1985; modifié). Les courbes d'isovaleurs de la contrainte principale maximale  $\sigma_1$  plongent vers l'avant du modèle d'autant plus fortement que la friction basale est élevée. Le coin extrusif qui se développera au point M sera en conséquence plus ou moins basculé vers l'avant.

13b: représentation sur un diagramme de Mohr des conditions de rupture du modèle au point M.

13c: schéma théorique d'une propagation de chevauchements en fonction de la friction basale (orientation des axes des contraintes principales) et de l'épaisseur du modèle.

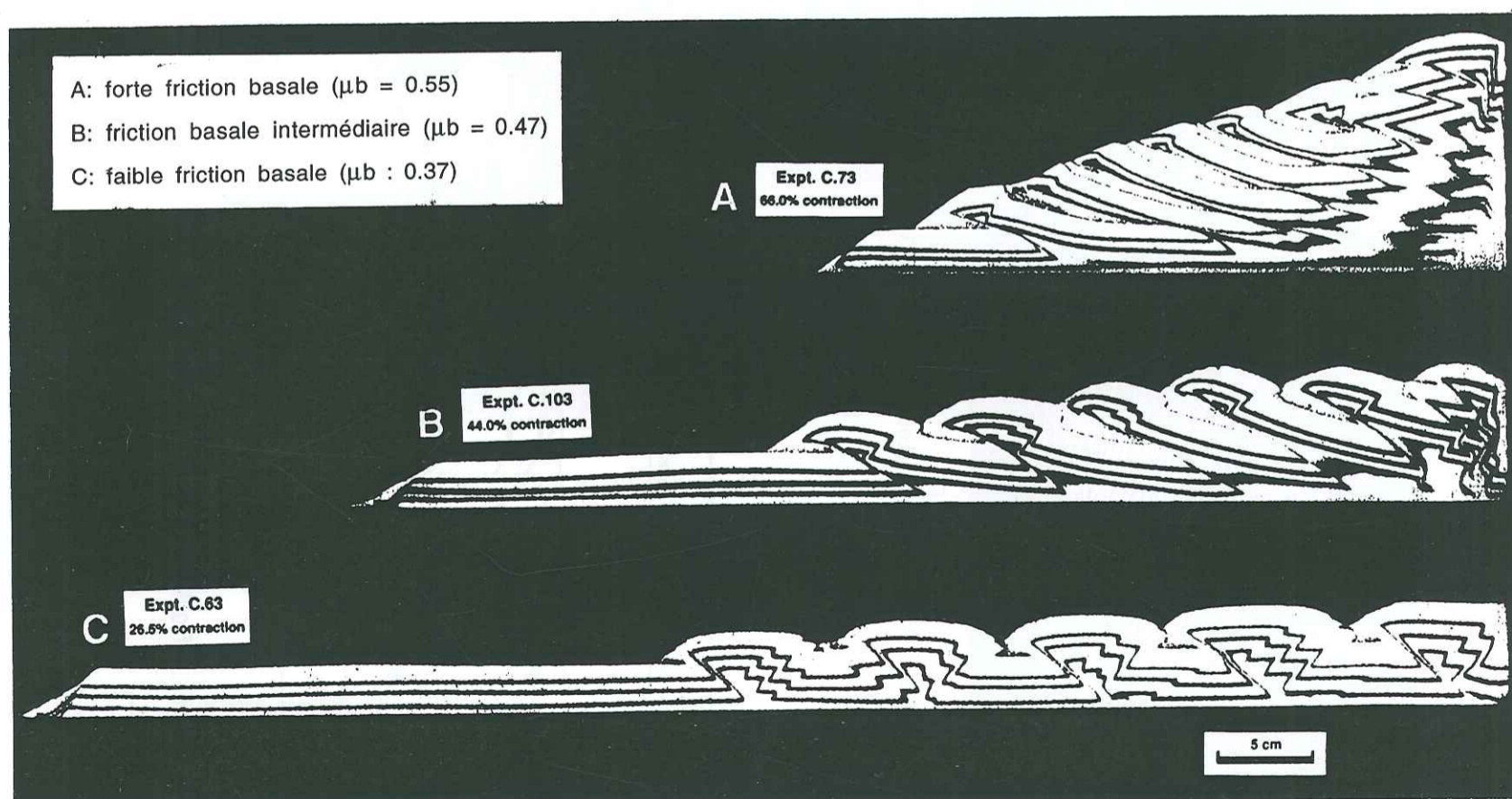




**Fig.III-14:** Relations entre les modèles analogiques et le modèle de prisme critique de Coulomb de Davis et al. (1983), en fonction de la friction basale. Dans les 2 cas, la loi d'espacement des accidents est respectée, mais la flèche des chevauchements varie.

**14a:** faible friction basale. Les structures sont symétriques et la pente topographique du prisme est faible.

**14b:** forte friction basale. La vergence vers l'avant-pays des chevauchements est très marquée (pendage des rampes faible) et leur flèche importante. La pente topographique du prisme est donc élevée.



**Fig.III-15:** Exemples de modélisations analogiques en fonction de la friction basale, l'épaisseur étant identique pour les 3 modèles (Liu Huiqi *et al.*, 1992).



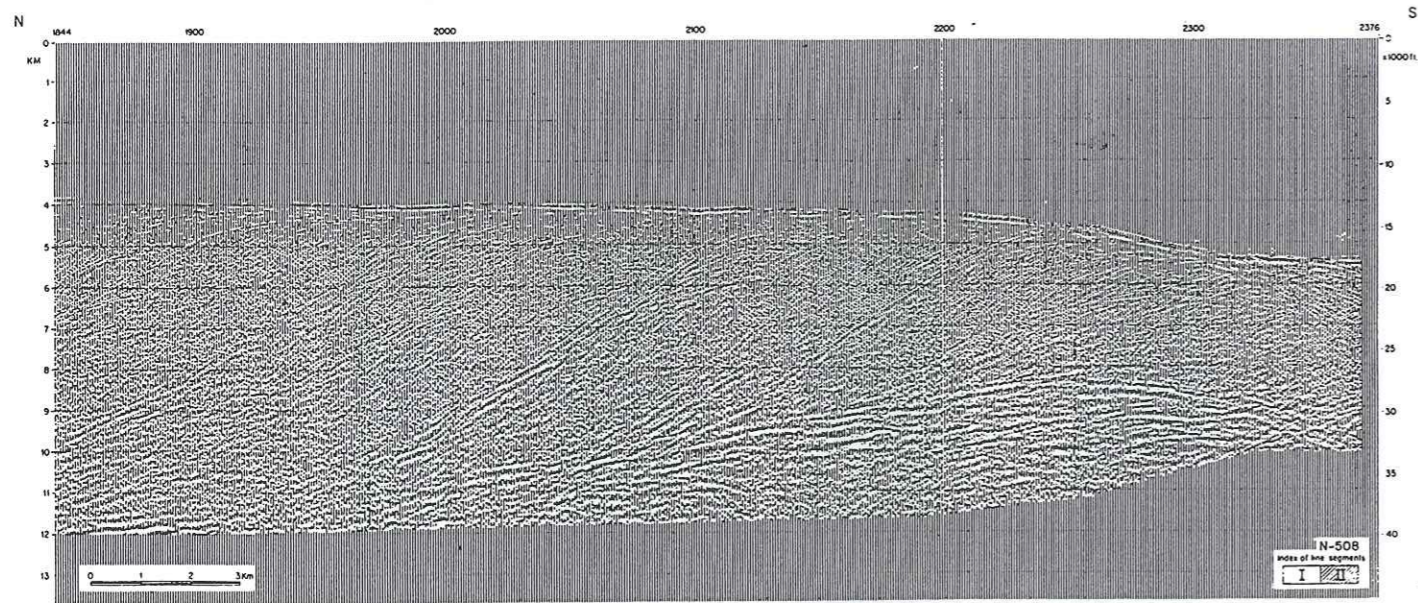


Fig.III-16.1.a: prisme de Java (Lehner *et al.*, 1983).

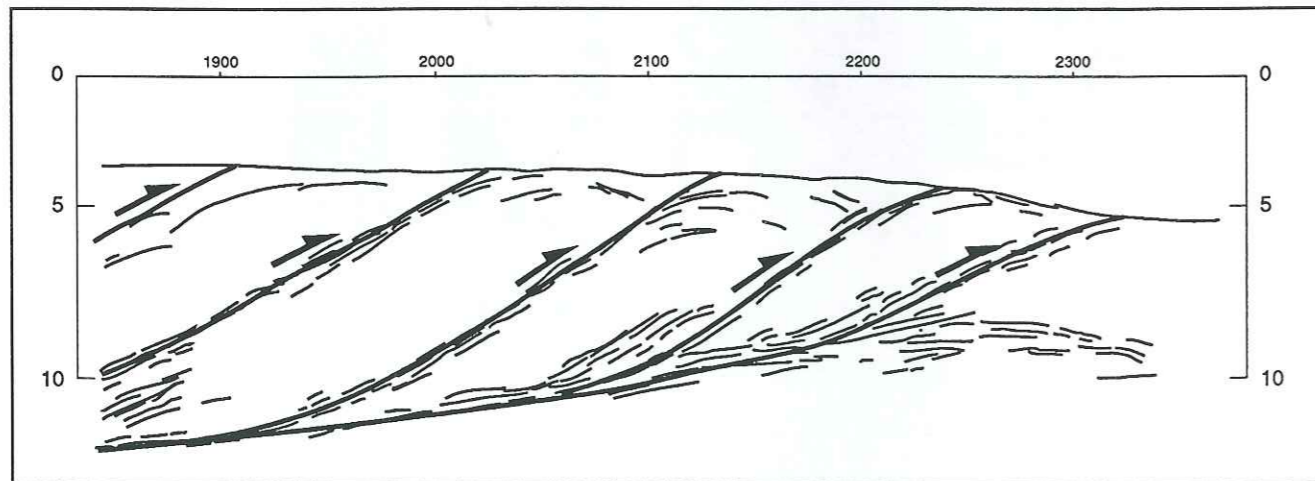


Fig.III-16.1.b: Line-drawing du profil Java

Fig.III-16: exemples de profils sismiques de prismes d'accrétion océaniques et interprétations possibles.

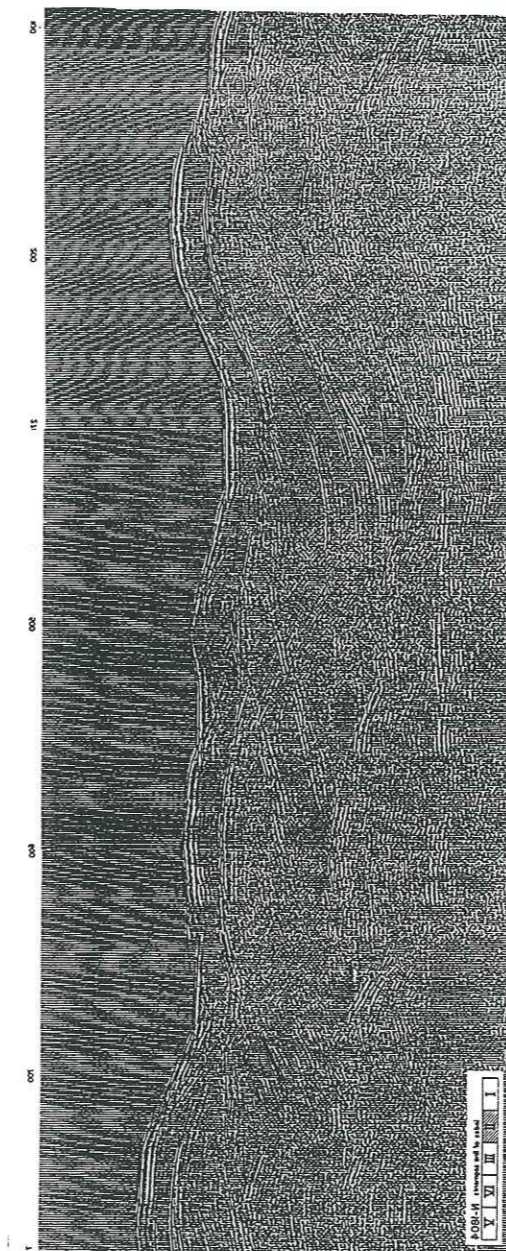


Fig.III-16.2.a: prisme du Makran (Lehner *et al.*, 1983).

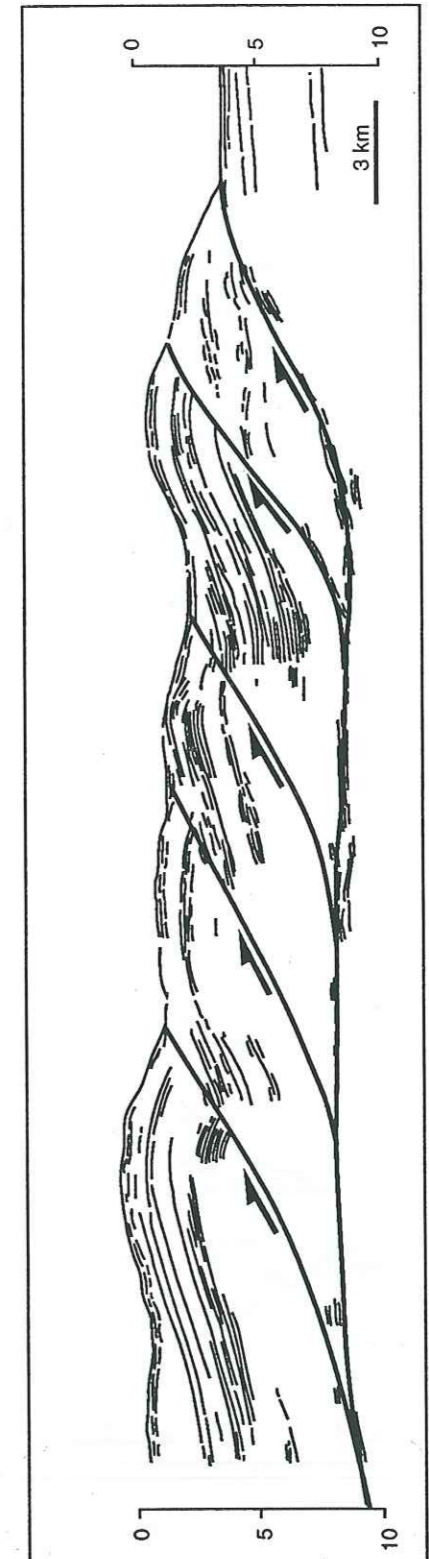


Fig.III-16.2.b: Line-drawing du profil Makran



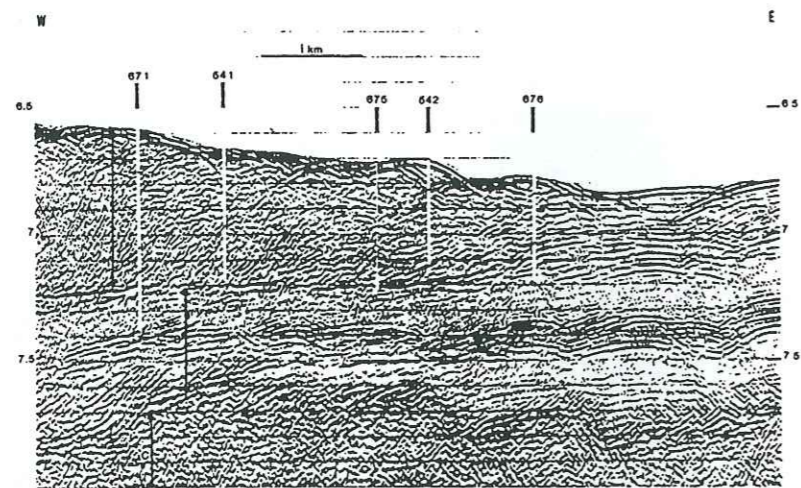


Fig.III-16.3.a: prisme de la Barbade (Behrmann *et al.*, 1988).

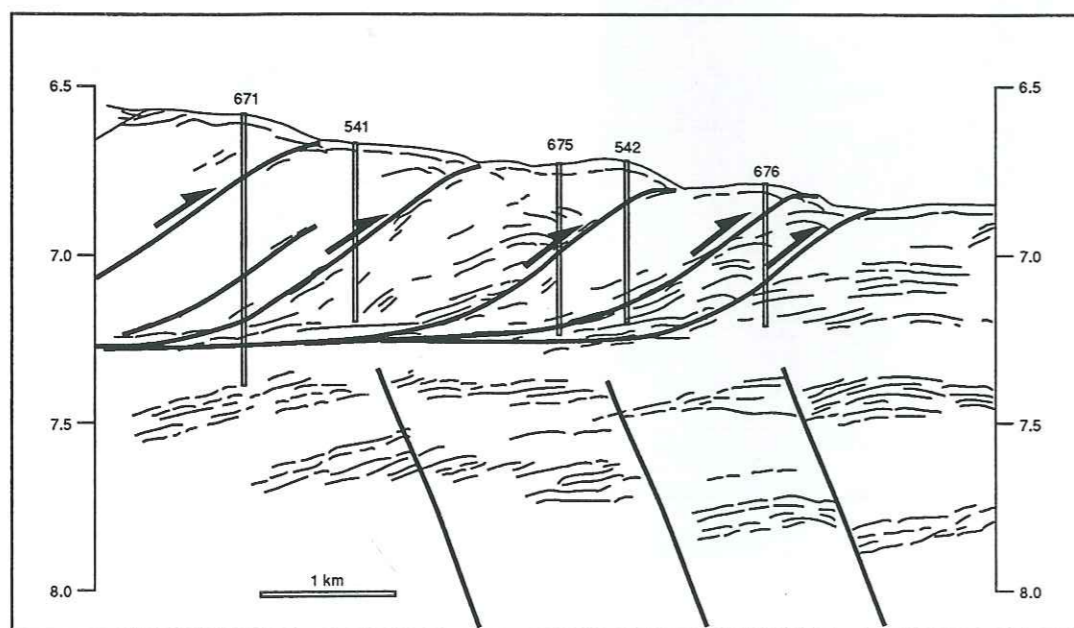


Fig.III-16.3.b: Line-drawing du profil Barbade

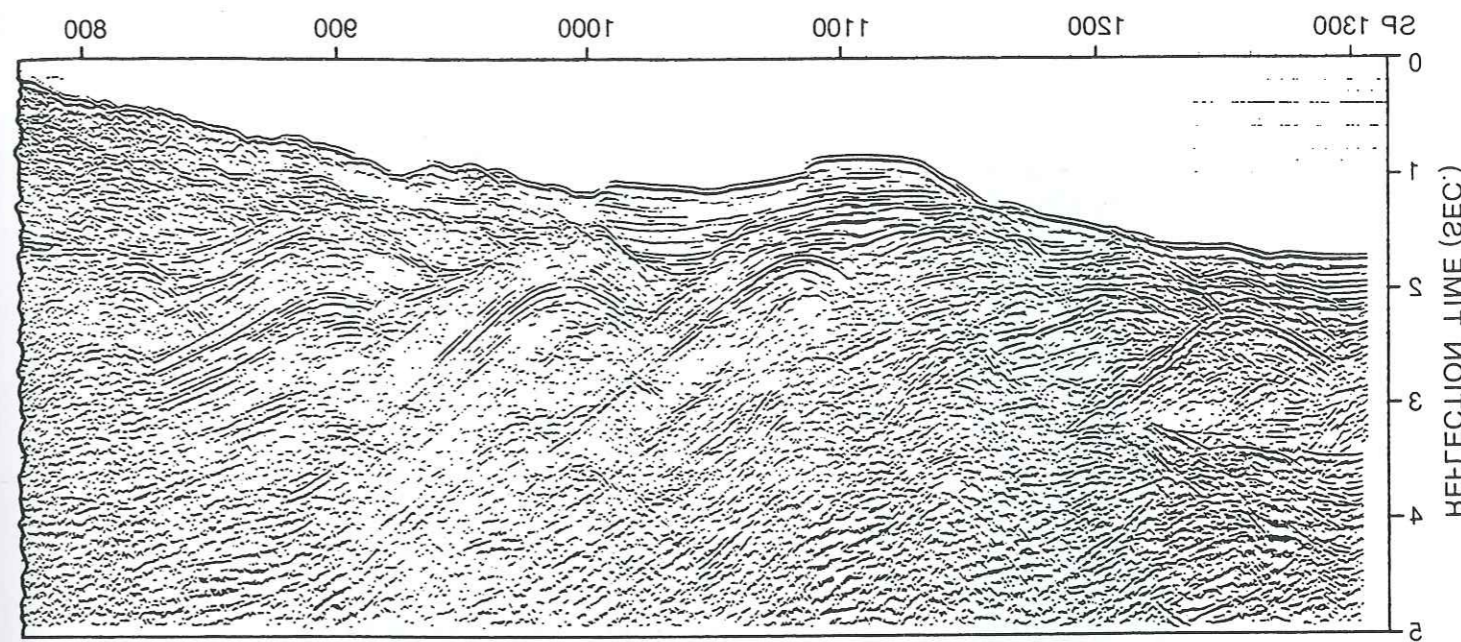


Fig.III-16.4.a: prisme du Makran (Harms *et al.*, 1983).

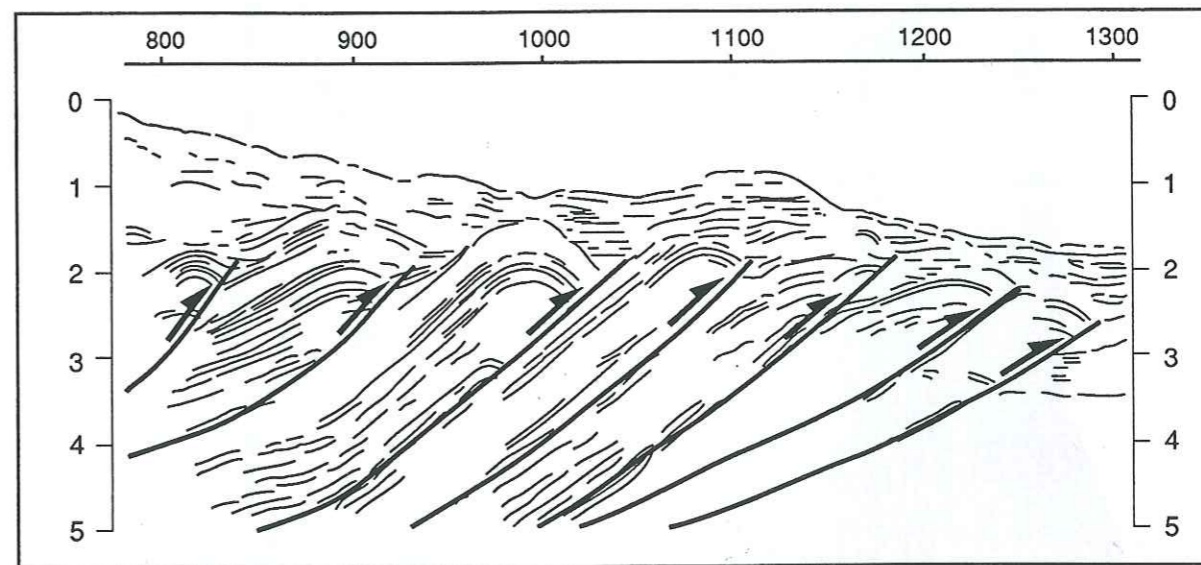


Fig.III-16.4.b: Line-drawing du profil Makran



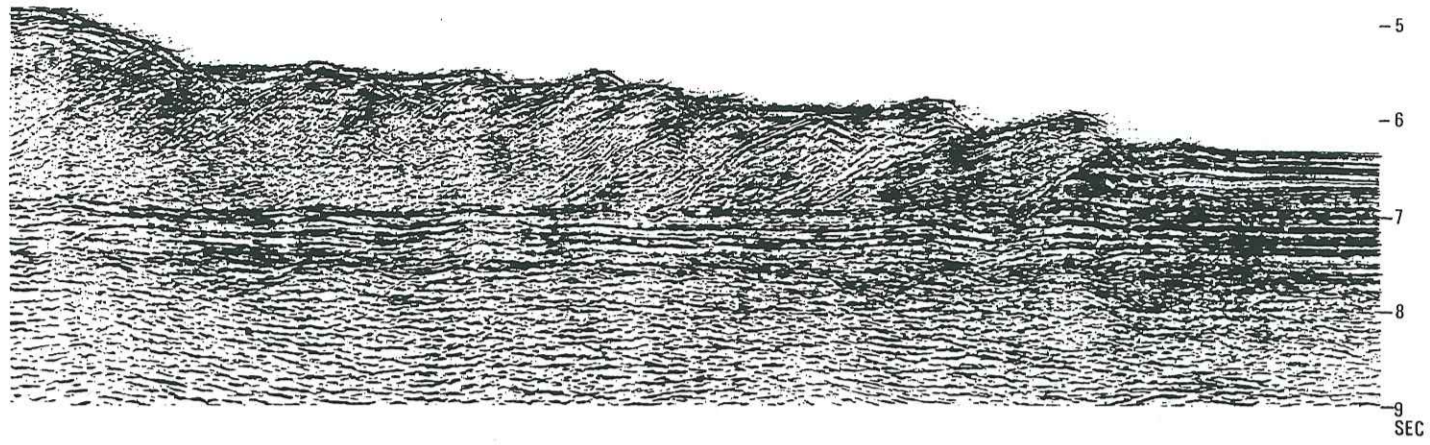


Fig.III-16.5.a: prisme de Nankai 1 (Aoki *et al.*, 1982).

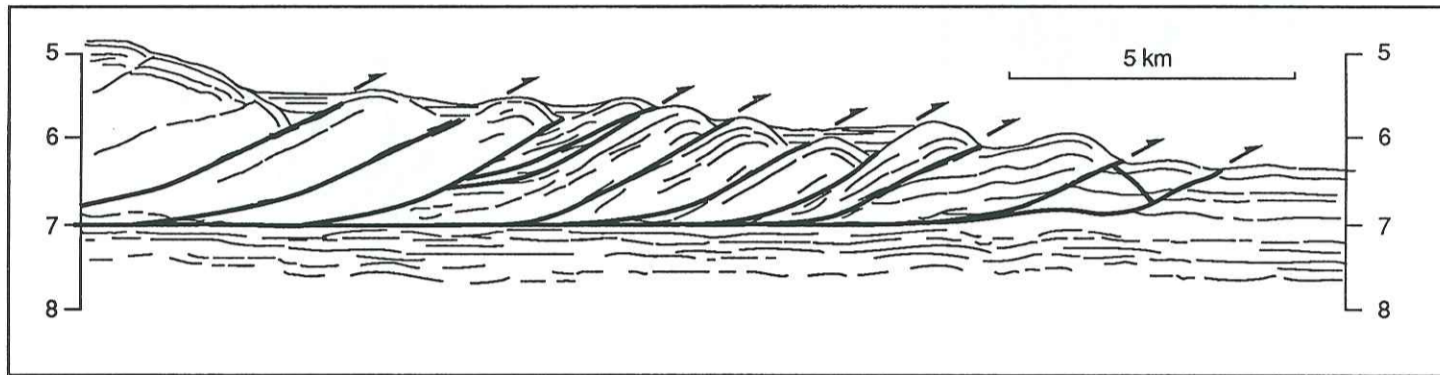


Fig.III-16.5.b: Line-drawing du profil Nankai 1

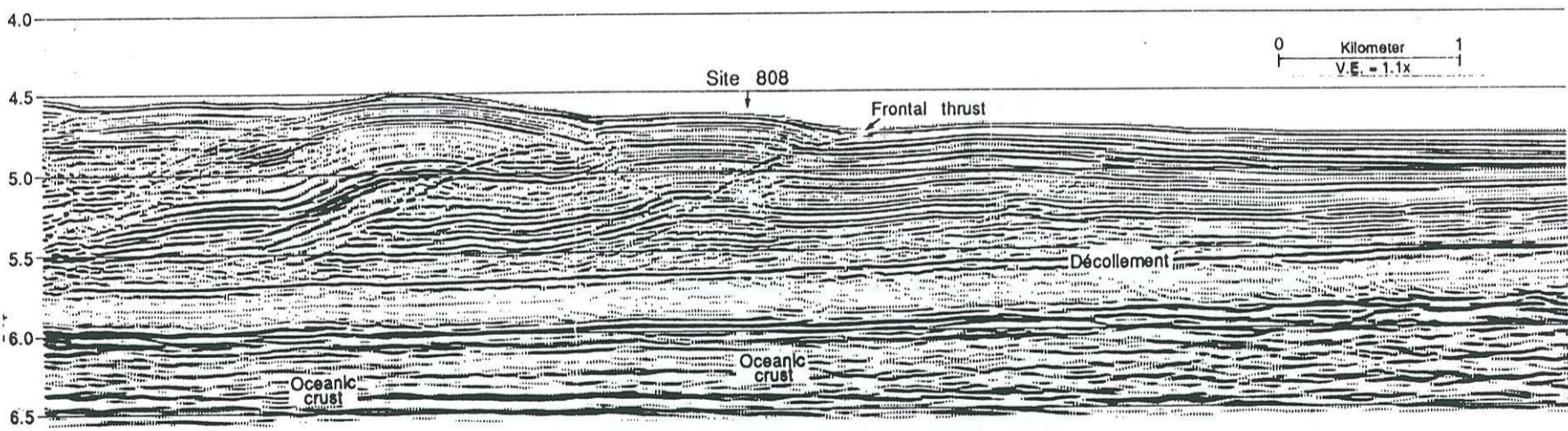


Fig.III-16.6.a: prisme de Nankai 2 (Moore *et al.*, 1991).

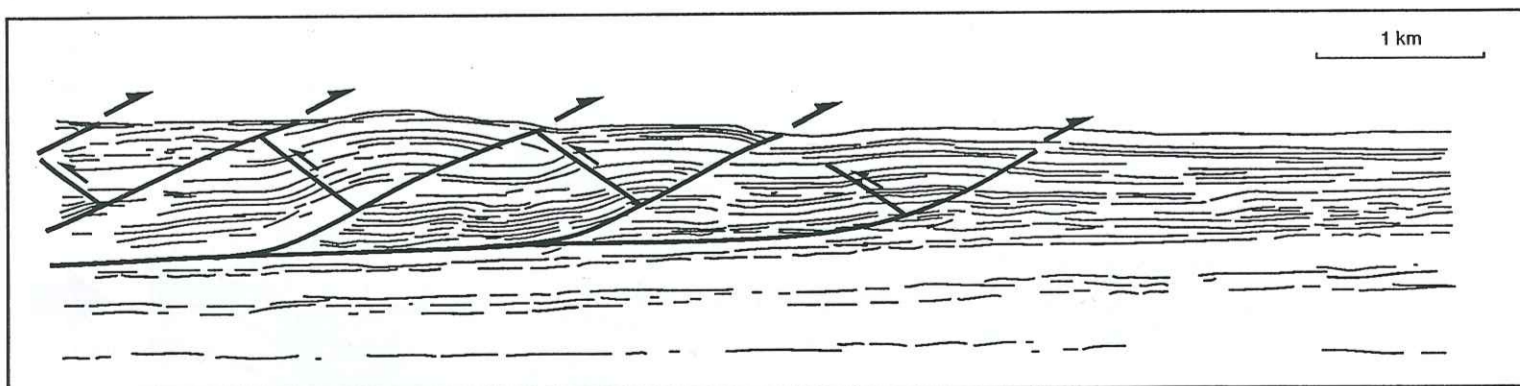


Fig.III-16.6.b: Line-drawing du profil Nankai 2



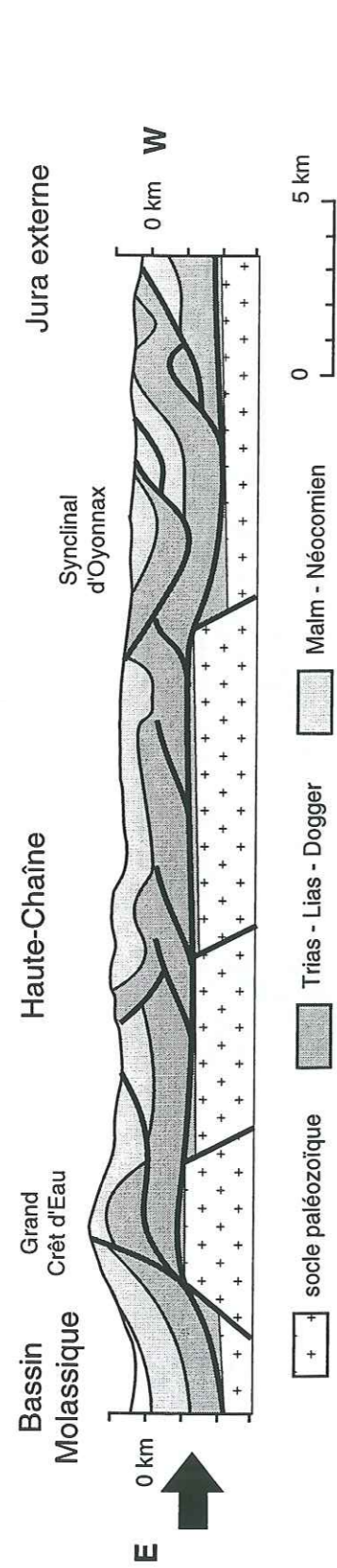


Fig.III-17: Interprétation possible de la Haute-Chaîne du Jura central en terme de horst de socle préservé sous le niveau de décollement intra-triasique (Guellec et al., 1990; simplifié).

Noter le plongement vers l'avant-pays du palier de décollement à l'aplomb de la marche d'escalier occidentale du point-haut de socle.

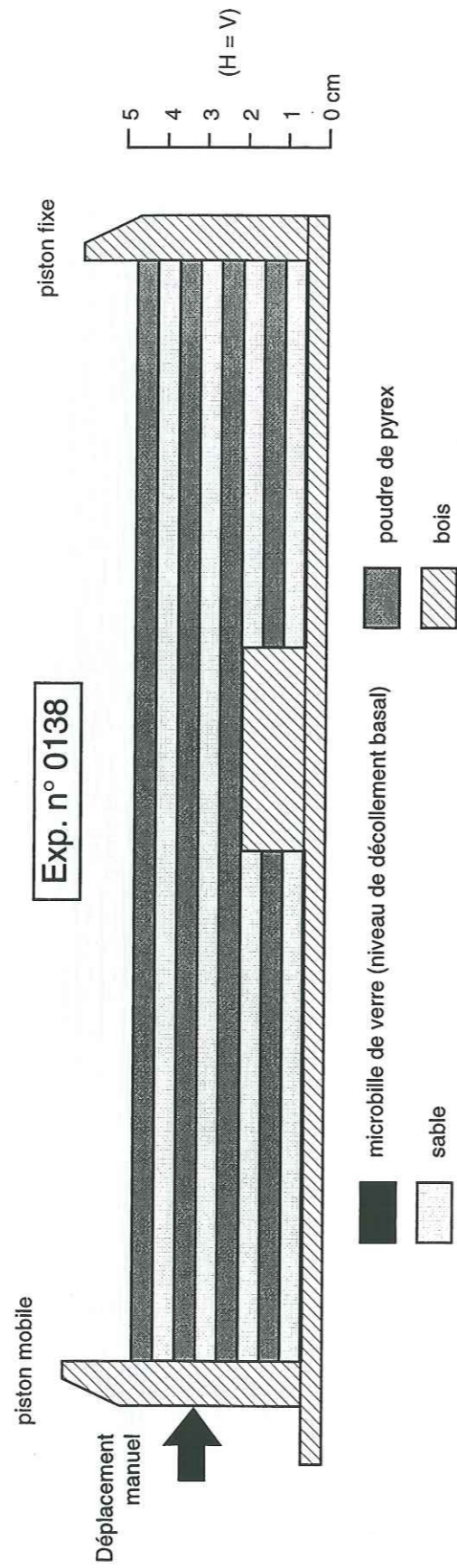


Fig.III-18: Dispositif expérimental du modèle n°0138.

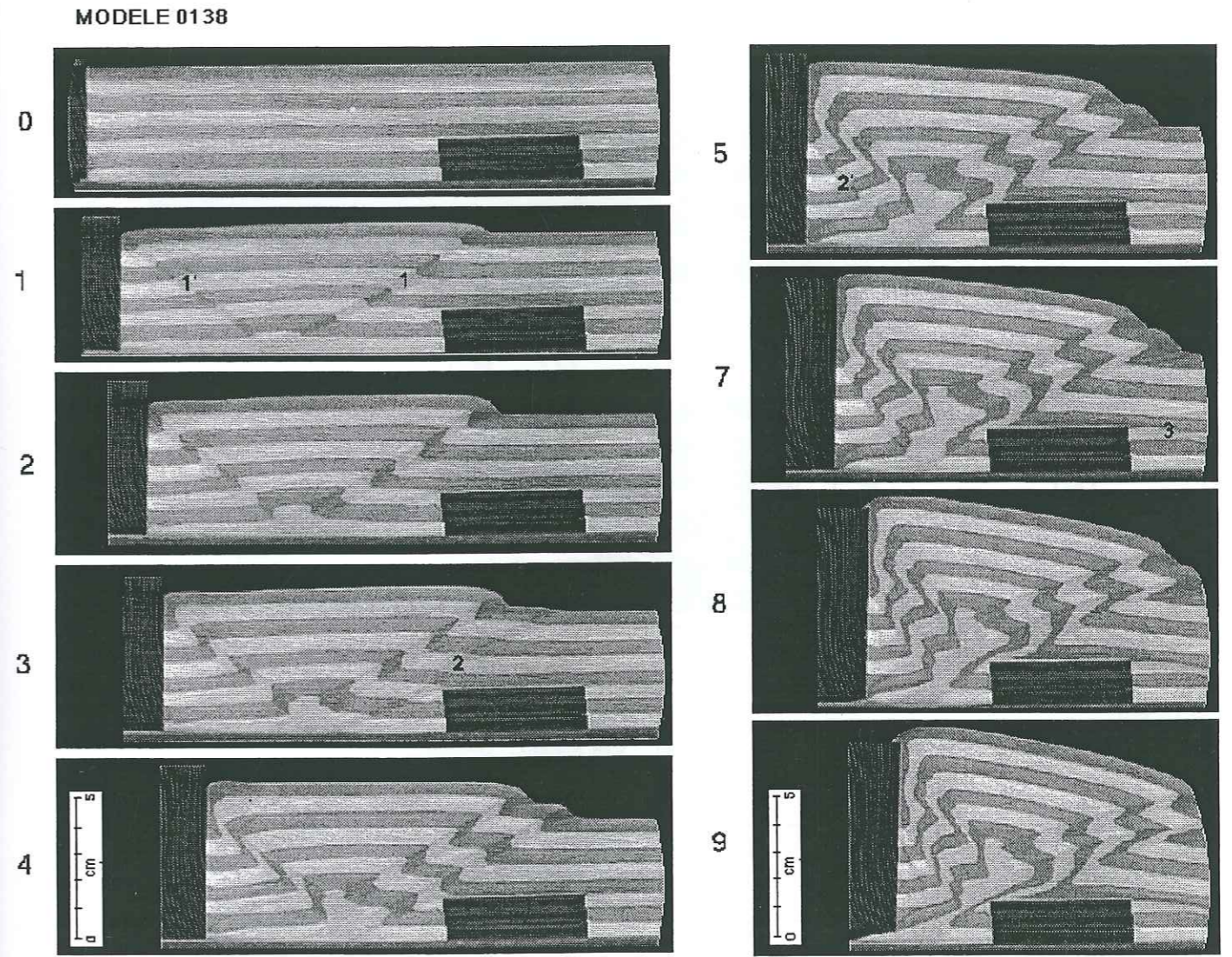


Fig.III-19: Coupes évolutives transversales du modèle montrant l'influence de l'obstacle basal sur la propagation des chevauchements. Noter la géométrie des accidents qui s'apparentent à des bandes de cisaillement.



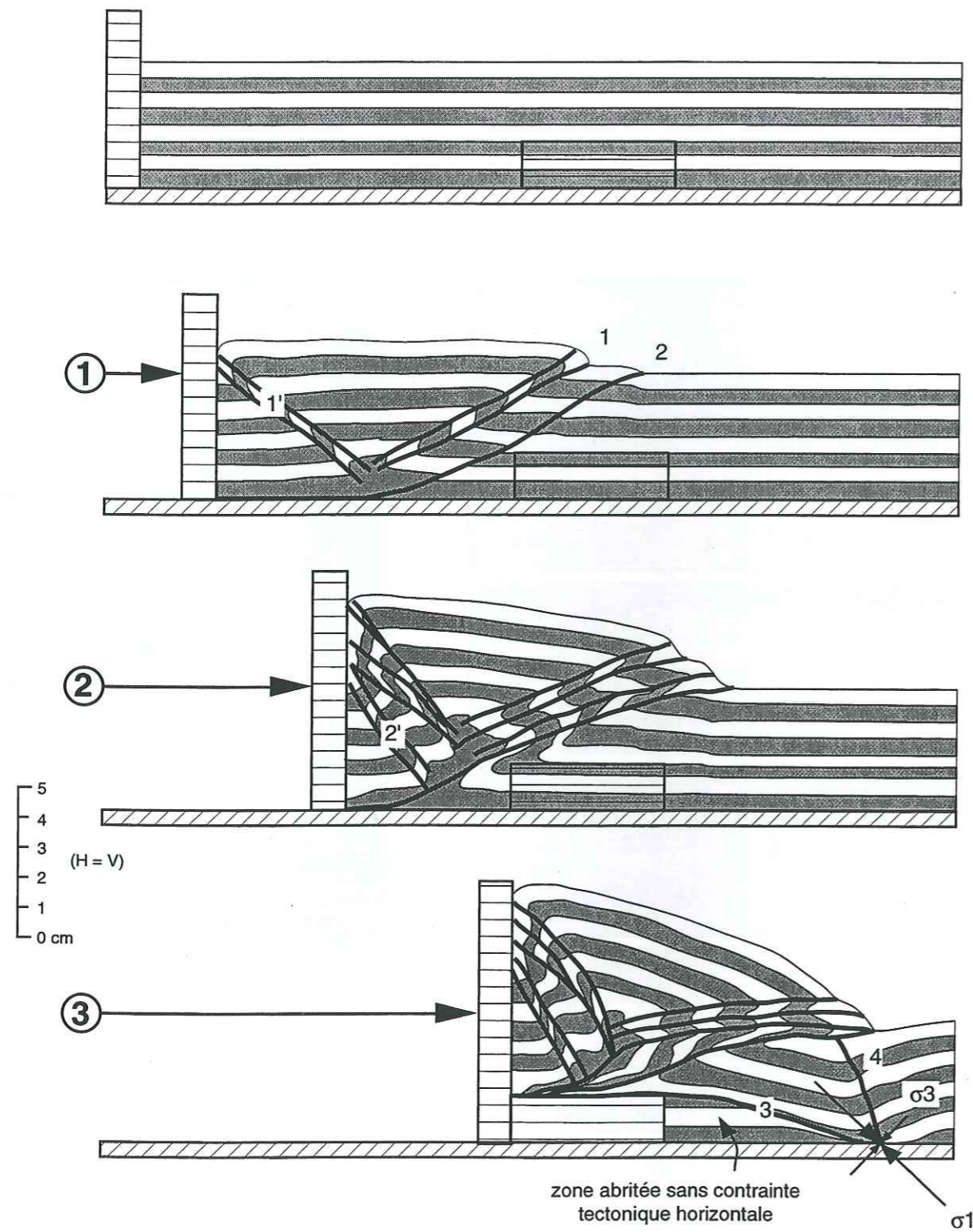


Fig.III-20: Coupes évolutives interprétées montrant l'évolution de la déformation à l'échelle du modèle.

Le basculement des axes des contraintes en avant de l'obstacle provoque le développement d'une rampe négative (n°3) à laquelle est associé un rétrochevauchement très penté (n°4).

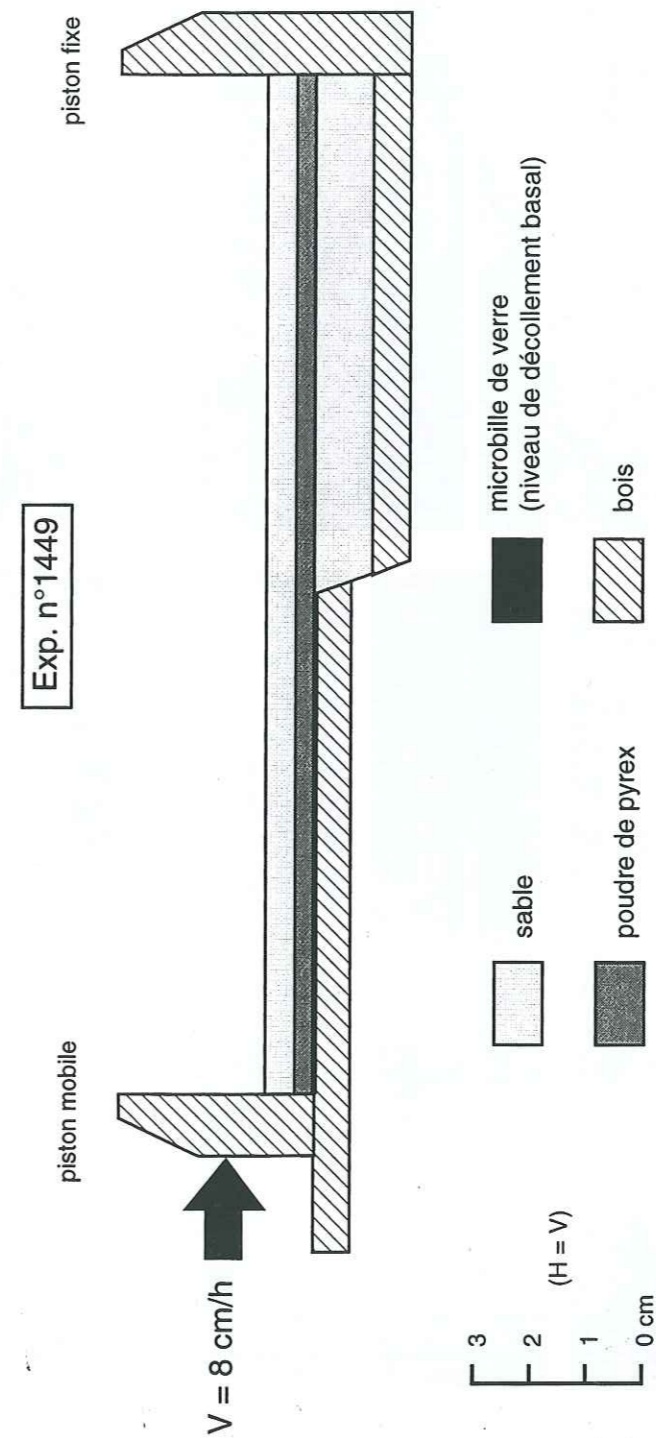
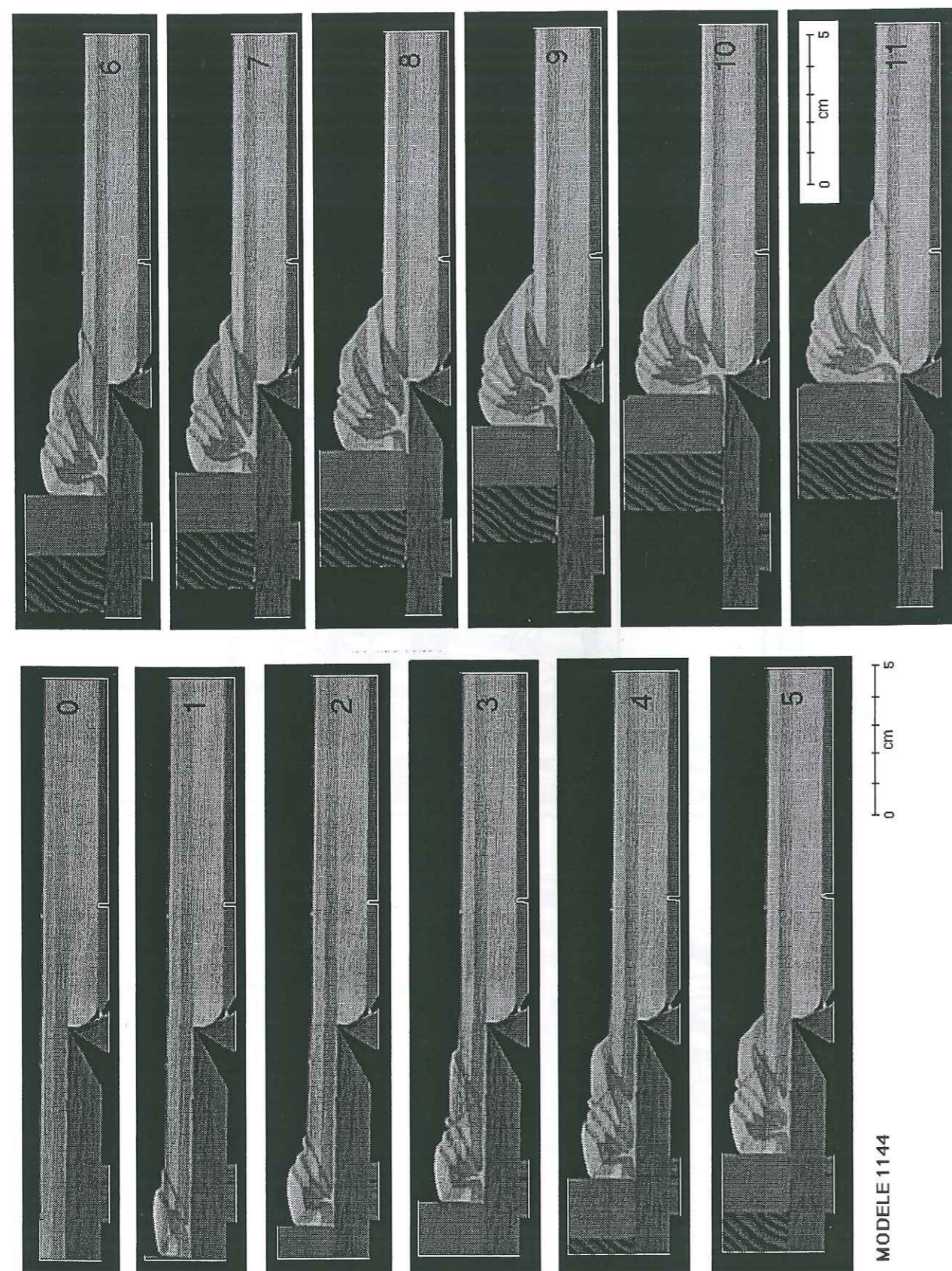


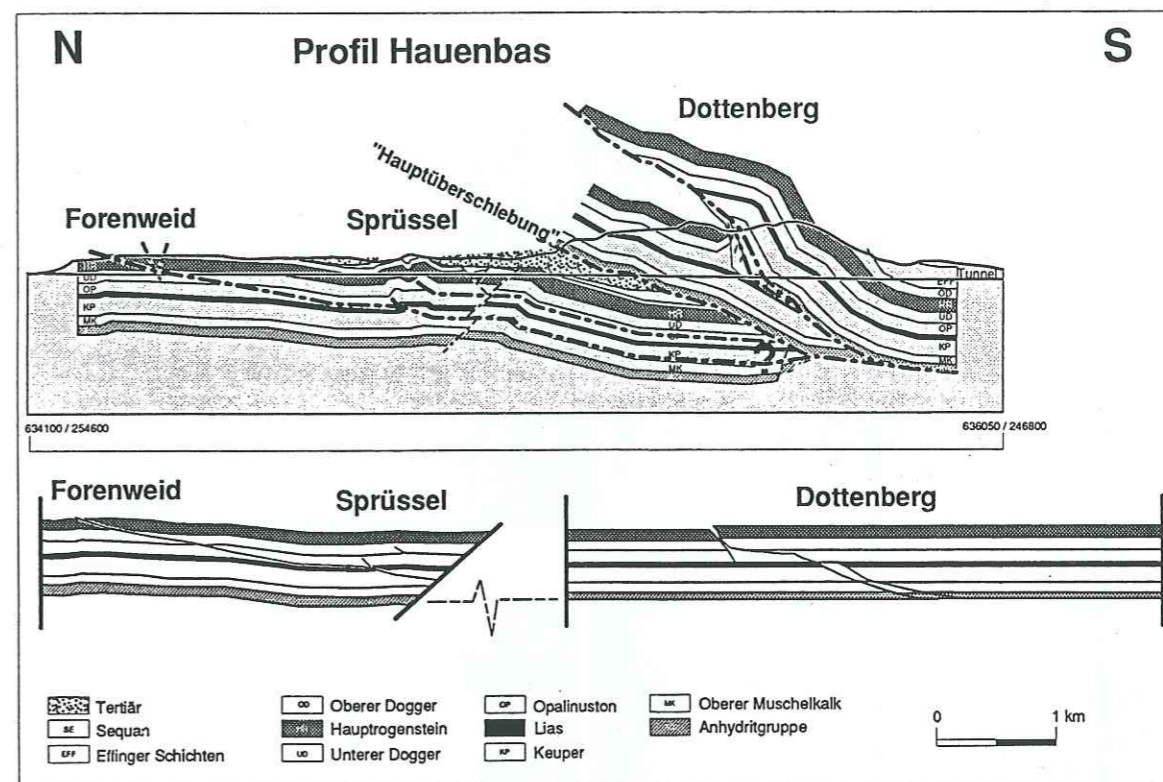
Fig.III-21: Dispositif expérimental du modèle n°1449.





**Fig.III-22:** Coupes évolutives transversales montrant l'influence de la marche d'escalier sur la propagation des chevauchements dans le domaine interne.

Noter le blocage complet de la déformation à partir du stade n°6, la réactivation des accidents internes et l'augmentation du pendage de la surface topographique du prisme. Au stade n°11, on remarque l'apparition d'un chevauchement frontal qui se branche sur un palier de décollement situé à l'interface sable/poudre de pyrex.



**Fig.III-23:** Coupe équilibrée du Jura septentrional à l'est de Bâle (Noack, 1989).

On remarque un certain nombre d'analogies avec les résultats de la modélisation: (1) blocage de la déformation à l'aplomb de la faille normale en profondeur, (2) flèche des chevauchements importante, (3) ouverture du prisme très élevée et (4) utilisation d'un niveau de décollement intermédiaire provoquant la formation de l'anticlinal de Sprüssel dans l'avant-pays.



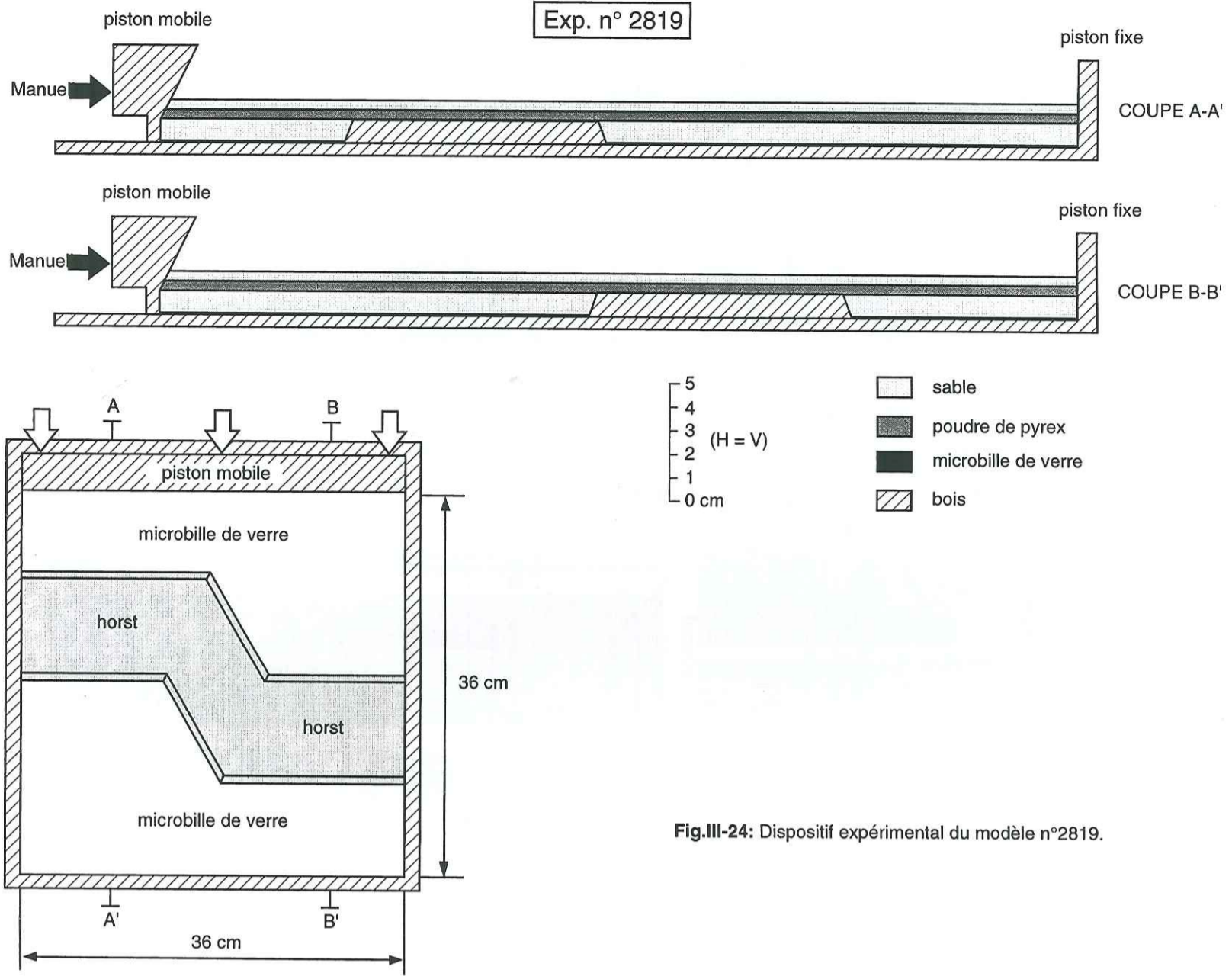


Fig.III-24: Dispositif expérimental du modèle n°2819.

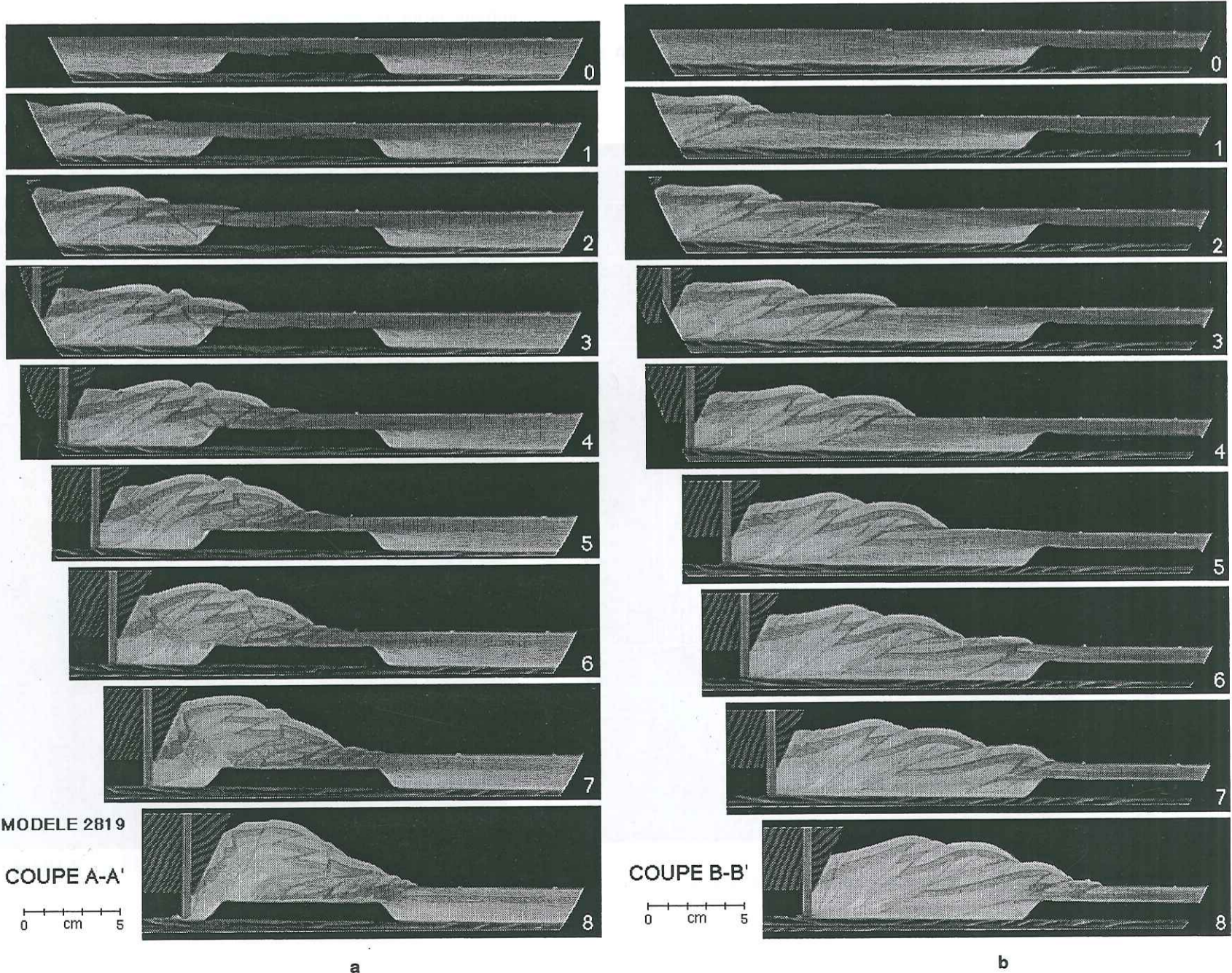


Fig.III-25: Coupes évolutives transversales (à 2 endroits différents) montrant l'influence du horst profond sur la propagation des chevauchements dans le domaine interne.



MODELE 2819

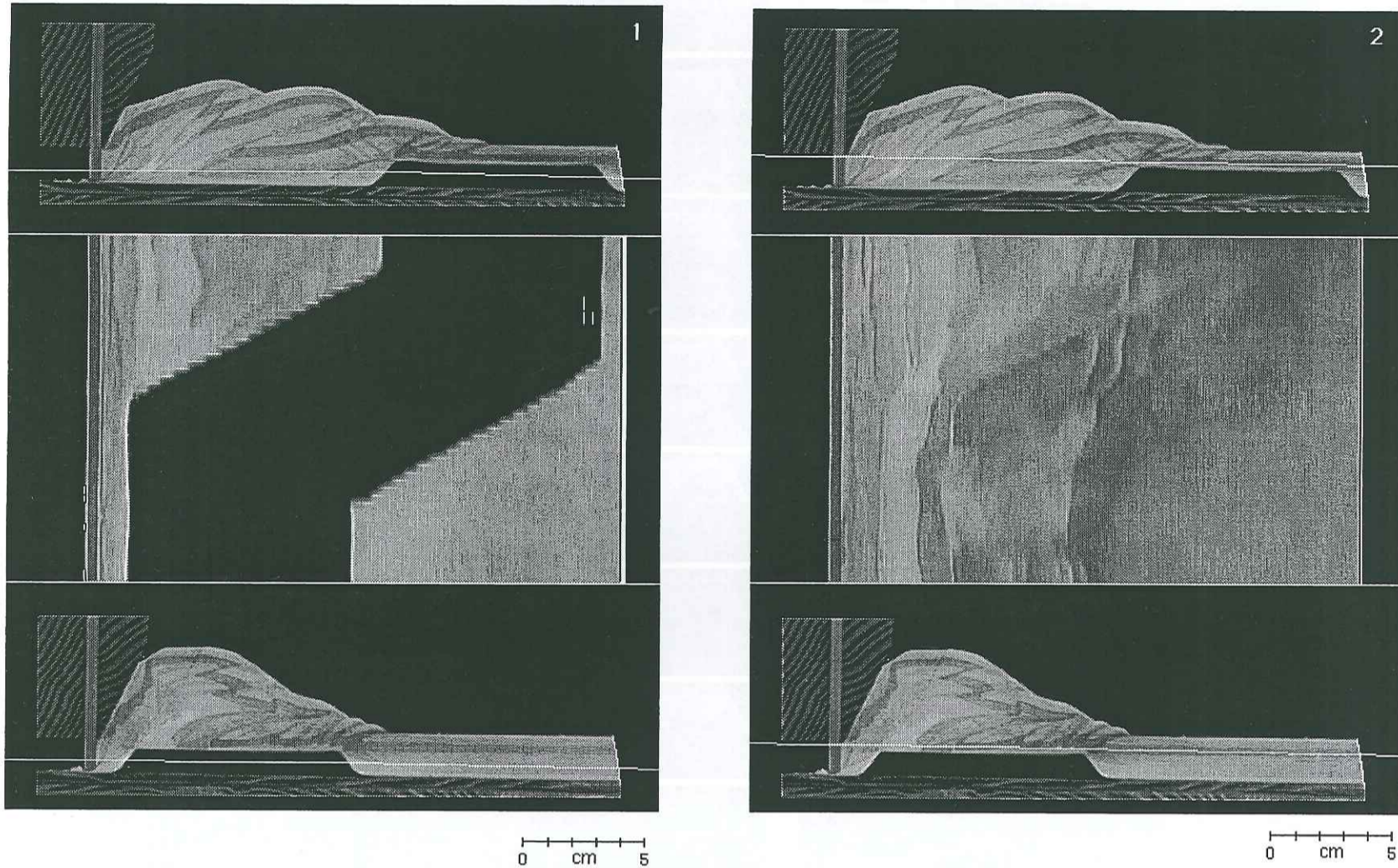


Fig.III-26: Coupes horizontales sériées du modèle à l'état final.  
26a: coupes scanner vierges

MODELE 2819

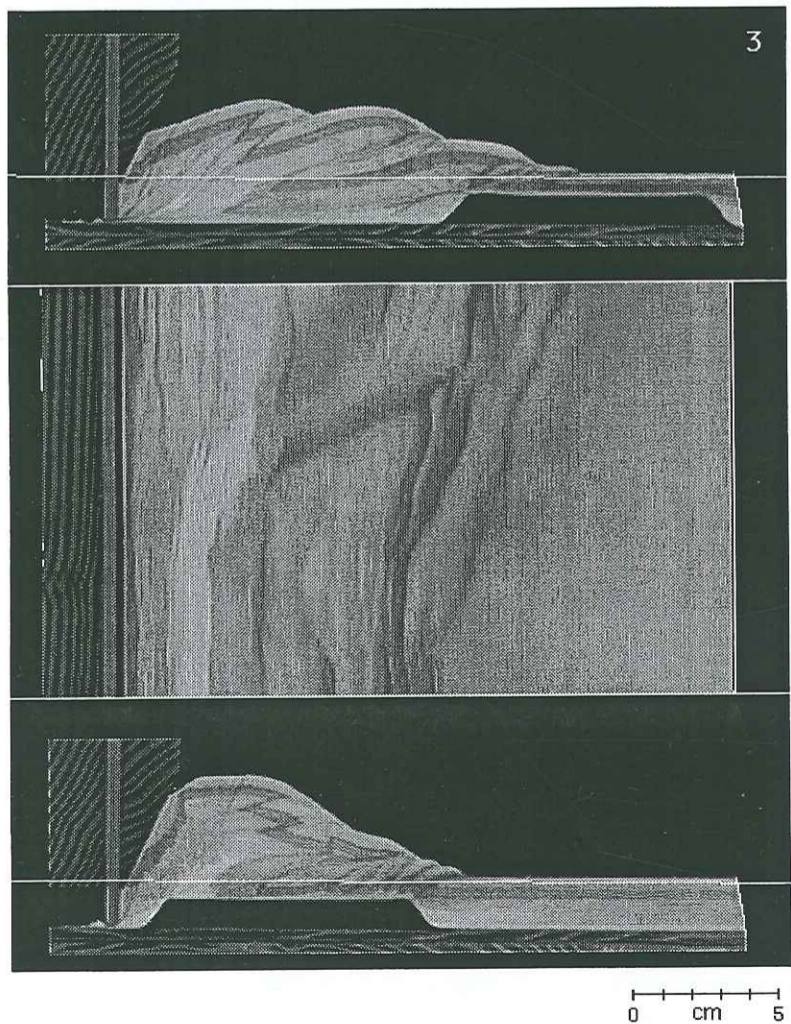


Fig.III-26a (suite)

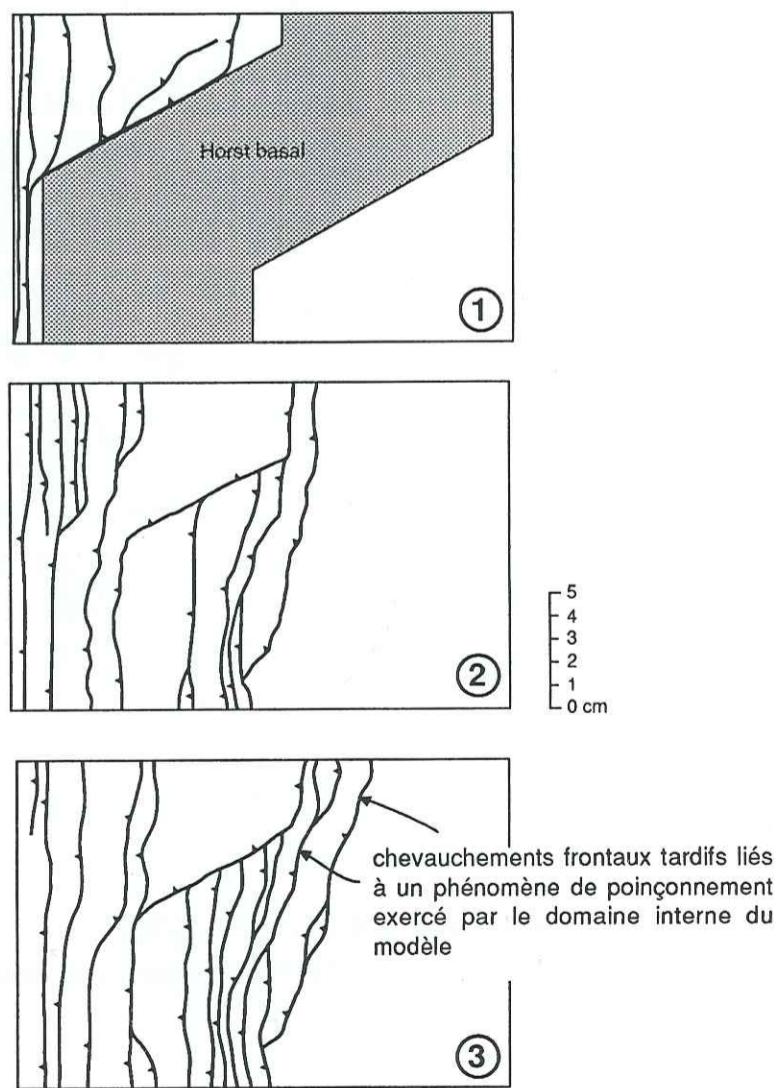


Fig.III-26b: Coupes horizontales interprétées.



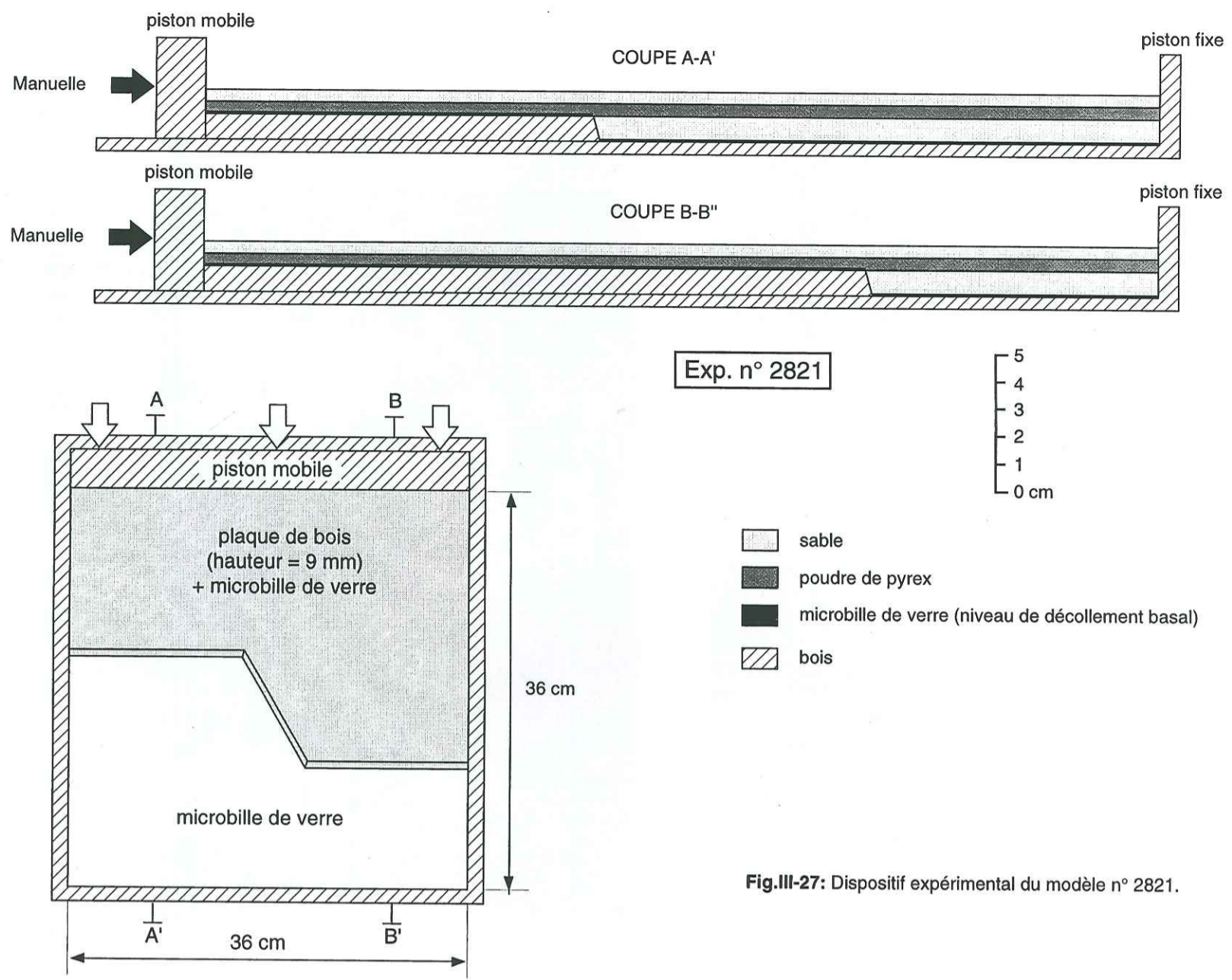


Fig.III-27: Dispositif expérimental du modèle n° 2821.

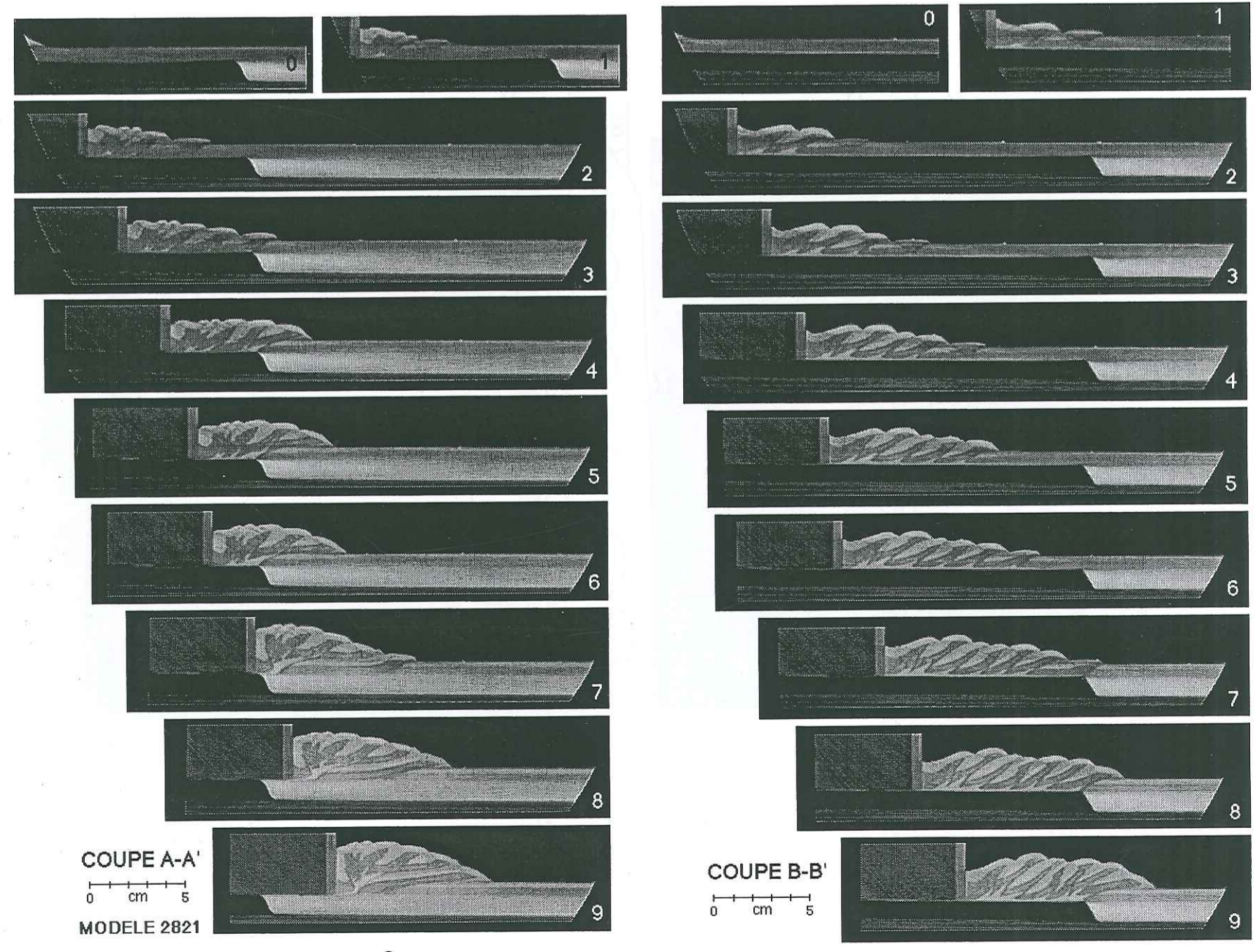
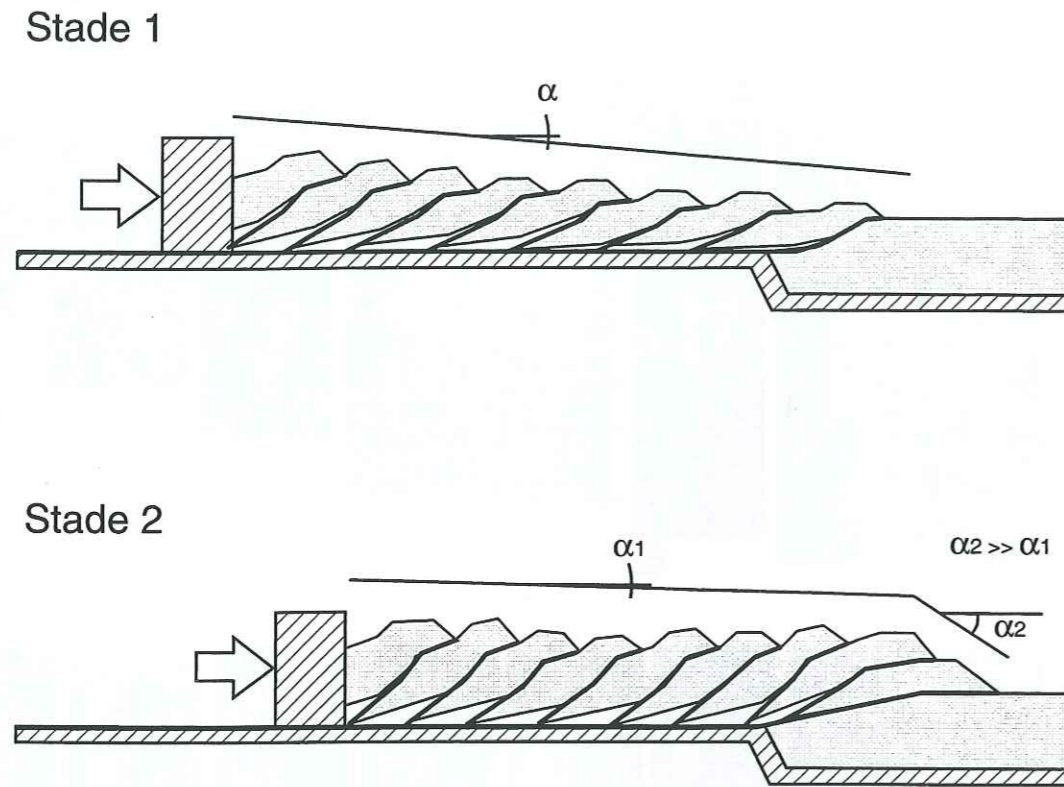


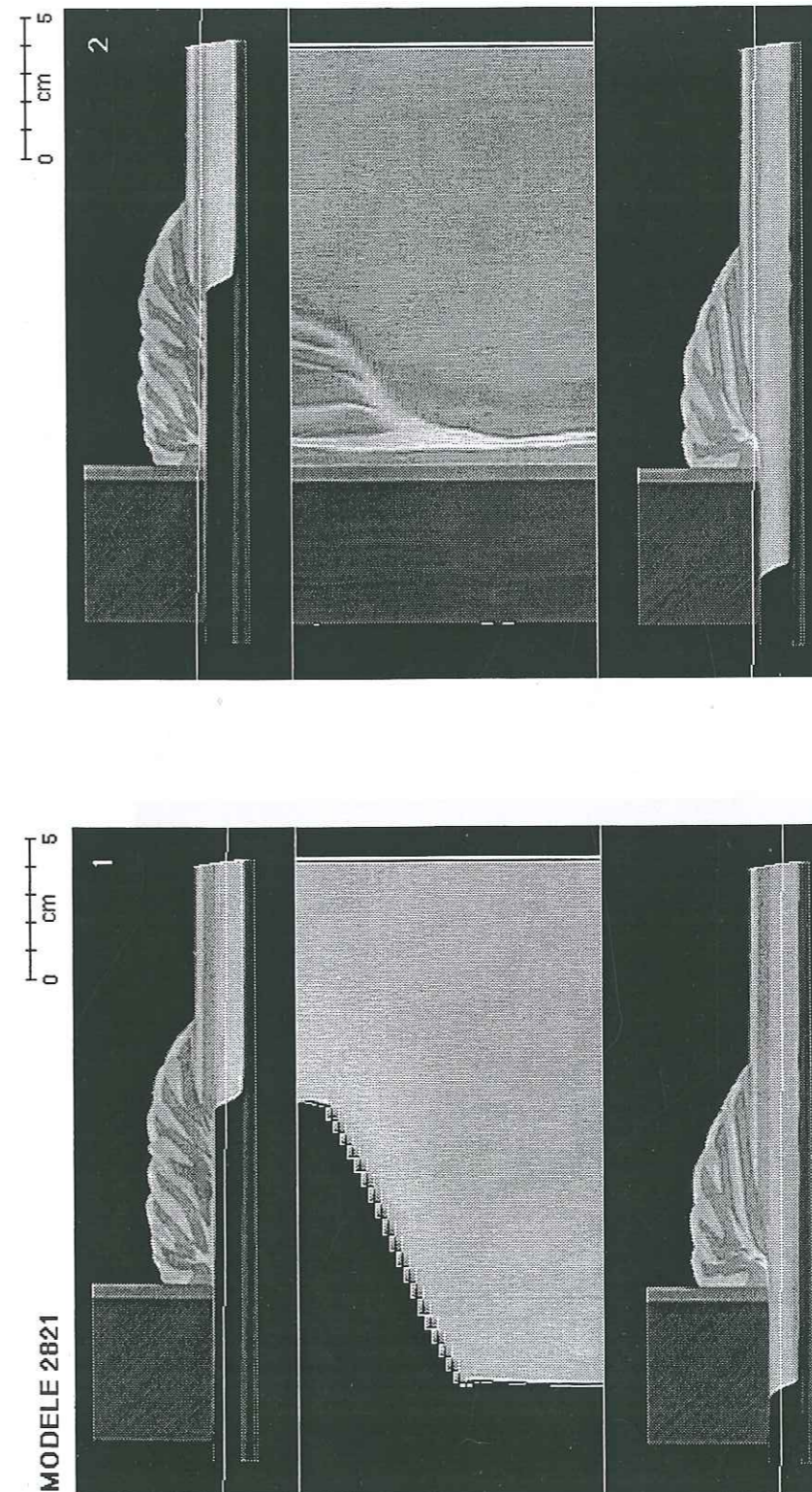
Fig.III-28: Coupes évolutives transversales montrant l'influence de la marche d'escalier sur la propagation des chevauchements dans le domaine interne.





**Fig.III-29:** Schéma montrant le comportement du prisme tectonique lorsque son front de chevauchement atteint la limite du compartiment interne.

Il se produit un tassement des écaïlles préexistantes qui se redressent progressivement au fur et à mesure de l'avancée du piston mobile. La brusque augmentation de la friction basale au niveau de la marche d'escalier provoque une rupture de pente de la topographie du prisme dans sa partie externe, lié au déplacement important sur le chevauchement frontal.



**Fig.III-30:** Coupes horizontales sériées du modèle à l'état final.  
30a: coupes scanner vierges



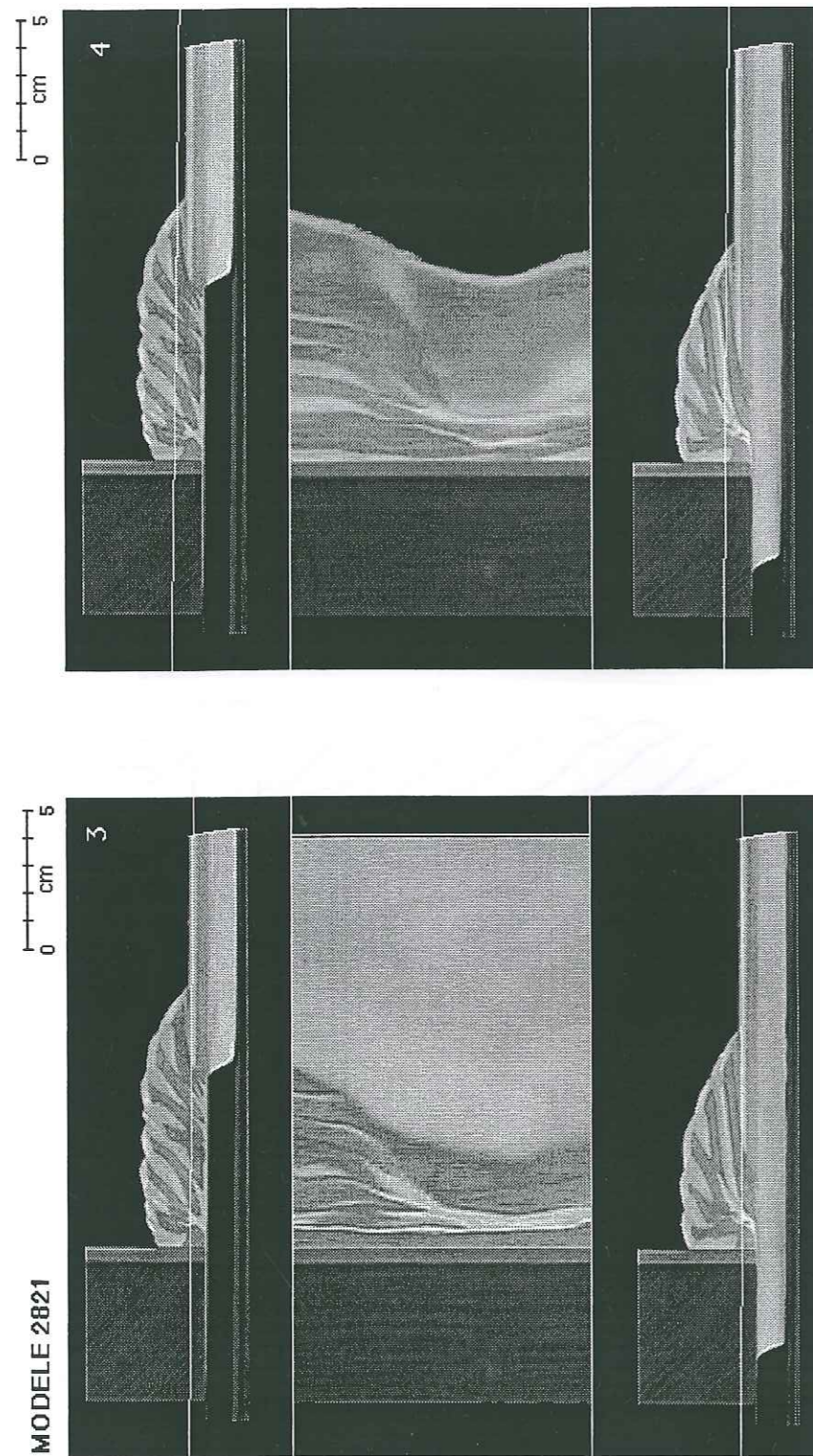


Fig.III-30a (suite)

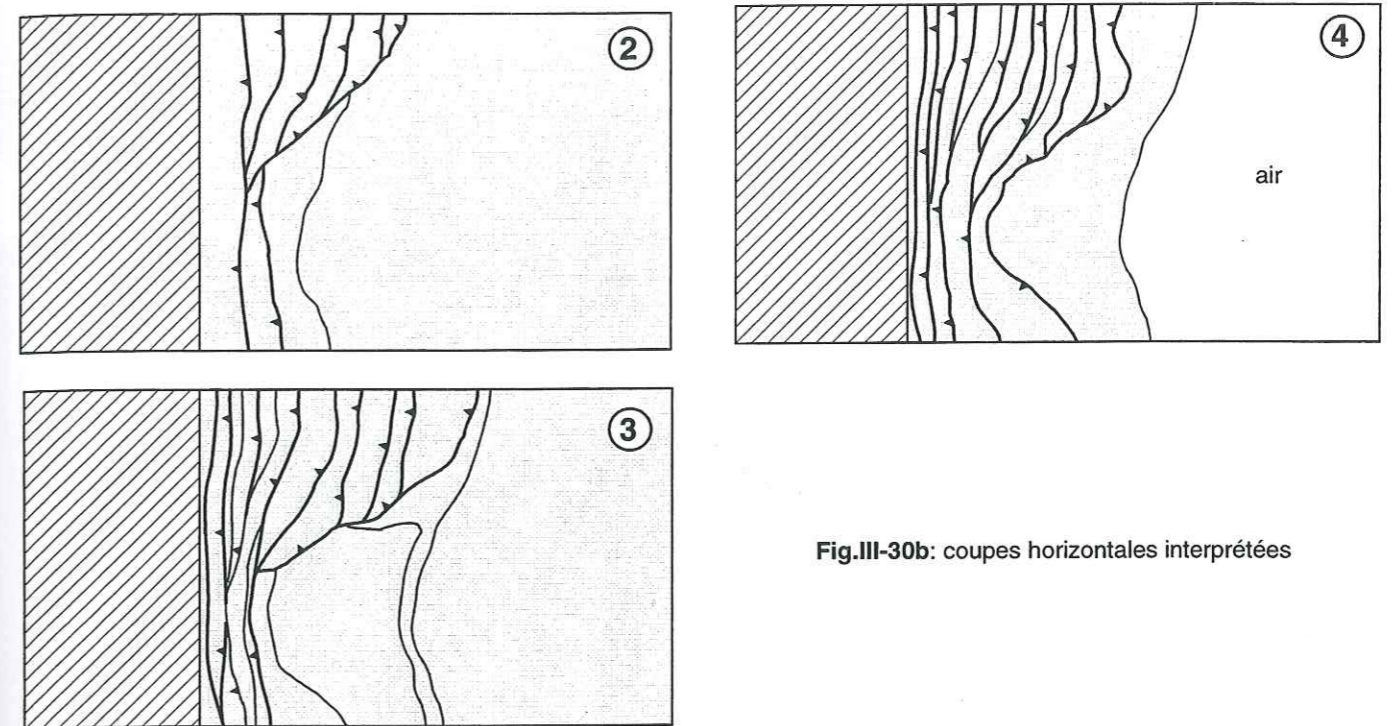


Fig.III-30b: coupes horizontales interprétées

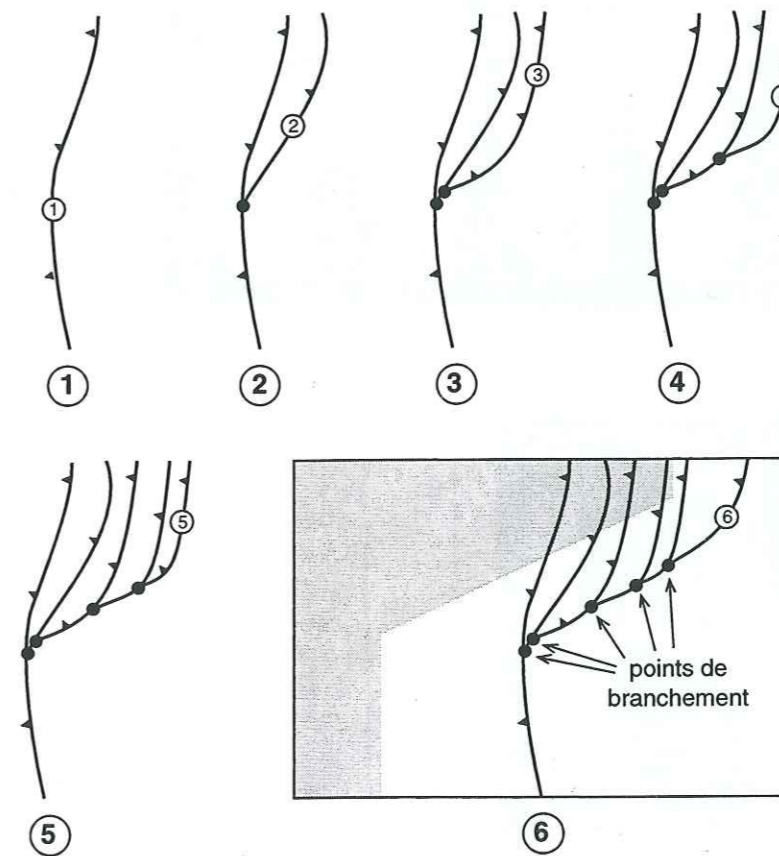


Fig.III-31: Schéma de l'évolution cinématique des rampes frontales développées sur le promontoire.

Noter le raccord successifs de chacune des rampes frontales sur la rampe arrière en un point de branchement. L'alignement de ces points de branchement constitue la zone de transfert oblique.



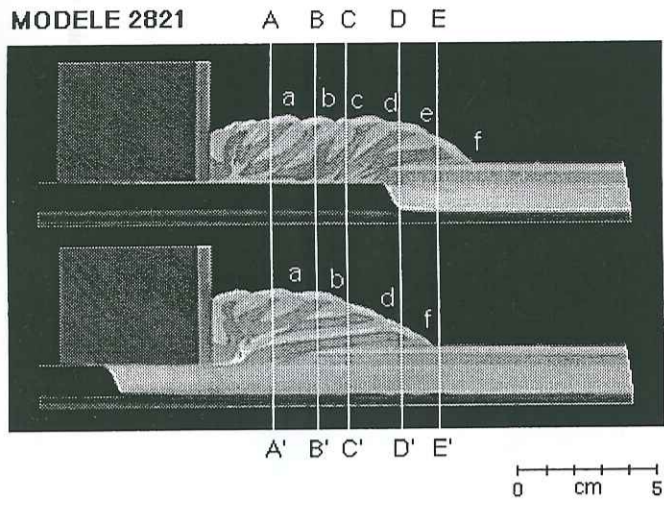


Fig.III-32: Coupes longitudinales du modèle à la fin de la déformation.  
32a: coupes scanner vierges et localisation des coupes longitudinales

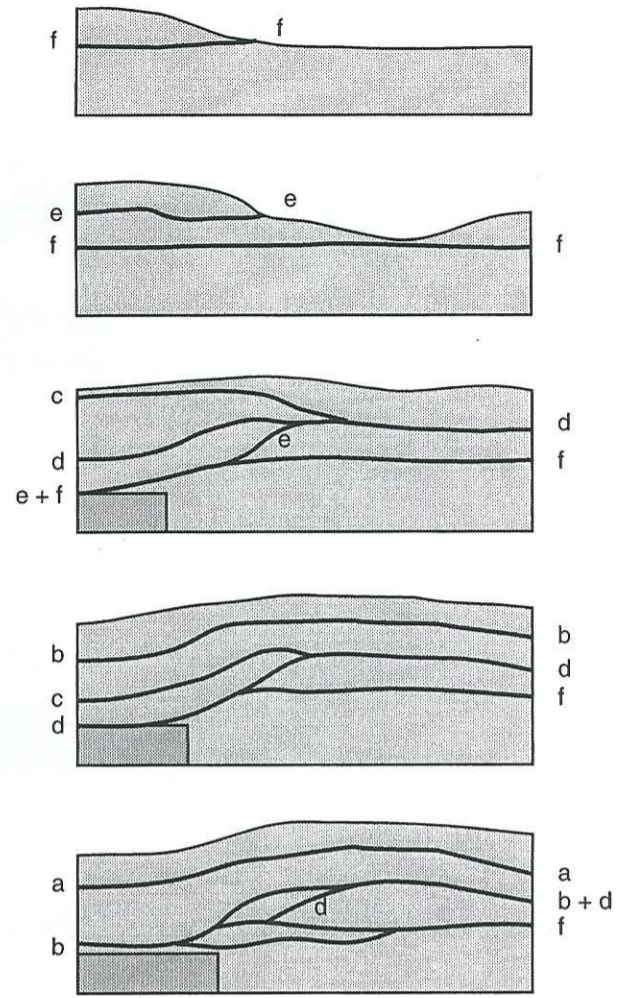
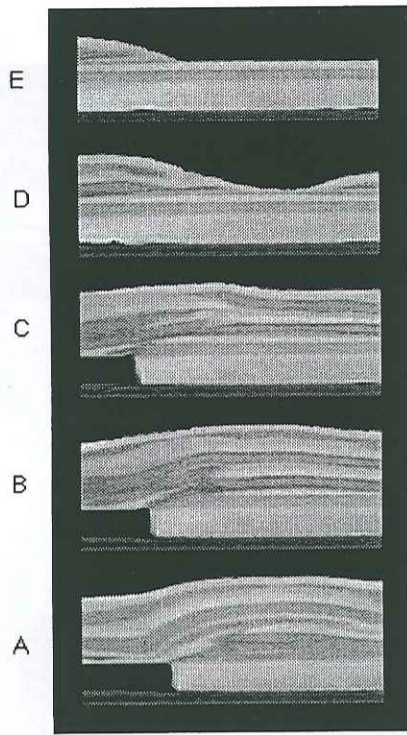


Fig.III-32b: interprétation des surfaces de chevauchements  
L'ordre alphabétique correspond à la chronologie d'apparition des écailles (cf. fig.III-32a).

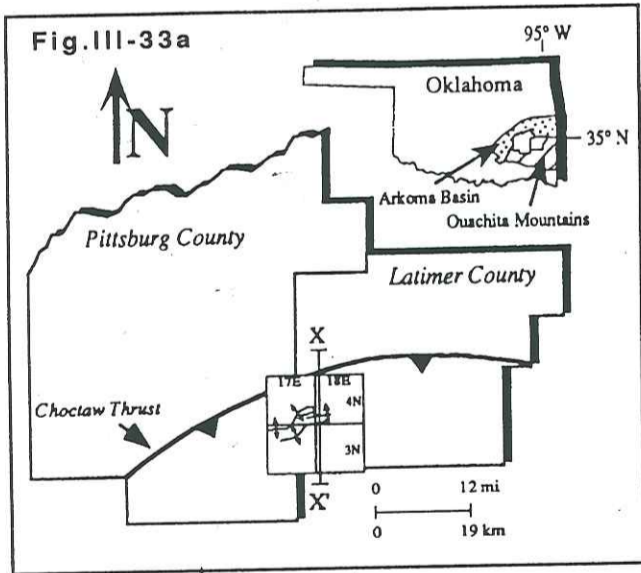


Fig.III-33b

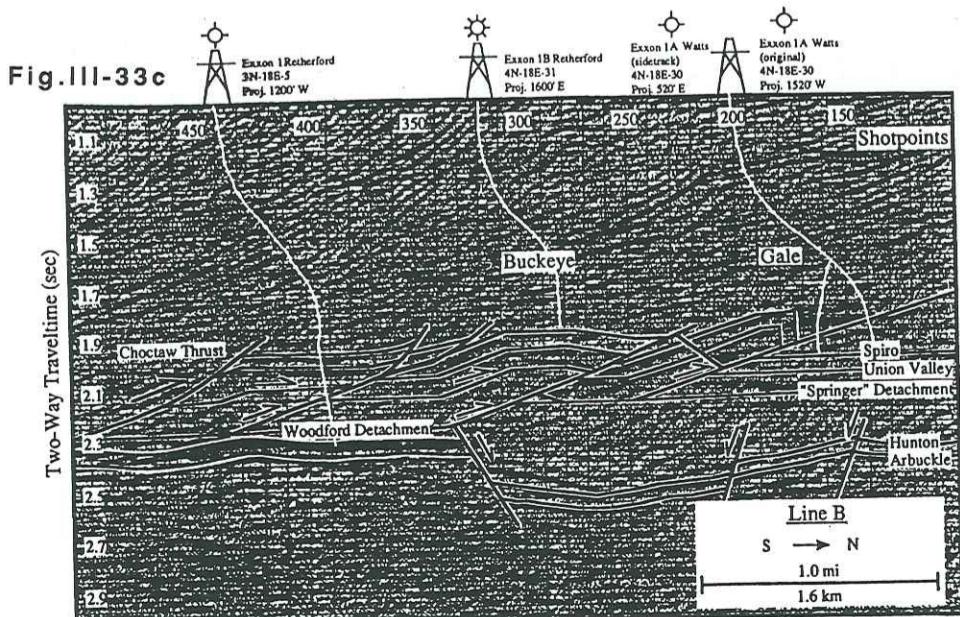
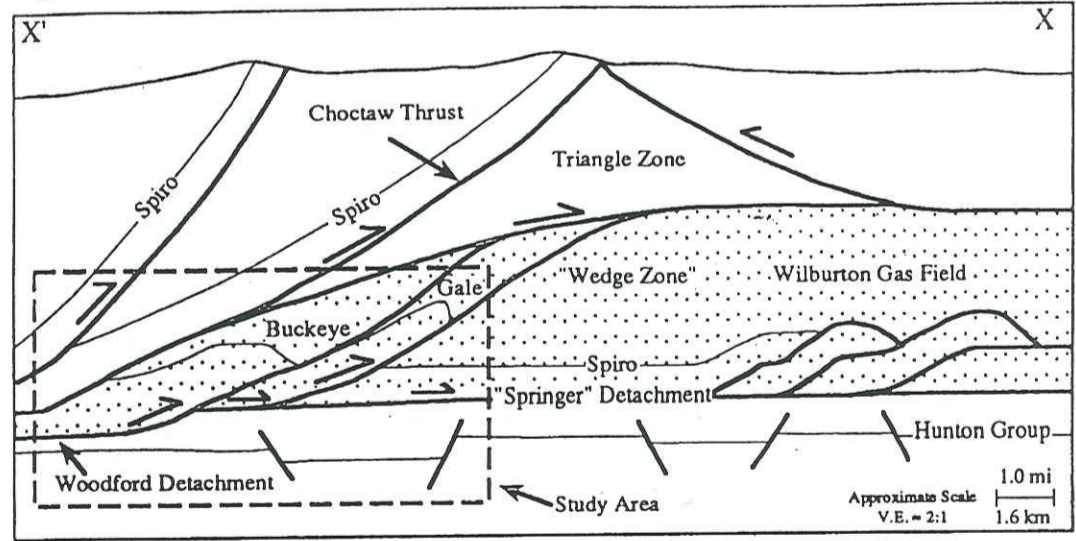


Fig.III-33: Le système de Gale-Buckeye en Oklahoma (Wilkerson et Wellman, 1993)

33a: carte de localisation de la zone d'étude

33b: coupe schématique régionale. La zone encadrée délimite les 2 chevauchements étudiés en détail.

33c: coupe sismique frontale montrant la présence d'une faille normale en profondeur décalant le niveau de décollement appelé "Woodford detachment", ce qui provoque le développement des chevauchements de Buckeye et Gale.



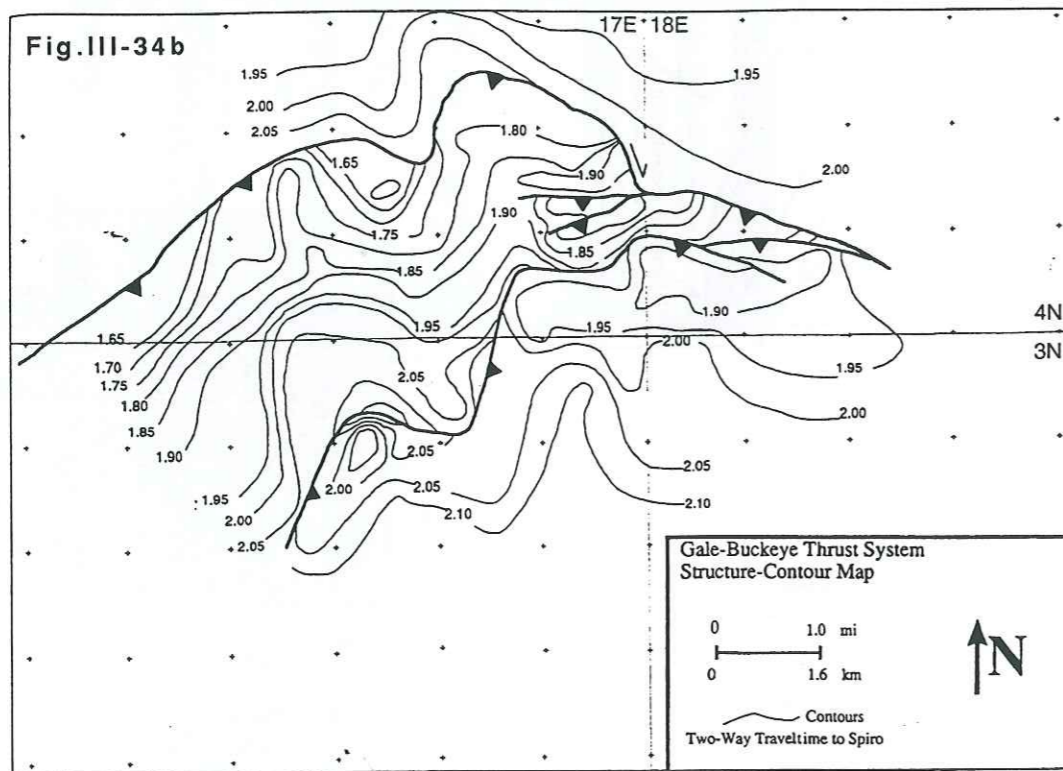
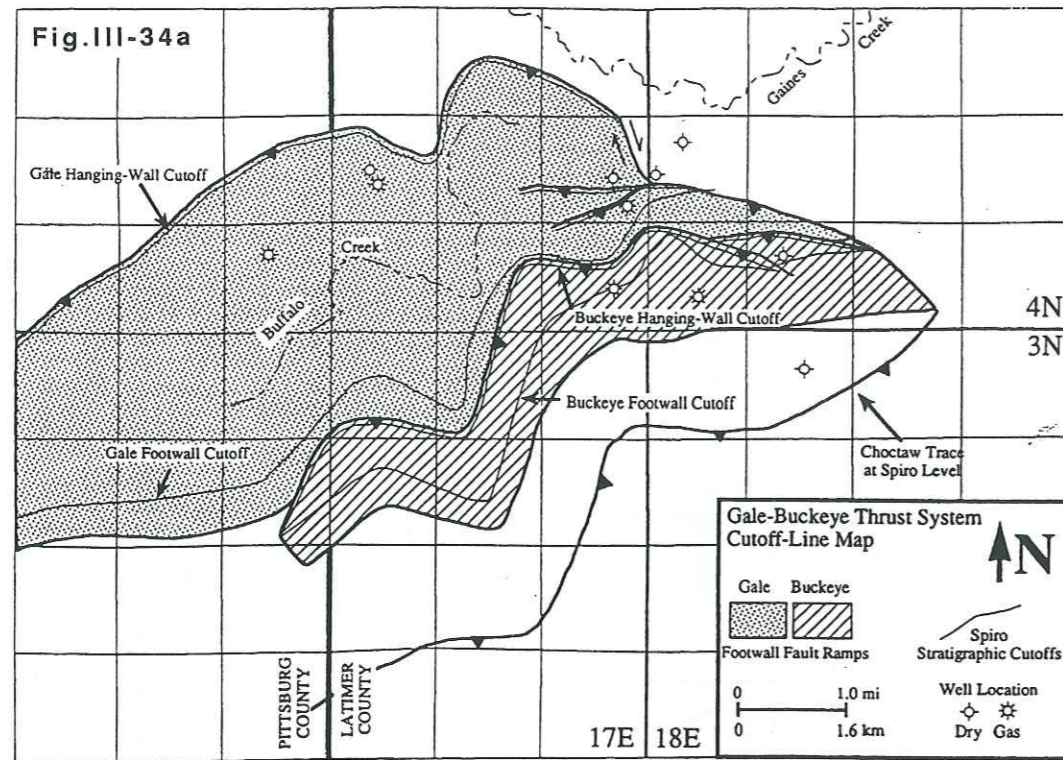


Fig. III-34: cartes structurales des chevauchements de Buckeye et Gale (Wilkerson et Wellman, 1993).

34a: carte des lignes de cut-off

34b: carte des isochrones du toit de la formation de Spiro (cf. coupe sismique III-33c).

Noter le style de la terminaison de chacun des ces chevauchements qui se branchent en arrière sur une rampe frontale préexistante. L'alignement des points de branchements constitue une zone de transfert comparable à celle observée sur le modèle n° 2821.

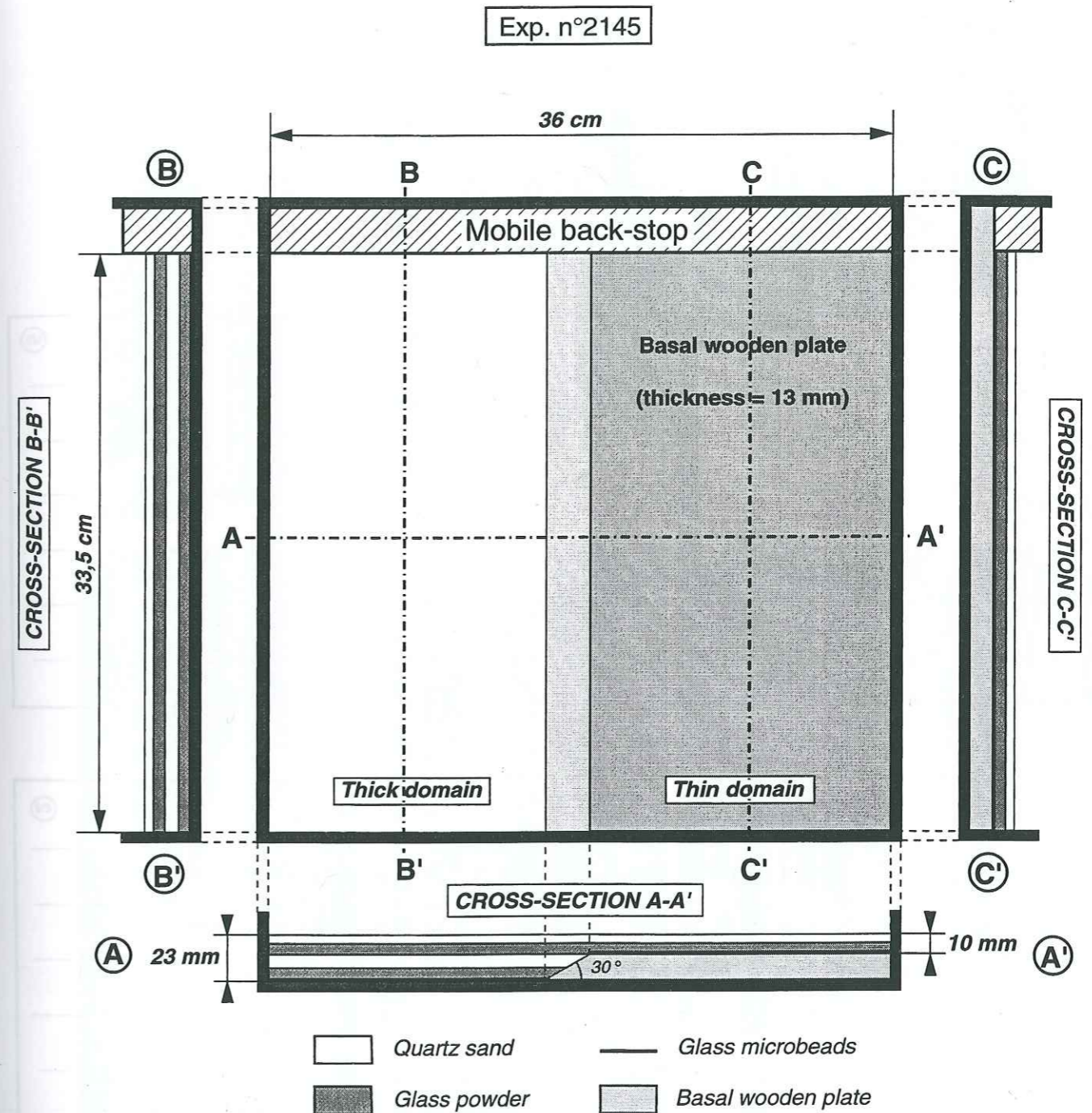


Fig. III-35: Dispositif expérimental du modèle n°2145.



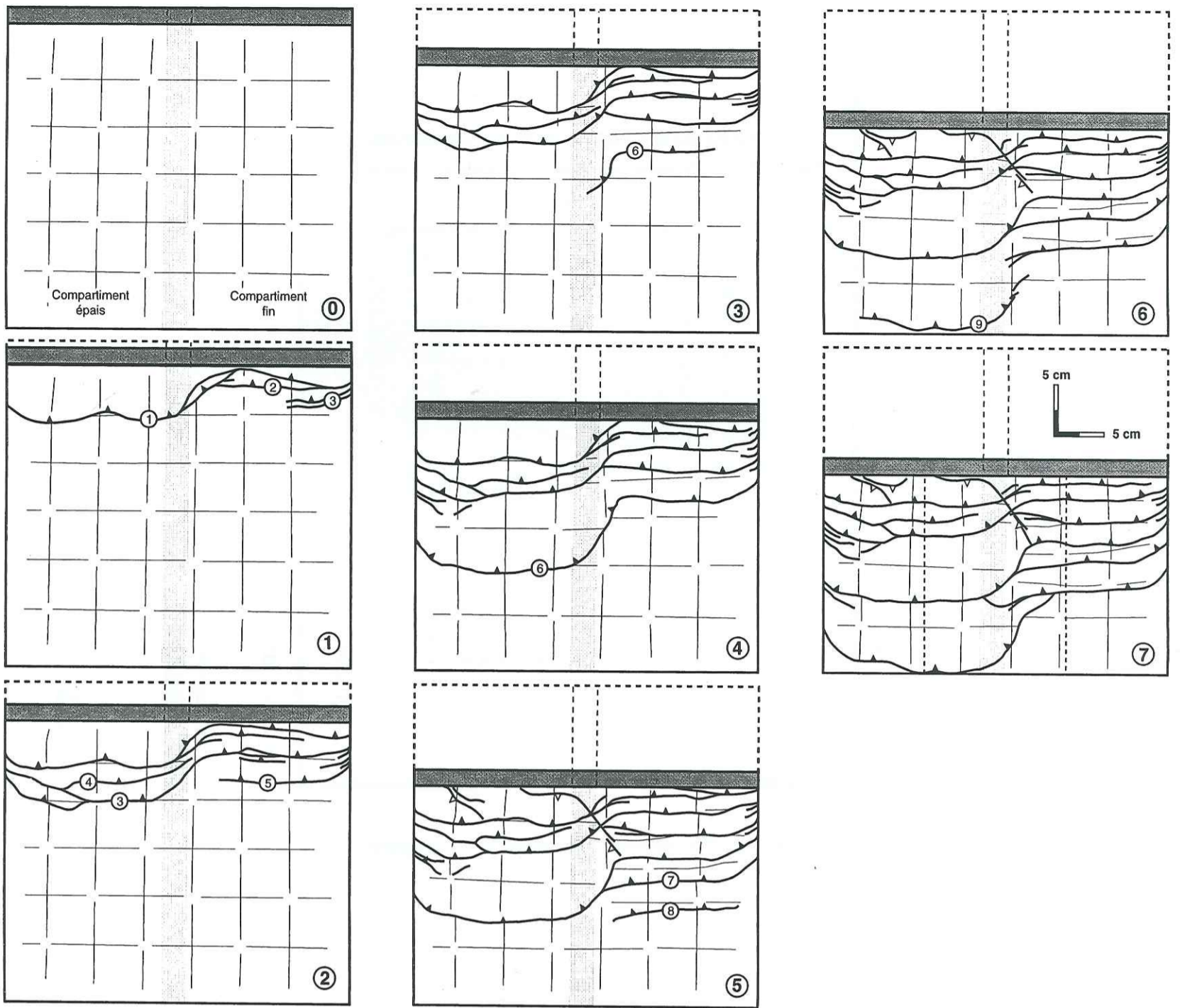


Fig. III-36: Vues de surface du modèle montrant l'évolution de la déformation en fonction du raccourcissement imposé (la numérotation des chevauchements correspond à leur ordre d'apparition).

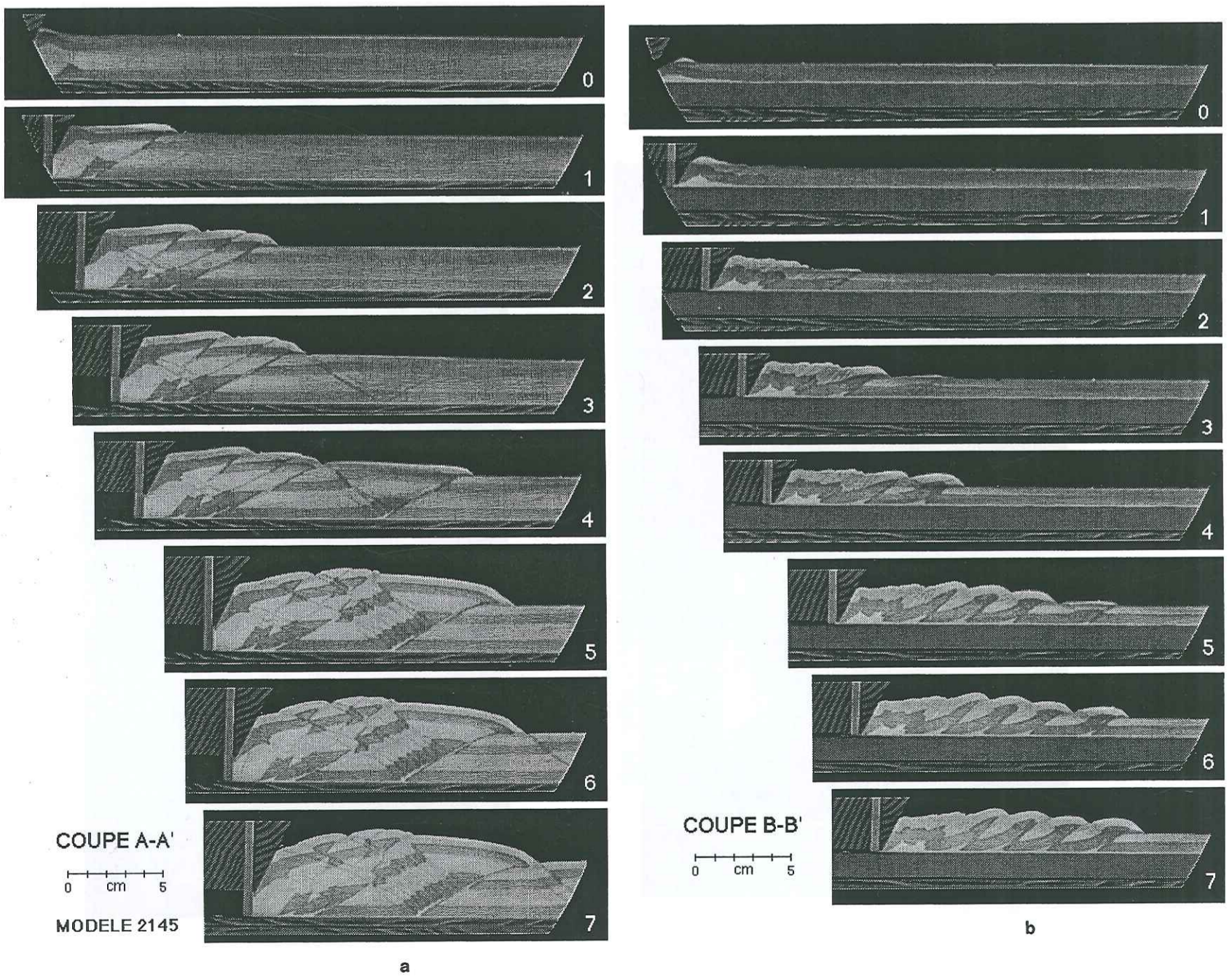
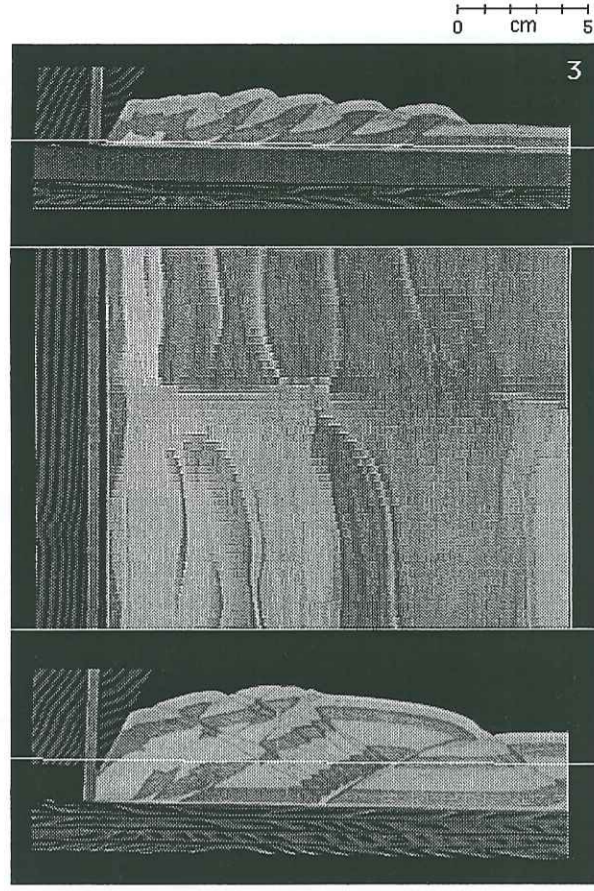
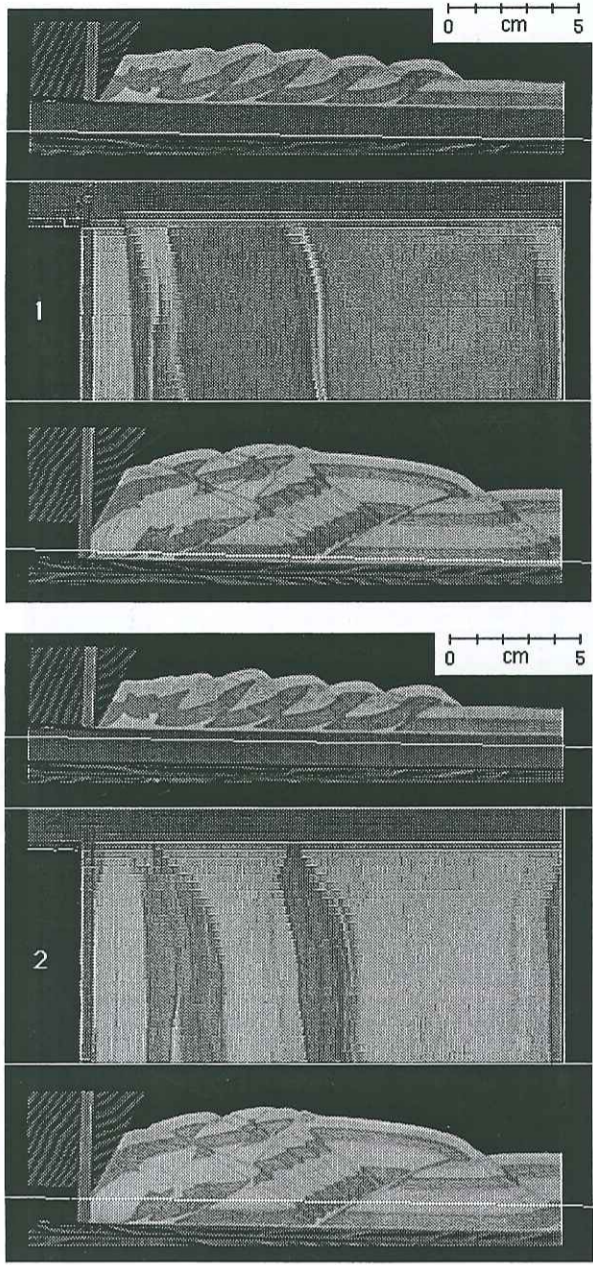


Fig. III-37: Coupes évolutives transversales montrant la séquence de chevauchement dans chacun des compartiments du modèle.





MODELE 2145

Fig.III-38: Coupes horizontales sériées de la partie centrale du modèle à l'état final.  
38a: coupes scanner vierges.

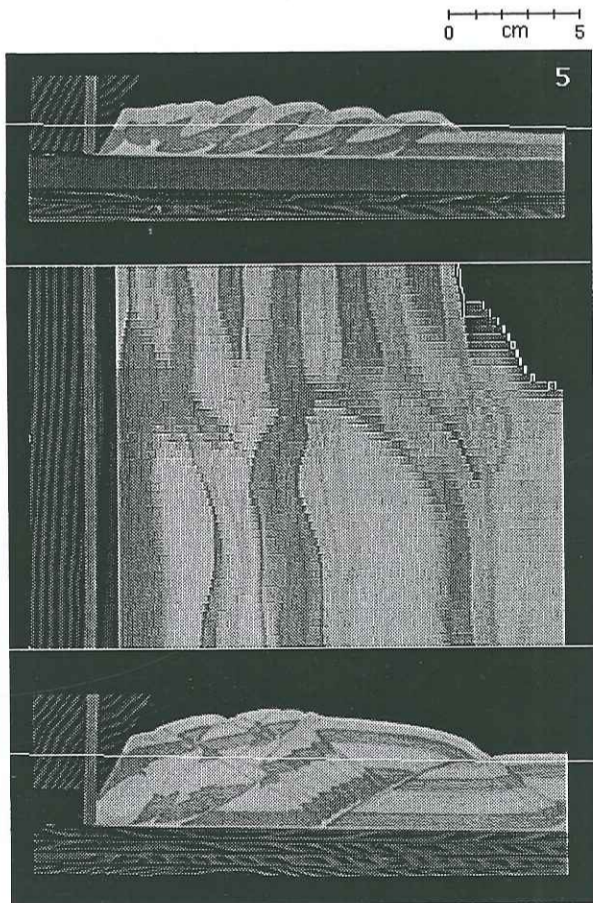
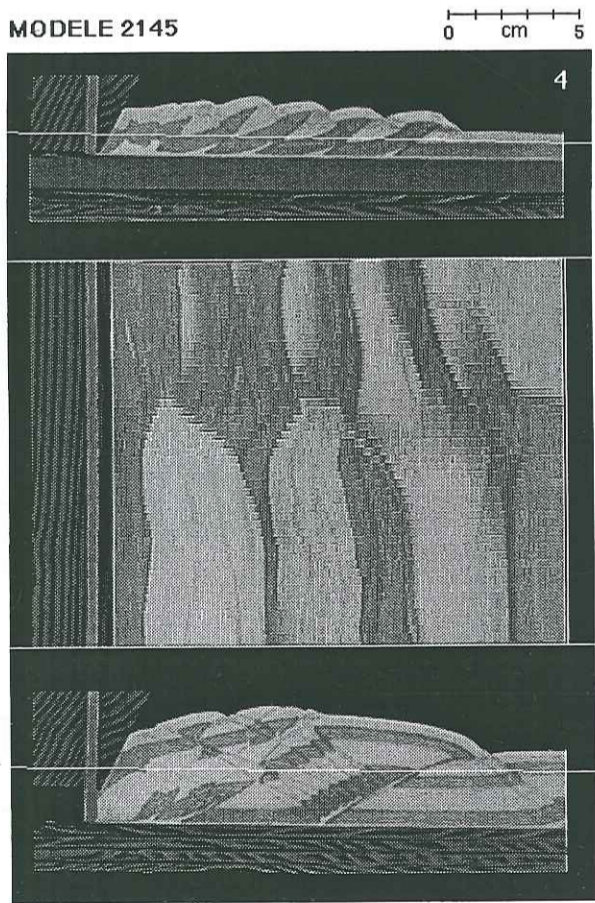


Fig.III-38a (suite)



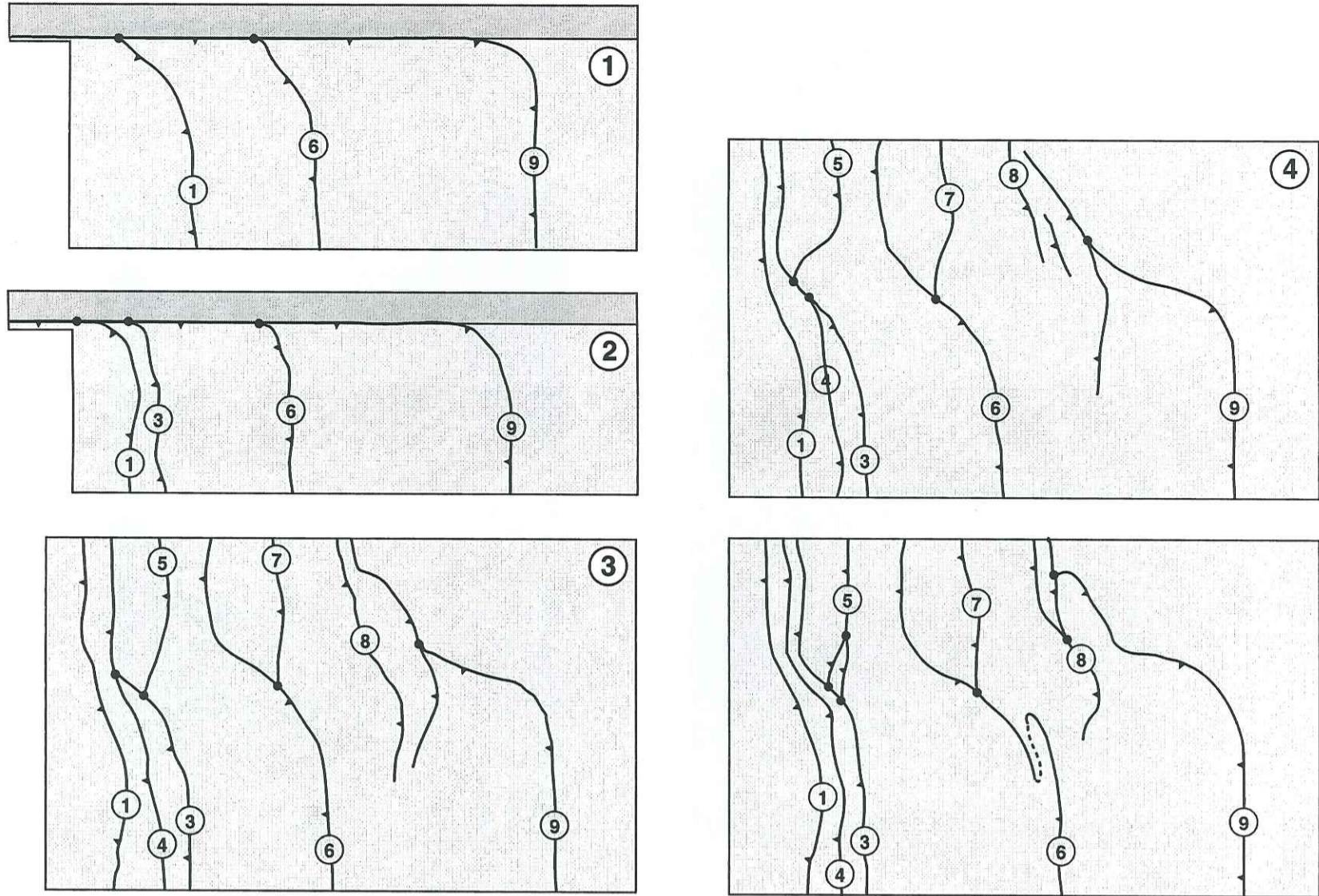


Fig.III-38b: Coupes horizontales interprétées (la numérotation des accidents est la même que celle des vues du surfaces).

MODELE 2145

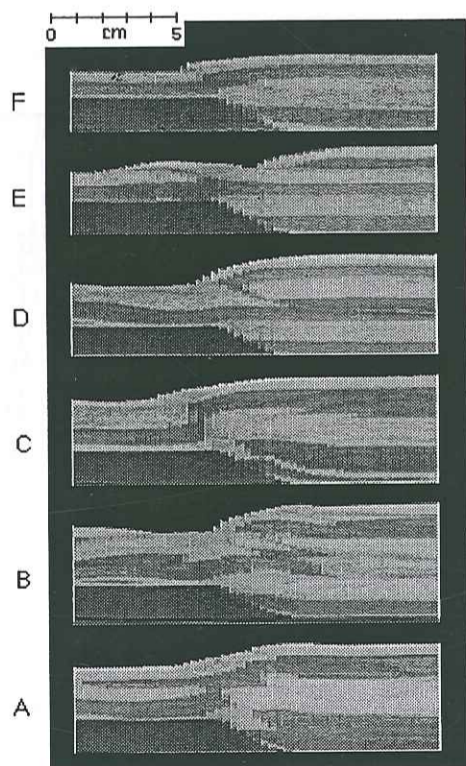
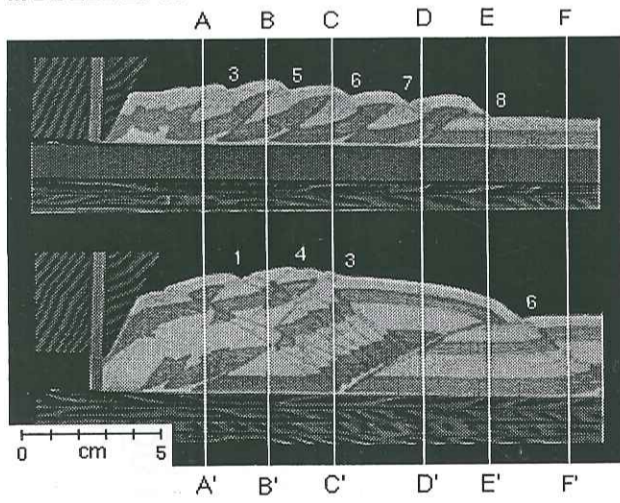


Fig.III-39: Coupes longitudinales sériees de la zone de transfert à l'état final.

39a: coupes scanner vierges et localisation sur les coupes transversales

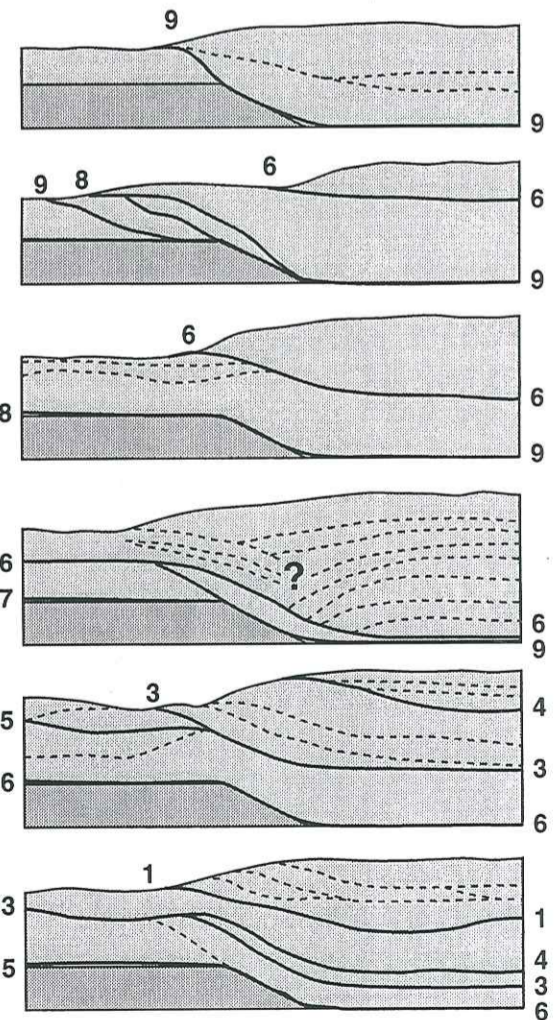


Fig.III-39b: coupes interprétées.

Les numéros des chevauchements sont les mêmes que pour les vues de surface et les coupes horizontales. Les rétrochevauchements sont indiqués en pointillé.



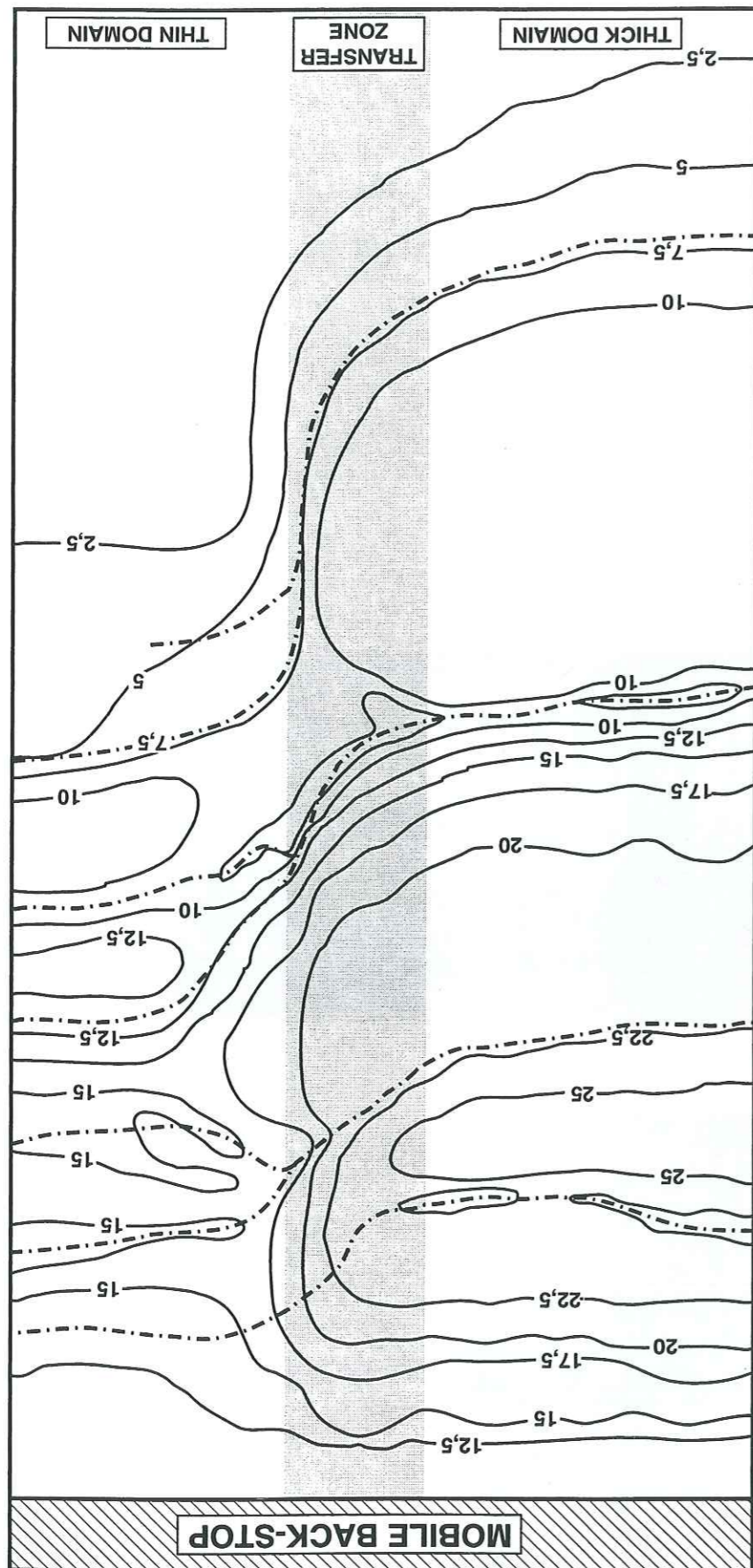


Fig.III-40: Carte topographique de la surface du modèle n°2145 dans la partie centrale (zone de transfert).

Les isovaleurs sont en millimètres et correspondent à l'élévation de la surface du modèle par rapport à l'état initial.

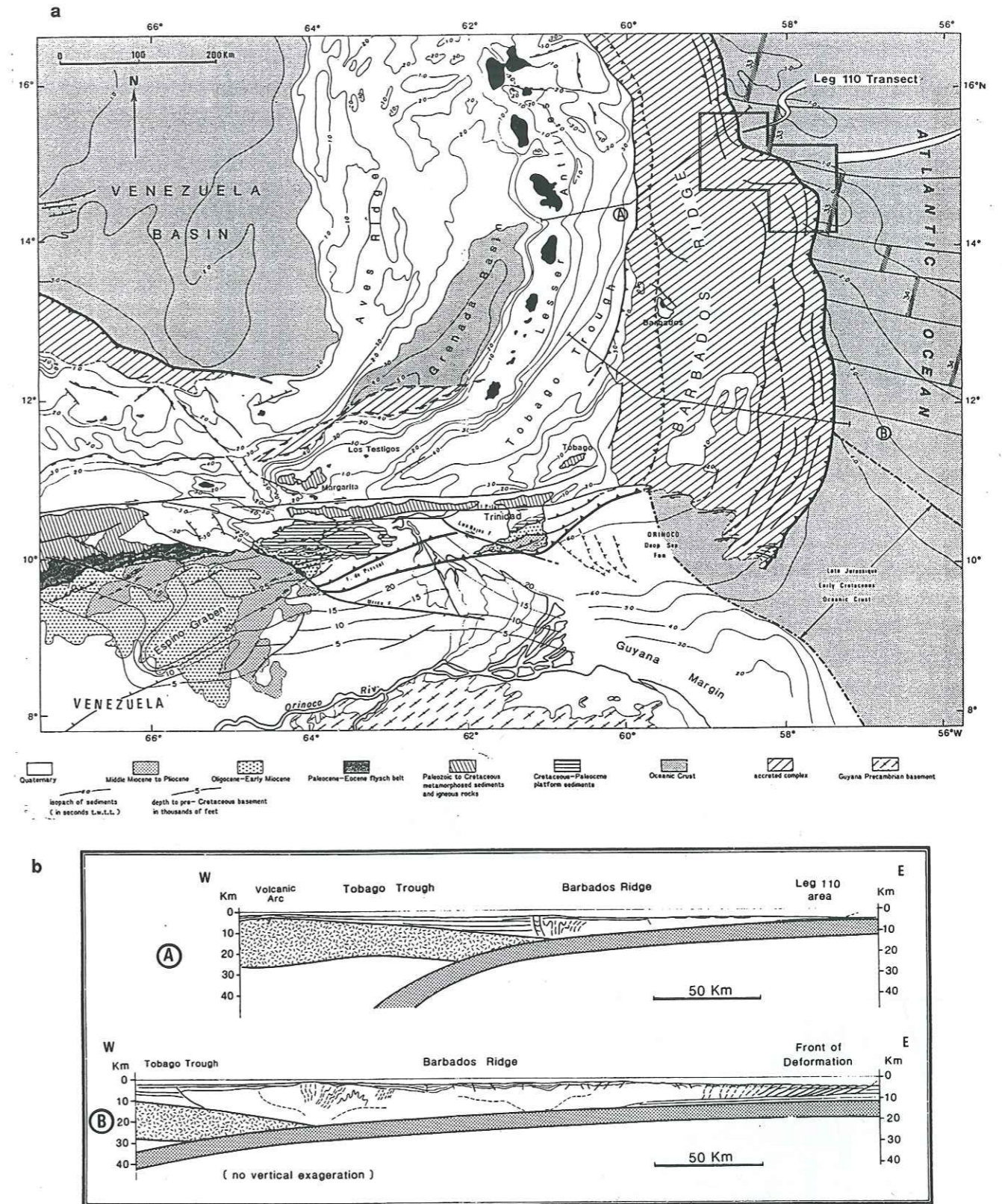


Fig.III-41: Cadre géodynamique du prisme de la Barbade (Moore, Mascle *et al.*, 1990 )

41a: carte structurale schématique du prisme de la Barbade. La zone transverse de Tiburon située au centre du prisme est encadrée.

41b: coupes profondeurs de l'arc des Petites Antilles (échelle verticale = échelle horizontale).



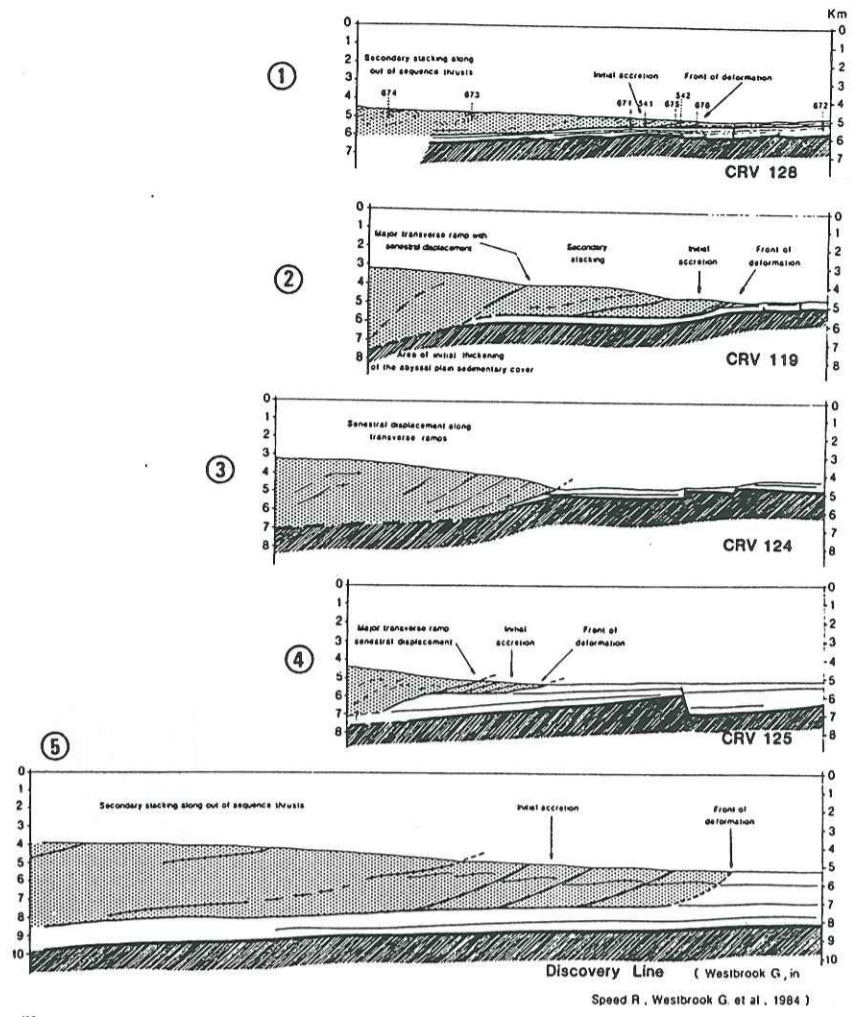
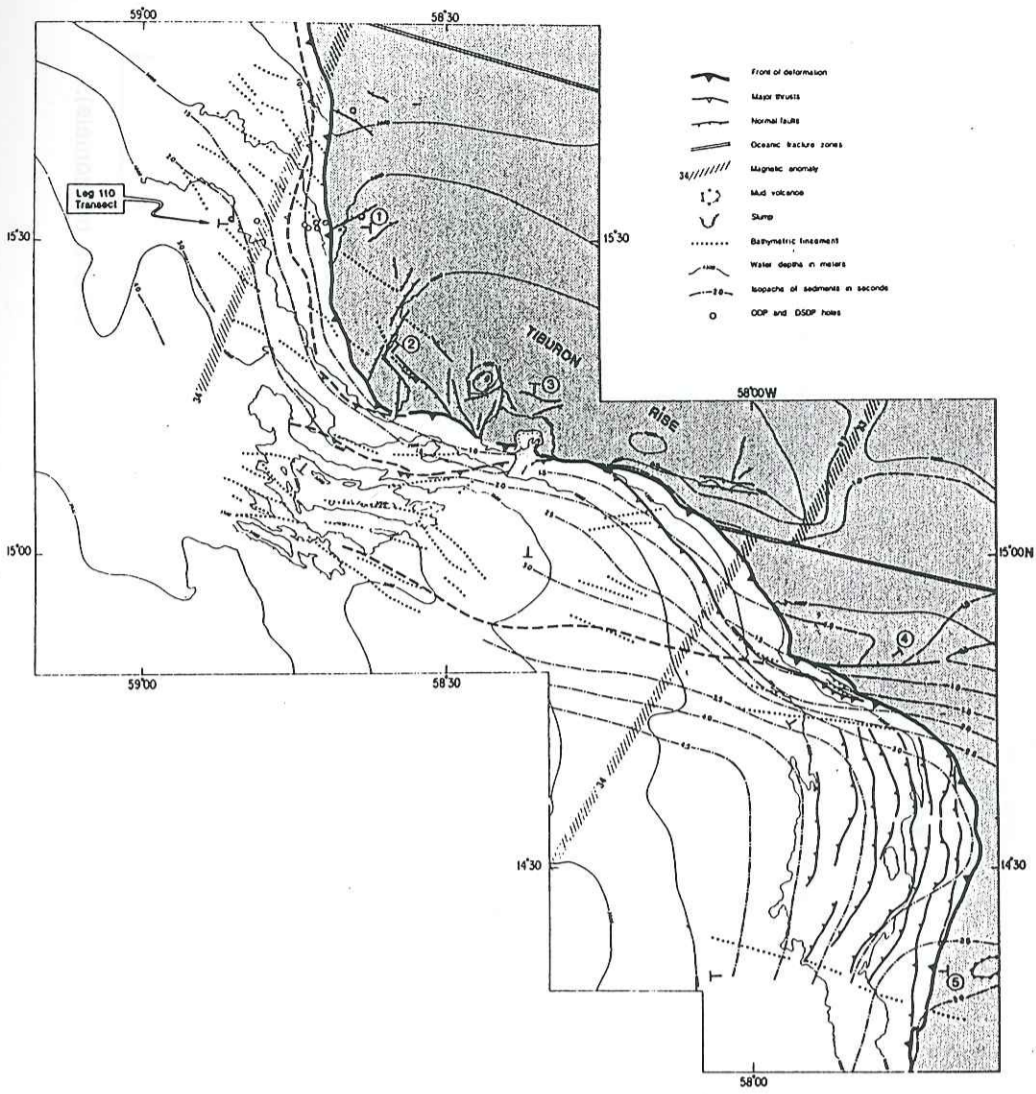


Fig.III-42: Carte structurale de la zone de Tiburon et coupes profondeurs sériees (Moore, Mascle *et al.*, 1990 ).

Noter l'épaissement important des séries accrétées au sud de la zone transverse.

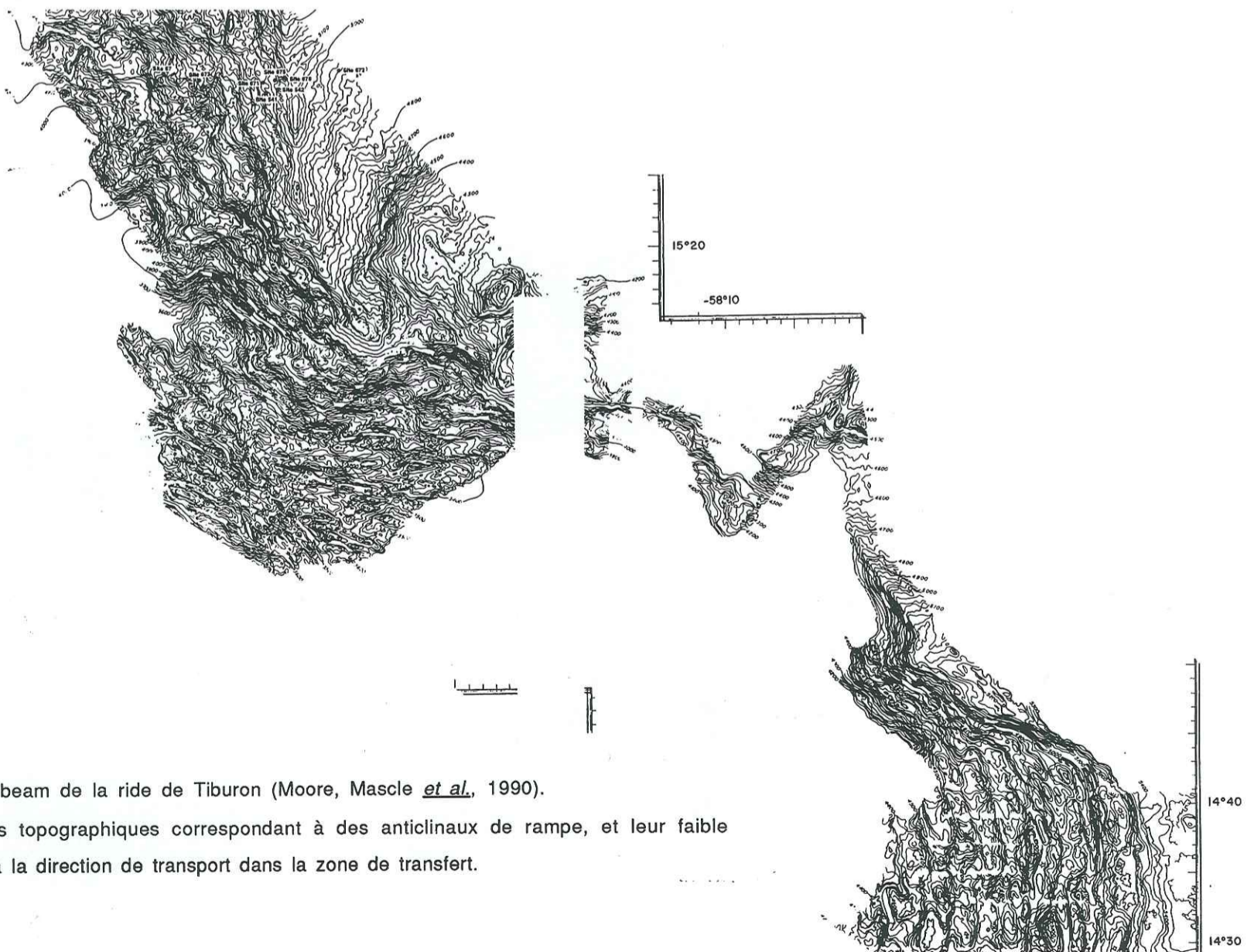


Fig.III-43: Carte sea-beam de la ride de Tiburon (Moore, Mascle *et al.*, 1990).

Noter les alignements topographiques correspondant à des anticlinaux de rampe, et leur faible obliquité par rapport à la direction de transport dans la zone de transfert.



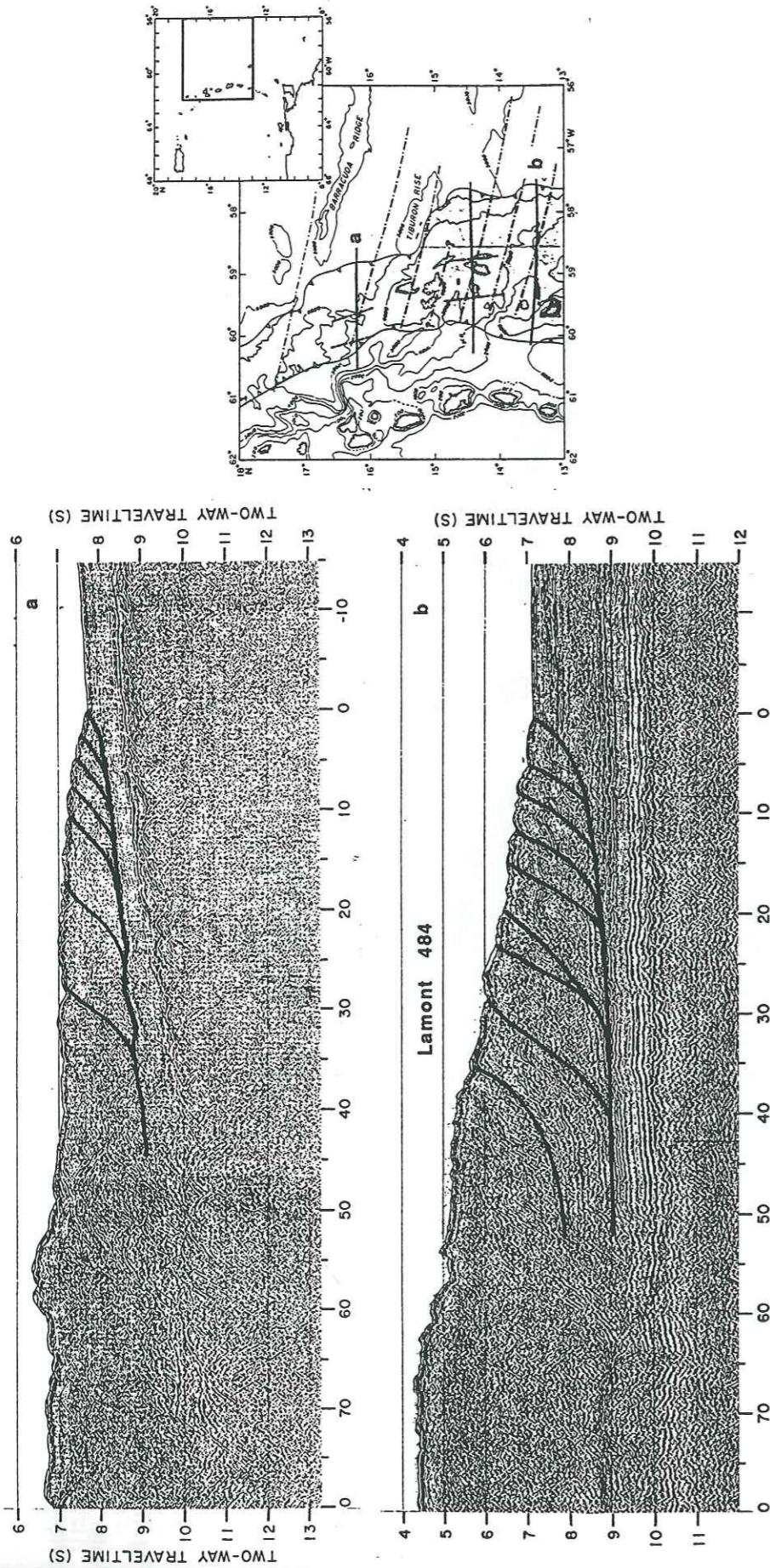


Fig.III-44: Profils sismiques au travers des parties frontales du prisme de la Barbade situées de part et d'autre de la zone de Tiburon. (Moore, Mascle *et al.*, 1990)  
 Noter l'épaississement important des séries accrétées au sud de la zone transverse.

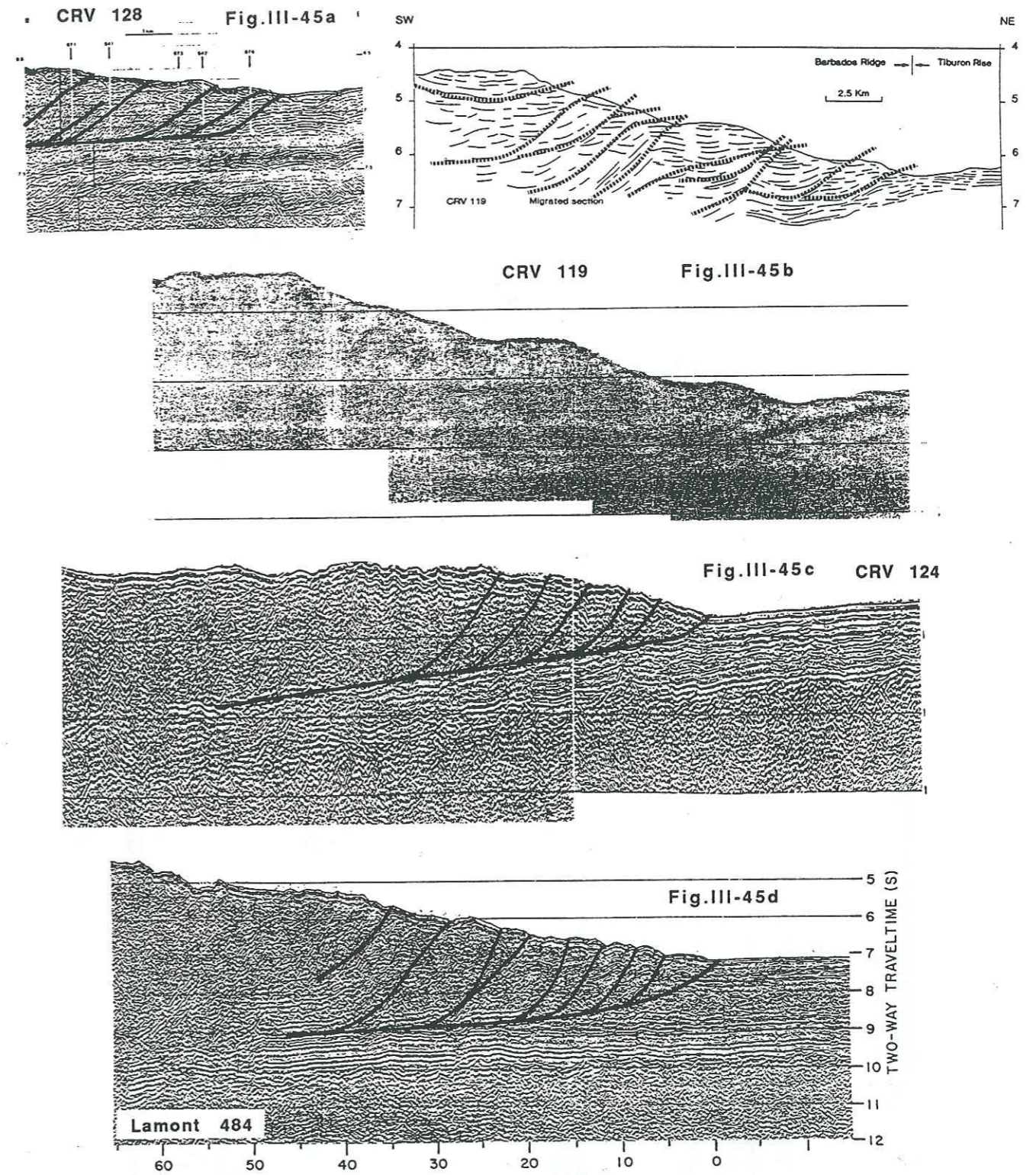


Fig.III-45: Profils sismiques séries montrant le détail des déformations compressives au travers de la zone de transfert de Tiburon (Mascle, comm. pers).  
 Localisation des coupes sur les figures III-42 et III-44. Comparer le profil 45b et son line-drawing avec la coupe longitudinale E-E' de la figure III-39.



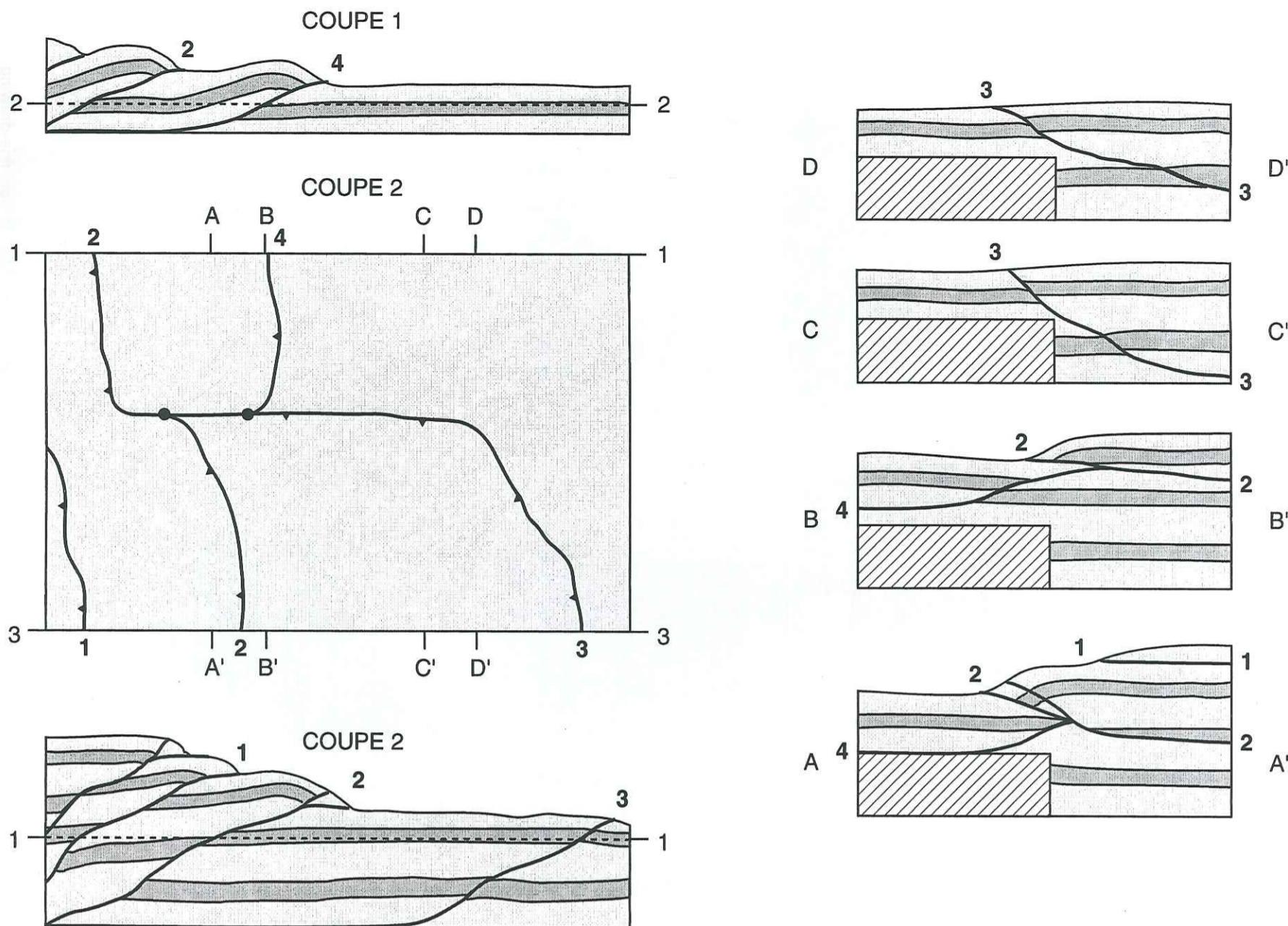


Fig.III-46: Coupe horizontale (localisation sur 2 coupes transversales) et coupes longitudinales sériees dans le modèle n°2821b à l'état final.

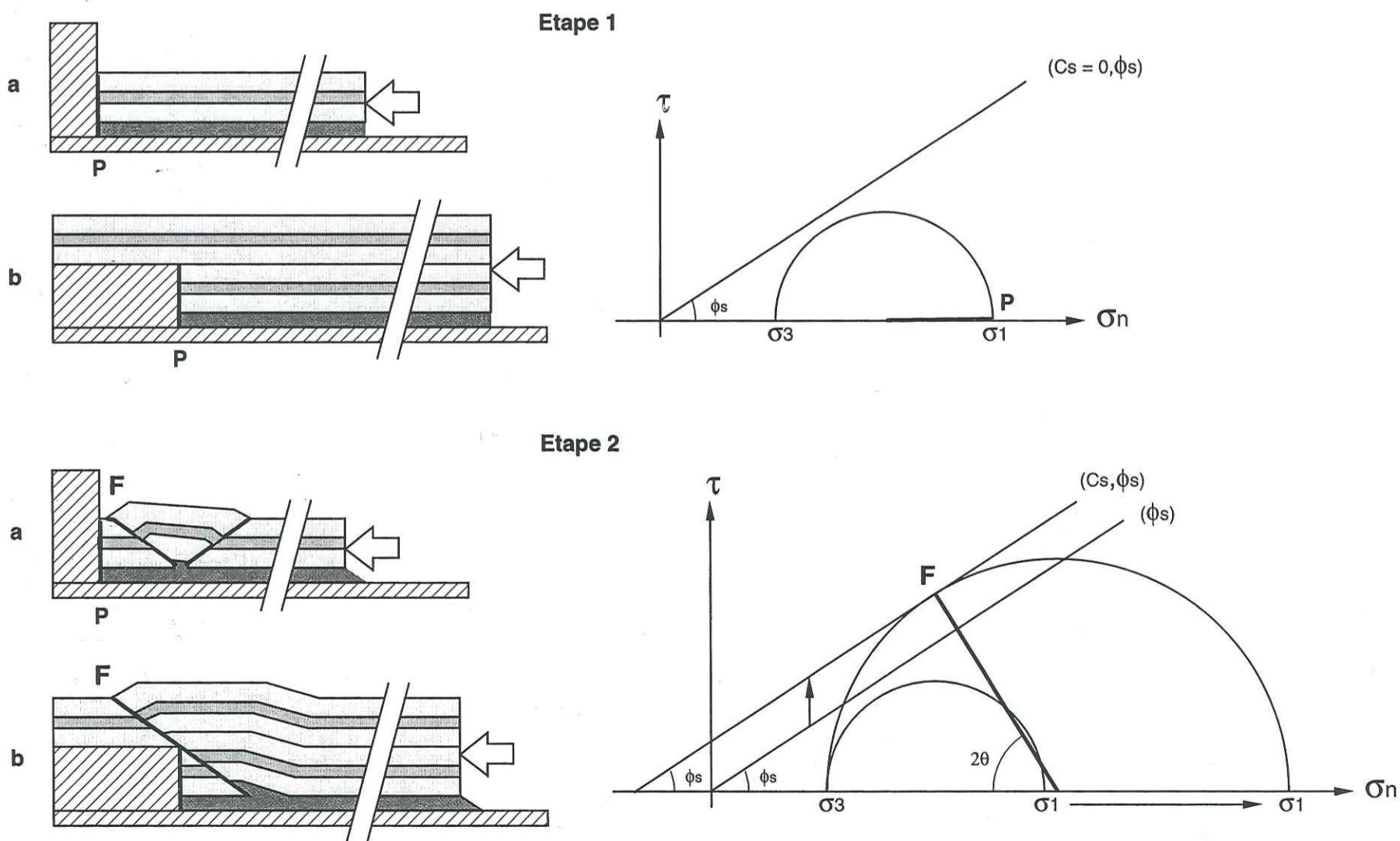
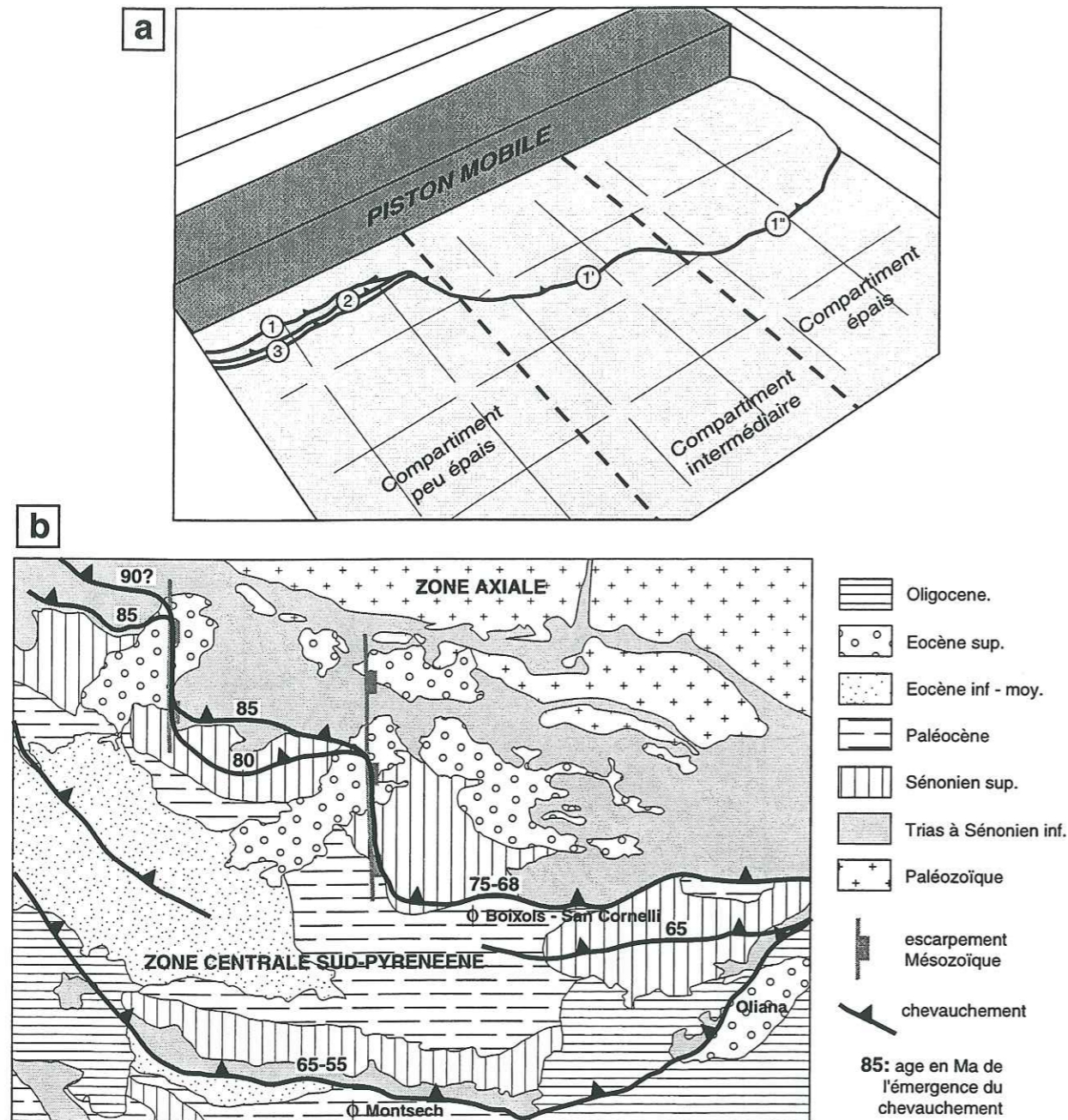


Fig.III-47: Représentation sur le cercle de Mohr en 2 dimensions de la rupture isotrope du sable en présence d'une paroi verticale indéformable.

a: cas où le front de déformation atteint l'extrémité opposée au piston mobile du modèle.

b: cas où il existe un obstacle intermédiaire dont la hauteur est inférieure à celle de la couverture fragile (exemple du modèle n°0138).

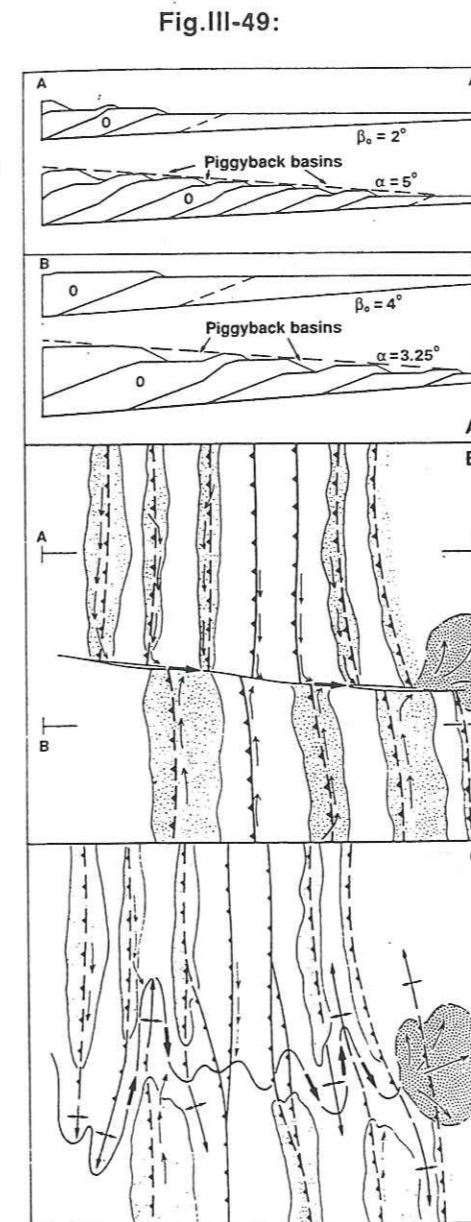




**Fig. III-48:** Vues de surface du stade de déformation précoce d'un modèle analogique composé des 3 compartiments différenciés par l'épaisseur de la couche fragile et comparaison avec la zone centrale sud-pyrénéenne.

**a:** géométrie en surface des différents segments d'une même surface de chevauchement qui subit des virgations importantes à l'aplomb des marches d'escalier situées à la base. La numérotation des accidents indique leur ordre d'apparition. La numérotation 1, 1' et 1'' indique l'ordre d'apparition en surface du premier chevauchement dans les 3 compartiments successifs (1'' plus tardif que 1' et 1' plus tardif que 1).

**b:** carte structurale de la zone centrale-sud pyrénéenne montrant l'évolution dans l'espace et dans le temps de 2 chevauchements dont les segments latéraux se superposent à des limites de bassins mésozoïques (d'après Philippe et Specht, 1992). Noter la séquence prograde vers l'avant-pays des chevauchements successifs. Plus la distance d'émergence d'un segment frontal d'une même surface de chevauchement est importante, plus il émerge tardivement.



**Fig. III-49:** Effet du pendage initial du décollement basal sur la morphologie du prisme de Coulomb et localisation d'une zone transverse entre les segments de la chaîne (Lawton *et al.*, 1994).

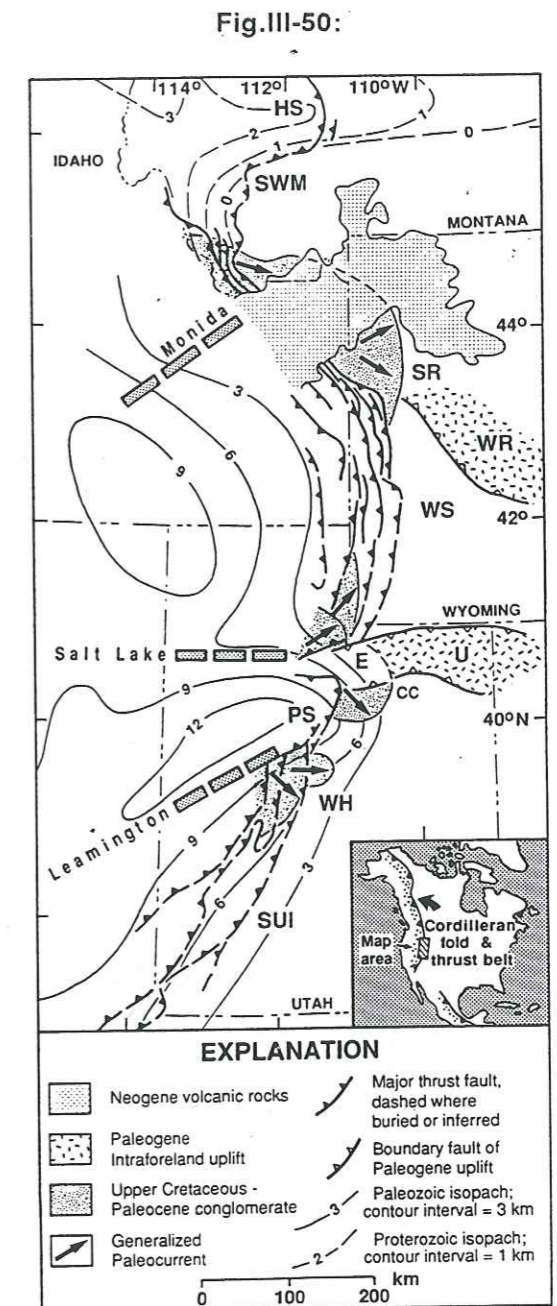
**A:** coupes séquentielles ( $\alpha$  est la pente résultante de la topographie du prisme requise pour atteindre l'état critique).

**B:** carte schématique correspondant aux coupes A-A' et B-B' sur la figure III-49A.

**C:** carte schématique comparable à la figure III-49B illustrant une zone transverse diffuse

**Fig. III-50:** Carte de la Cordillère ouest-américaine montrant un ensemble de segments frontaux séparés par des zones transverse (Lawton *et al.*, 1994).

Noter la présence des cônes de déjection conglomératiques dans l'avant-pays au pied des zones de transfert.





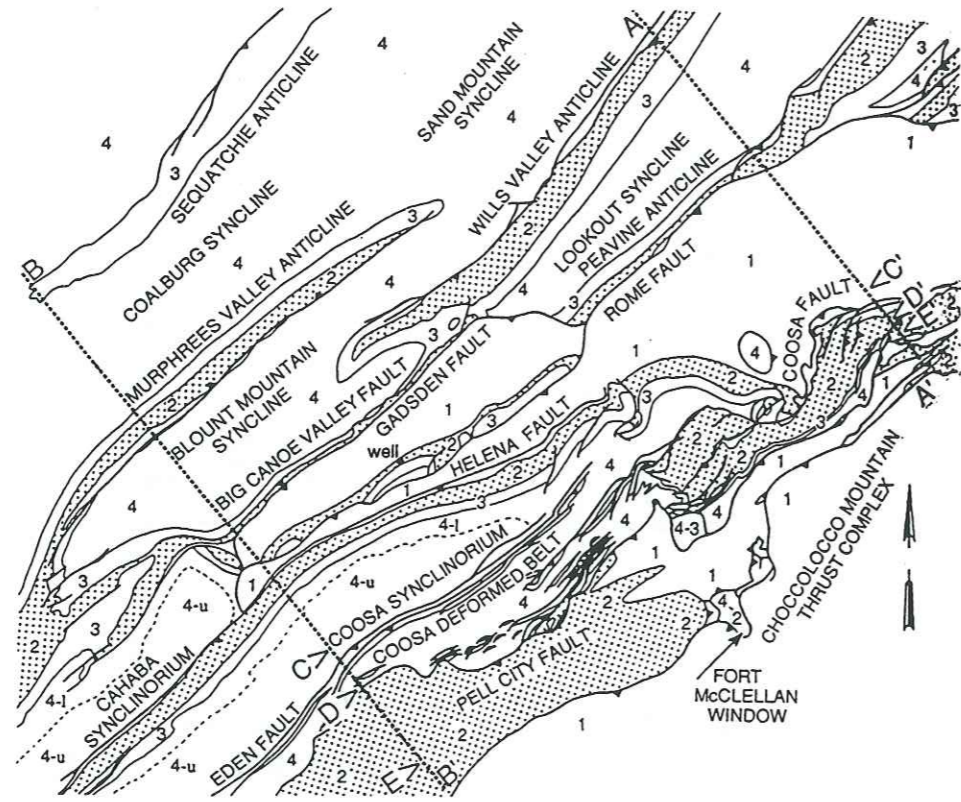


Fig.III-51: Carte structurale de la zone transverse d'Anniston dans les Appalaches (Thomas, 1991).

Noter l'alignement des terminaisons périclinales et des brachements entre les surfaces de chevauchement au sein d'une zone diffuse constituant la zone transverse. Comparer avec les coupes horizontales du modèle n°2145 à l'état final (fig.III-38).

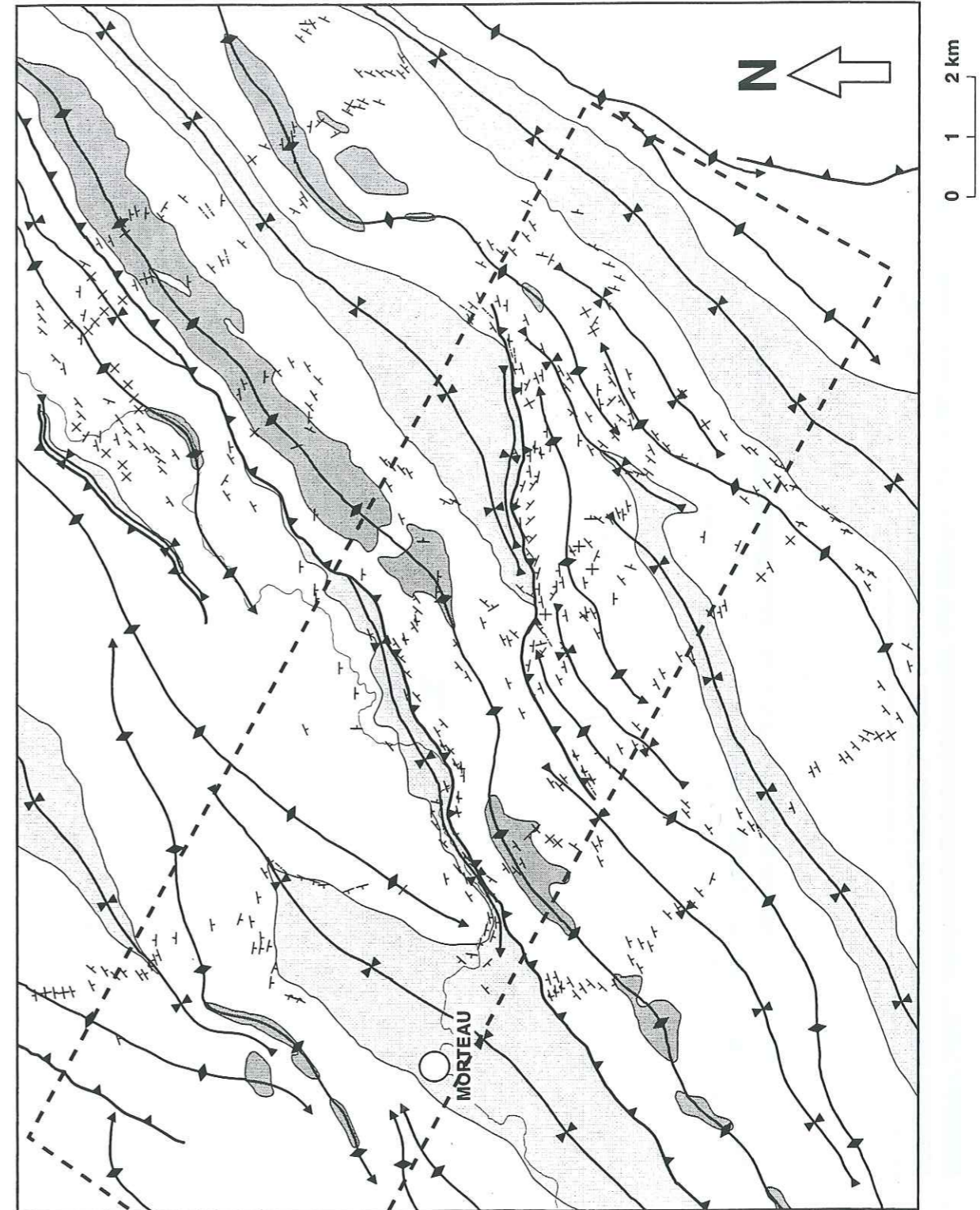
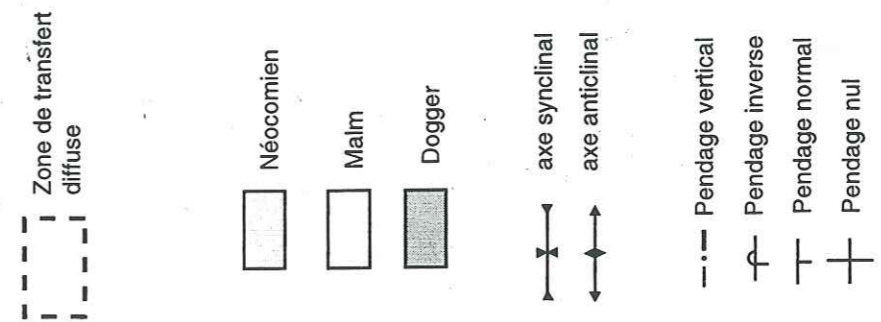


Fig.III-52: Carte structurale schématisique de la région de Morteau dans le Jura interne



tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



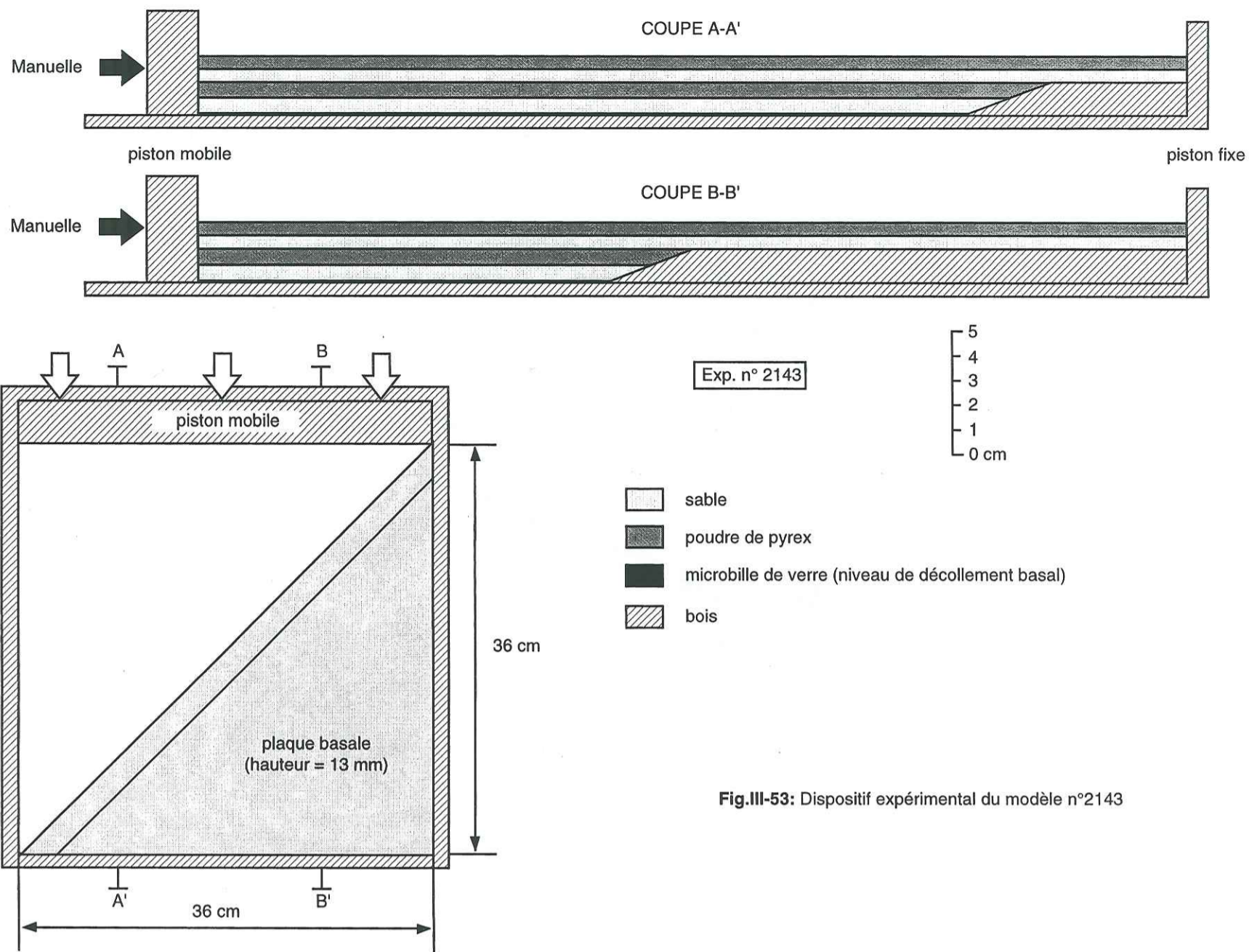


Fig.III-53: Dispositif expérimental du modèle n°2143

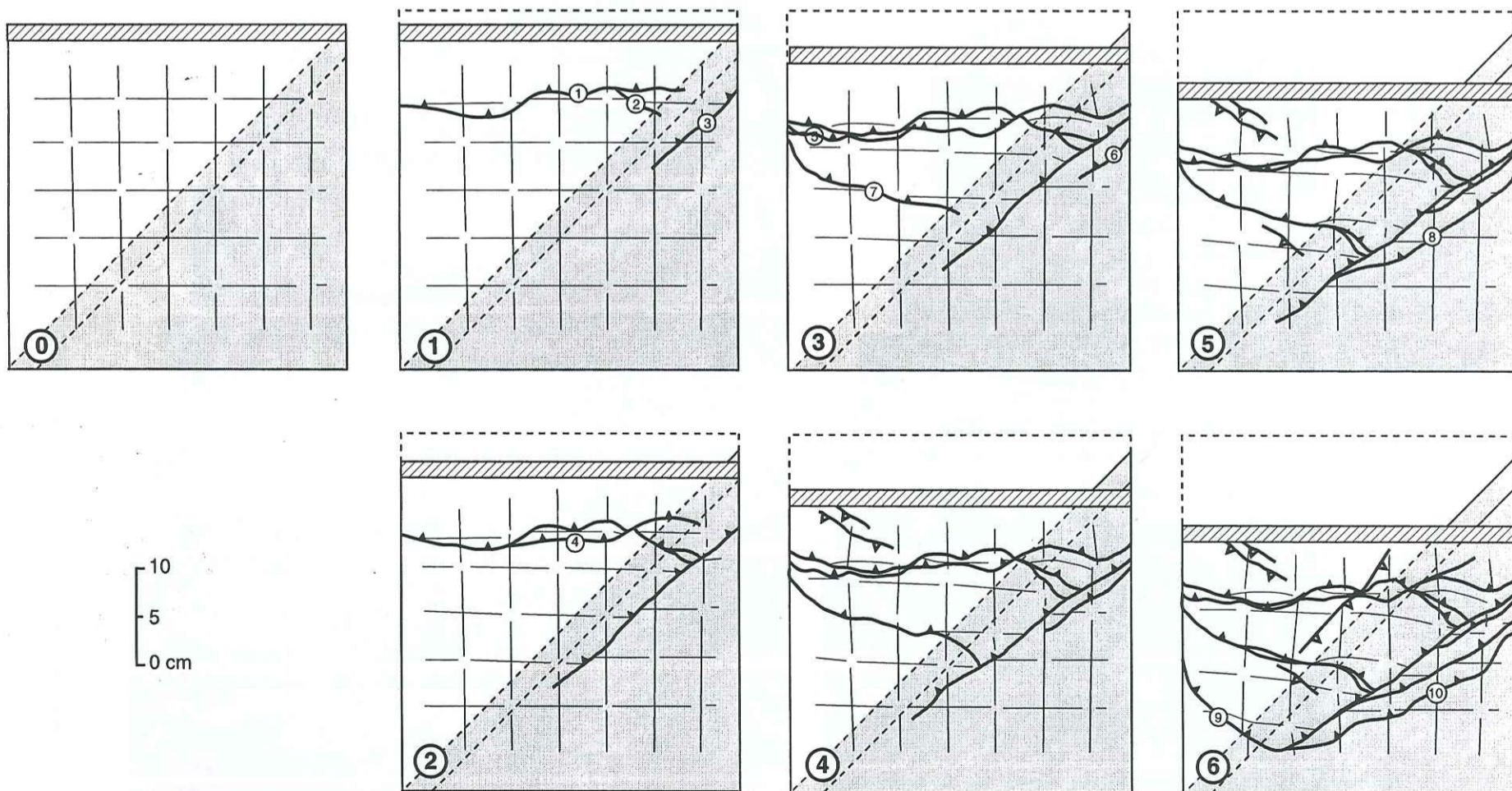


Fig.III-54: Vues de surface du modèle (d'après photographies) montrant l'évolution du champ de déformation en fonction du raccourcissement imposé.



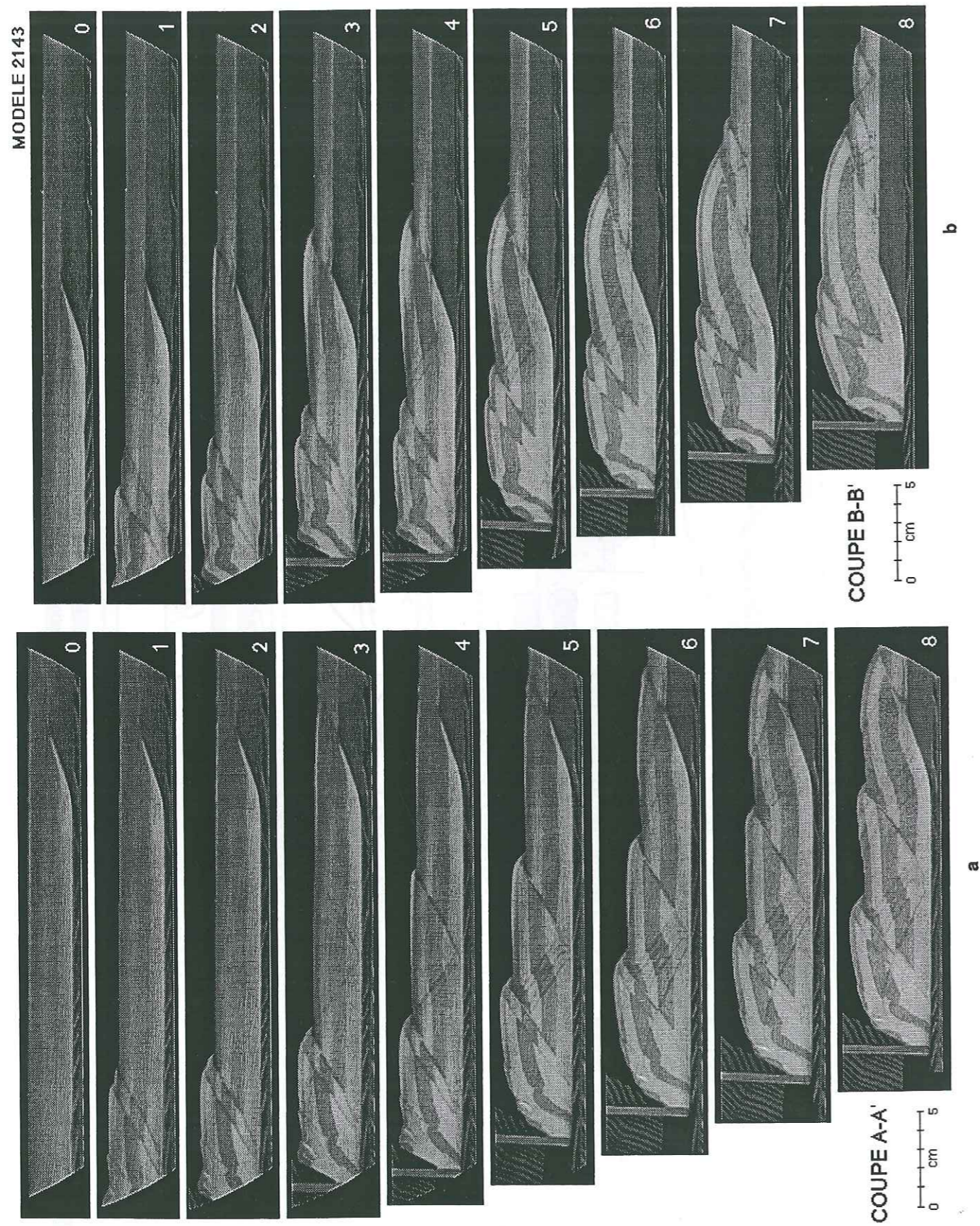


Fig.III-55: Coupes transversales du modèle montrant l'influence de la bordure oblique du compartiment épais sur la propagation des chevauchements.

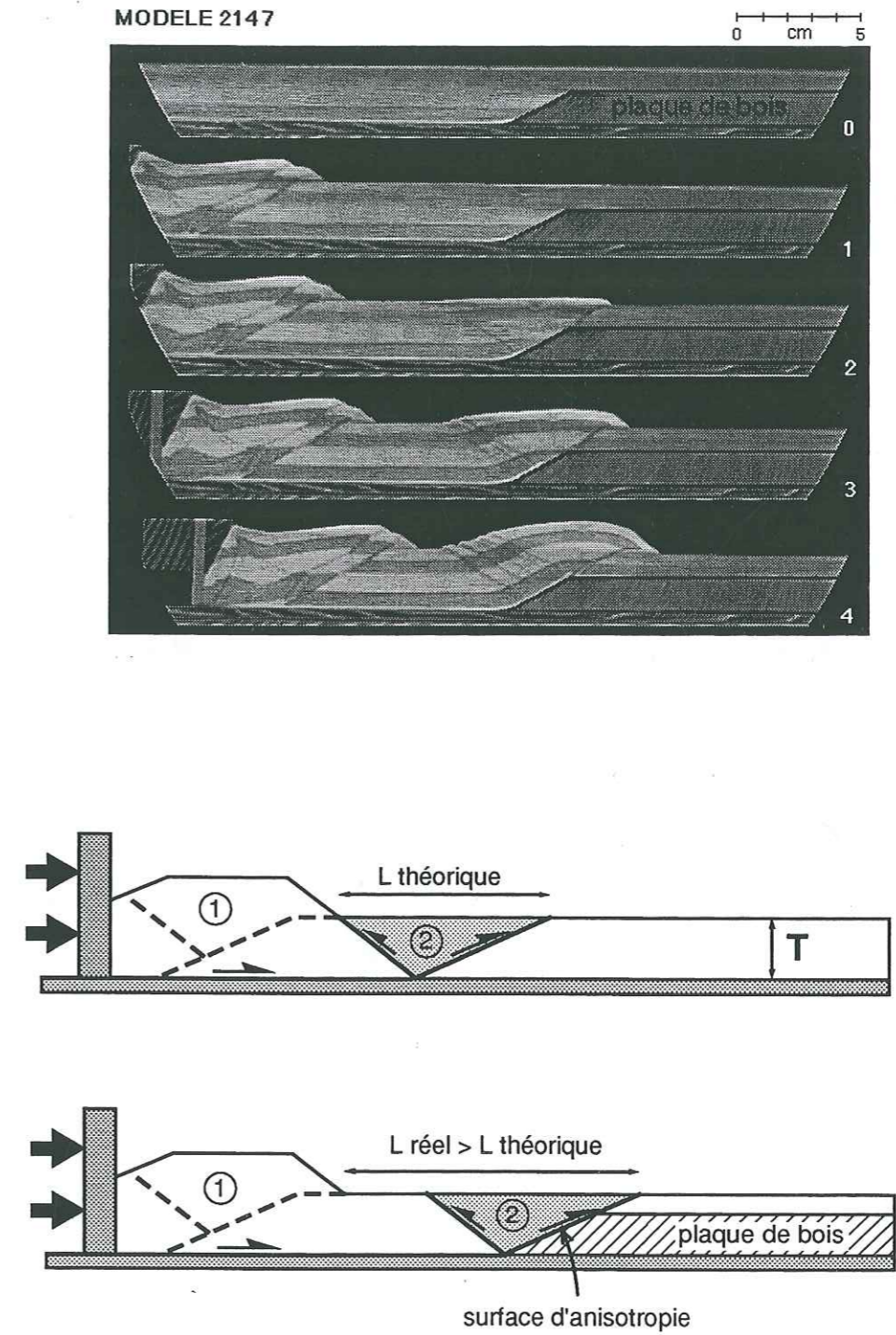


Fig.III-56: Coupes transversales d'un modèle cylindrique montrant que le chevauchement frontal émerge à une distance supérieure à la distance théorique d'espacement des accidents en fonction de l'épaisseur.



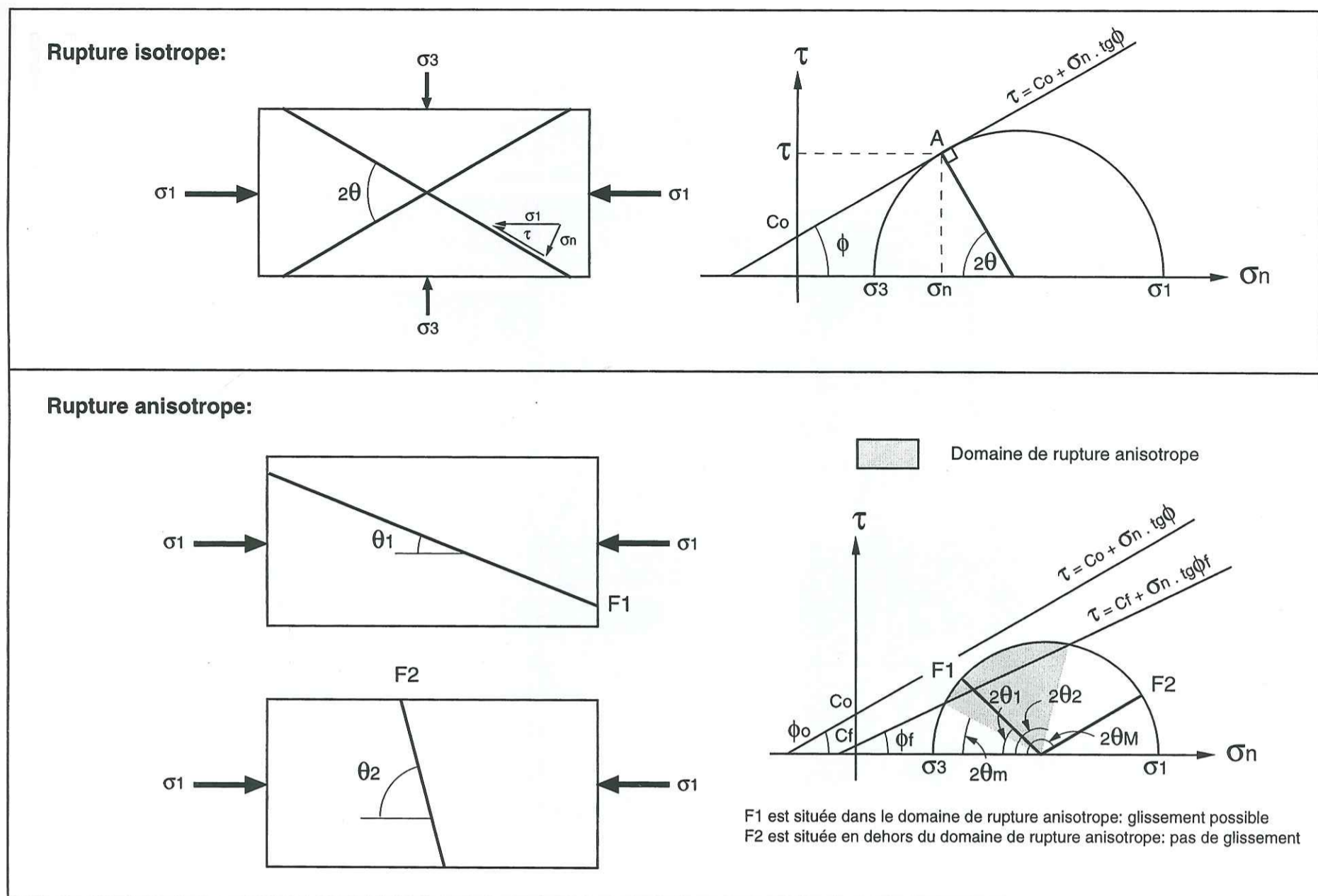


Fig.III-57: Représentation sur un diagramme de Mohr des conditions de rupture d'un matériau donné en fonction de l'état de contrainte.

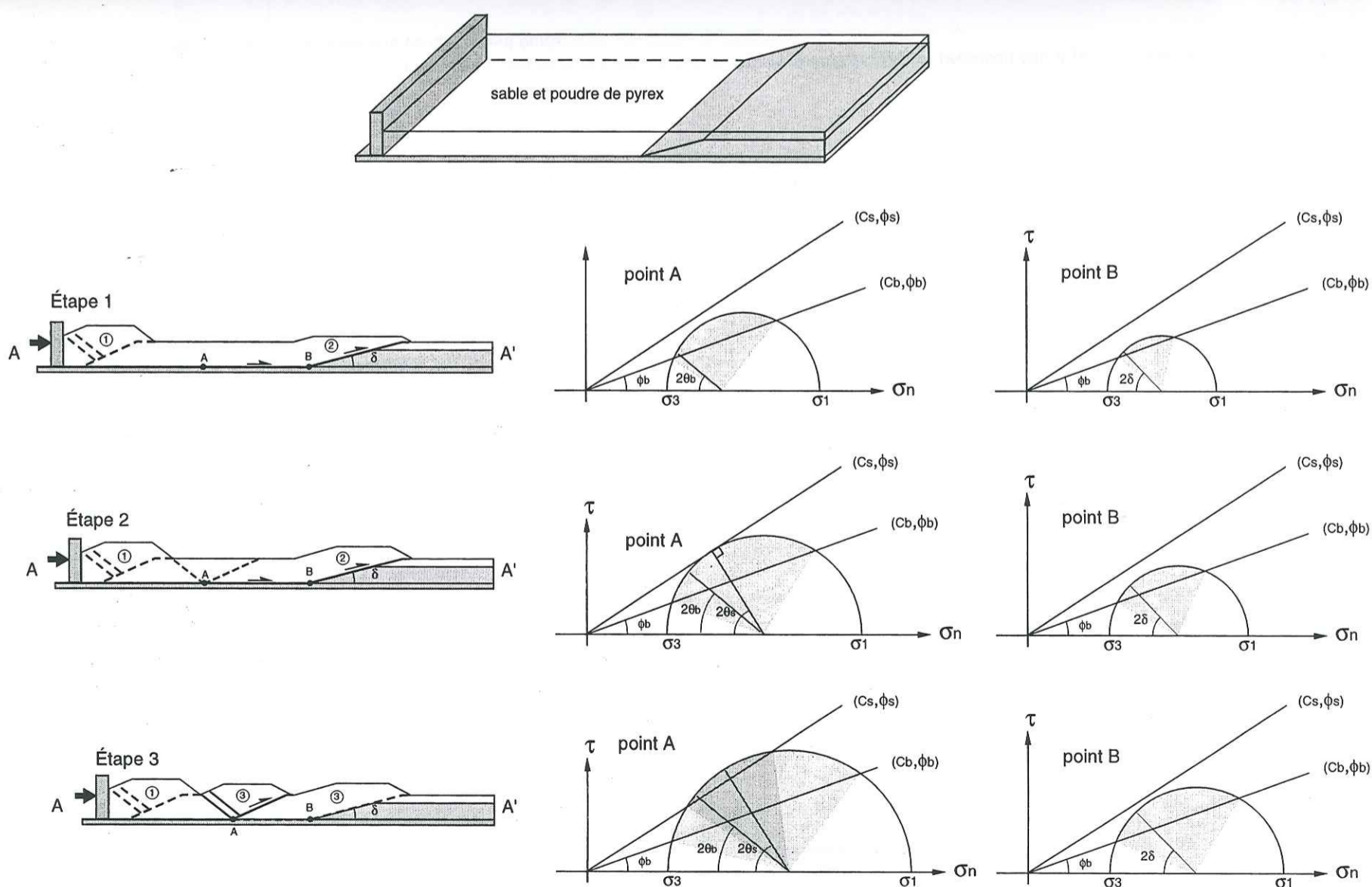


Fig.III-58: Influence mécanique d'un plan d'anisotropie (limite de la plaque basale) sur la propagation des accidents dans un modèle analogique fragile et diagramme de Mohr correspondant à l'évolution de l'état de contrainte en différents points du modèle, en fonction du raccourcissement imposé. Dans ce cas, il y a réactivation précoce du plan d'anisotropie.



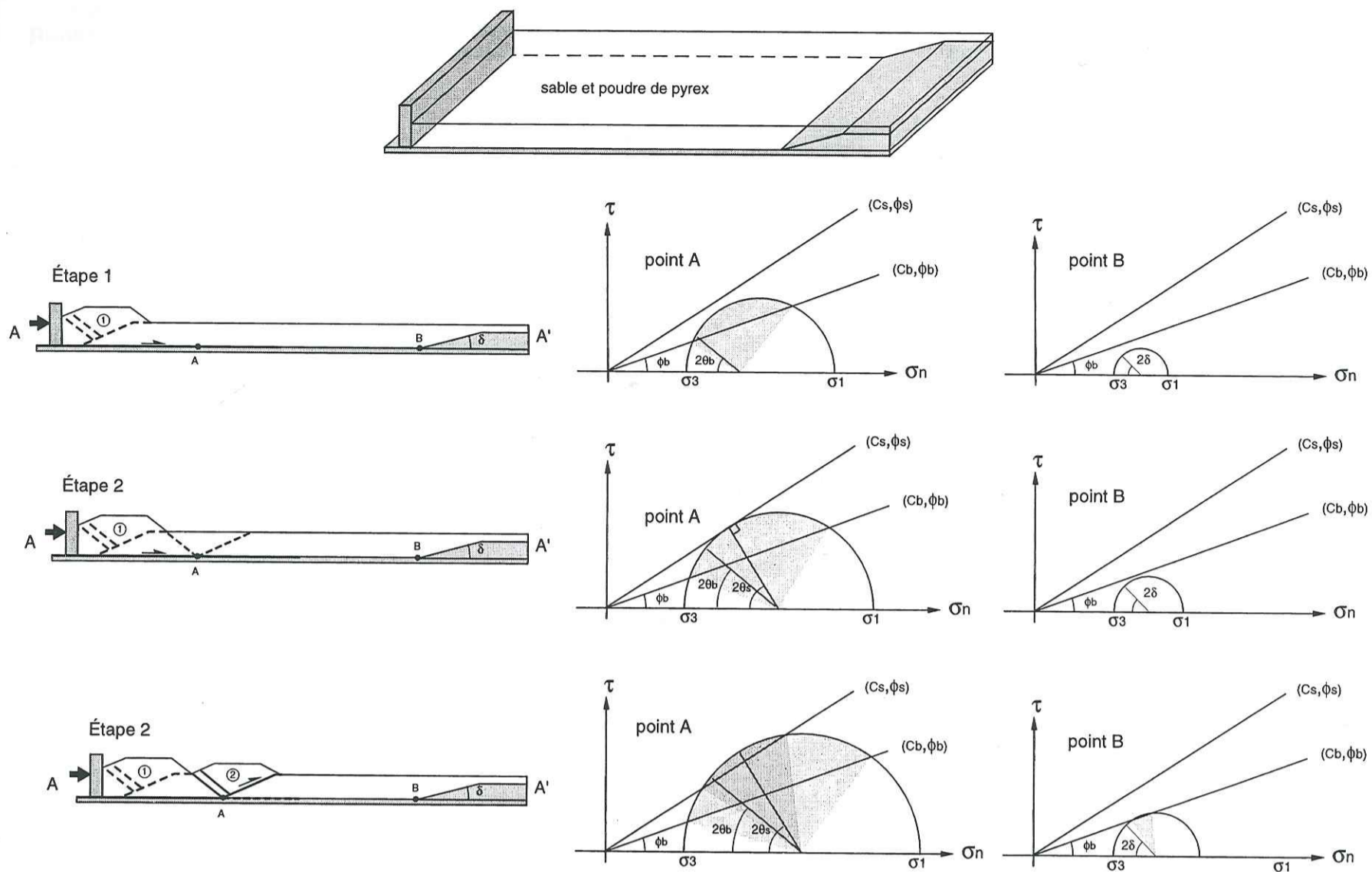


Fig.III-59: Idem fig.III-59, mais ici le plan d'anisotropie est situé trop loin du piston mobile pour être réactivé précocement. Il ya donc une séquence normale de propagation des chevauchements dans le compartiment épais.

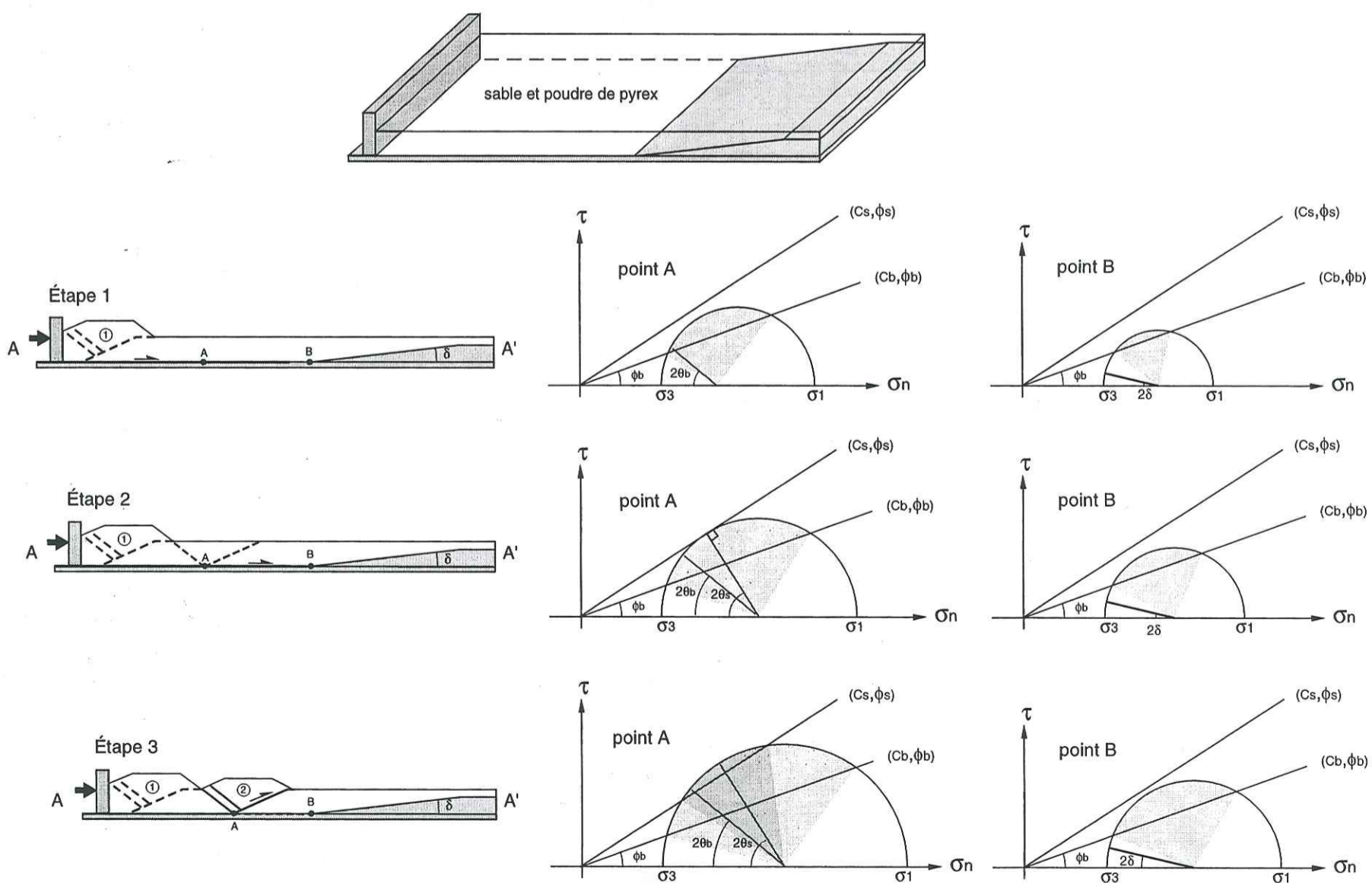


Fig.III-60: Idem fig.III-58, mais ici le pendage du plan d'anisotropie est trop faible du piston mobile pour qu'il y ait réactivation précocce. Il ya donc une séquence normale de propagation des chevauchements dans le compartiment épais.



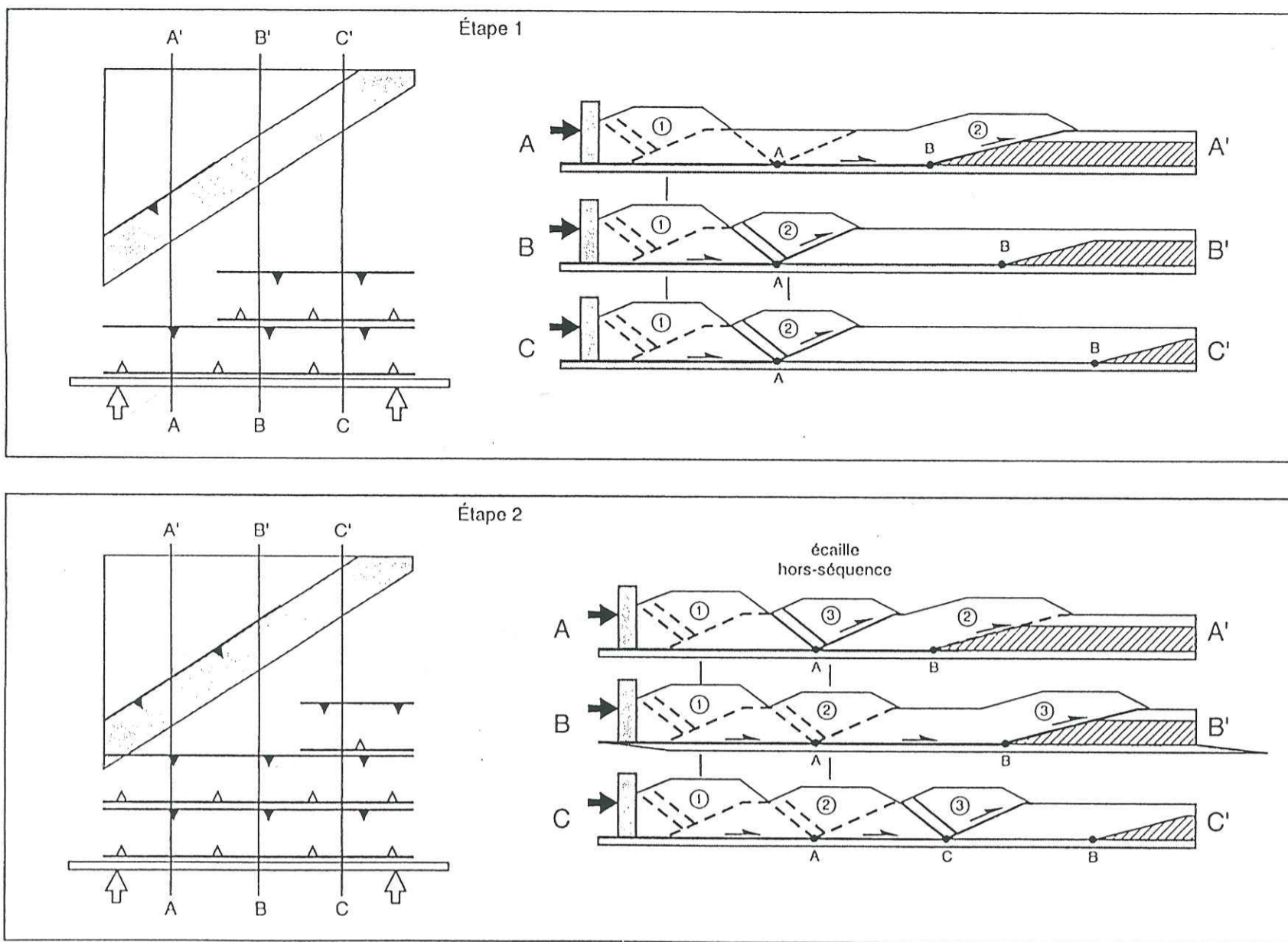


Fig.III-61: Évolution théorique à 2 étapes successives de la déformation dans un modèle avec plan d'anisotropie oblique au raccourcissement

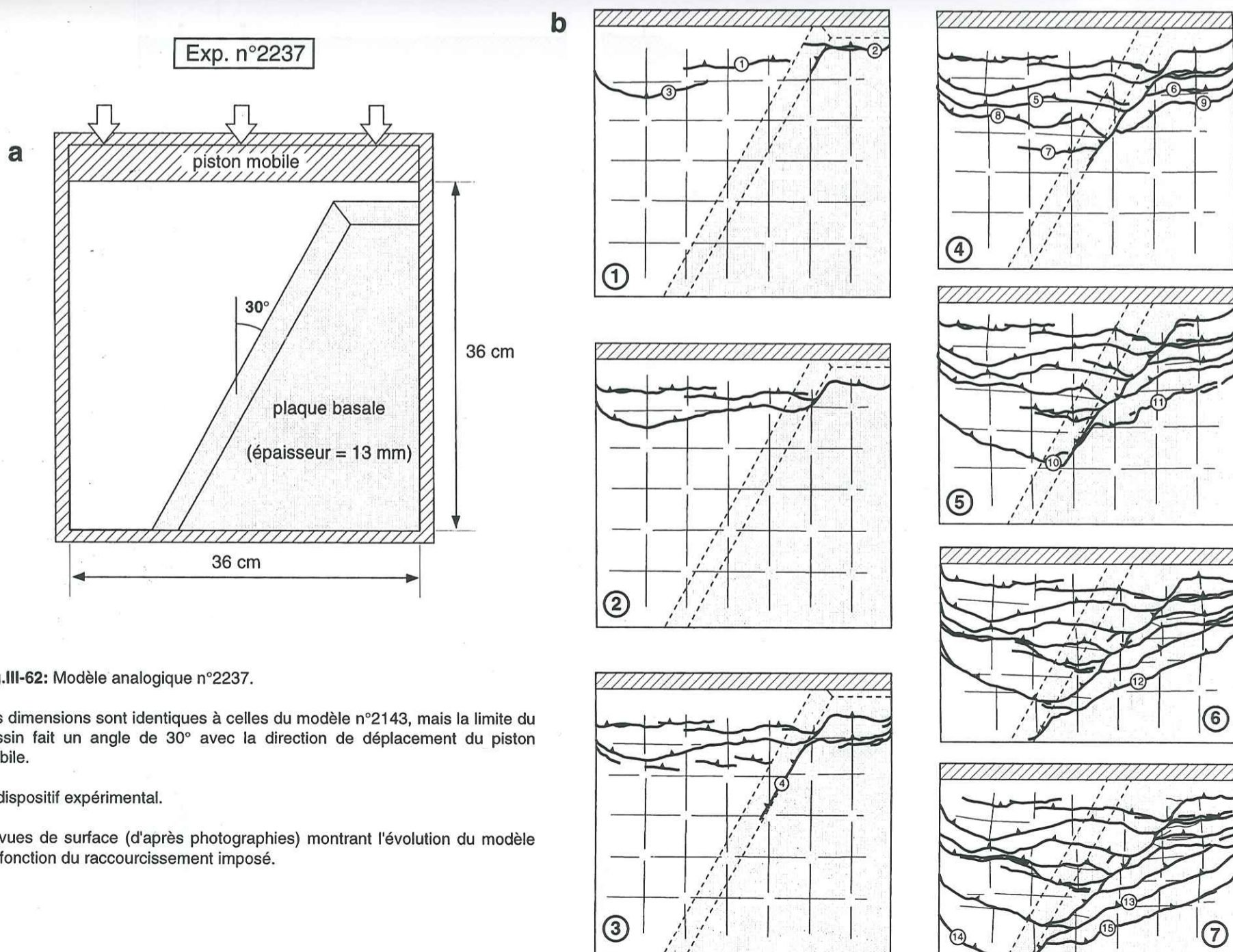


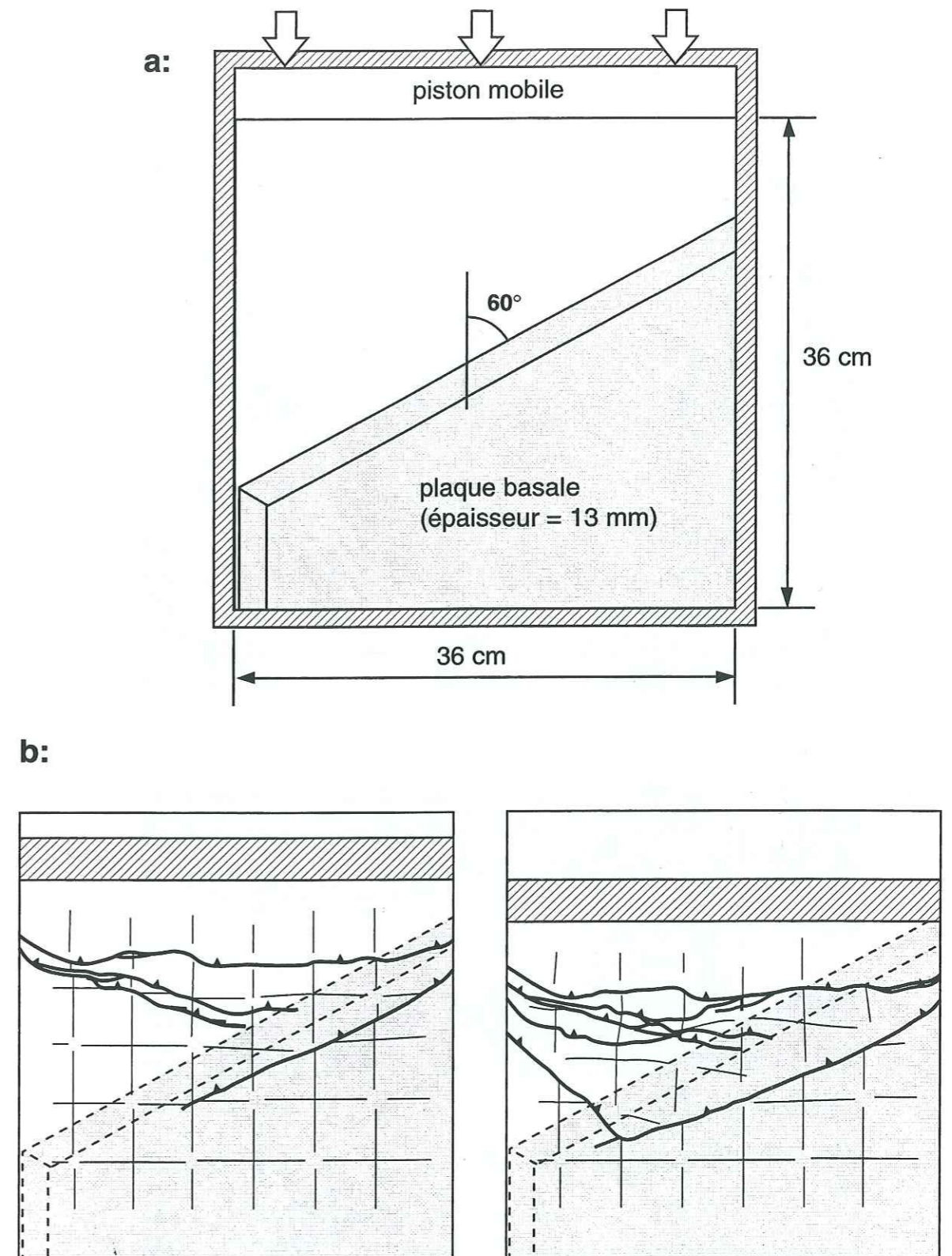
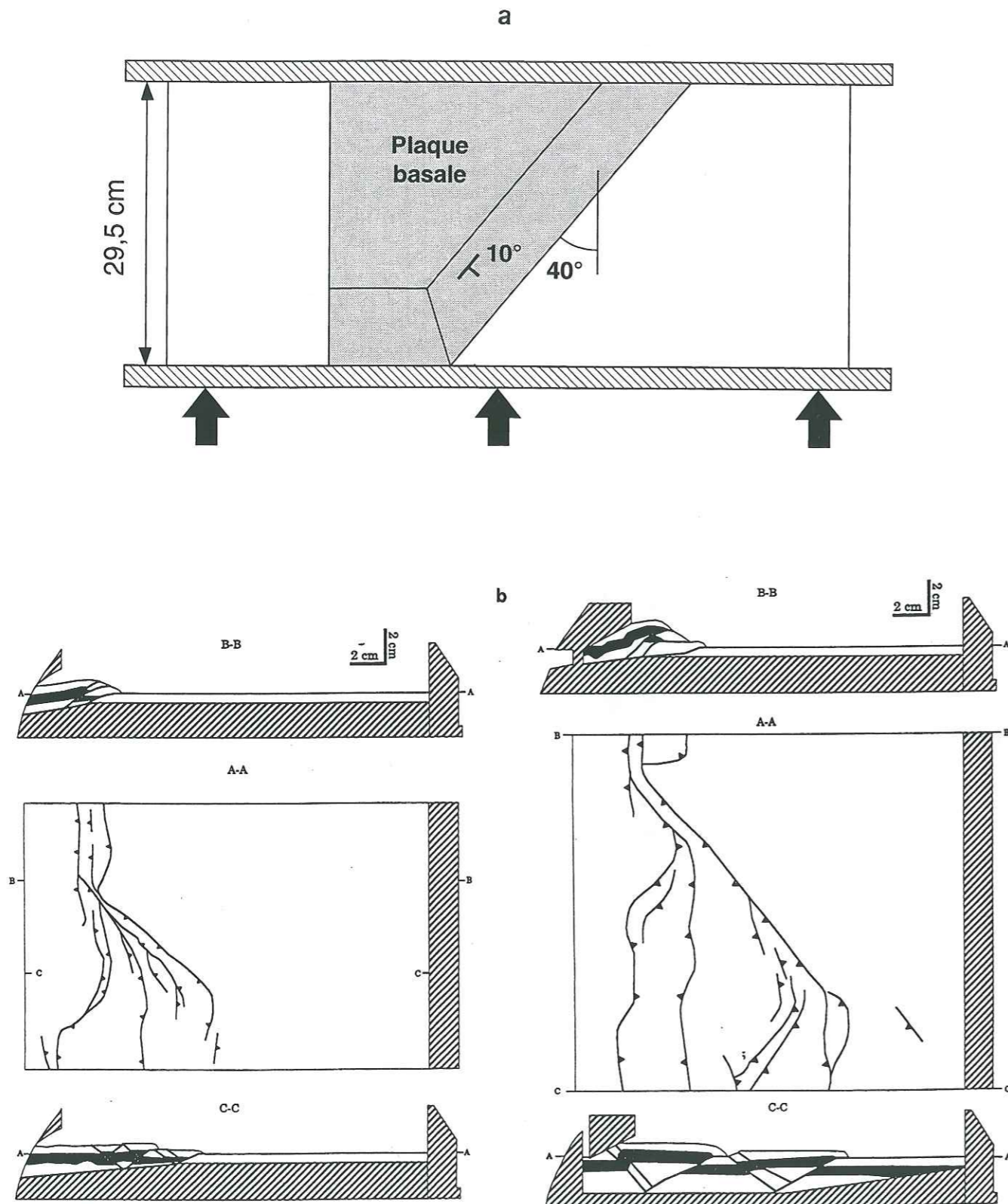
Fig.III-62: Modèle analogique n°2237.

Les dimensions sont identiques à celles du modèle n°2143, mais la limite du bassin fait un angle de 30° avec la direction de déplacement du piston mobile.

a: dispositif expérimental.

b: vues de surface (d'après photographies) montrant l'évolution du modèle en fonction du raccourcissement imposé.





tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



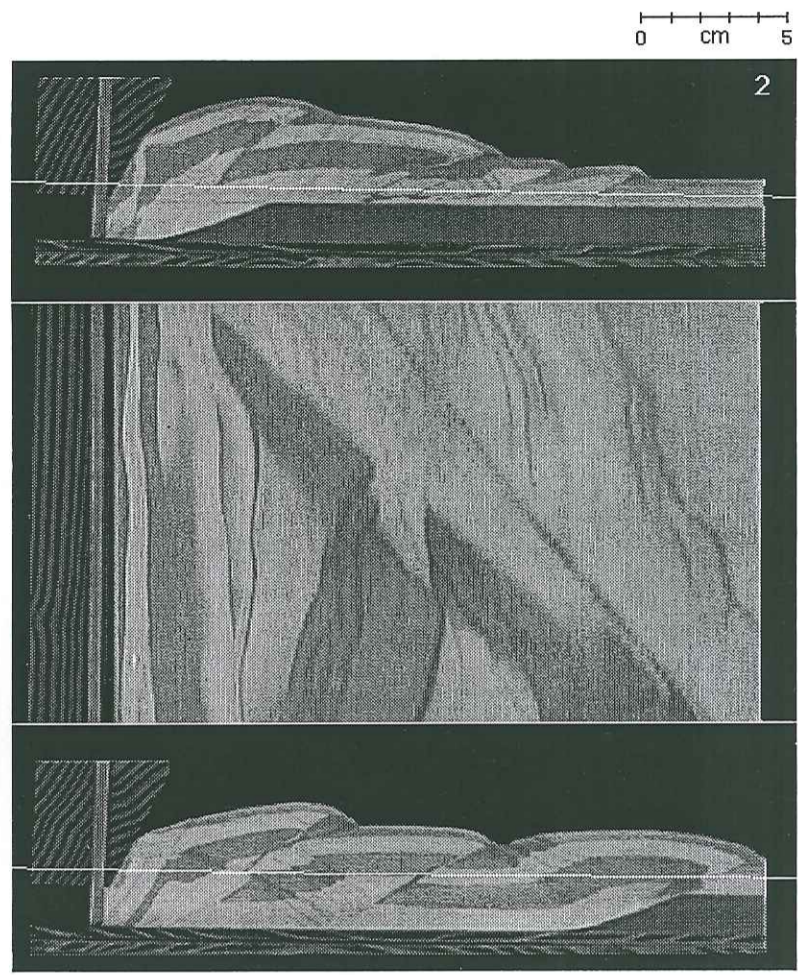
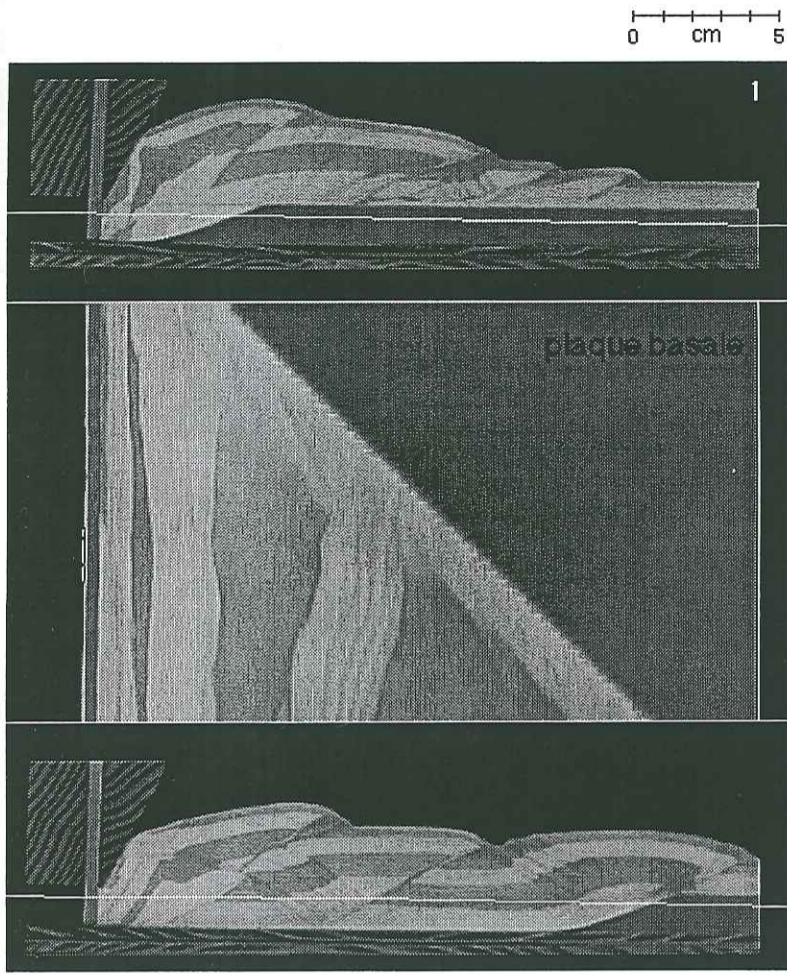


Fig.III-65: Coupes horizontales du modèle à 3 hauteurs différentes.  
65a: coupes scanner vierges et localisation sur les coupes transversales

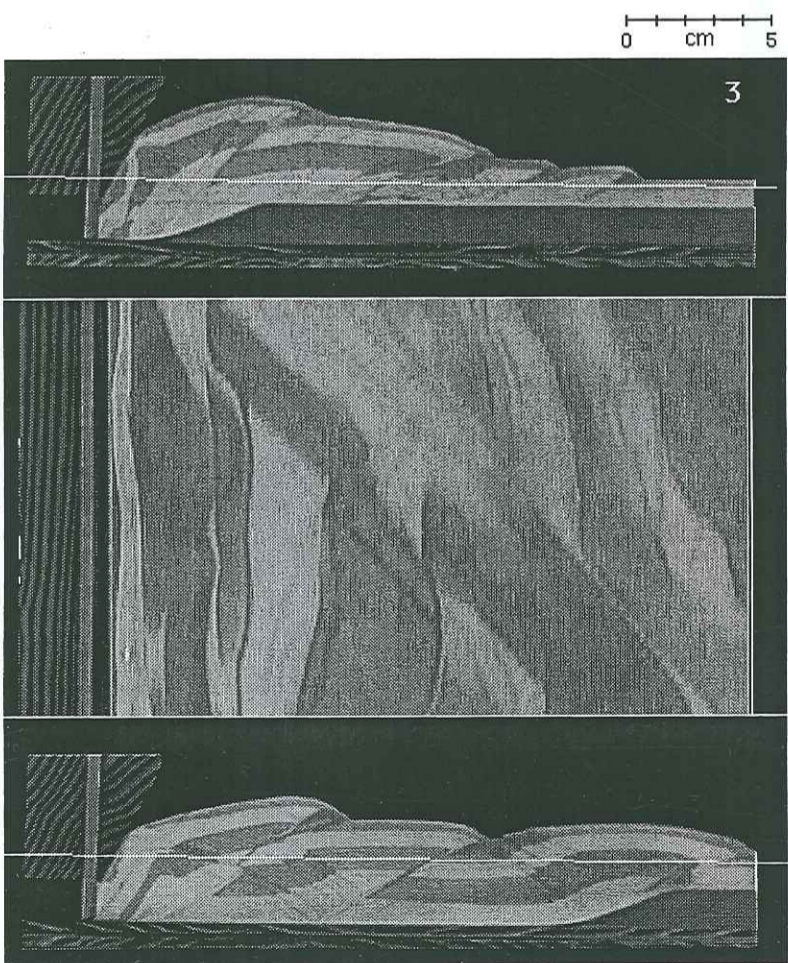


Fig.III-65a (suite)

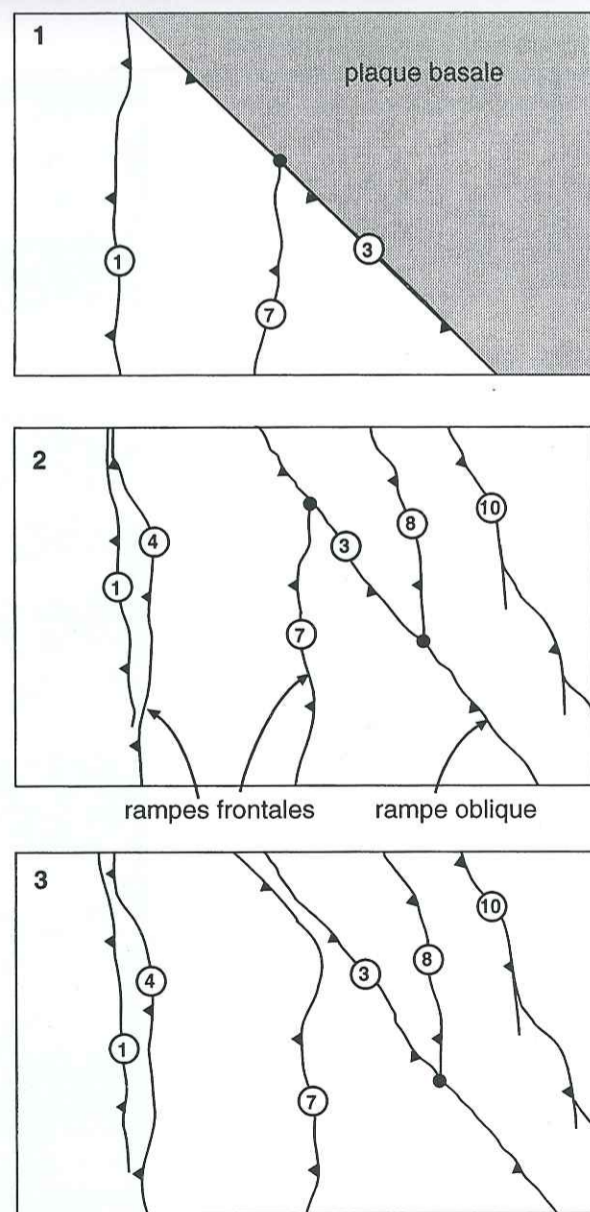


Fig.III-65b: Coupes horizontales interprétées (les rétrochevauchements ne sont pas représentés).  
La numérotation est la même que pour les vues de surfaces.



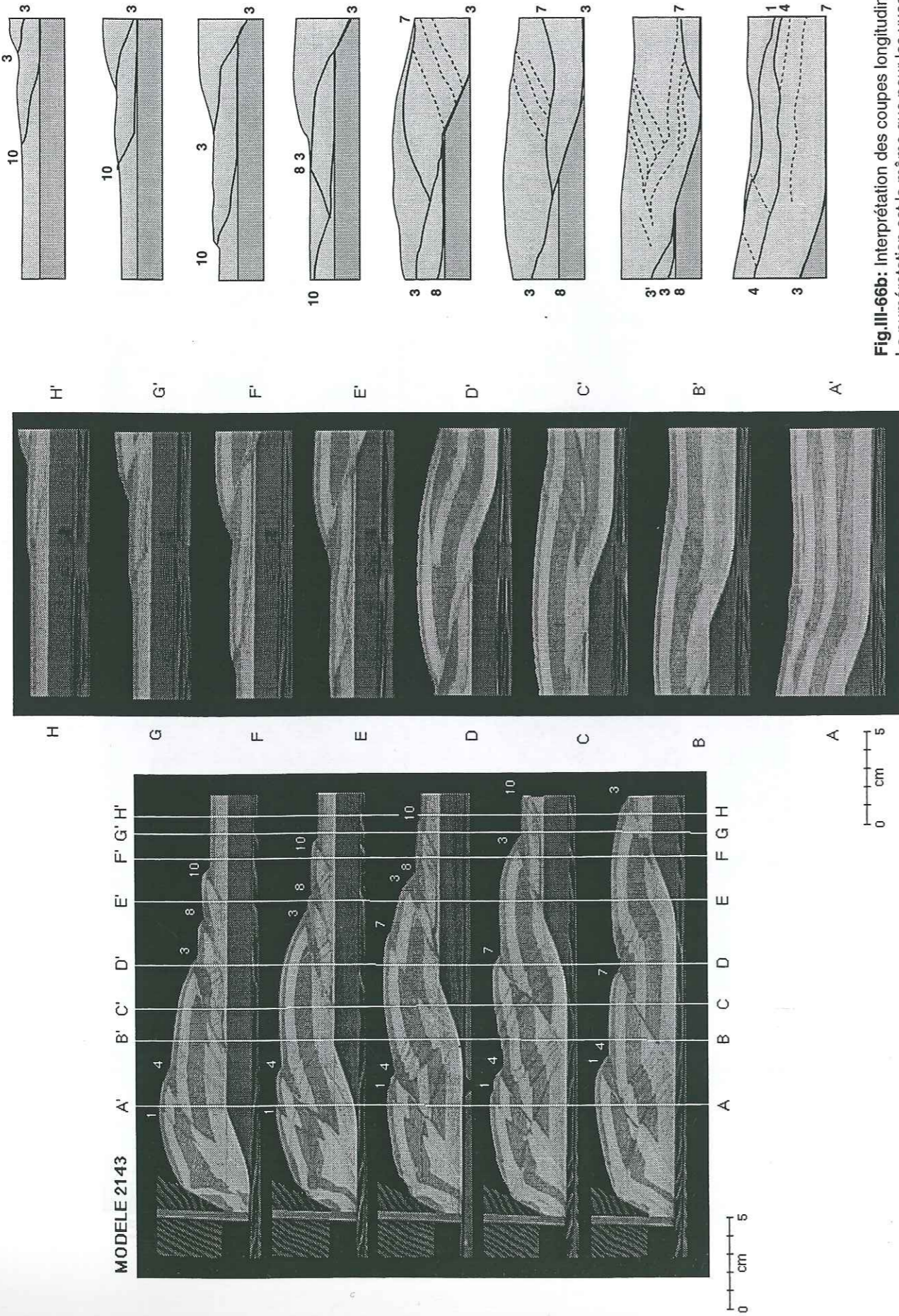


Fig. III-66b: Interprétation des coupes longitudinales. La numérotation est la même que pour les vues de surface. Les traits pointillés représentent les rétrochevauchements.

Fig. III-66: Coupes longitudinales du modèle dans sa partie centrale. 66a: coupes scanner vierges et localisation sur une série de coupes transverses

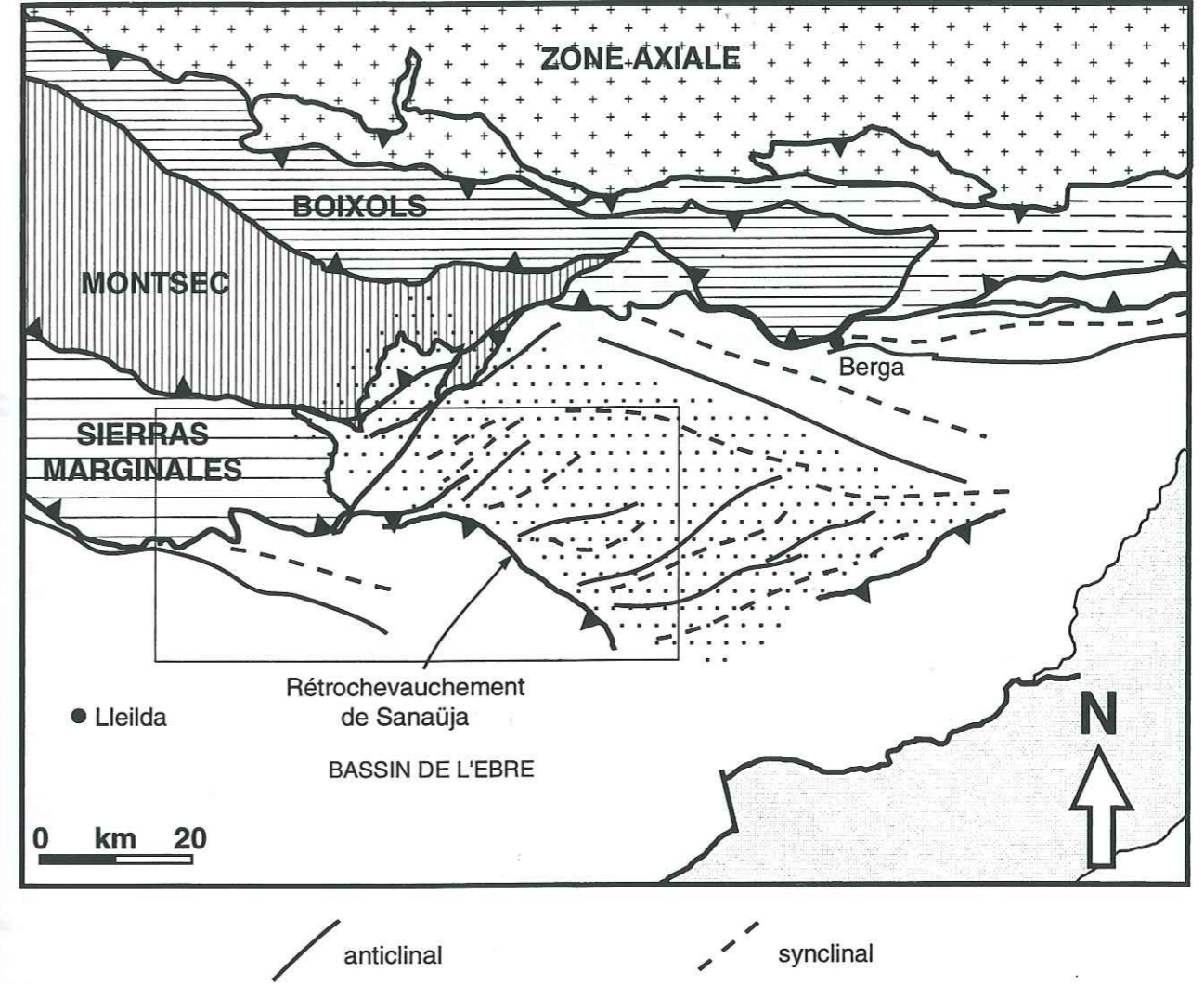


Fig. III-67: Carte structurale de la zone sud-pyrénéenne et localisation de la zone étudiée (Vergès et al., 1992).

La zone en pointillé représente le dépocentre (en position actuelle) de la formation Cardona. Noter la superposition de l'anticlinal de Sanaüja avec la limite méridionale du bassin de la formation Cardona et la disposition des plis obliques orientés NE-SW au nord du rétrochevauchement de Sanaüja.



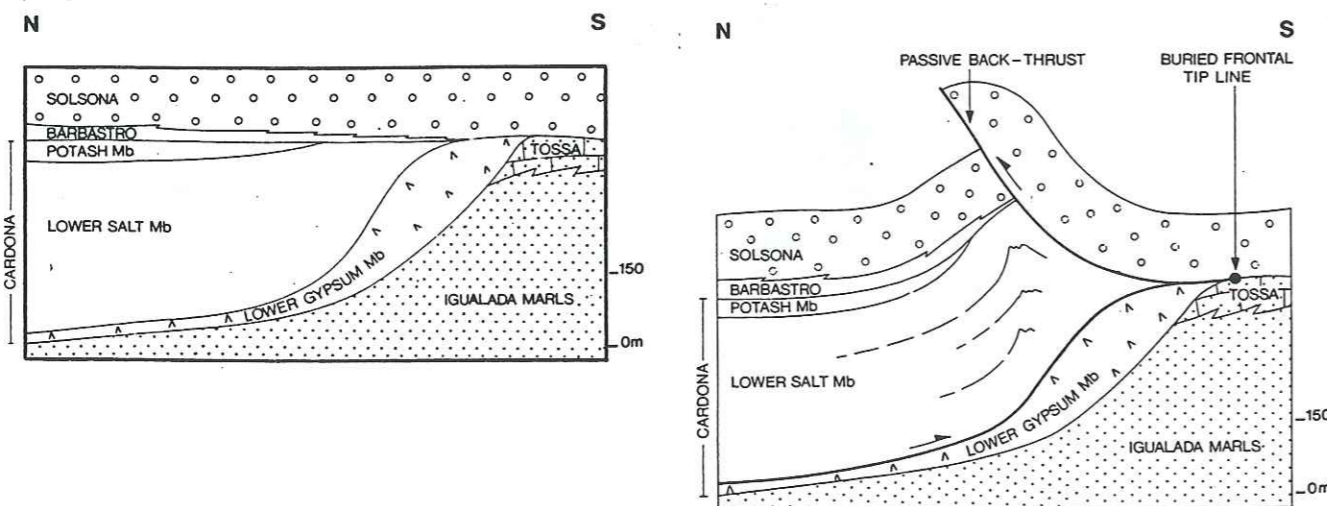
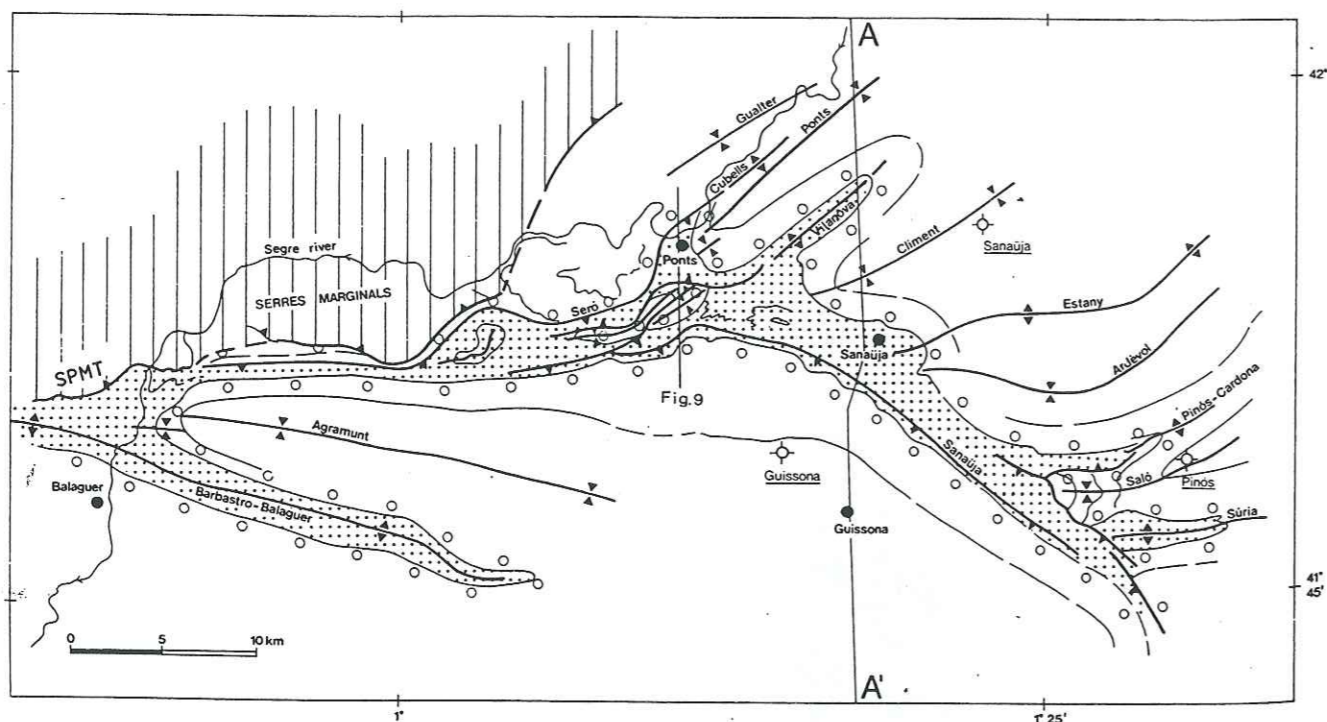


Fig.III-68: Coupe simplifiée montrant la distribution initiale de la formation Cardona selon un transect N-S, et coupe interprétative de la structure actuelle de la limite méridionale de la formation Cardona (Vergès *et al.*, 1922).

La limite du bassin évaporitique où s'est déposée la formation Cardona provoque le développement d'un chevauchement oblique aveugle auquel est associé un rétrochevauchement passif orienté NW-SE (anticlinal de Sanauja).

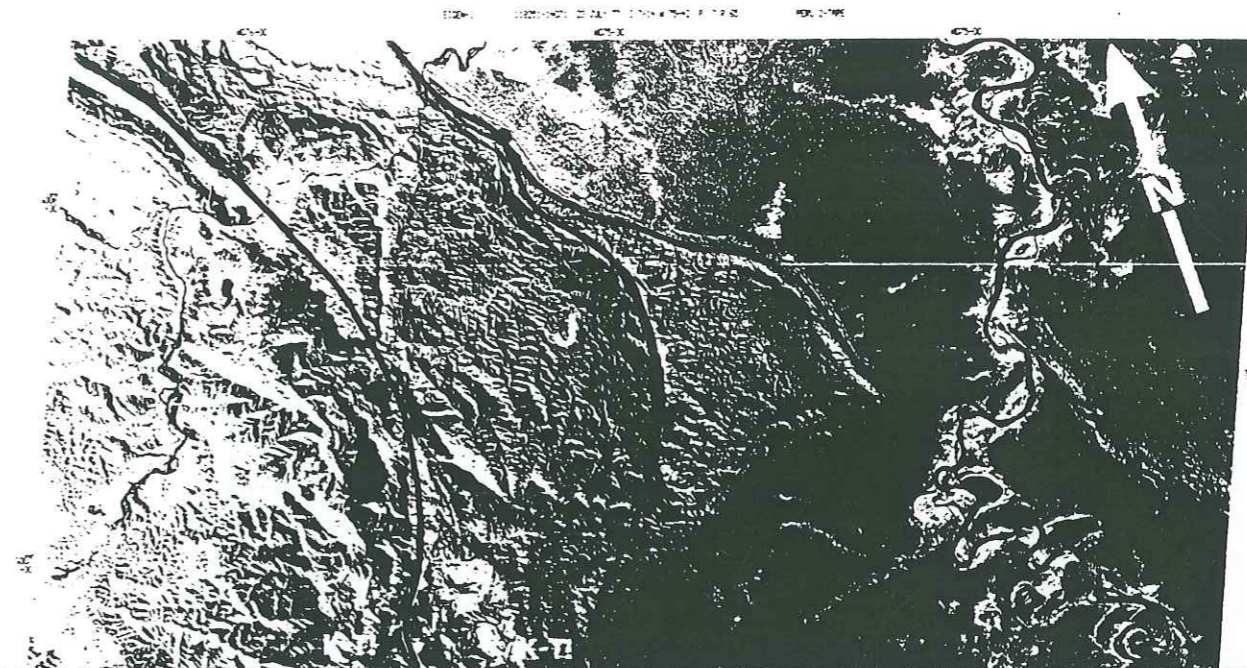


Fig.III-69a: Image Landsat de la partie frontale de la Cordillère des Andes au Pérou (Vann *et al.*, 1986). Noter la présence d'une rampe oblique majeure qui se propage très loin vers l'avant-pays et la virgation marquée du chevauchement frontal qui a tendance à rattraper le décalage.

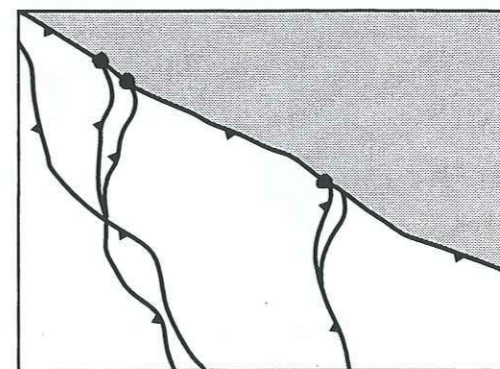


Fig.III-69b: Comparaison avec la géométrie des rampes frontales du modèle n°2143 à proximité de la rampe oblique.



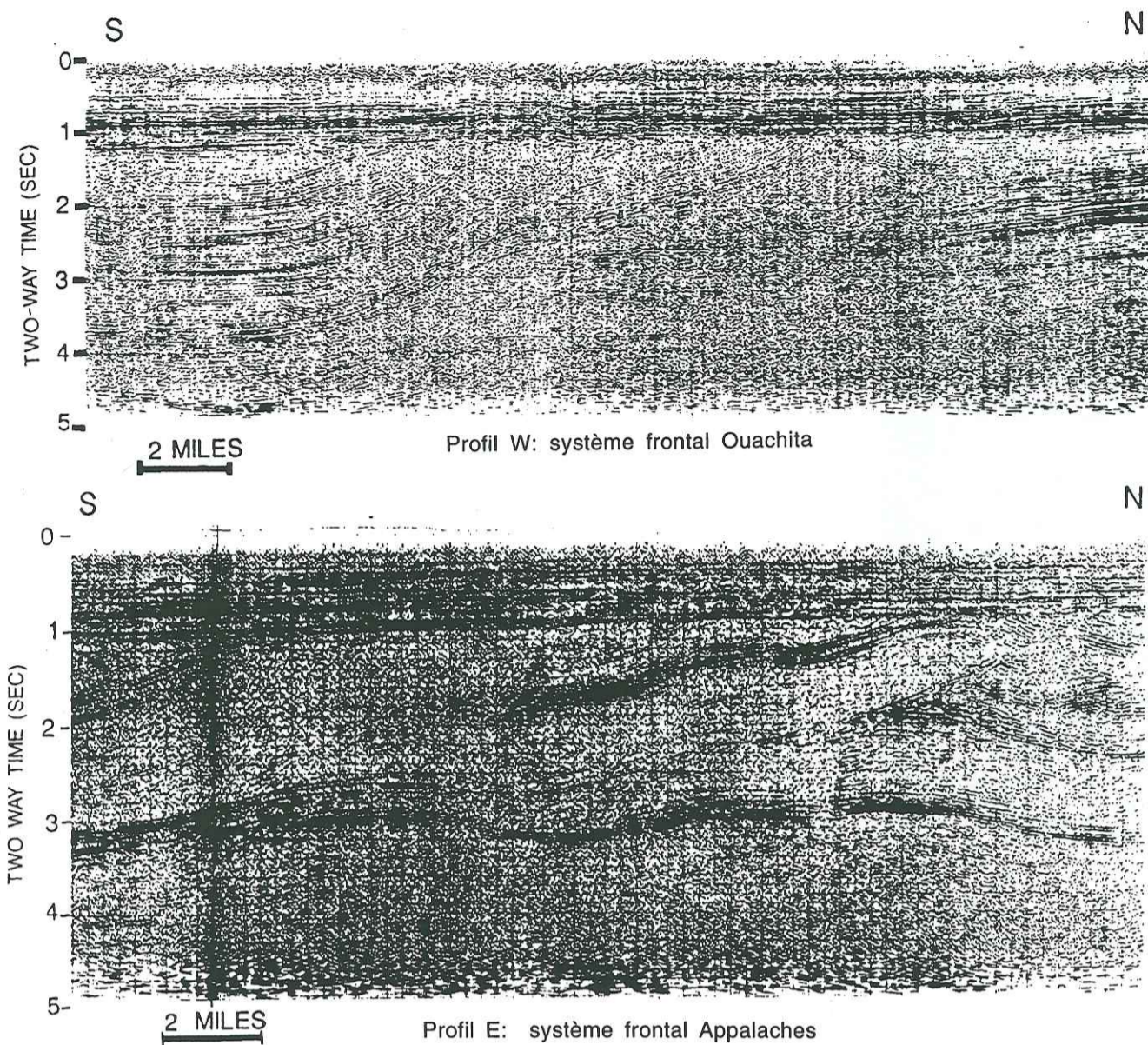


Fig.III-70: Profils sismiques des structures frontales des systèmes plissés de Ouachita et des Appalaches méridionales (Hale-Erlich et Coleman, 1993).

70a: profils vierges

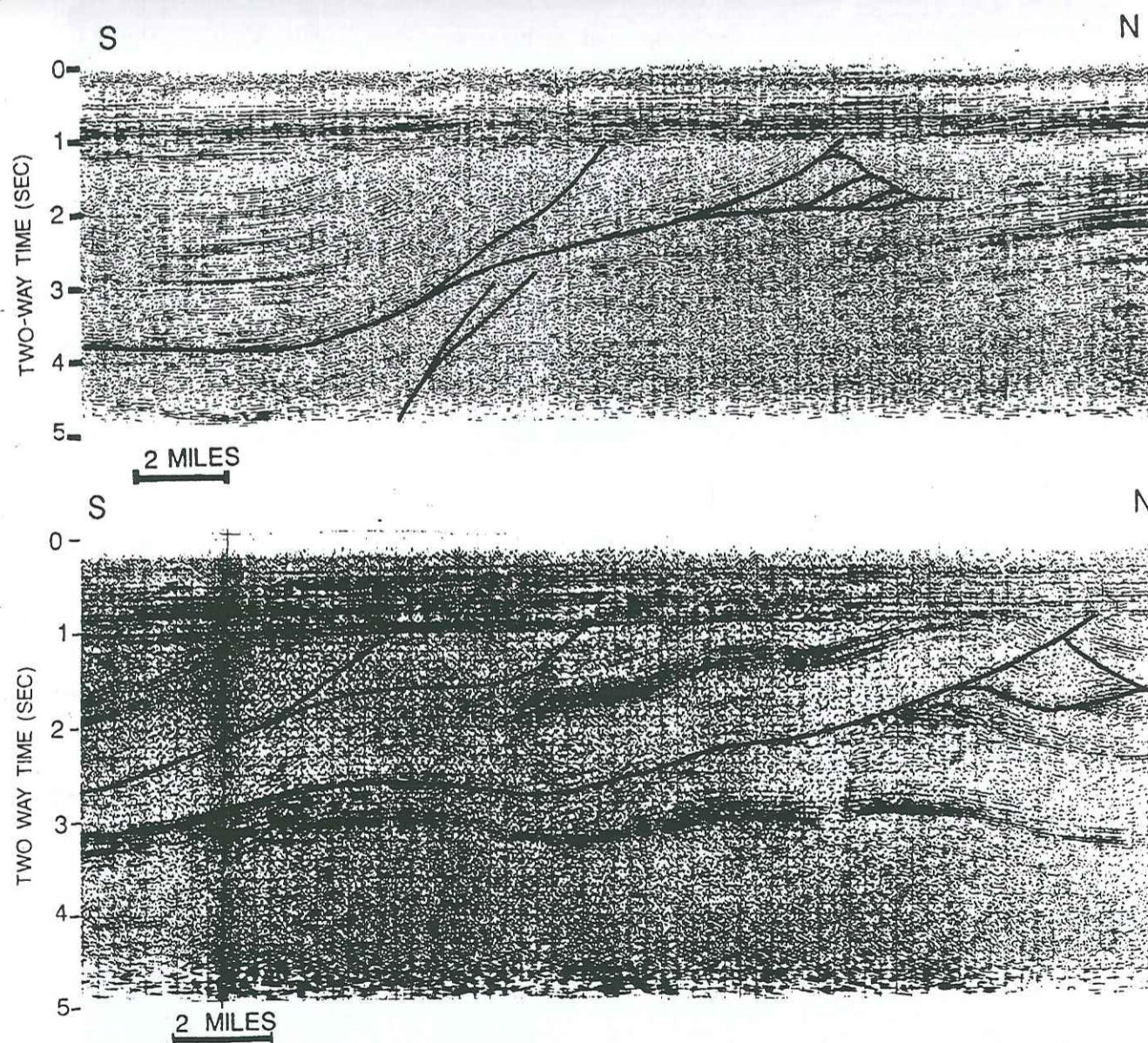
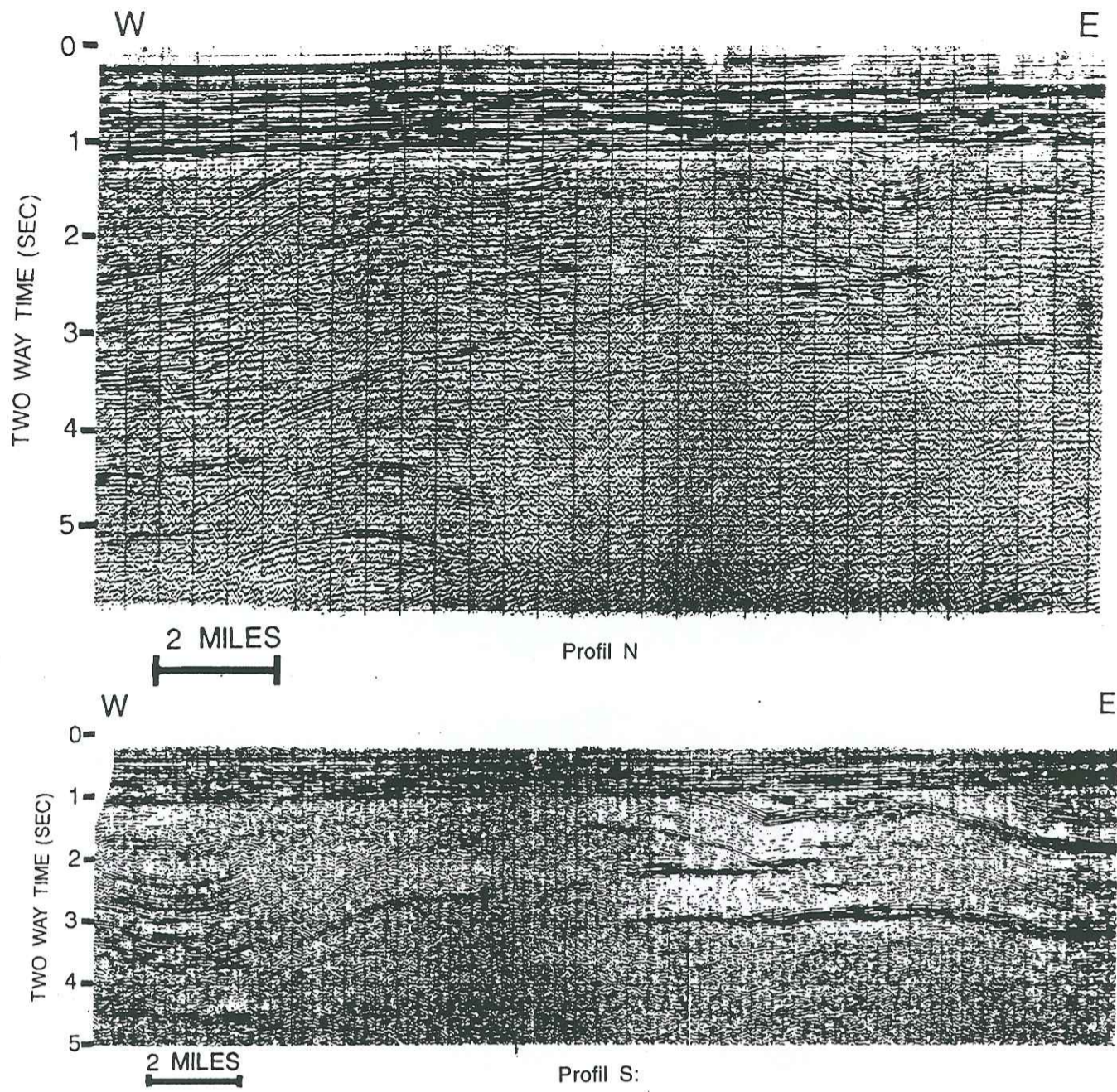


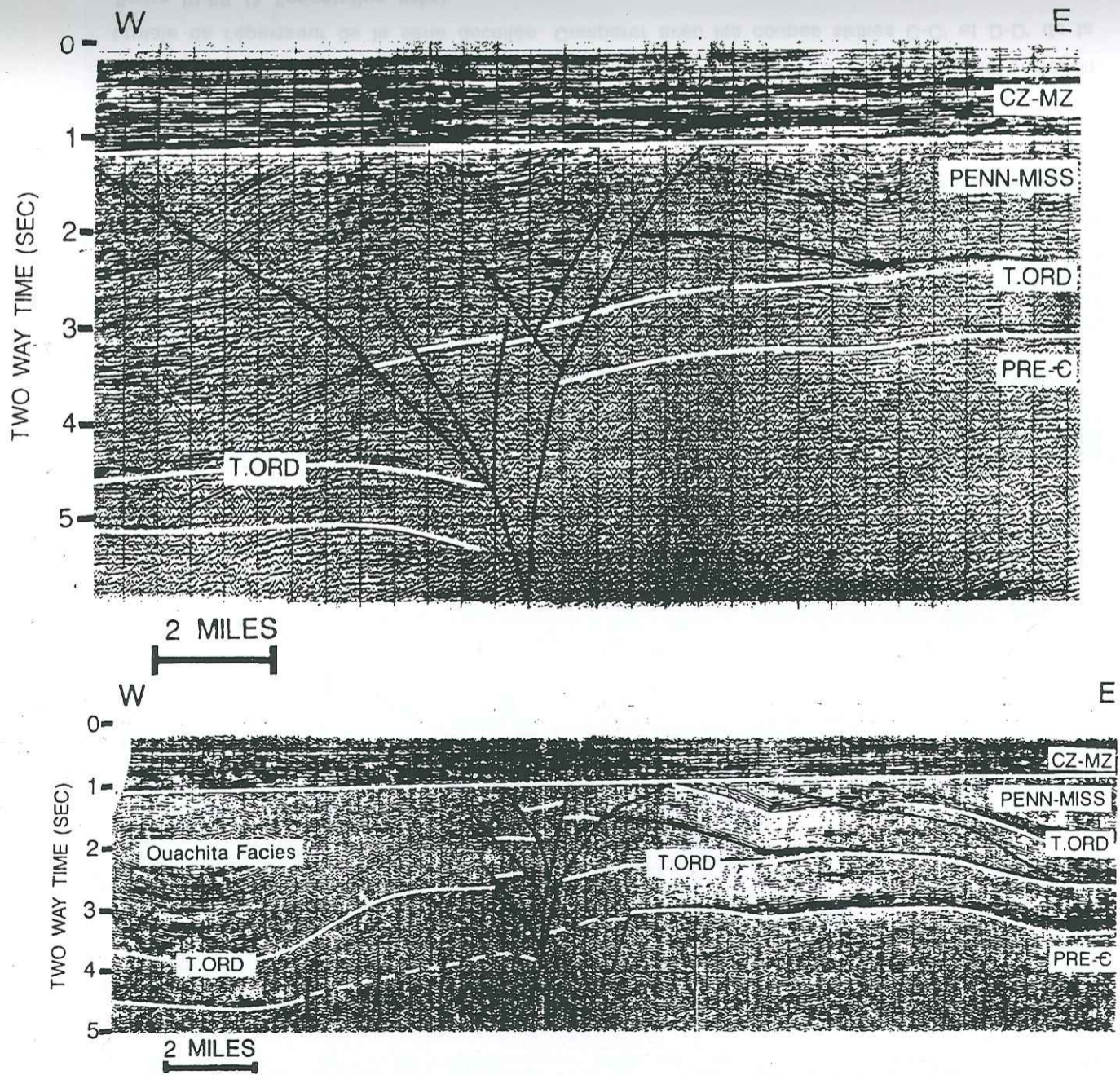
Fig.III-70b: profils pointés (d'après Hale-Erlich et Coleman, 1993; modifié).





**Fig.III-71:** Profils longitudinaux traversant la zone de jonction entre les structures Ouachita et les Appalaches méridionales (Hale-Erlich et Coleman, 1993)

71a: profils vierges



**Fig.III-71b:** interprétation des Hale-Erlich et Coleman (1993) en terme de structure en fleur positive associée à un régime transpressif impliquant à la fois le socle et la couverture allochtone.



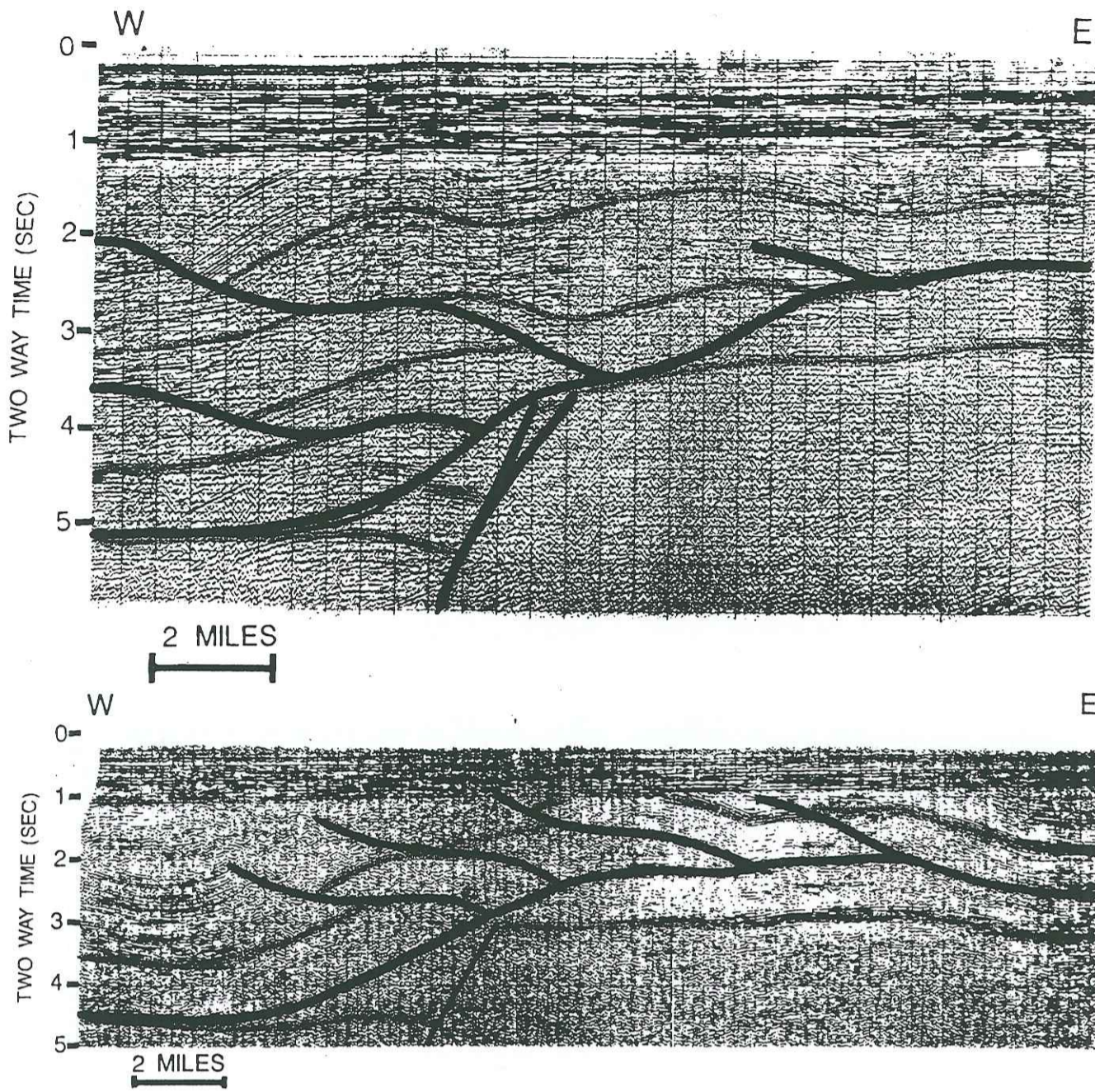


Fig.III-71c: interprétation en terme de rampe oblique développée à l'aplomb d'une variation brutale de l'épaisseur de la série décollée. Comparer avec les coupes strikes C-C' et D-D' de la figure III-66 (à l'orientation près).

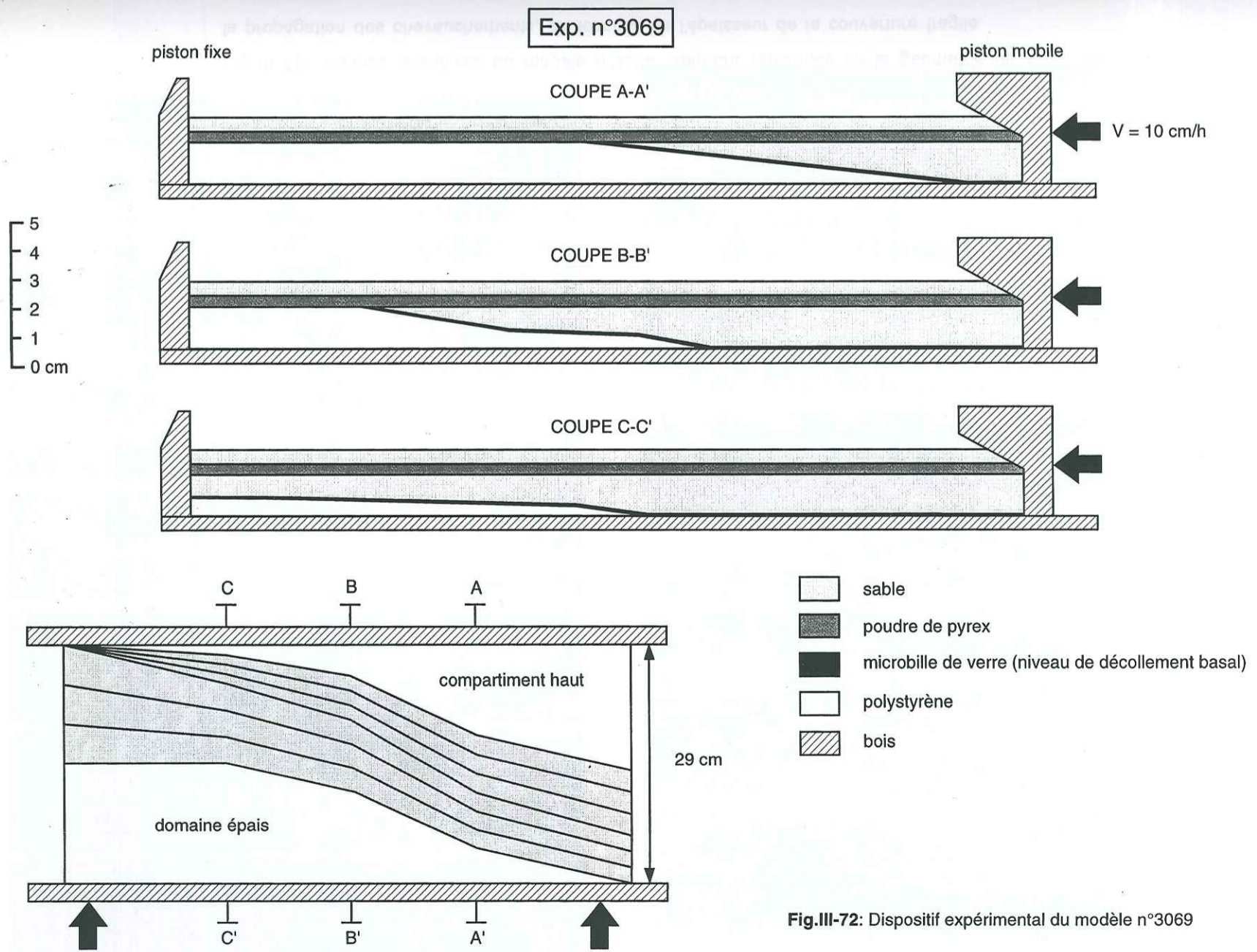


Fig.III-72: Dispositif expérimental du modèle n°3069

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



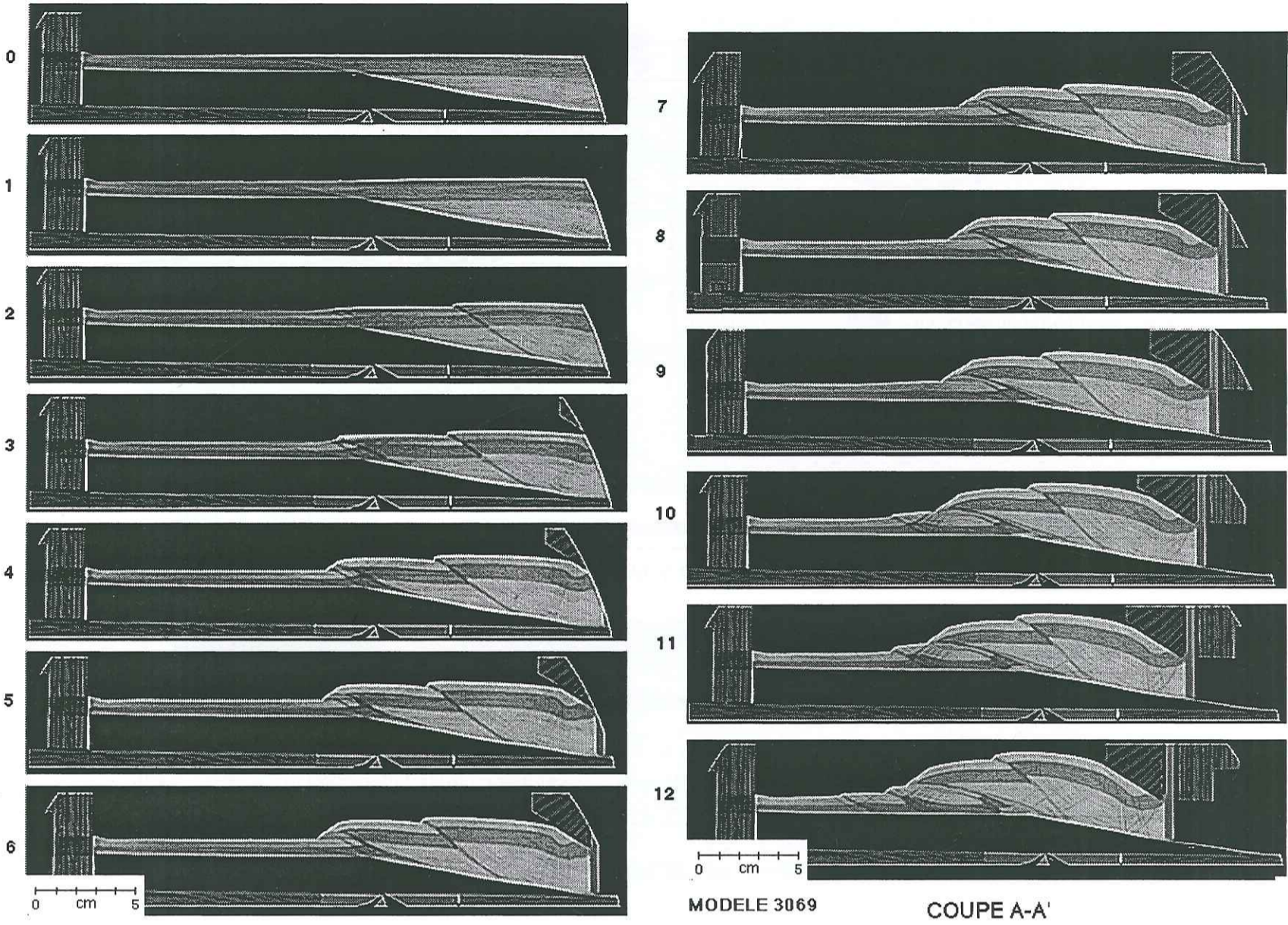


Fig.III-73: Coupes évolutives du modèle n°3069 montrant l'influence de la géométrie du socle sur la propagation des chevauchements, en fonction de l'épaisseur de la couverture fragile.

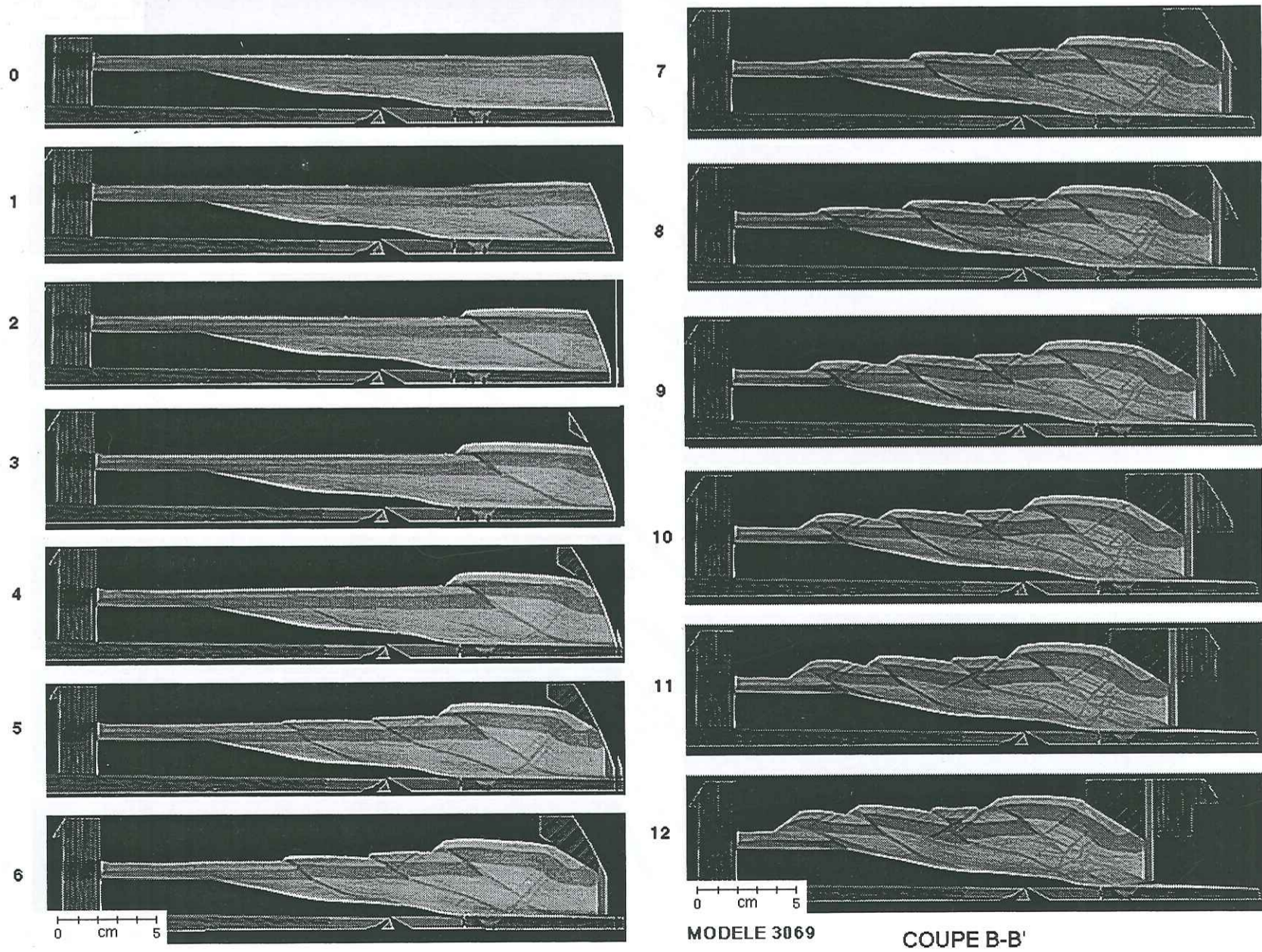


Fig.III-73 (suite)

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



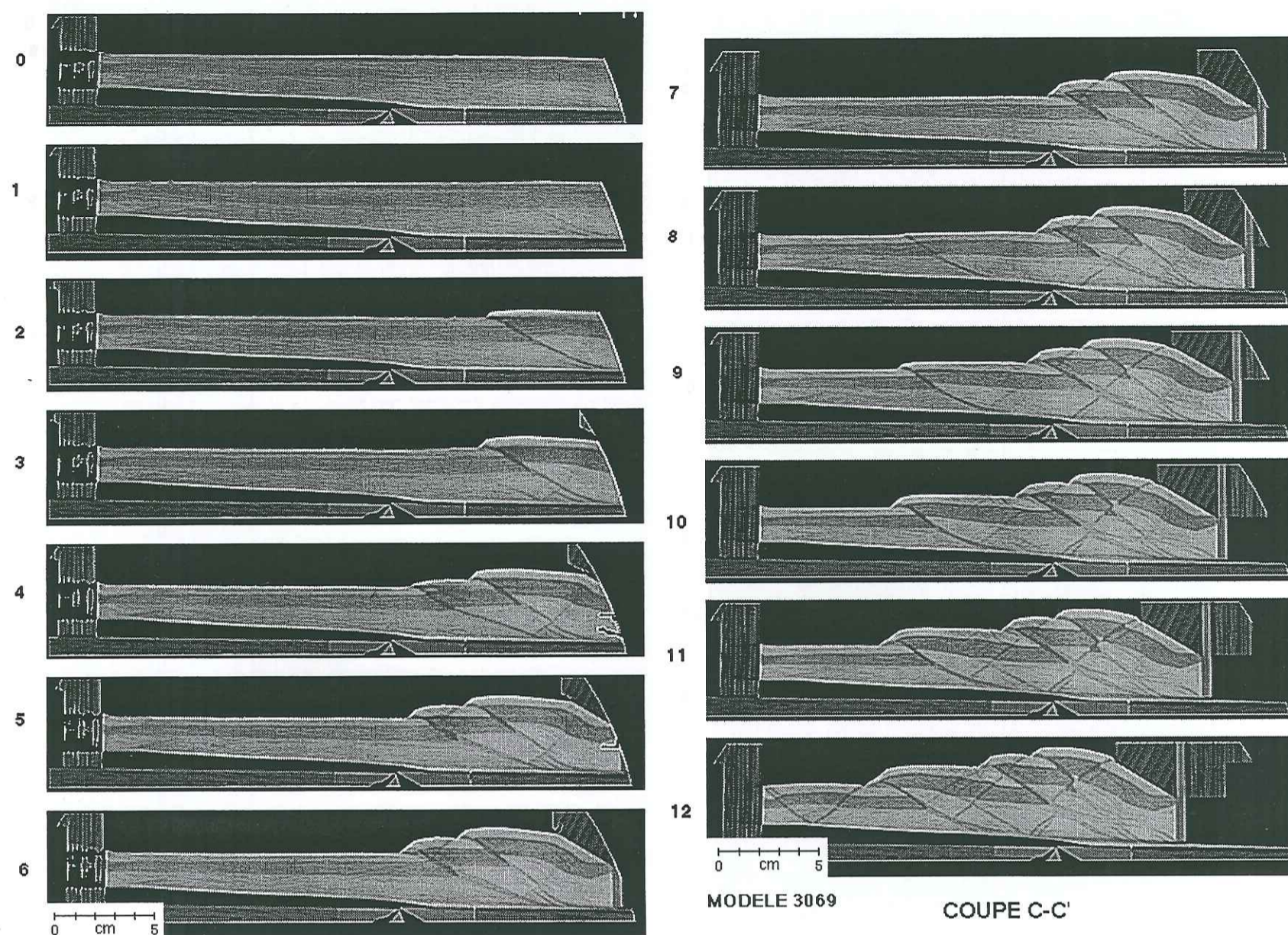


Fig.III-73 (suite)

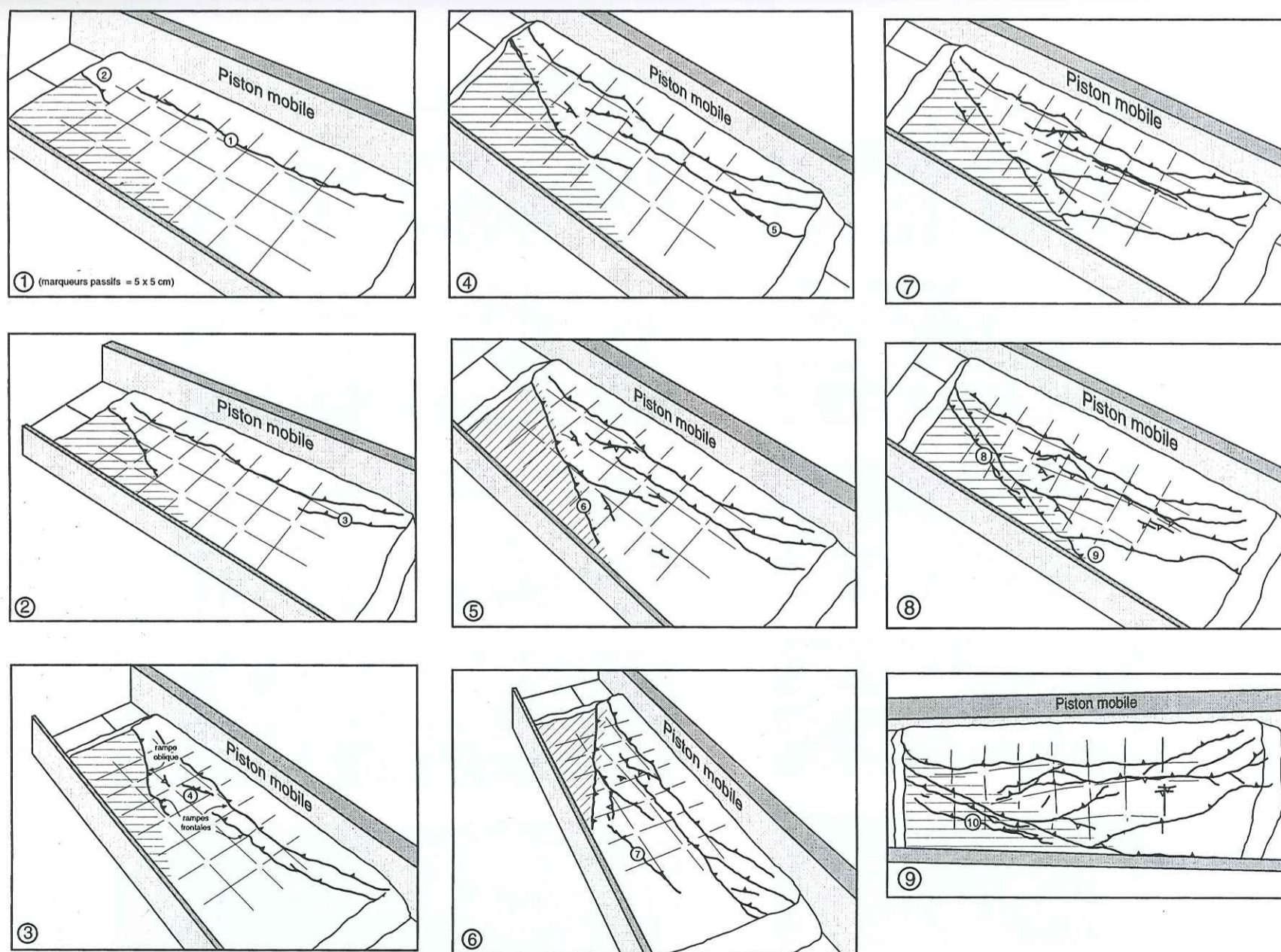


Fig.III-74: Vues de surface du modèle (d'après photographies) montrant l'évolution de la déformation en fonction du raccourcissement imposé et la géométrie des chevauchements. L'aire hachurée correspond au compartiment à faible épaisseur simulant le domaine jurassien.



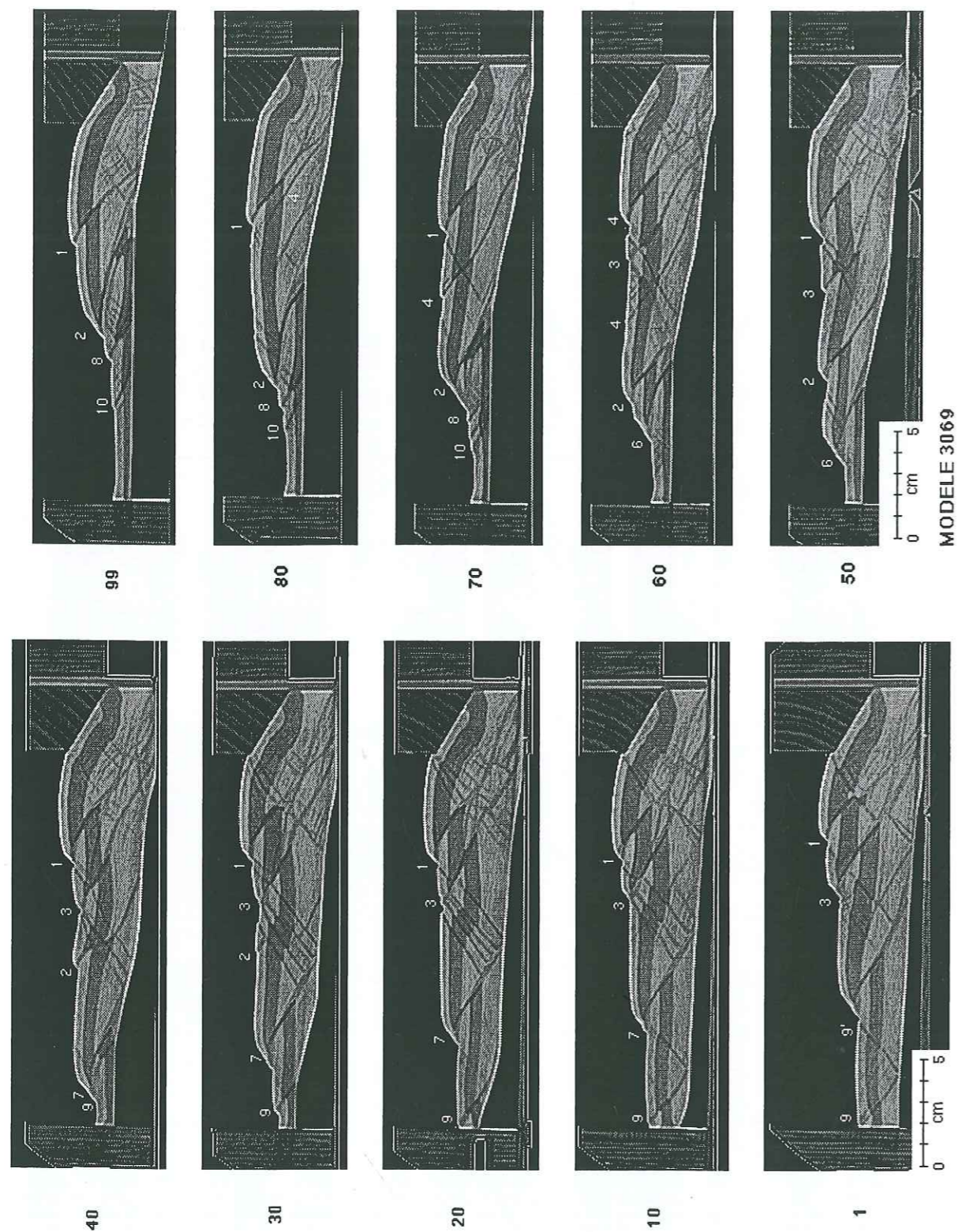


Fig.III-75: Coupes sériées à l'état final du modèle montrant l'évolution longitudinale des structures en fonction de la topographie du socle et de l'épaisseur de la couche fragile raccourcie. La numérotation des accidents est la même que sur les vues de surfaces.

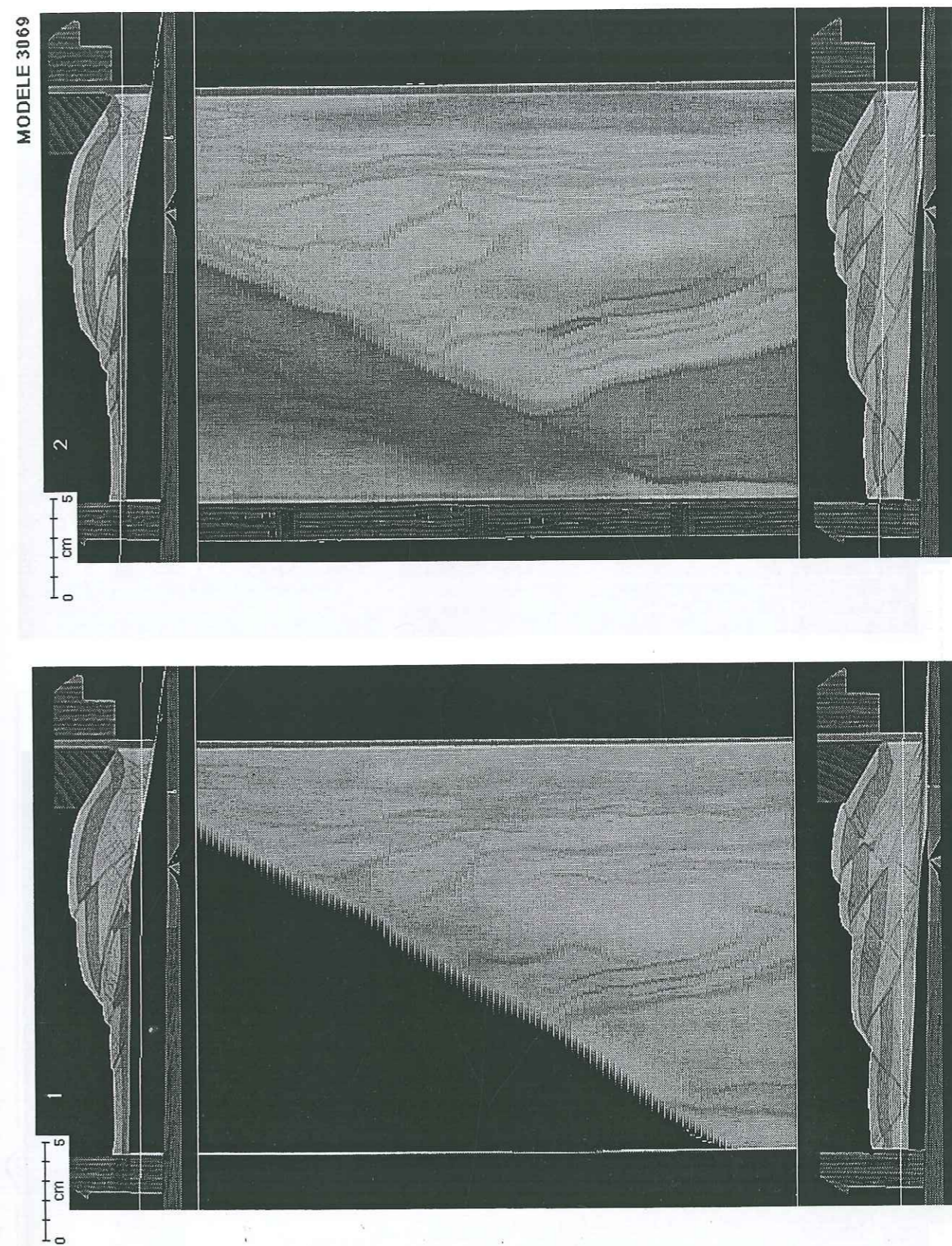


Fig.III-76: Coupes horizontales du modèle à 4 hauteurs différentes illustrant la géométrie en profondeur des chevauchements.

70a: coupes scanner vierges et localisation sur les coupes transversales



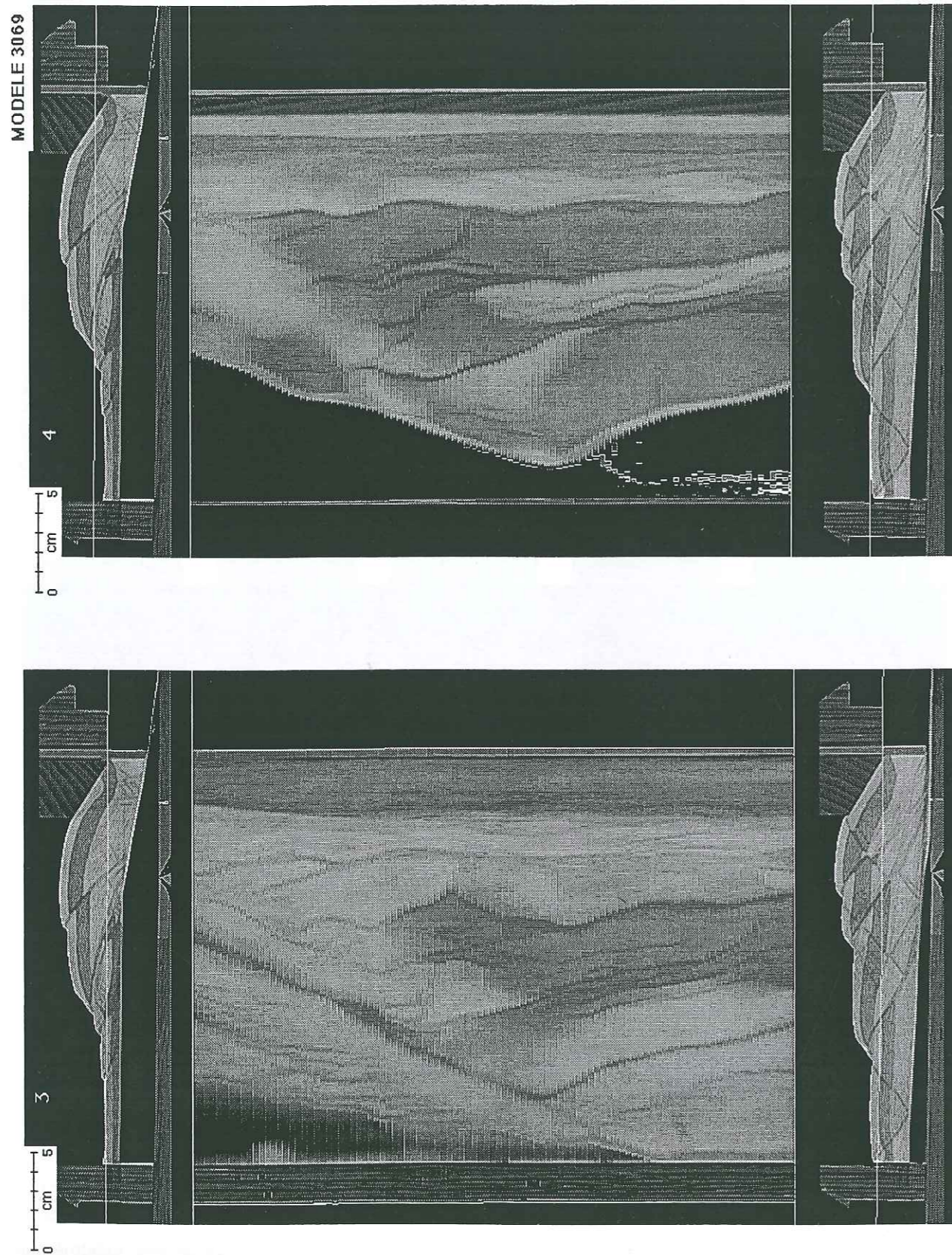


Fig.III-76a (suite)

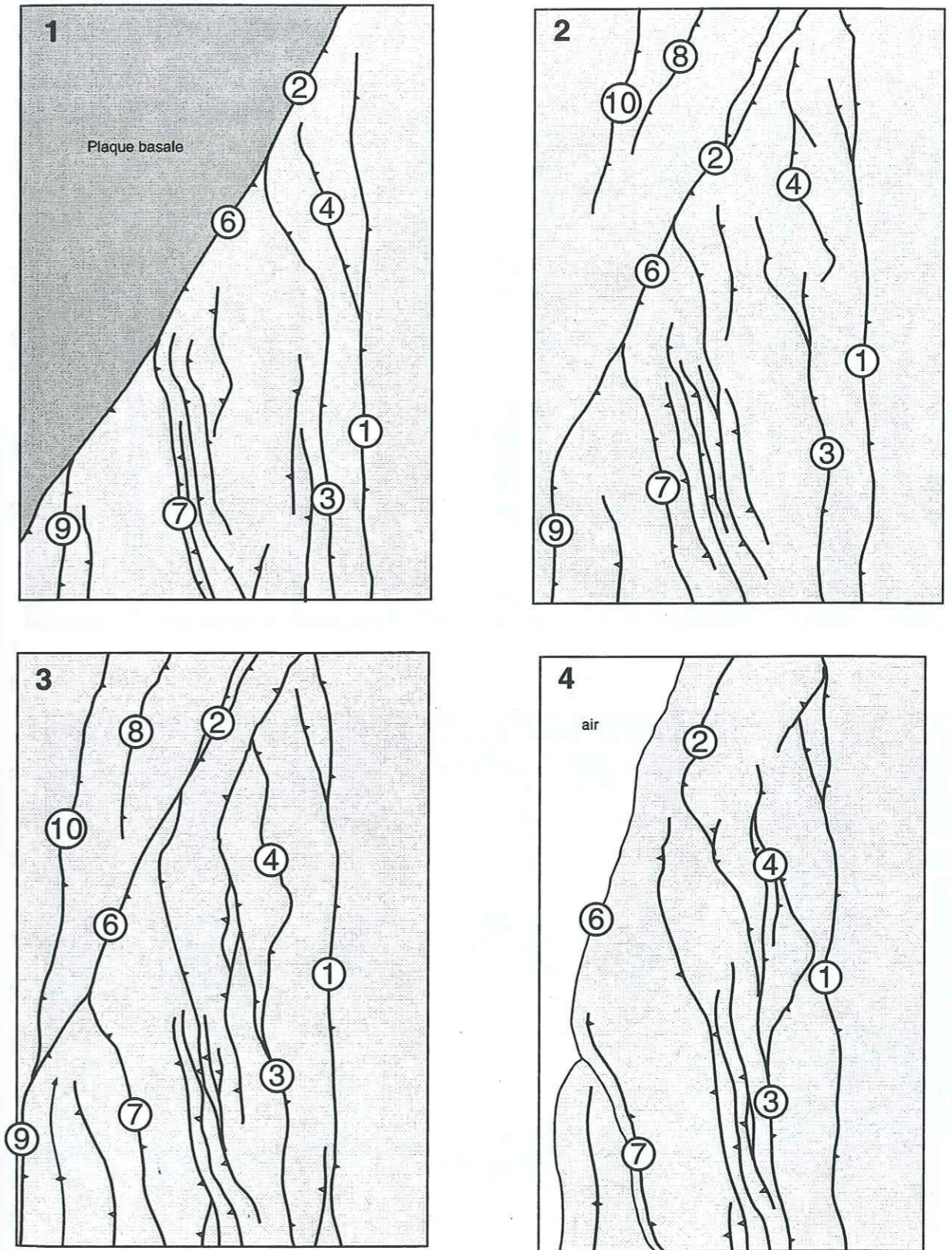


Fig.III-76b: Interprétation des coupes horizontales (seules les failles sont dessinées)



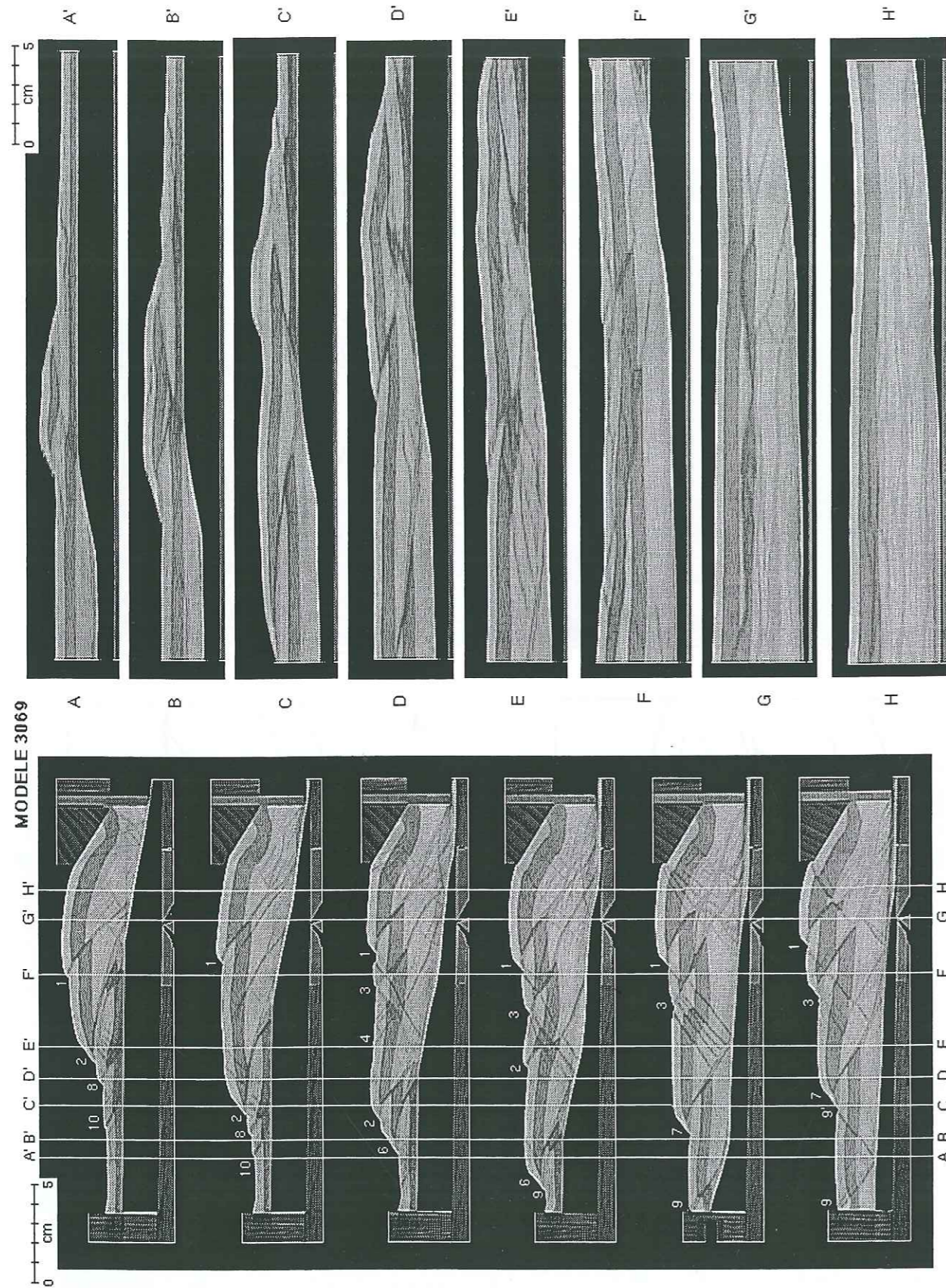


Fig.III-77: Coupes longitudinales sériées au stade final

77a: coupés scanner vierges et localisation sur une série de coupes transversales

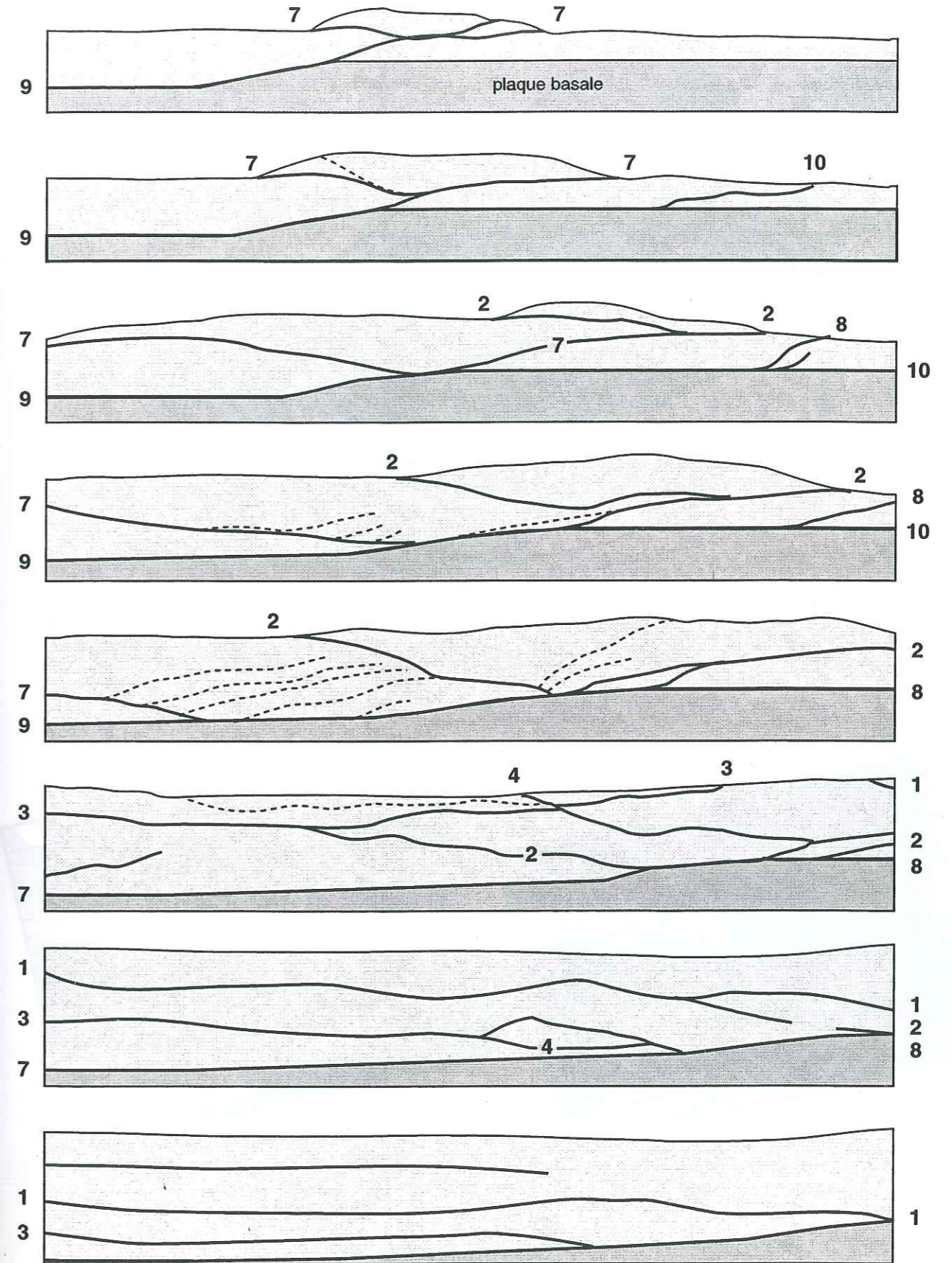


Fig.III-77b: Coupes longitudinales interprétées

Les rétrochevauchements sont indiqués en pointillé et la numérotation des chevauchements est la même que pour les vues de surfaces

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



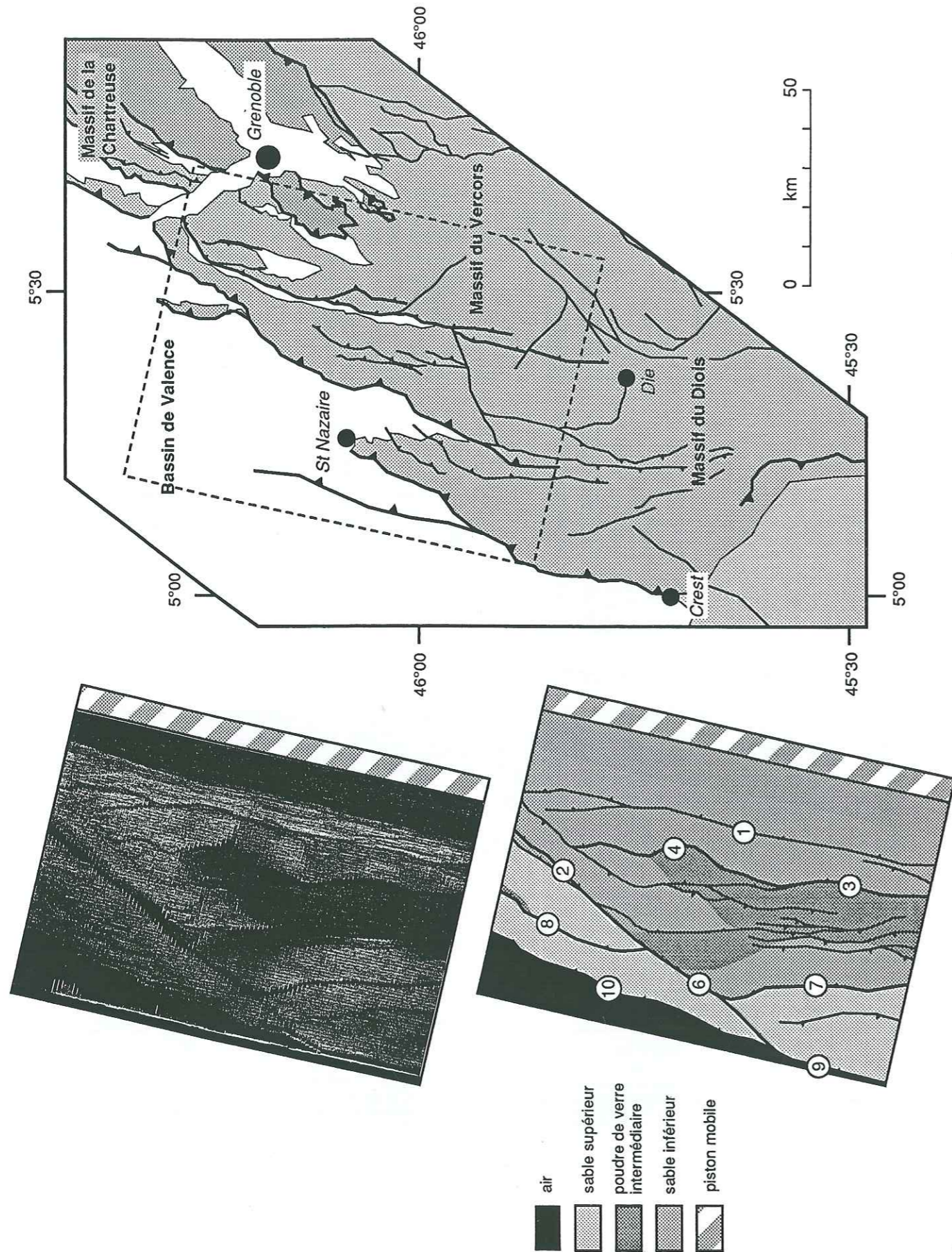


Fig.III-78: Comparaison entre une coupe horizontale du modèle et le massif du Vercors occidental.

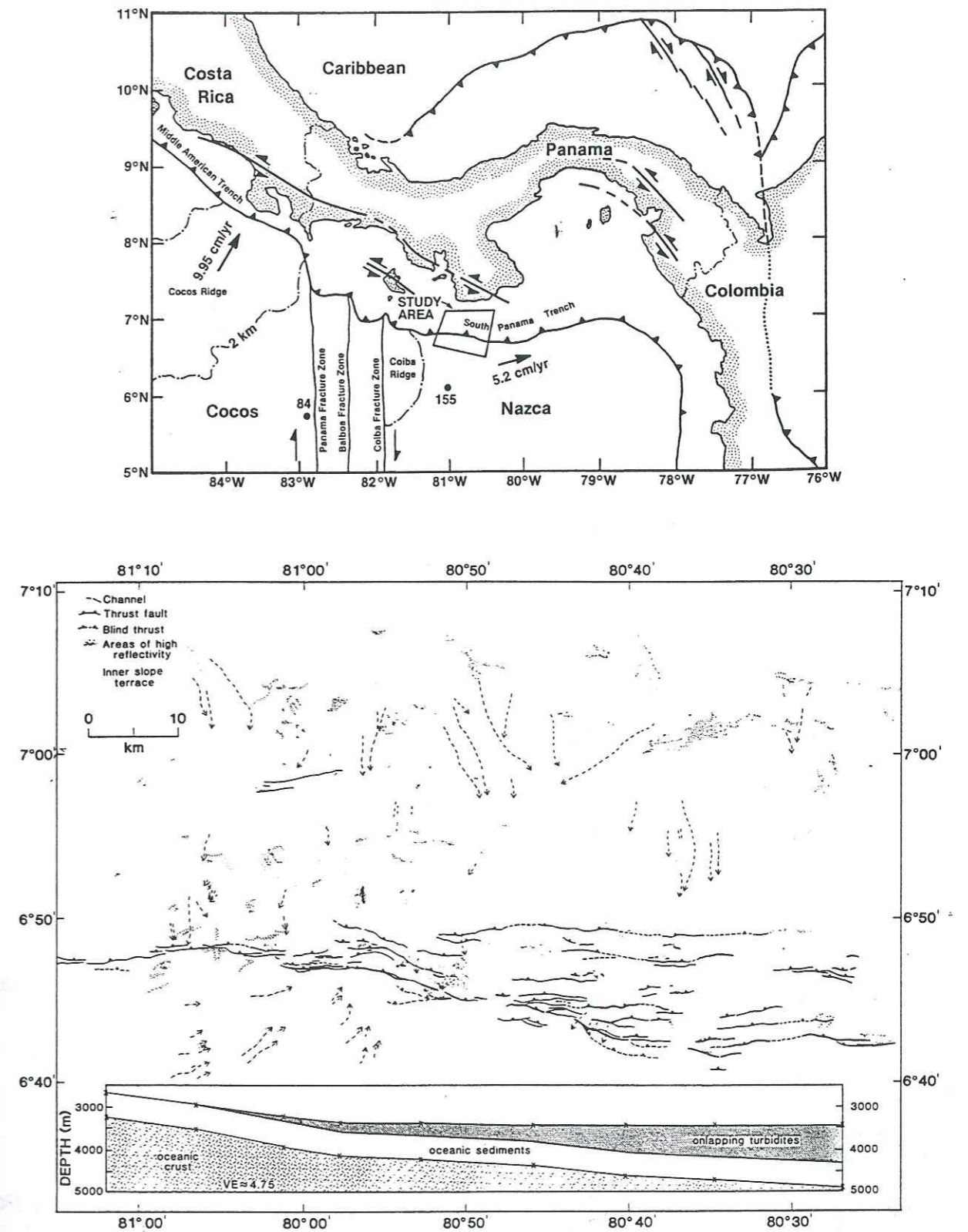


Fig.III-79: L'exemple du prisme d'accrétion sud-Panama (MacKay et Moore, 1990).

79a: carte de localisation de la zone d'étude.

79b: carte structurale du front du prisme d'accrétion sud-panaméen et profil longitudinal.

Noter le décalage progressif du front de déformation vers le sud en fonction de l'épaississement graduel vers l'est des séries turbiditiques accrétées.

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



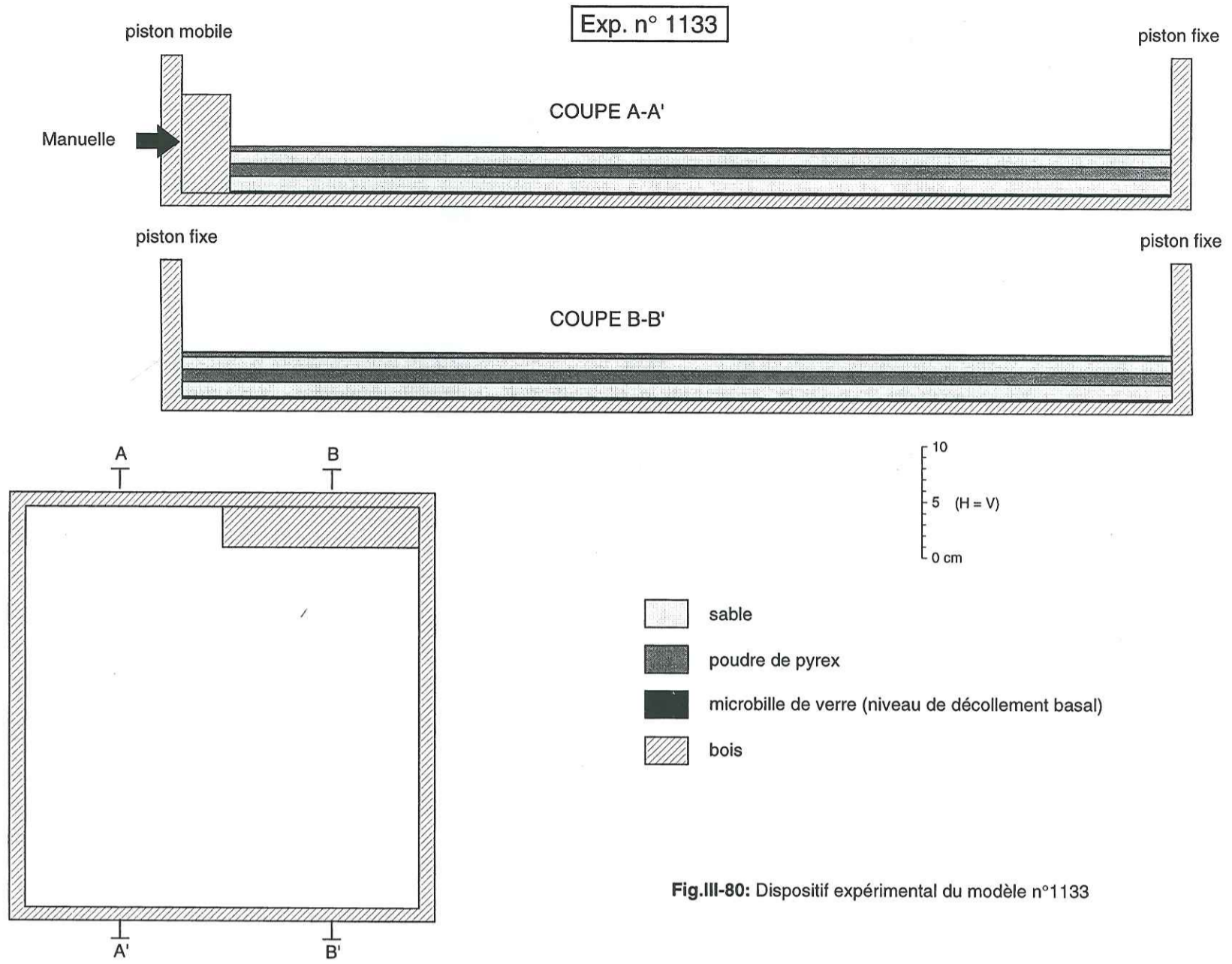


Fig.III-80: Dispositif expérimental du modèle n°1133

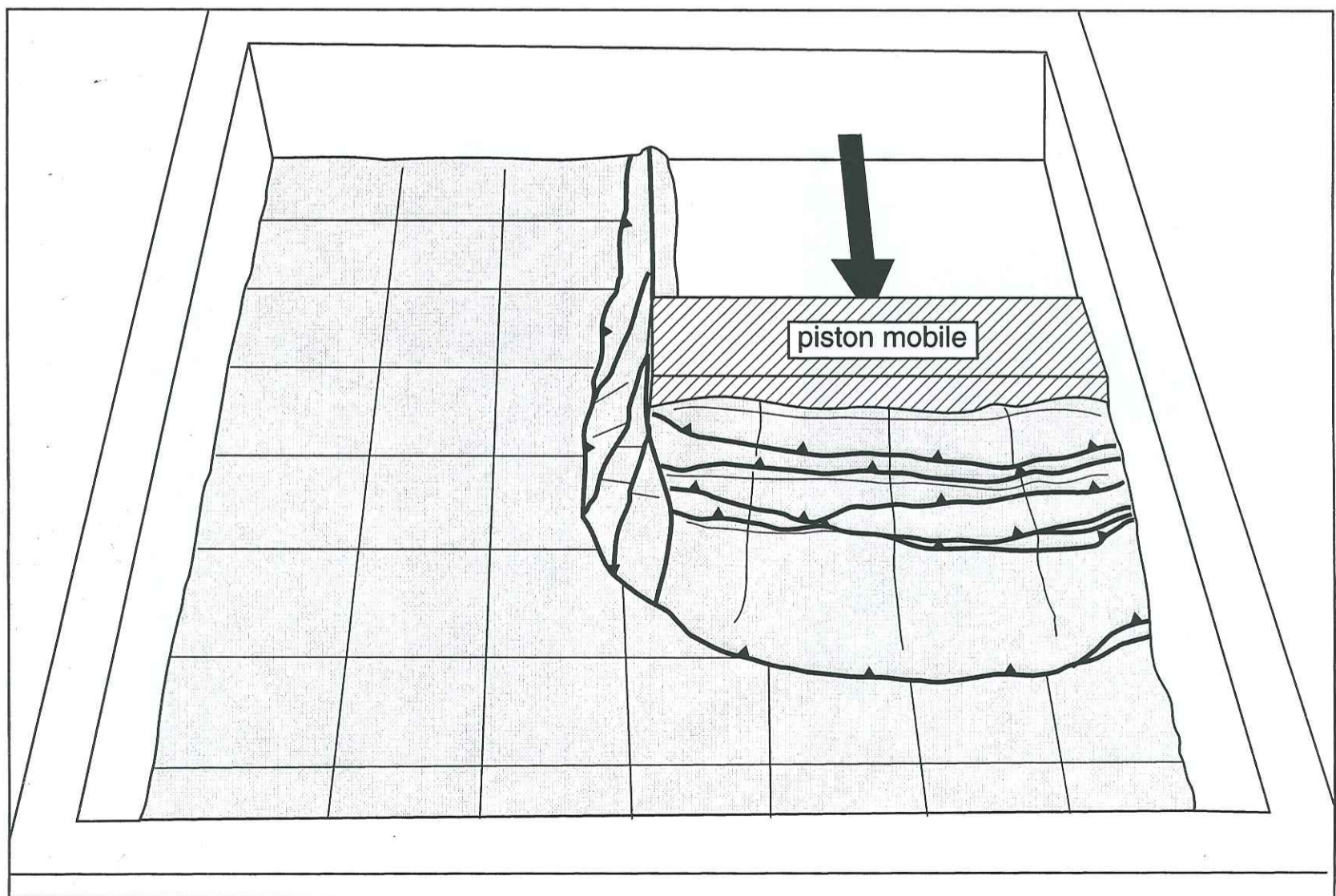


Fig.III-81: Vue de surface du modèle à l'état final (d'après photographie).



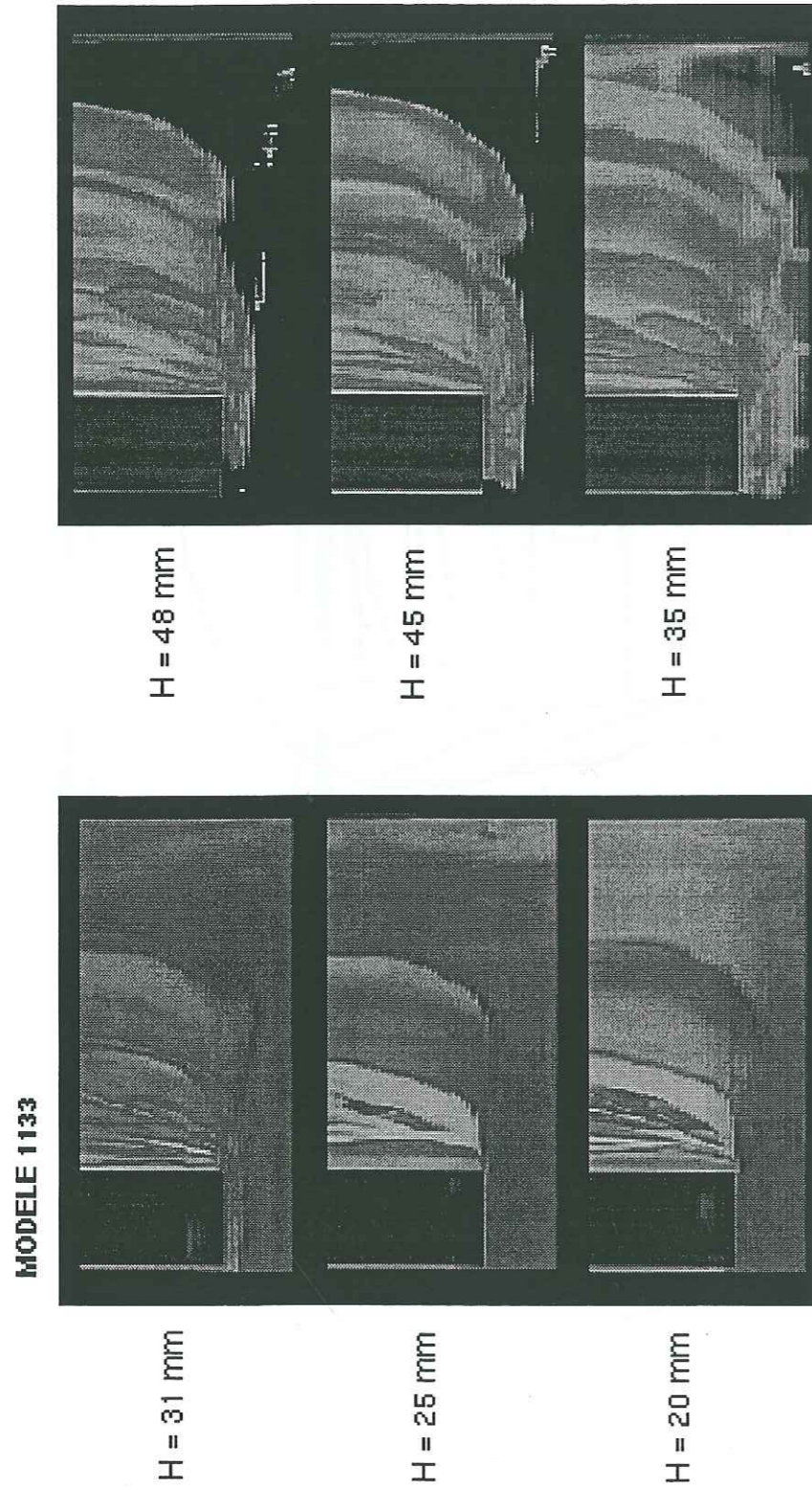


Fig.III-82: Coupes horizontales sériées du modèle n°1133  
82a: coupes scanner vierges

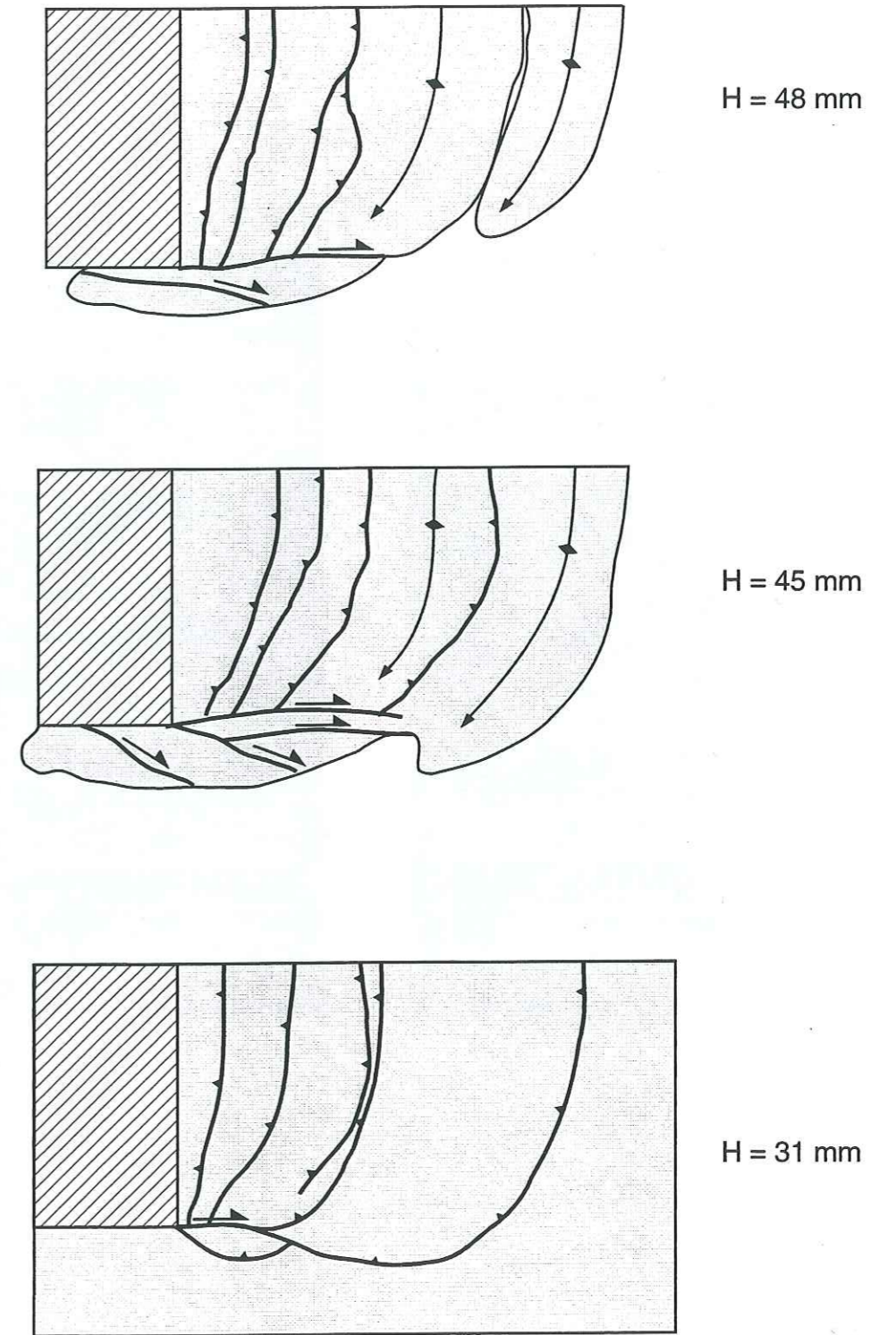


Fig.III-82b: Coupes horizontales interprétées



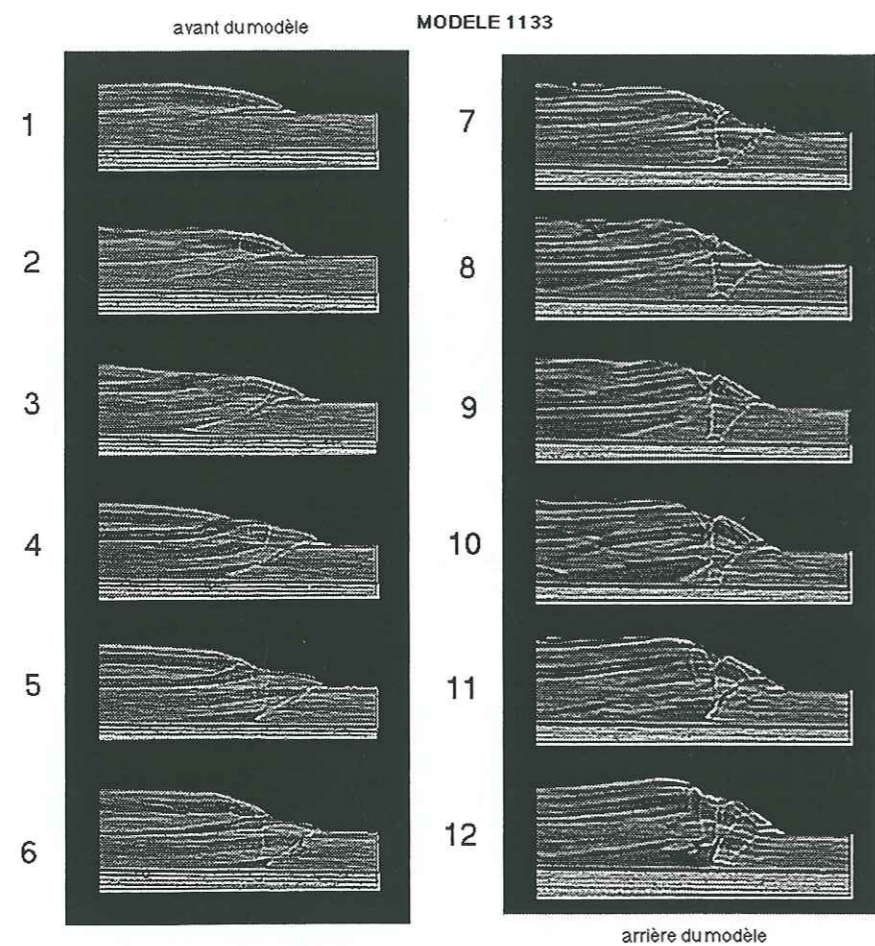


Fig.III-83: Coupes longitudinales sériées du modèle n°1133  
83a: coupes scanner vierges

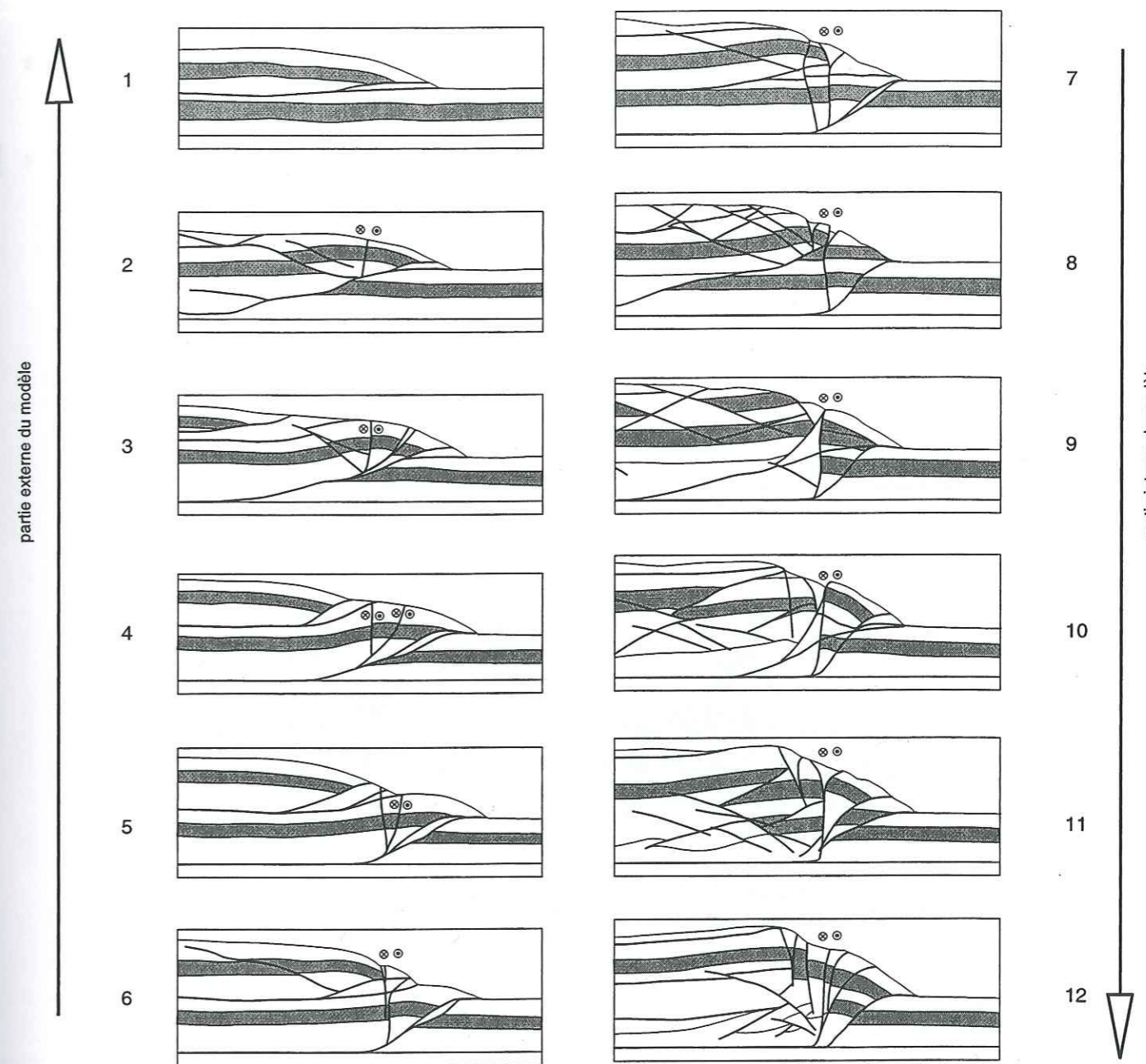


Fig.III-83b: Coupes longitudinales interprétées.

Noter le redressement progressif des rampes latérales de l'avant vers l'arrière du modèle et le développement de zones en fleur qui se raccordent à la base sur un chevauchement plat.



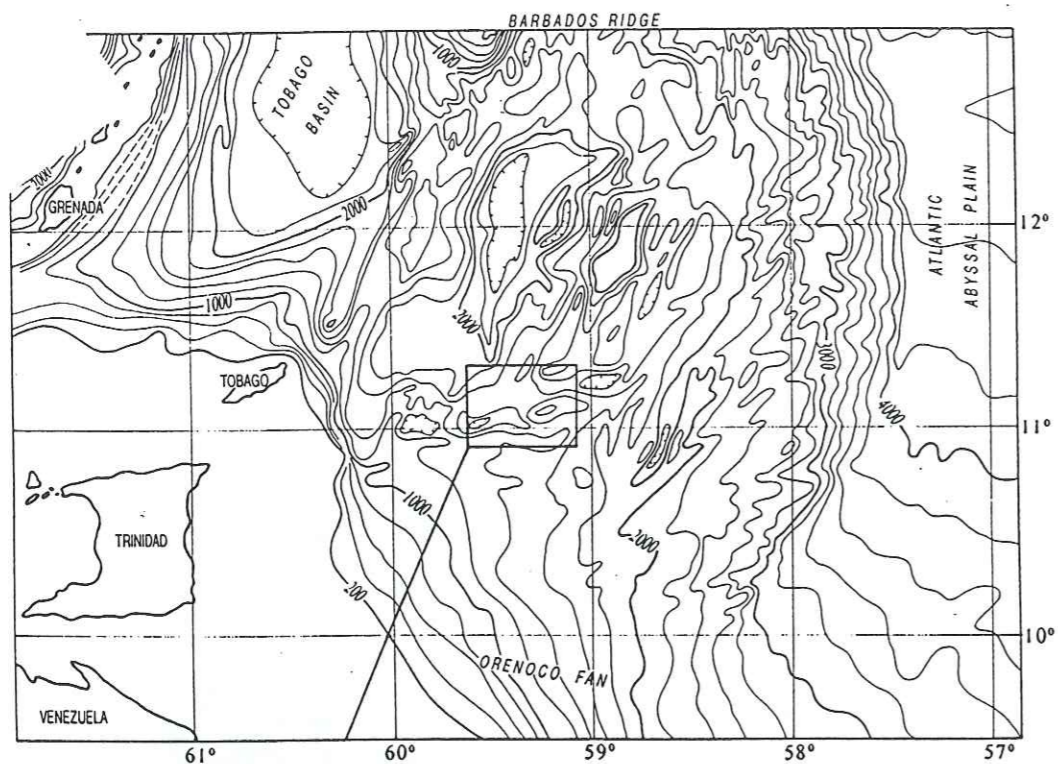


Fig.III-84: Carte bathymétrique de la région sud du prisme de la Barbade (Masclé, comm. pers.) et localisation de la zone de transfert étudiée.

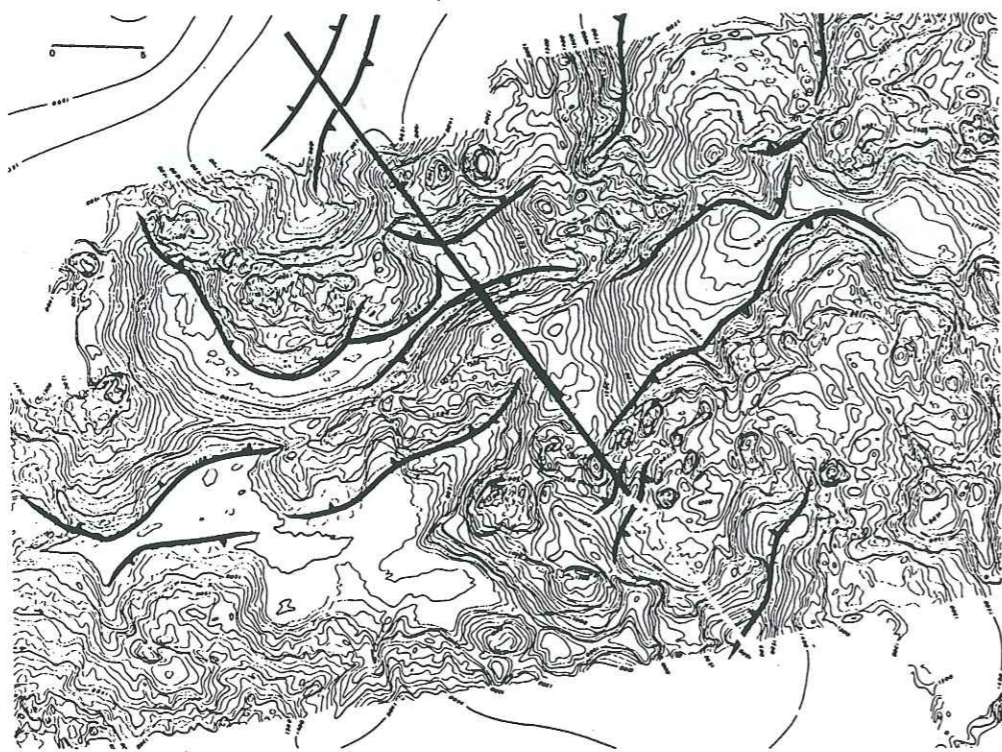


Fig.III-85: Carte sea-beam de la partie centrale de la terminaison méridionale du prisme de la Barbade (Masclé, comm. pers.) et localisation du profil sismique de la figure III-86.

Noter la double vergence des structures, leur disposition en échelon, et leur faible extension latérale.

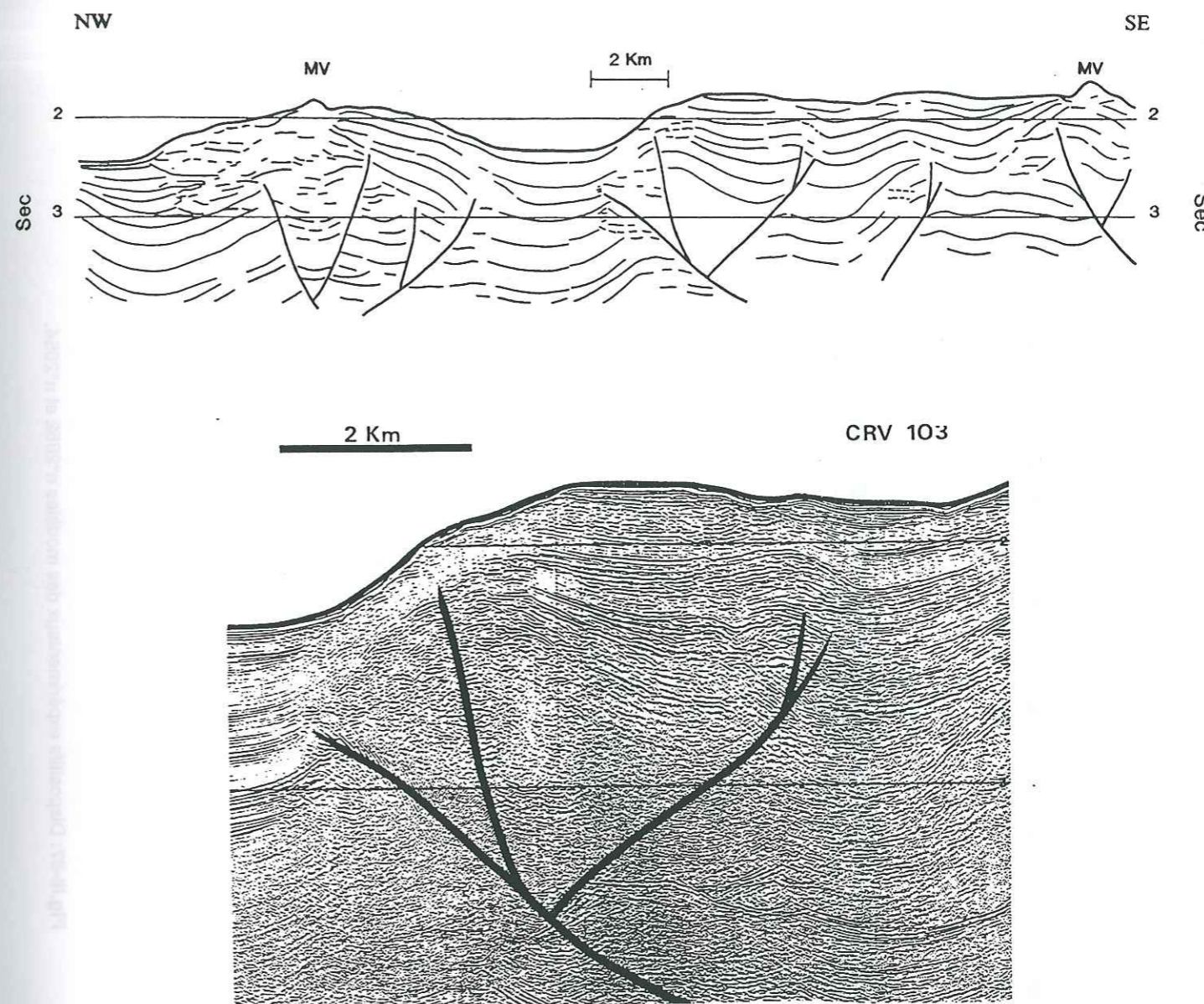


Fig.III-86: Line-Drawing du profil sismique recoupant la zone de transfert sud-Barbade (Masclé, comm. pers.) et vue de détail.

Les structures représentées sur cette coupe s'apparentent à des zones en fleur positives qui se raccordent très probablement en profondeur sur un niveau de détachement situé à la base des séries accrétées du prisme.



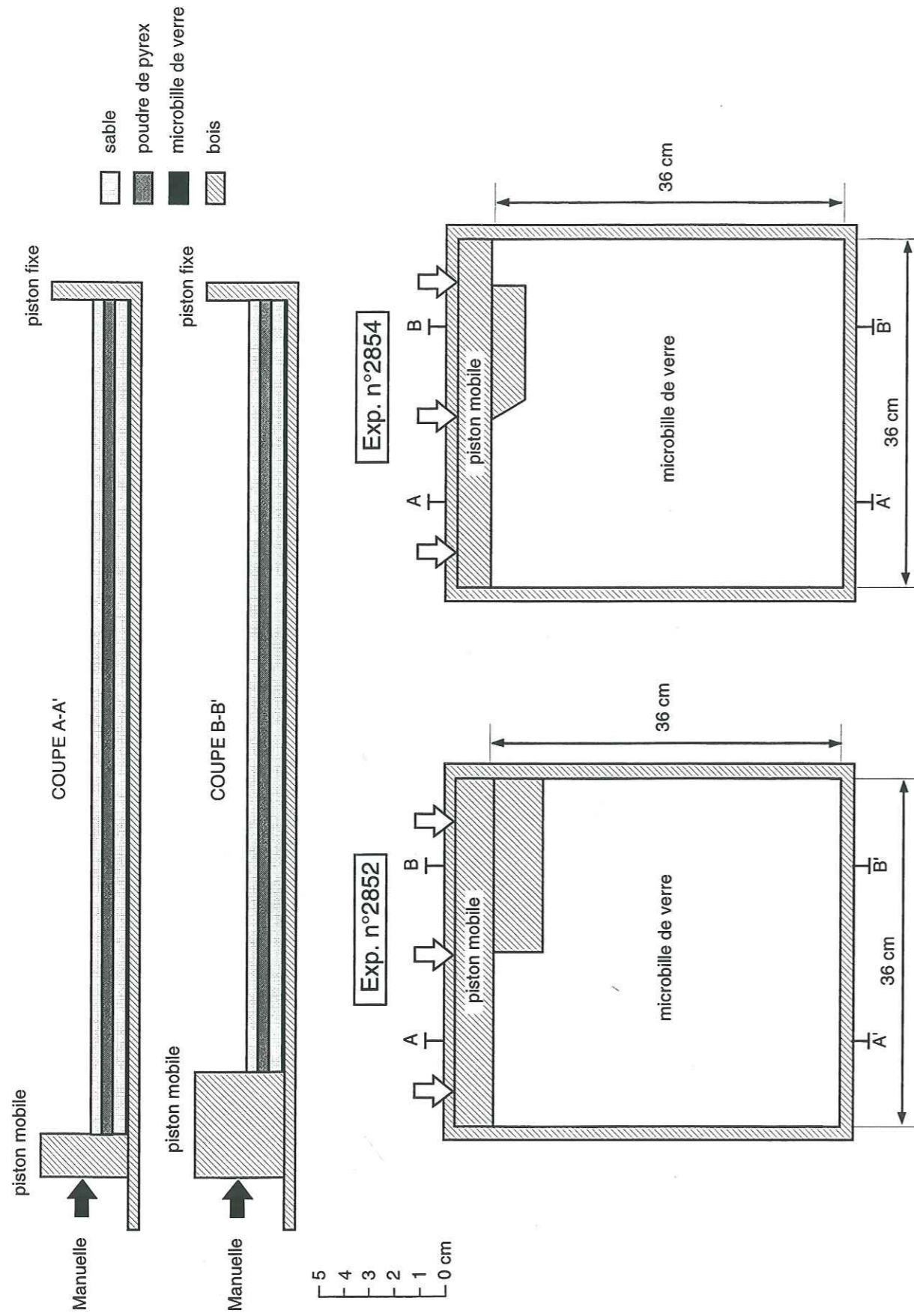


Fig.III-87: Dispositifs expérimentaux des modèles n°2852 et n°2854.

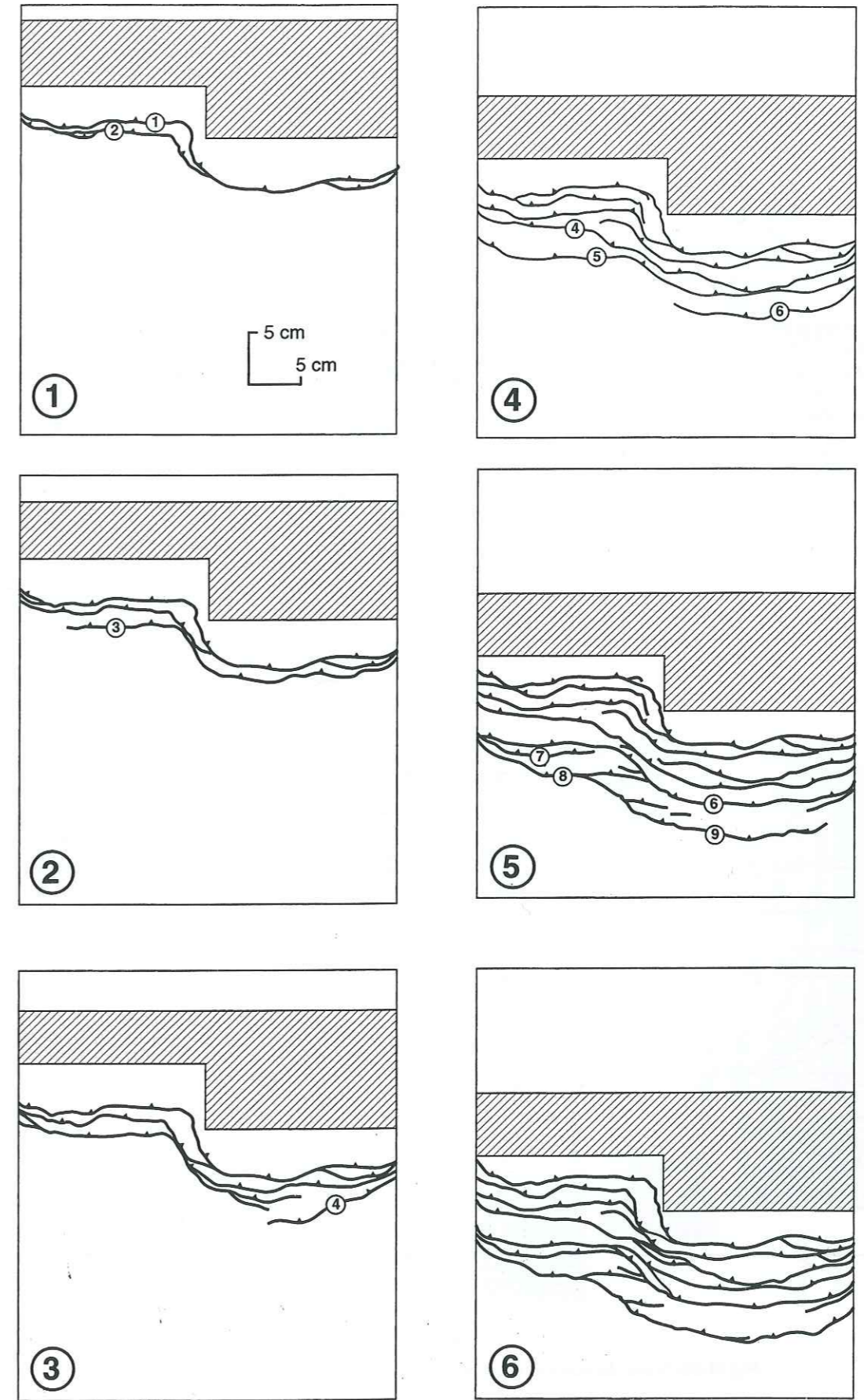


Fig.III-88: Vues de surface évolutives du modèle n°2852 (d'après photographies).



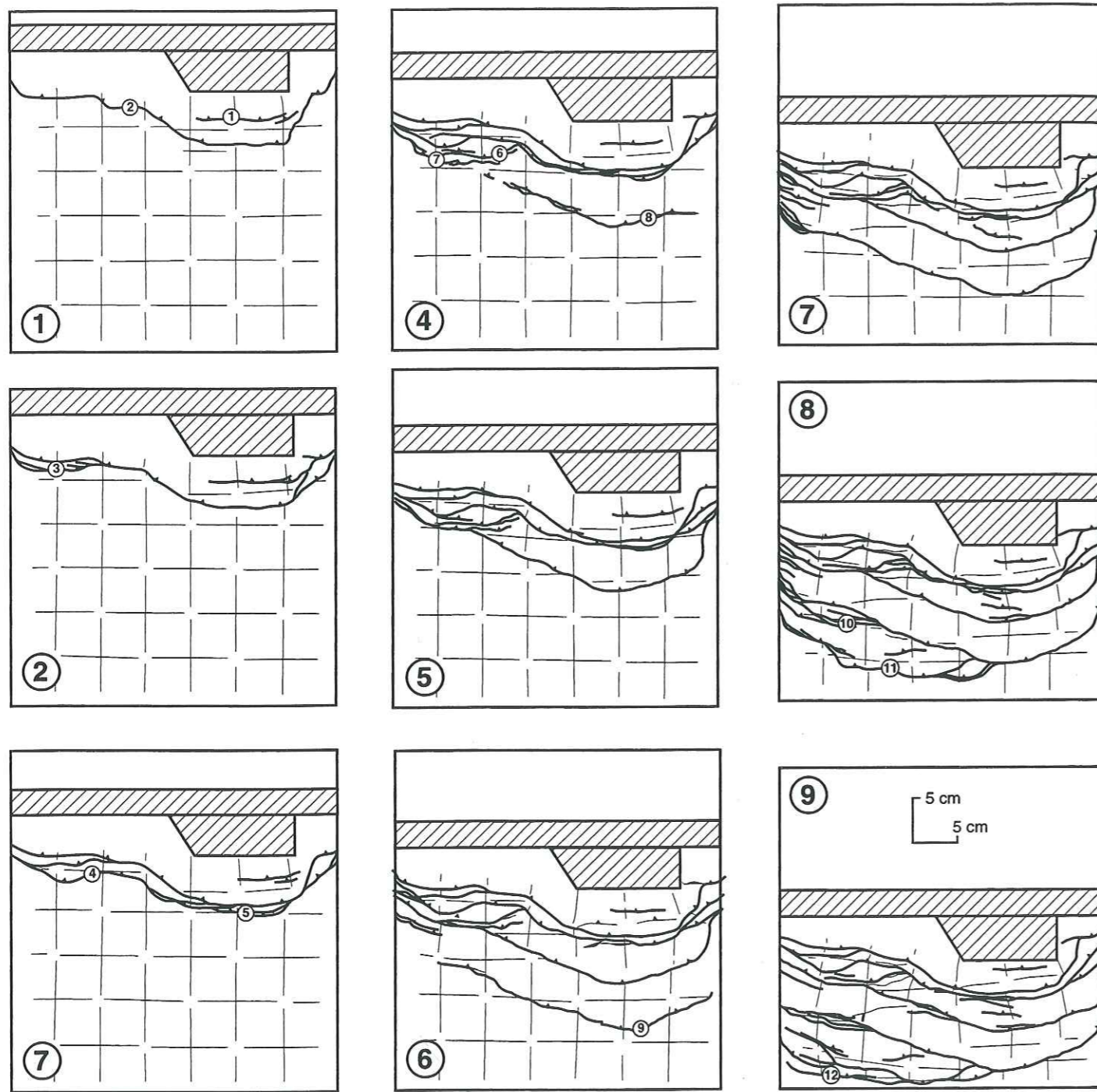


Fig.III-89: Vues de surface évolutives du modèle n°2854 (d'après photographies).

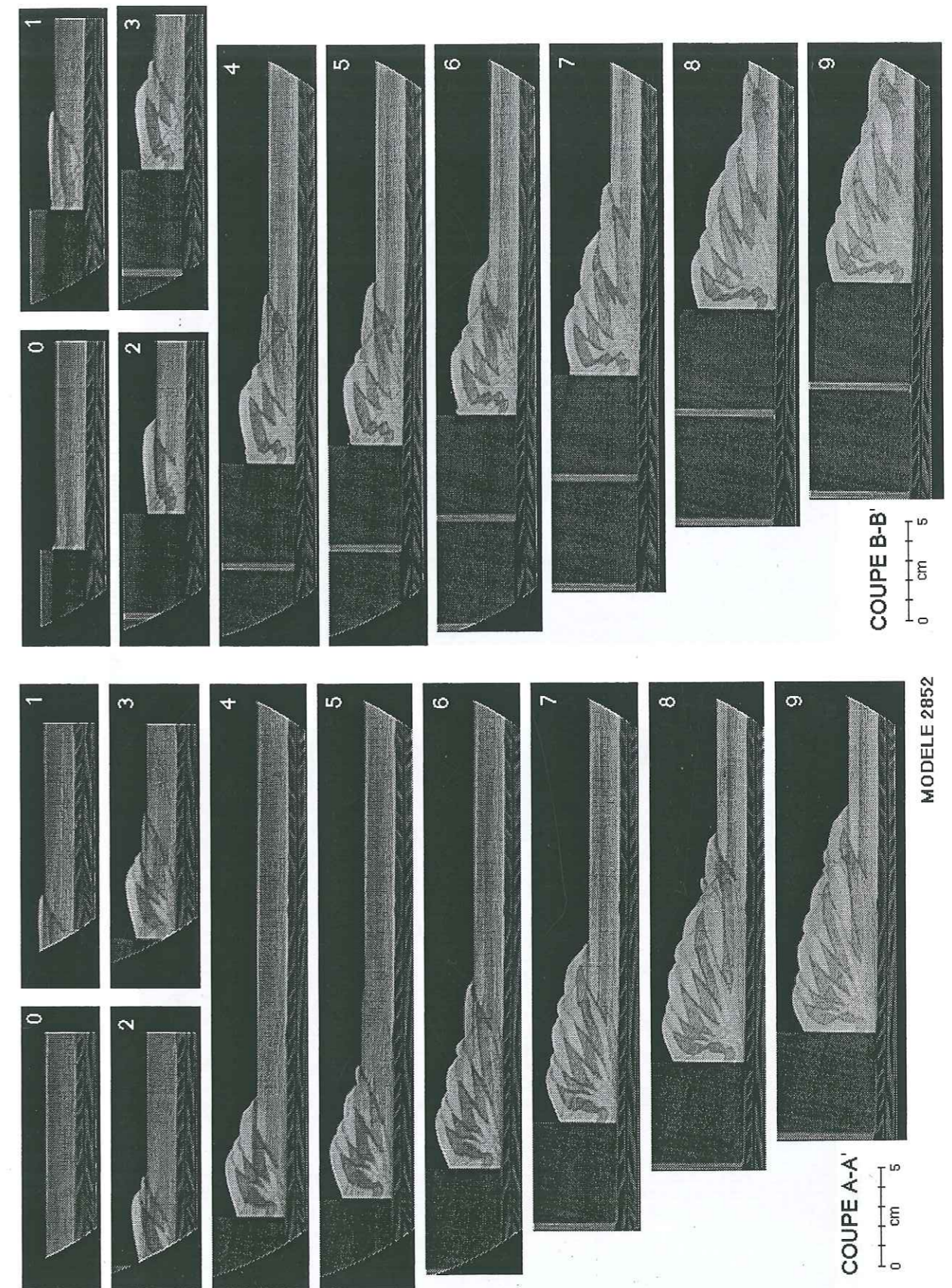
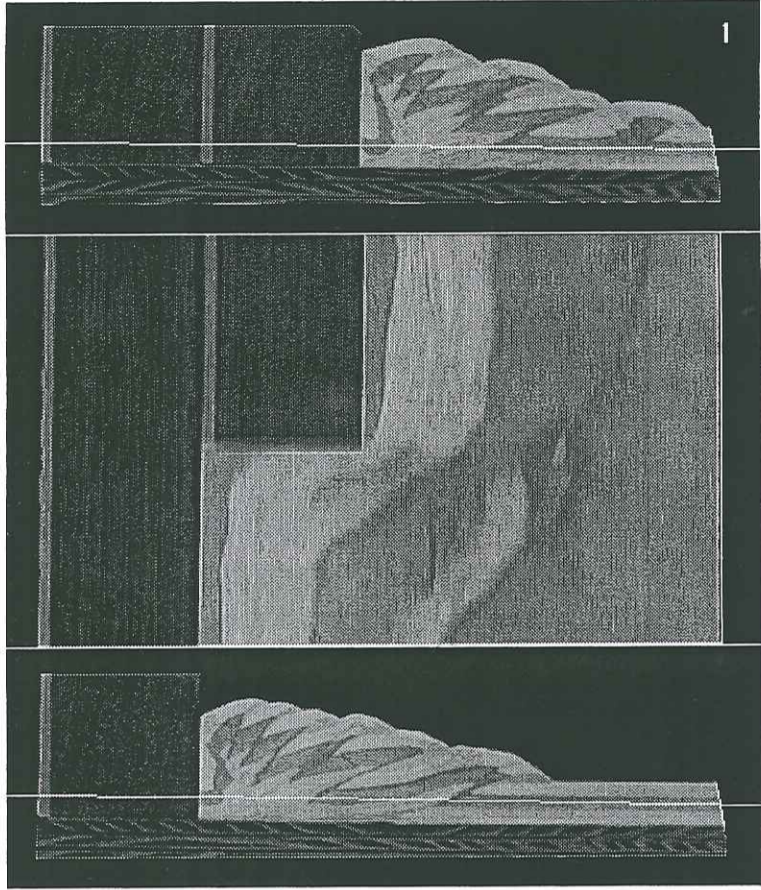


Fig.III-90: Coupes évolutives montrant la progression du raccourcissement dans chacun des 2 domaines du modèle n°2852.



MODELE 2852

0 cm 5



0 cm 5

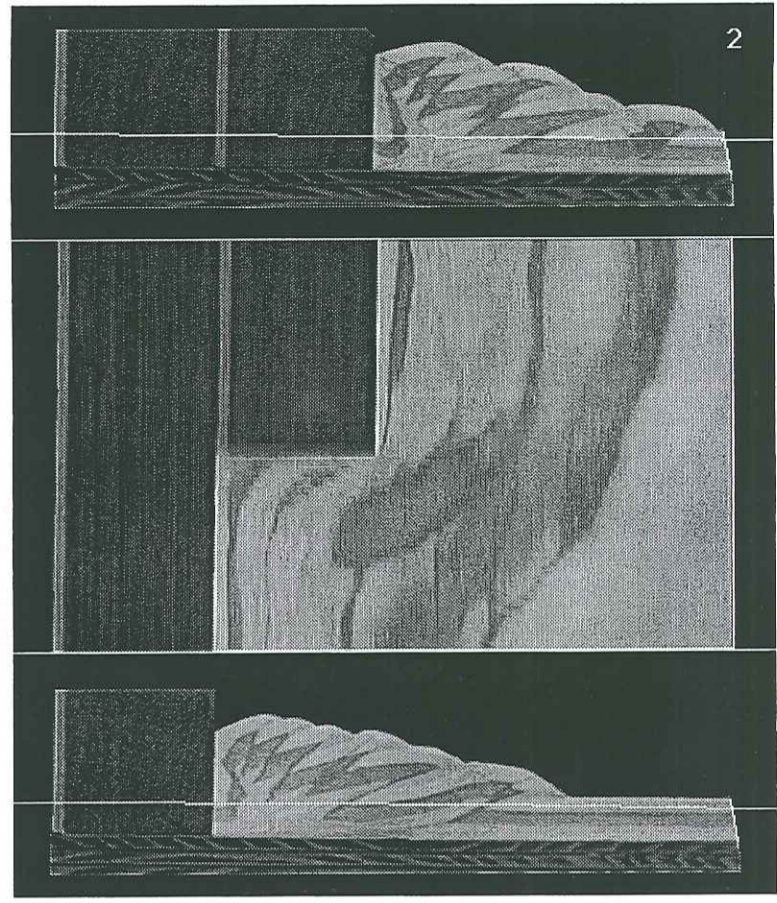
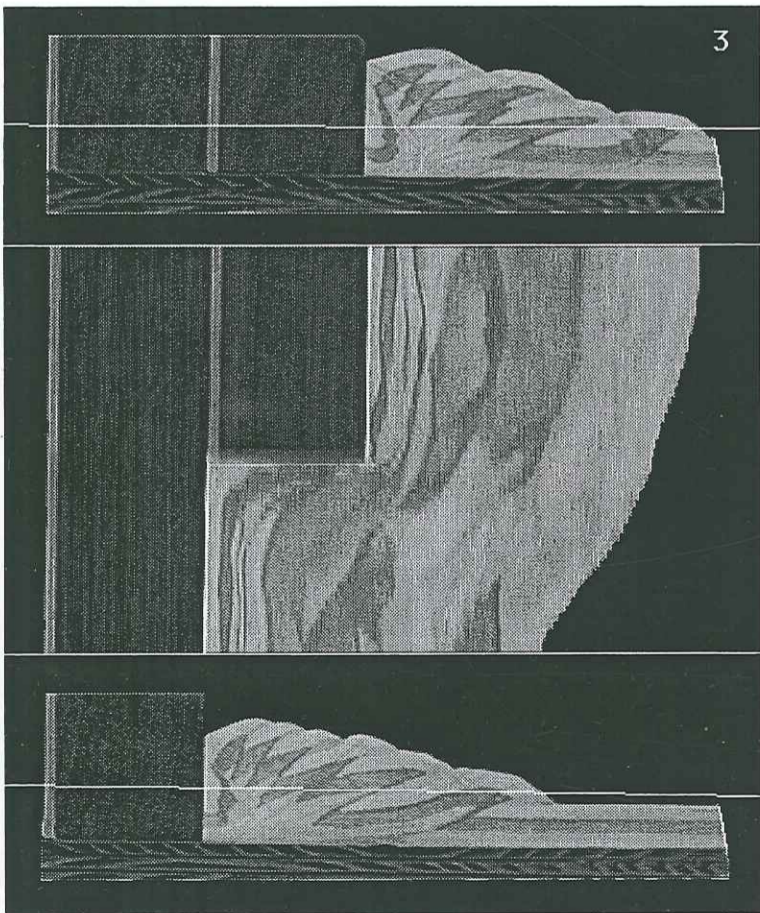


Fig.III-91: Coupes horizontales sériées du modèle n°2852  
91a: coupes scanner vierges.

MODELE 2852

0 cm 5



0 cm 5

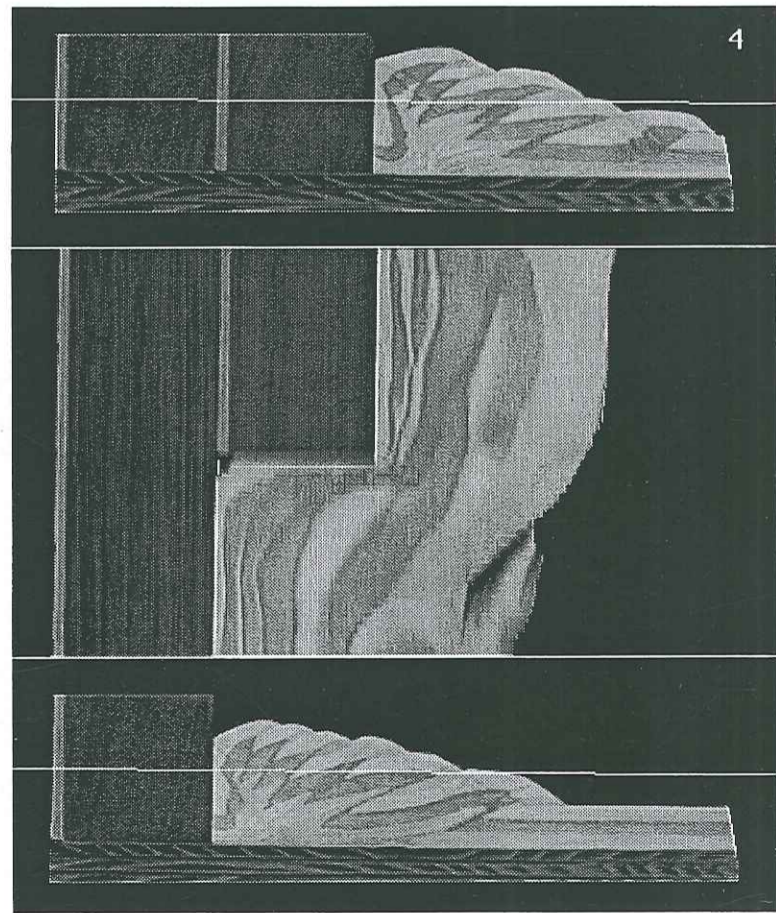


Fig.III-91a (suite)



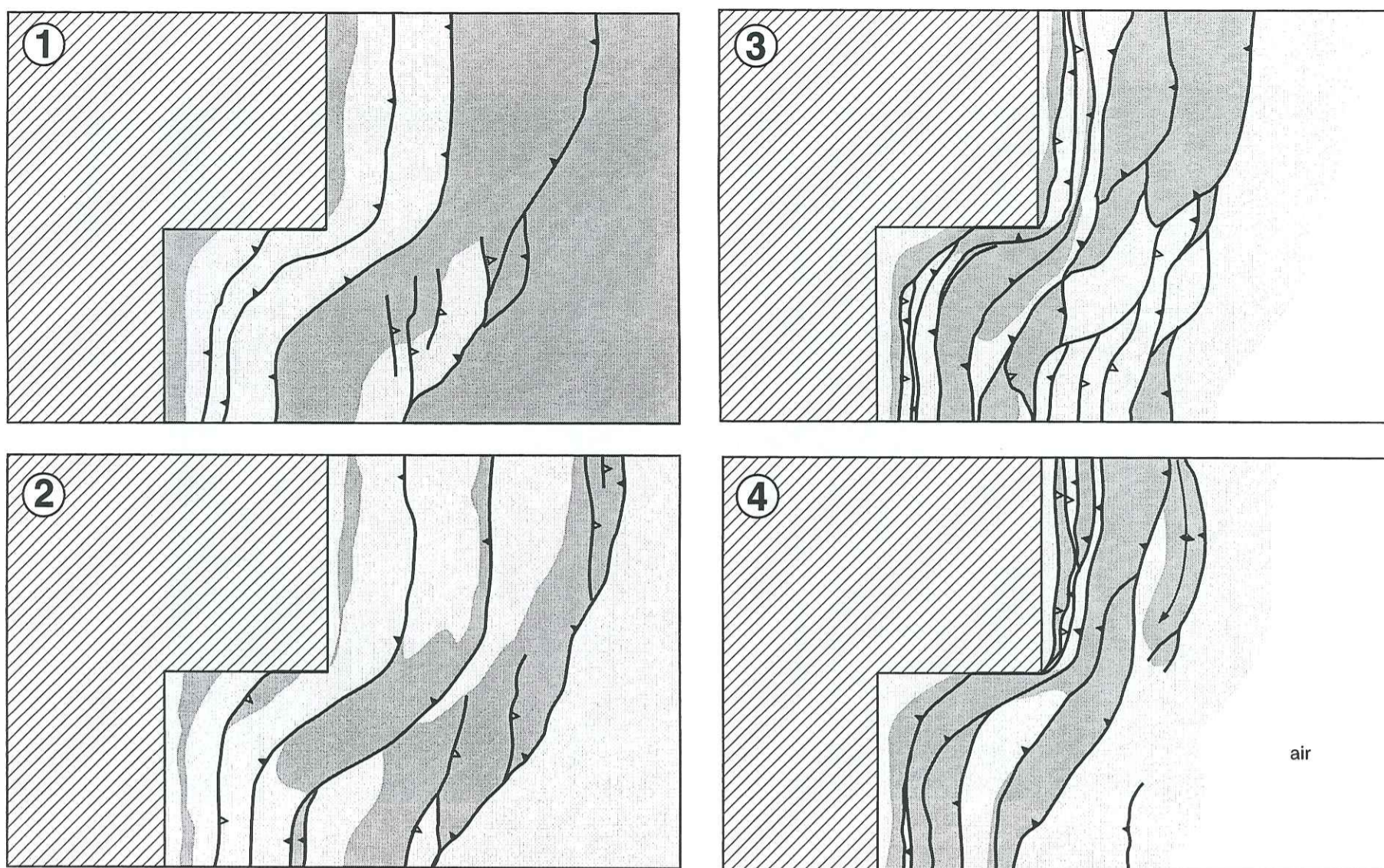


Fig.III-91b: Coupes horizontales interprétées

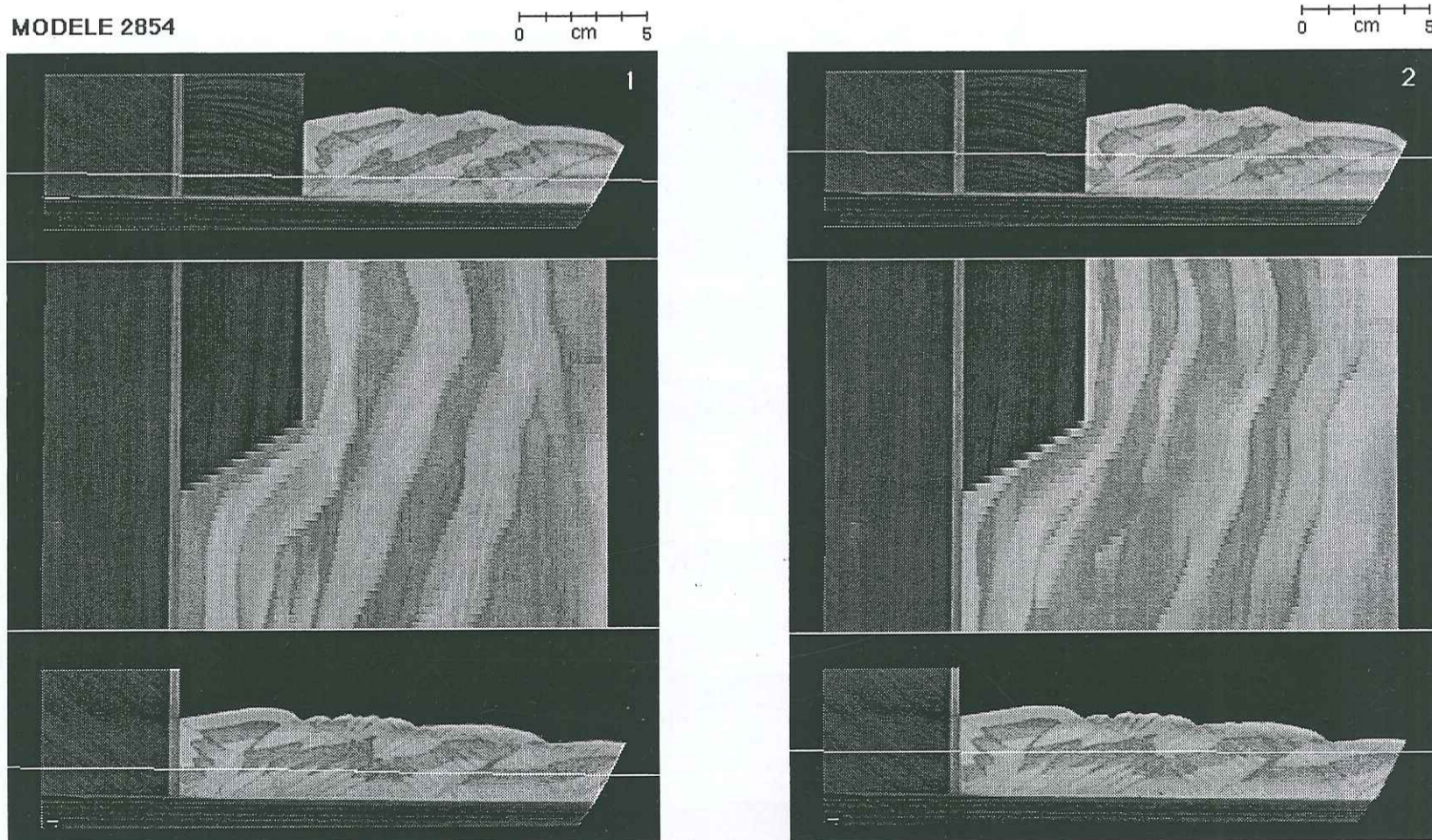


Fig.III-92: Coupes horizontales sériées du modèle n°2854



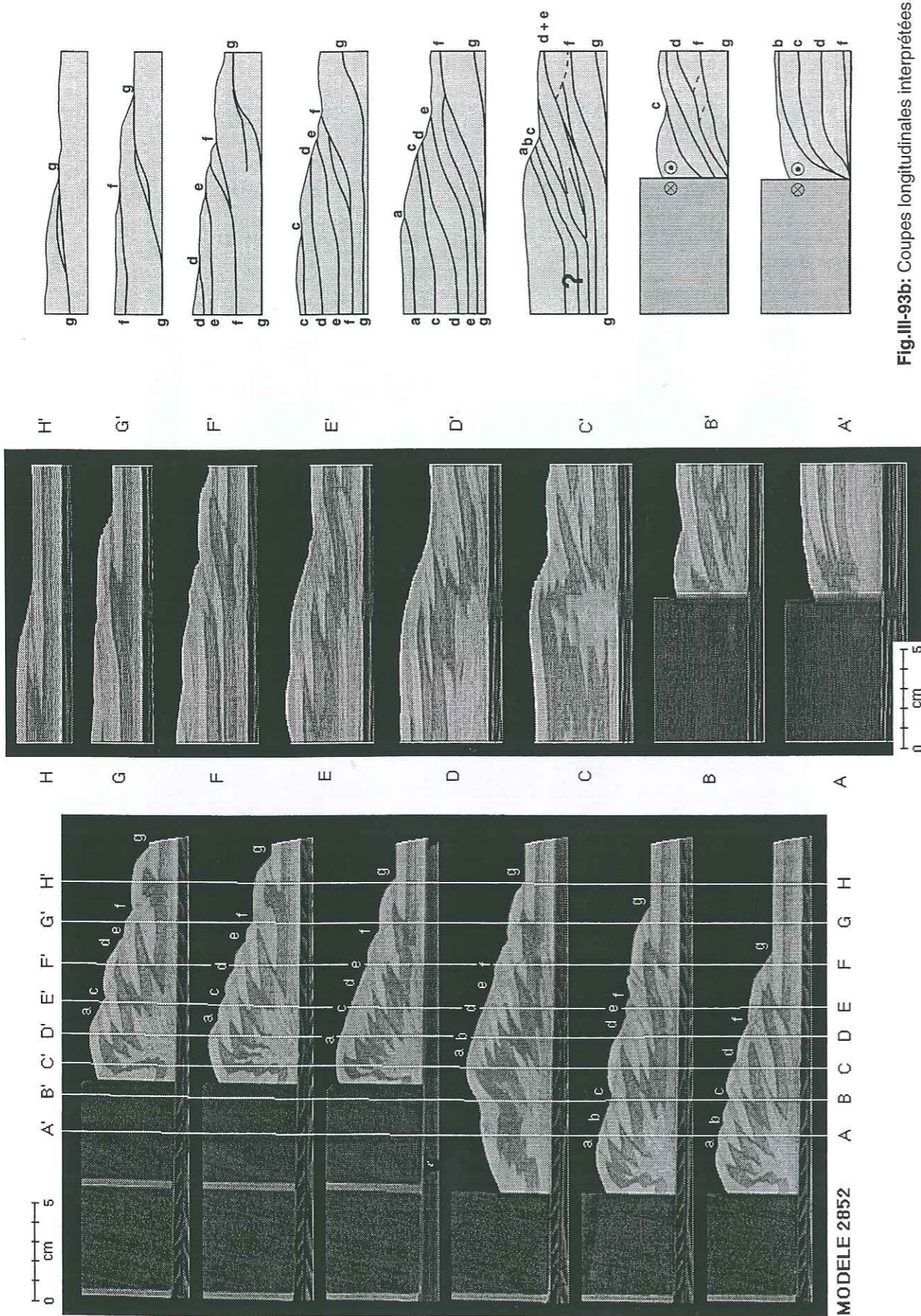


Fig.III-93: Coupes longitudinales du modèle n°2852 et localisation sur des coupes transversales.

Fig.III-93b: Coupes longitudinales interprétées.

93a: coupes scanner vierges.

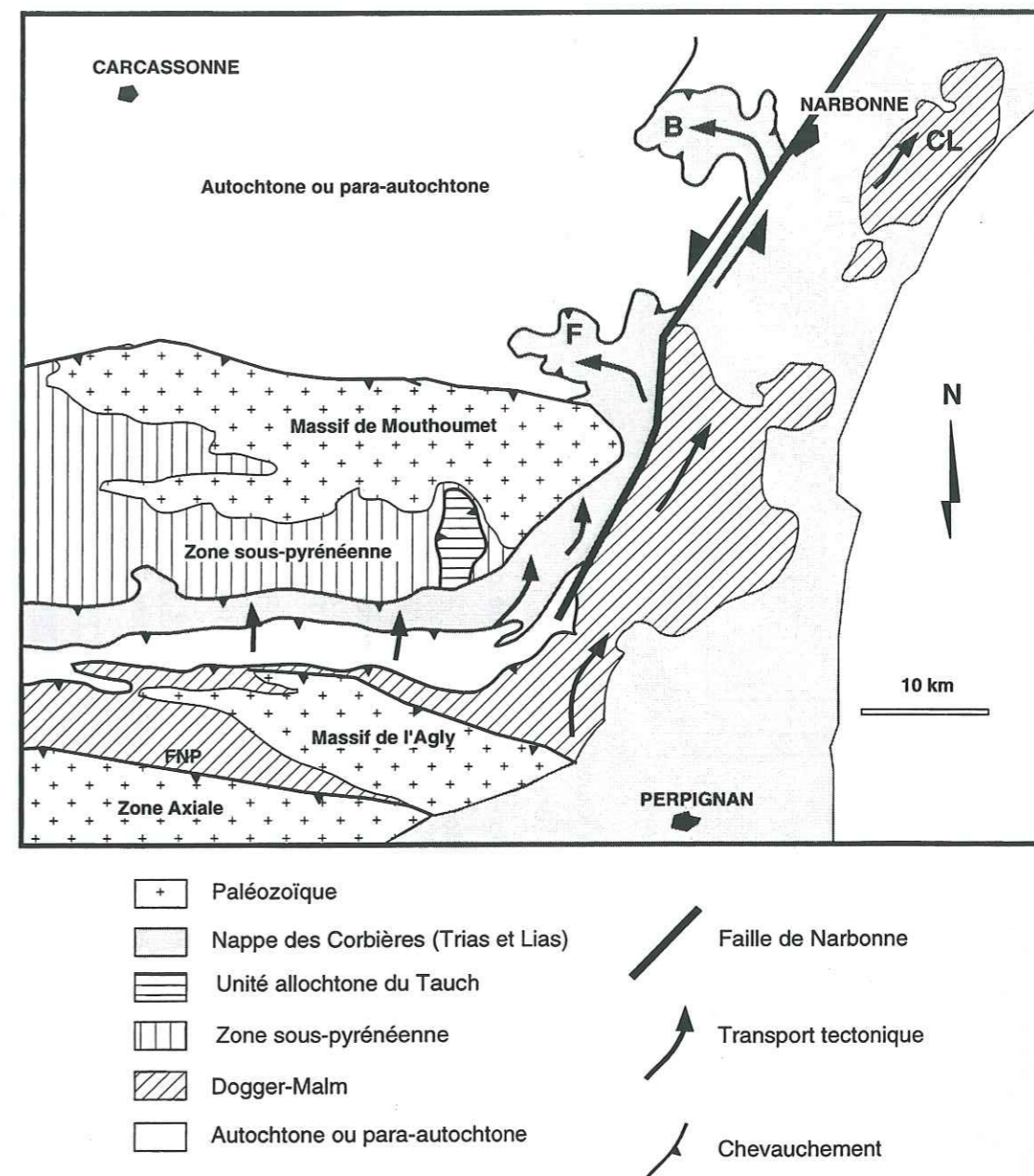


Fig.III-94: Carte structurale montrant la mise en place des unités tectoniques des Corbières (Cornet, 1980).

Le décrochement sénestre de Narbonne sépare 2 domaines paléogéographiques et structuraux bien distincts selon un phénomène de "strain-partitioning":

- (1) un domaine occidental à séries réduites caractérisé par une tectonique pelliculaire à vergence centrifuge vers le nord-ouest (nappes des Corbières)
- (2) un domaine oriental à série mésozoïque épaisse agissant tel un poinçon semi-rigide dont le déplacement vers le nord est guidé par la faille de Narbonne.

FNP: Front Nord-Pyrénéen; CL: massif de la Clape; B: lobe de Bizanet; F: lobe de Fontjoncouse



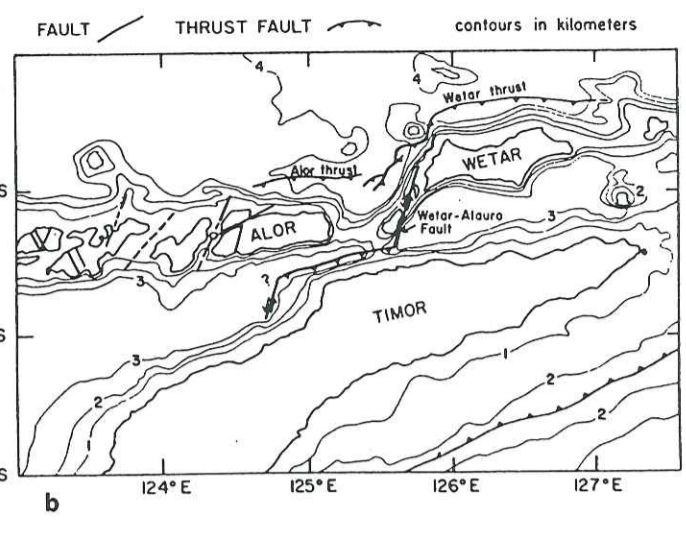
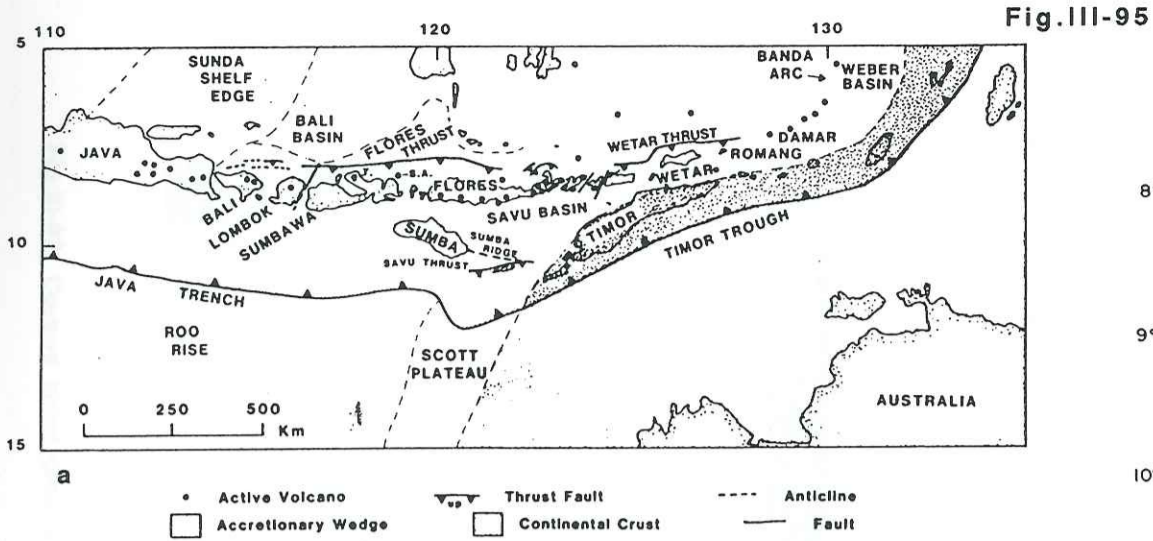


Fig. III-95

Fig. III-95: Carte structurale de l'arc de Wetar situé au nord de l'île de Timor en Indonésie (Breen *et al.*, 1989).

Le bloc Alor-Wetar se comporte comme un piston mobile irrégulier comparable à celui du modèle n°2854.

Fig. III-96: Carte structurale et bathymétrique de la zone transverse qui affecte le front de déformation à vergence nord du prisme d'accrétion (Breen *et al.*, 1989).

Noter la présence de la faille décrochante sénestre de Wetar-Atauro à l'est et les chevauchements à vergence nord-ouest. Comme pour la région des Corbières, il y juxtaposition de 2 directions de déplacements divergentes: (1) à l'est dans la partie interne le déplacement vers le nord se traduit par un jeu décrochant sénestre important le long de la faille de Wetar-Atauro.

(2) à l'ouest au niveau des parties externes l'écaillage centrifuge vers le nord-ouest se traduit par le développement de chevauchements (failles d'Alor, d'Atauro, de Liran et de Wetar) qui s'orientent selon une direction intermédiaire entre la paroi oblique du piston (= faille de Wetar-Atauro) et la direction E-W orthogonale au raccourcissement régional N-S. Comparer avec les coupes horizontales du modèle n°2854 (fig. III-92).

Fig. III-96

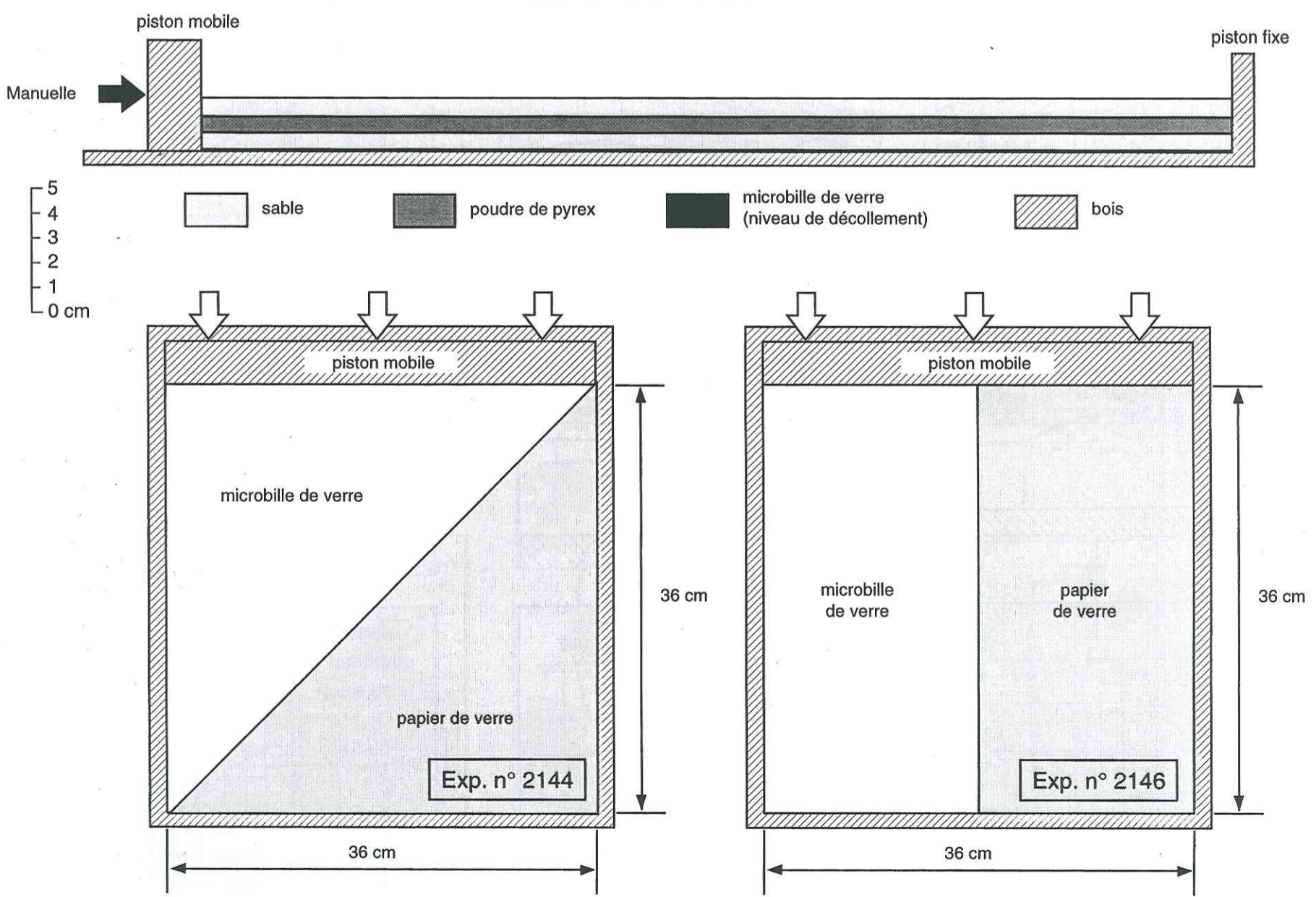
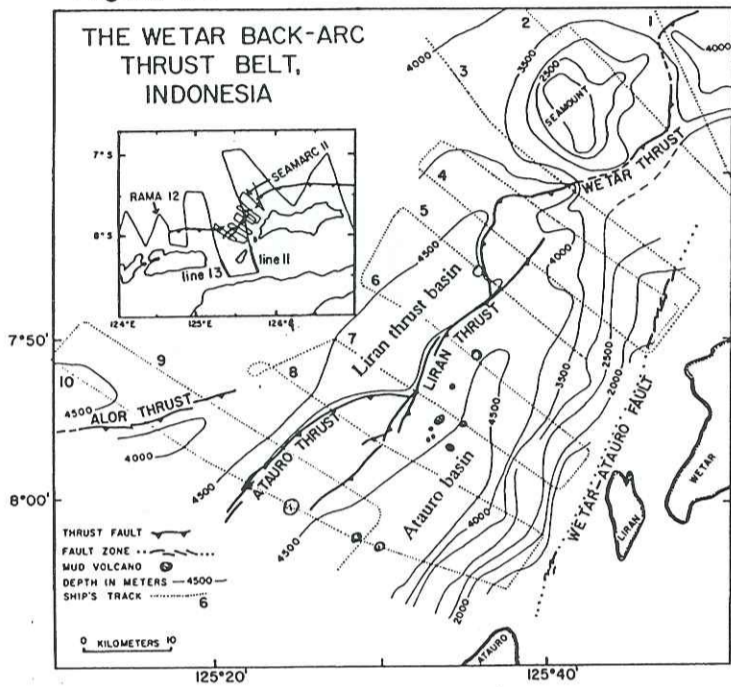


Fig. III-97: Dispositifs expérimentaux des modèles n°2144 et n°2146

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



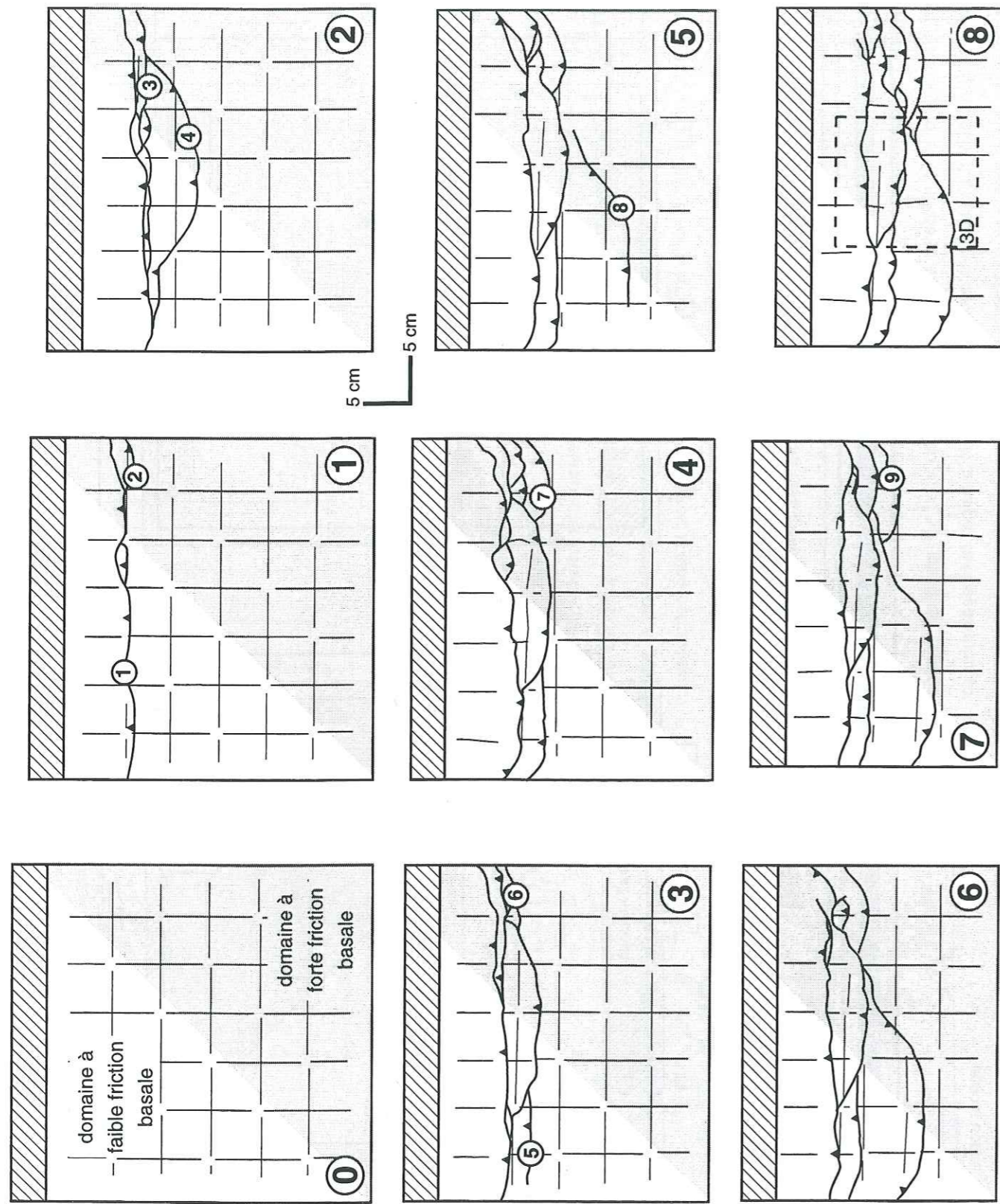


Fig.III-98: Vues de surface du modèle n°2144 (d'après photographies).

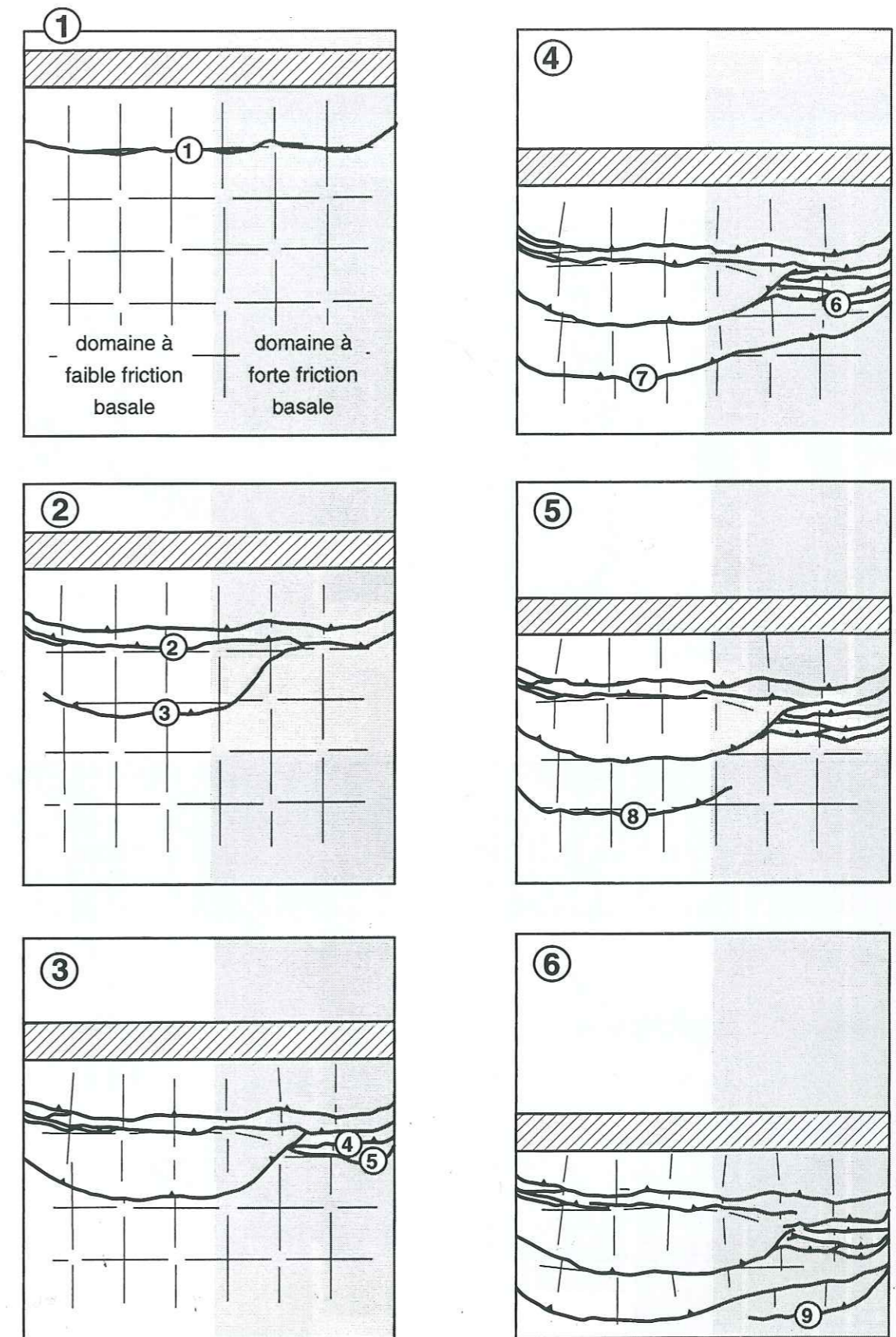


Fig.III-99: Vues de surface du modèle n°2146

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



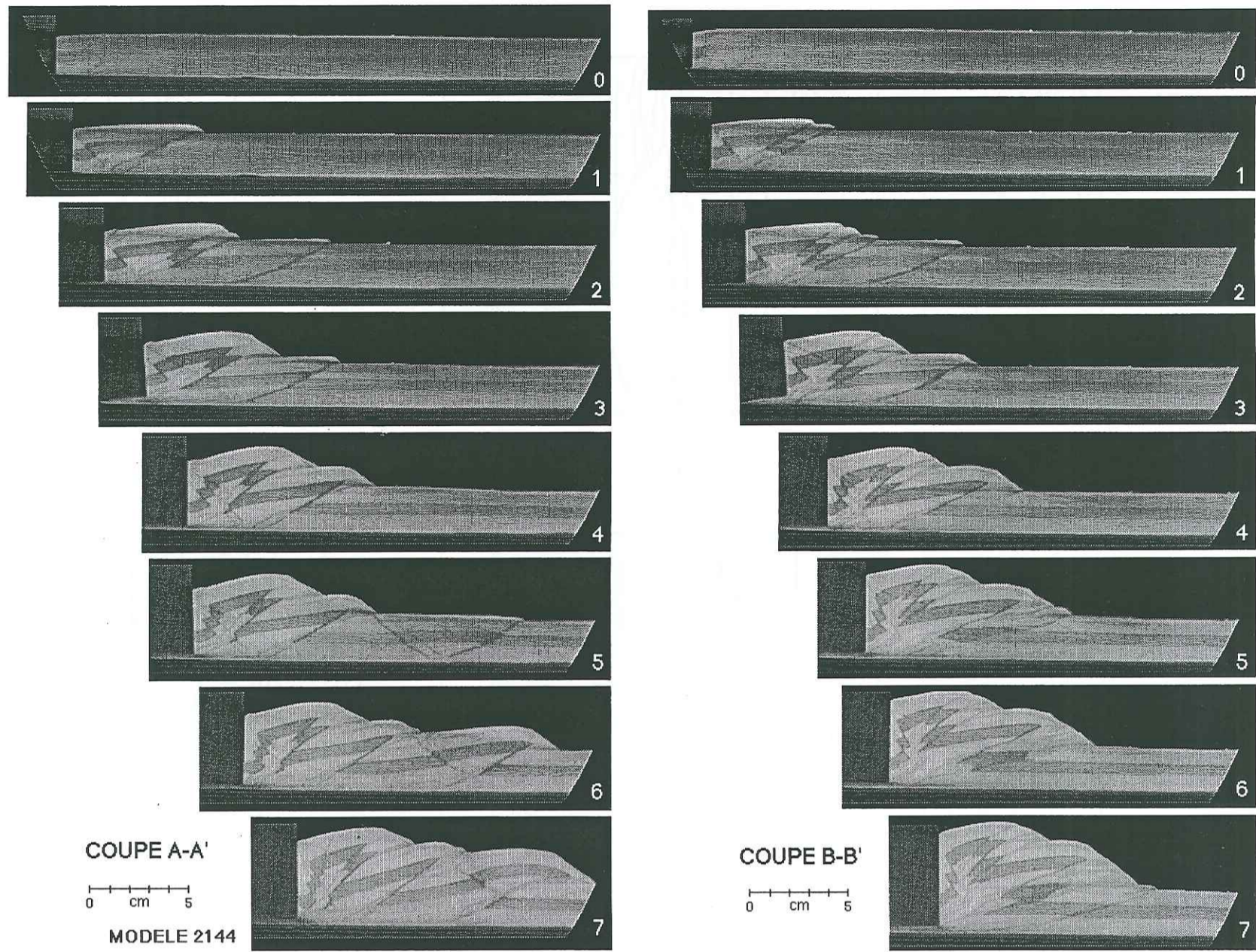


Fig.III-100: Coupes évolutives transversales du modèle n°2144.

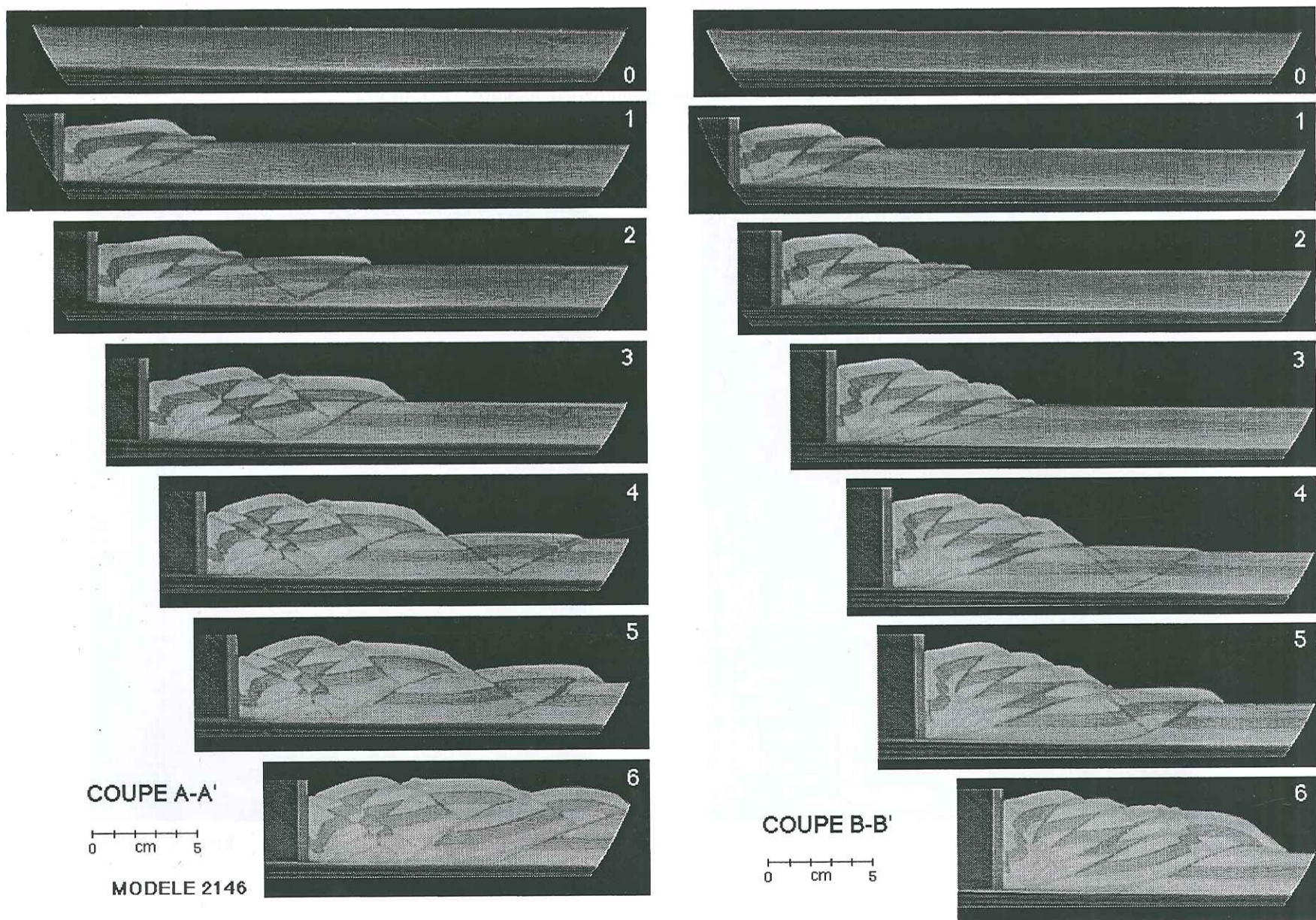


Fig.III-101: Coupes évolutives transversales du modèle n°2146.



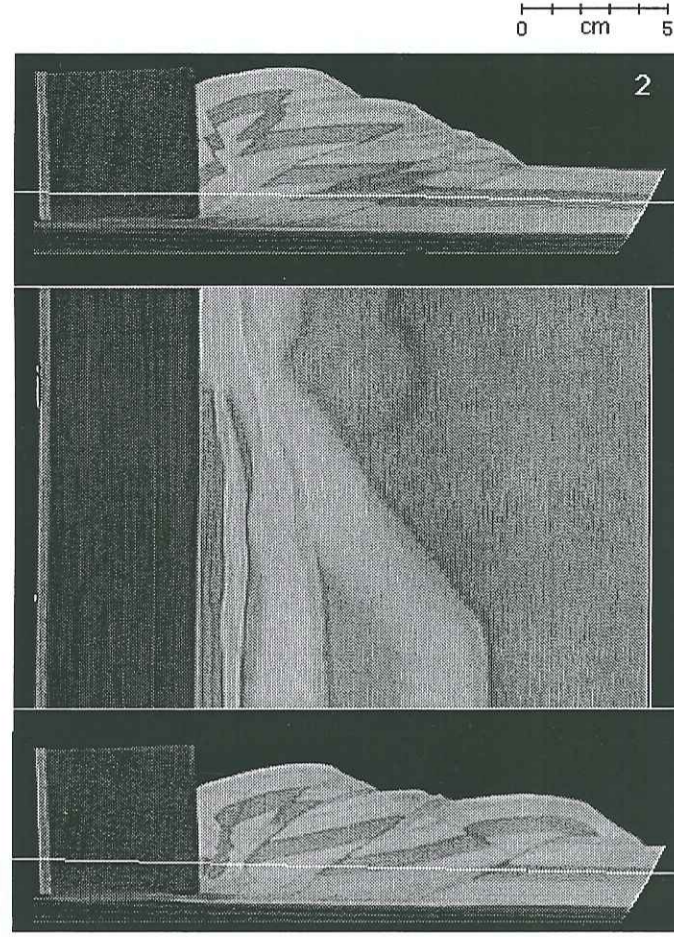
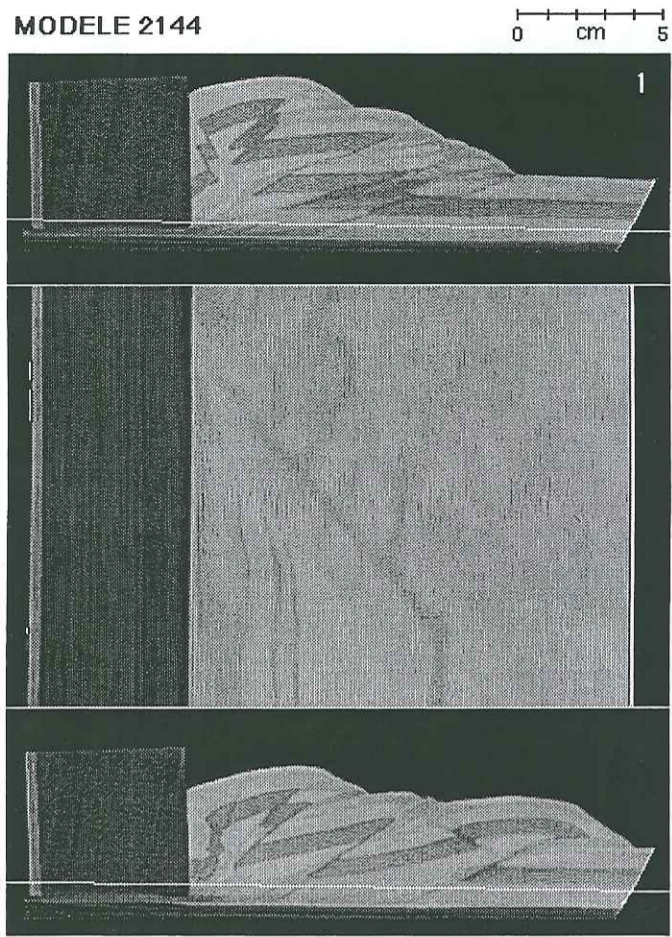


Fig.III-102: Coupes horizontales sériées du modèle n°2144.  
102a: coupes scanner vierges.

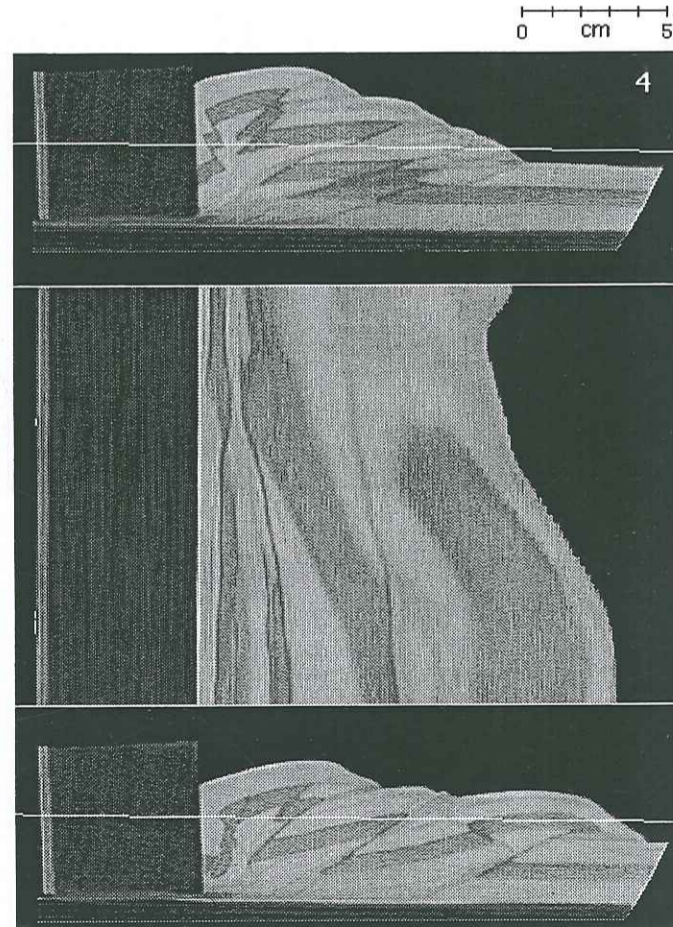
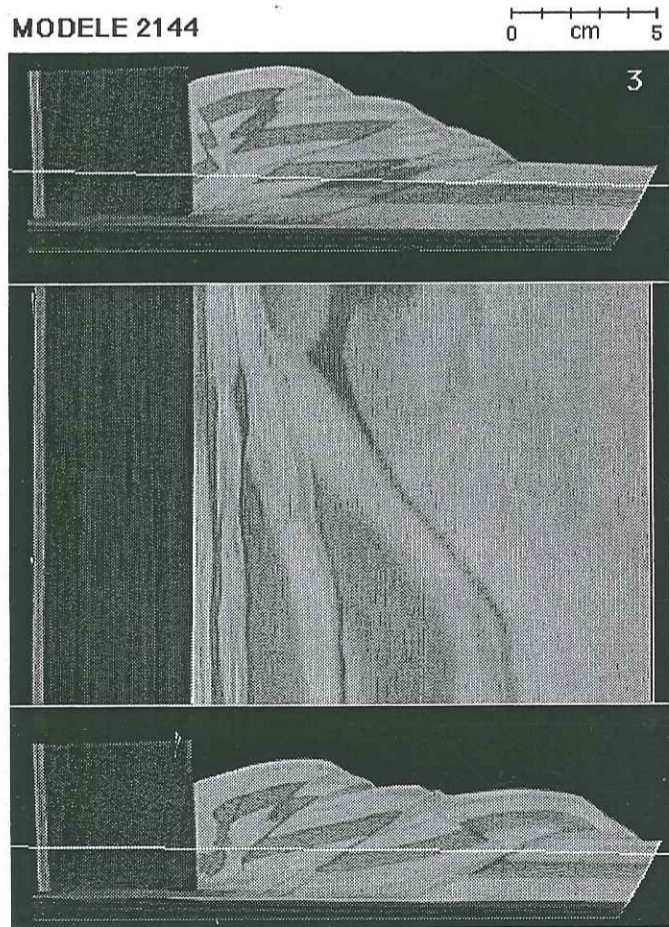


Fig.III-102a (suite)



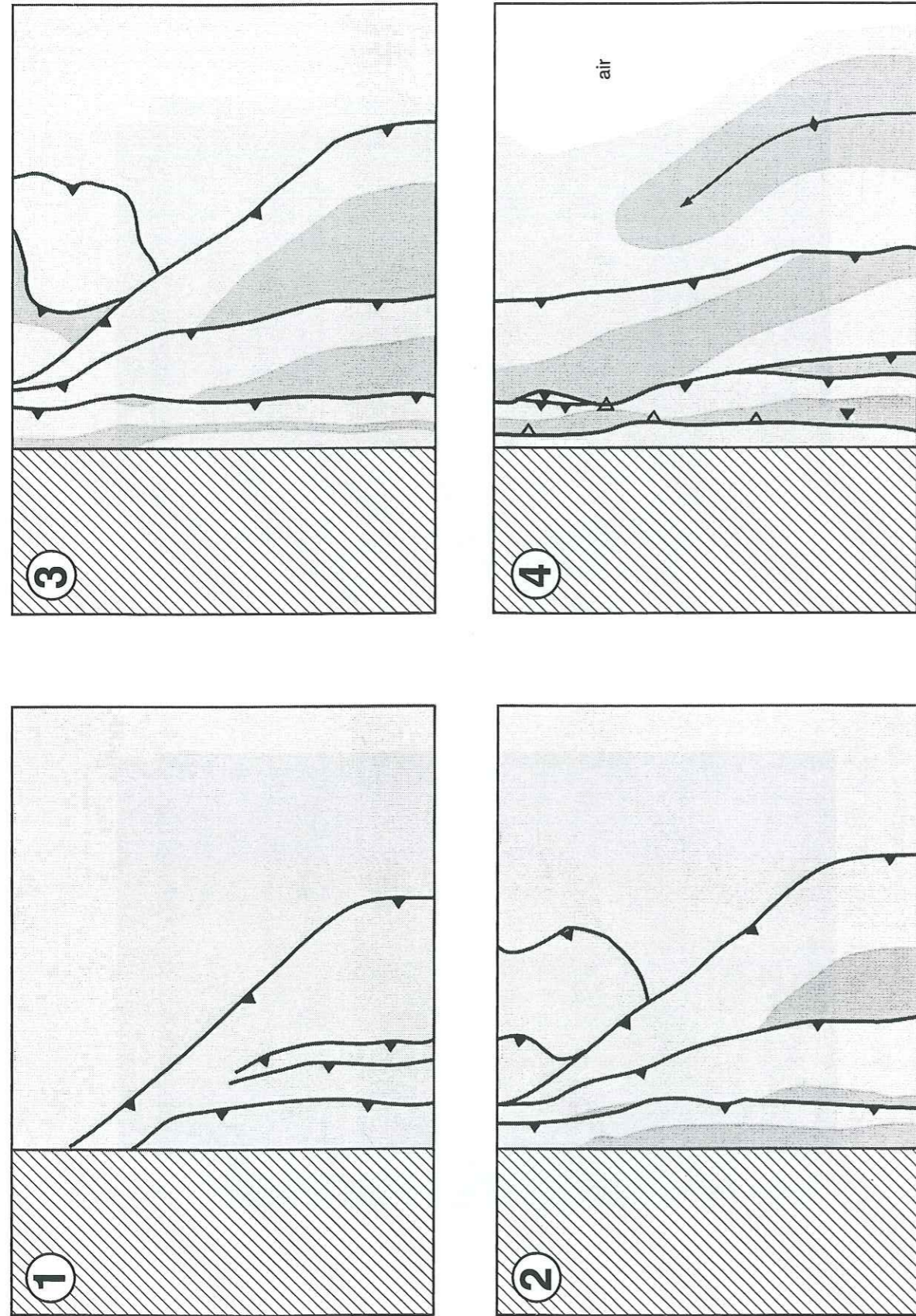


Fig.III-102b: Coupes horizontales interprétées.

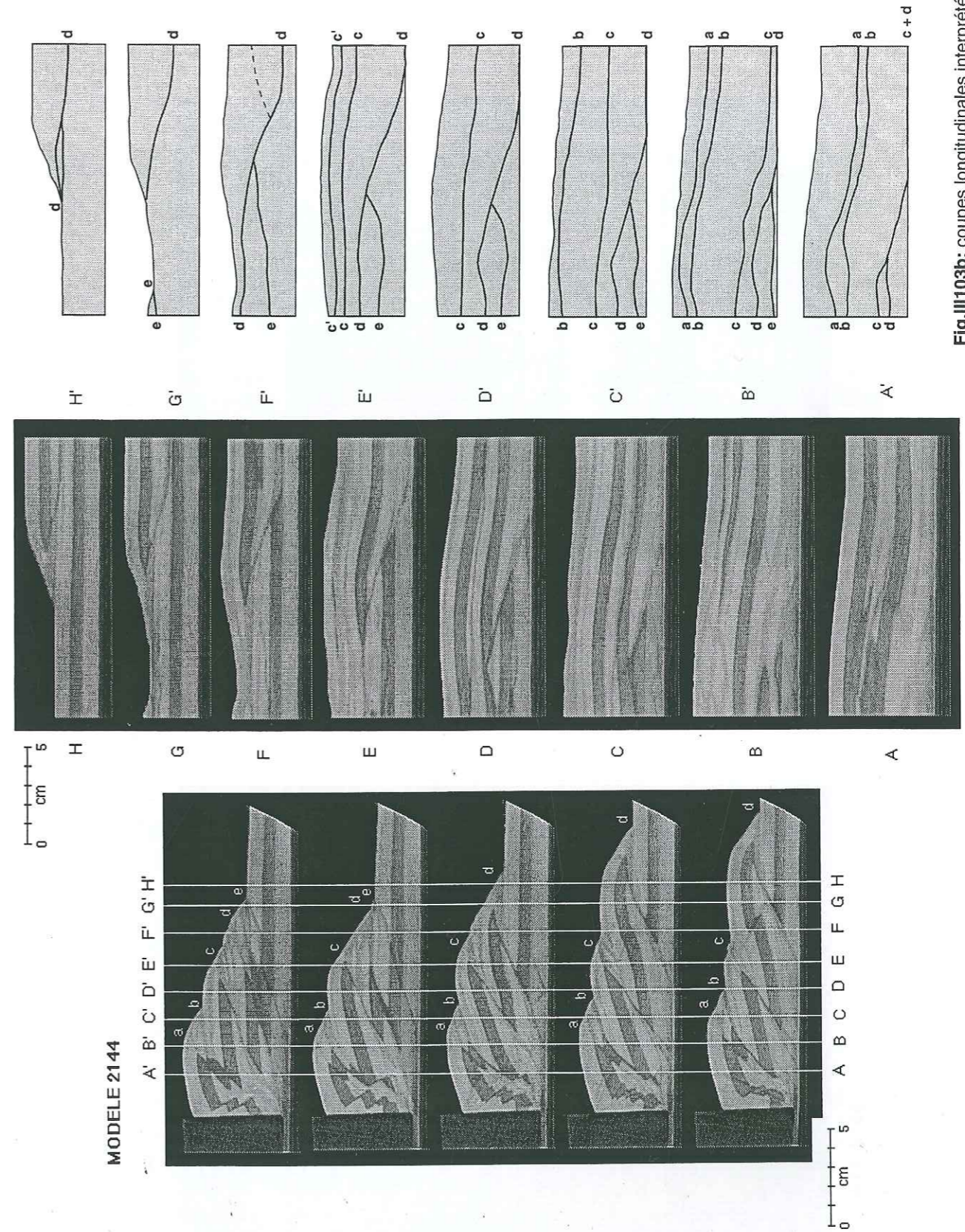


Fig.III-103: Coupes longitudinales du modèle n°2144 et localisation sur les coupes transversales.  
103a: coupes scanner vierges

Fig.III103b: coupes longitudinales interprétées



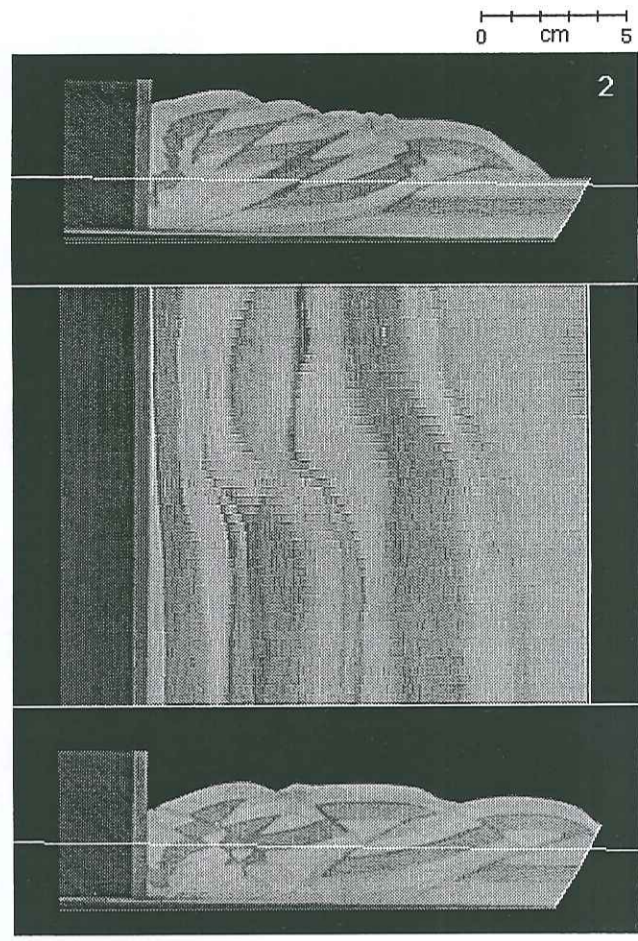
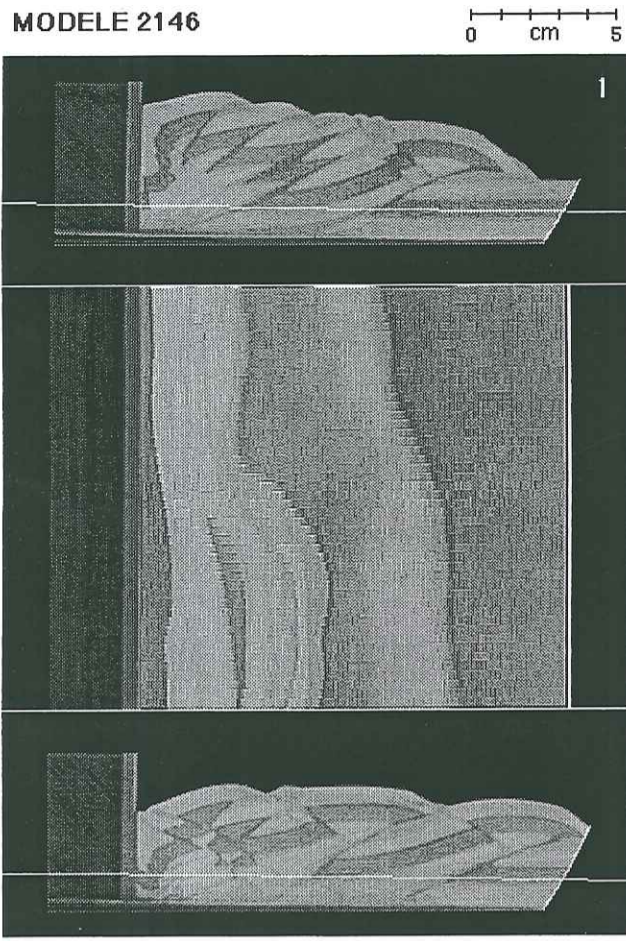


Fig.III-104: Coupes horizontales sériées du modèle n°2146  
104a: coupes scanner vierges.

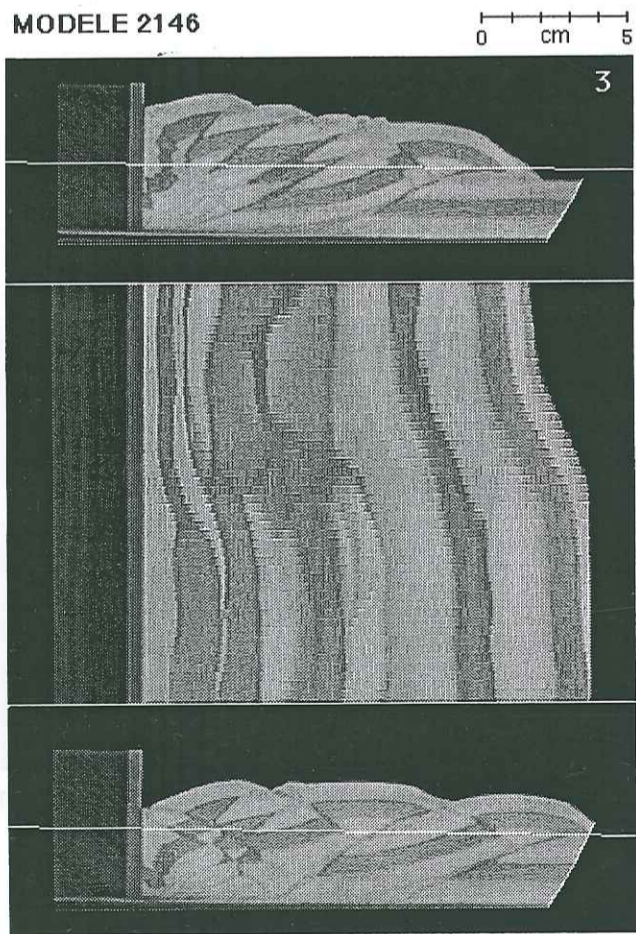


Fig.III-104a (suite)

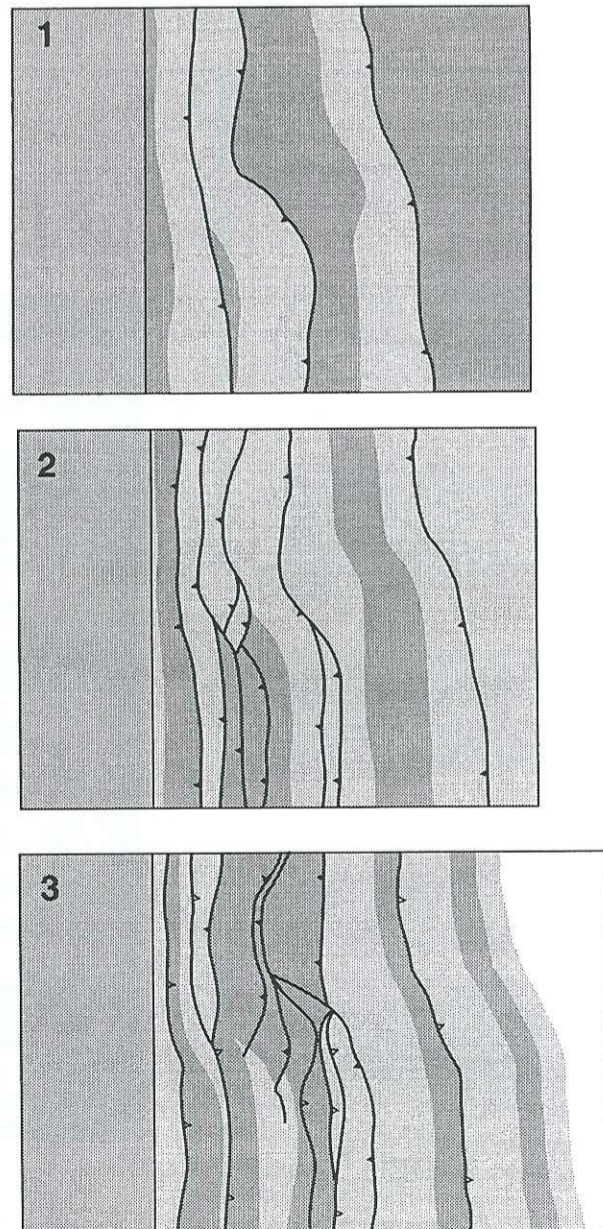


Fig.III-104b: coupes horizontales interprétées



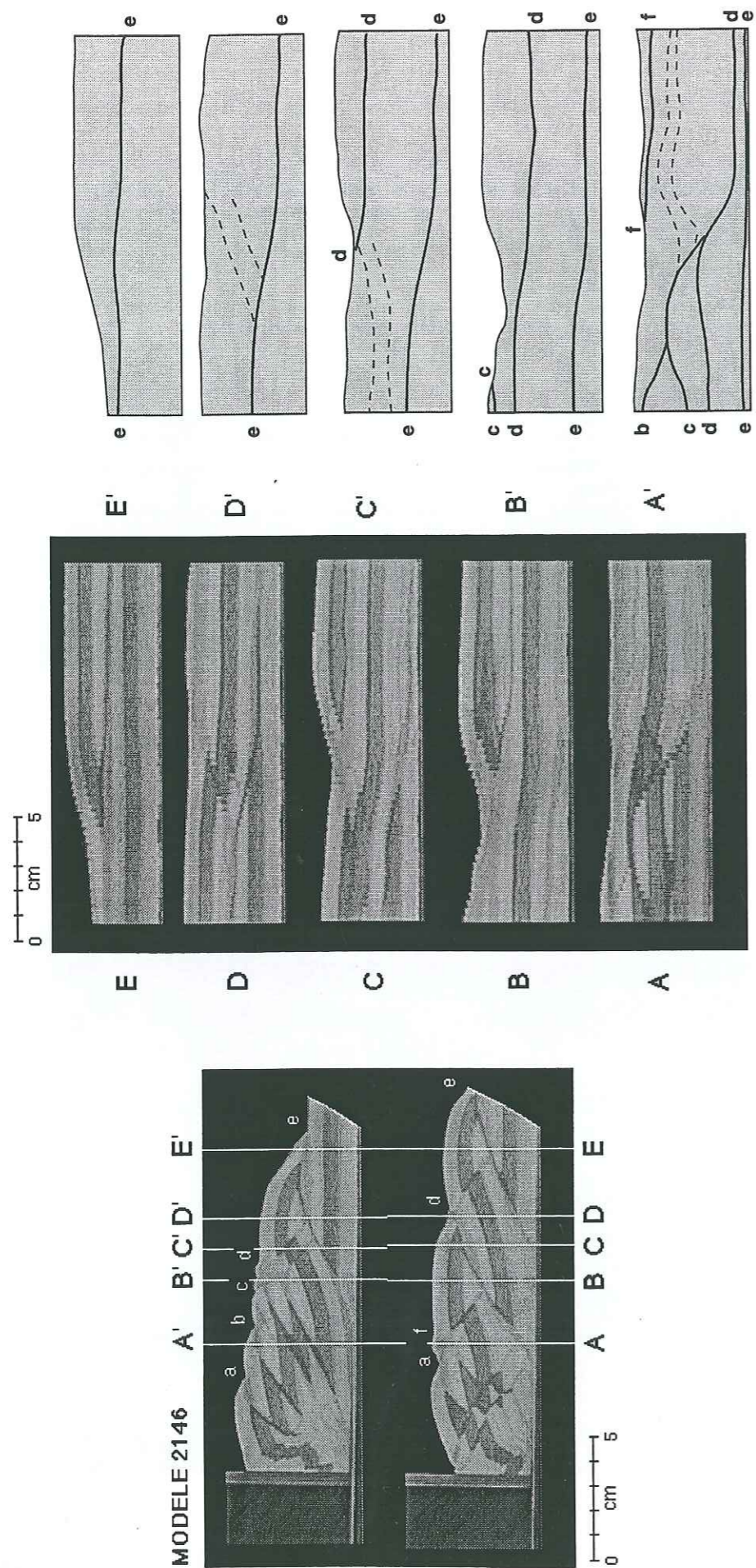


Fig.III-105: Coupes longitudinales du modèle n°2146 et localisation sur les coupes transversales.

105a: coupes scanner vierges.

Fig.III-105b: coupes horizontales interprétées

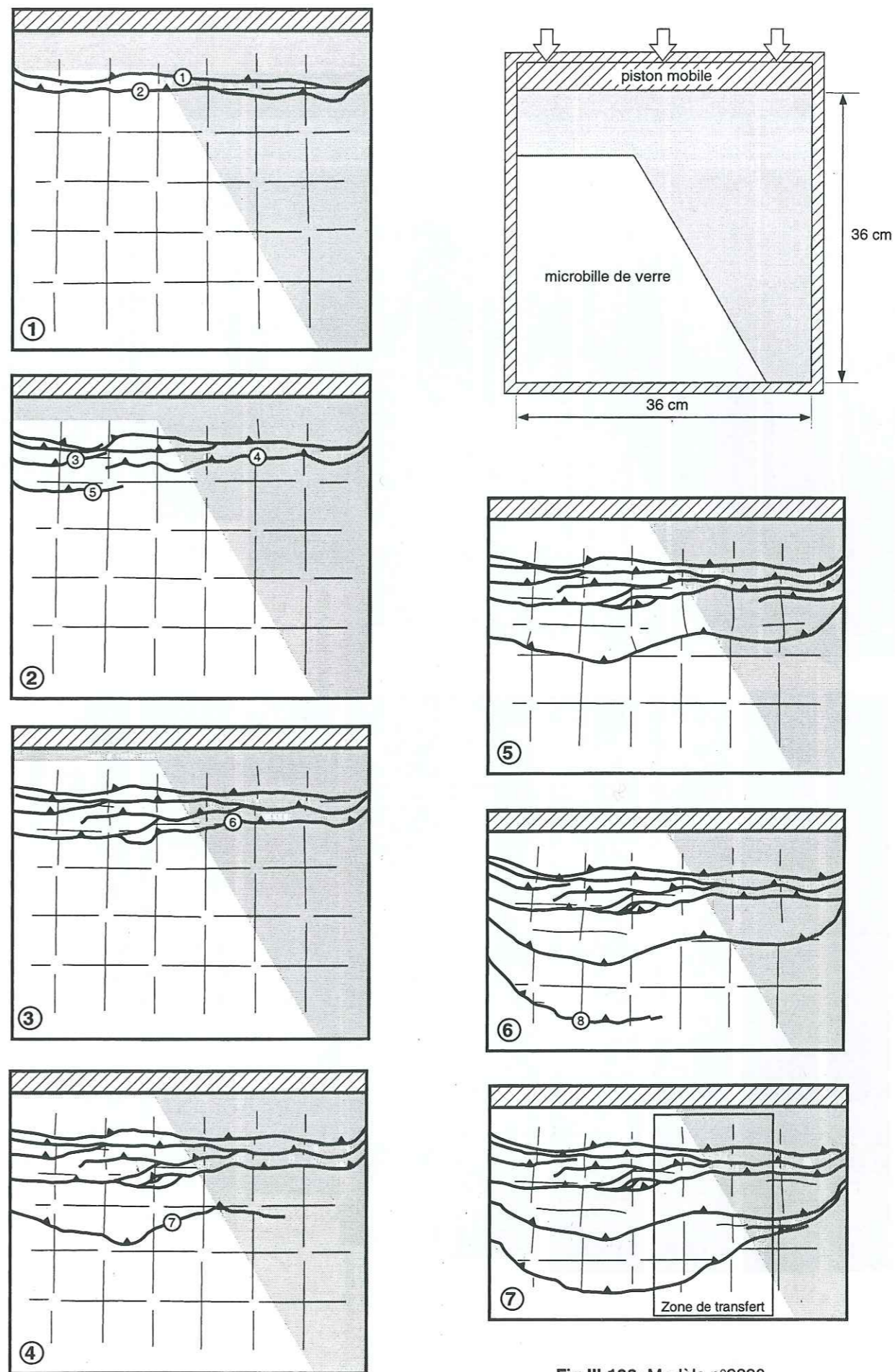


Fig.III-106: Modèle n°2820



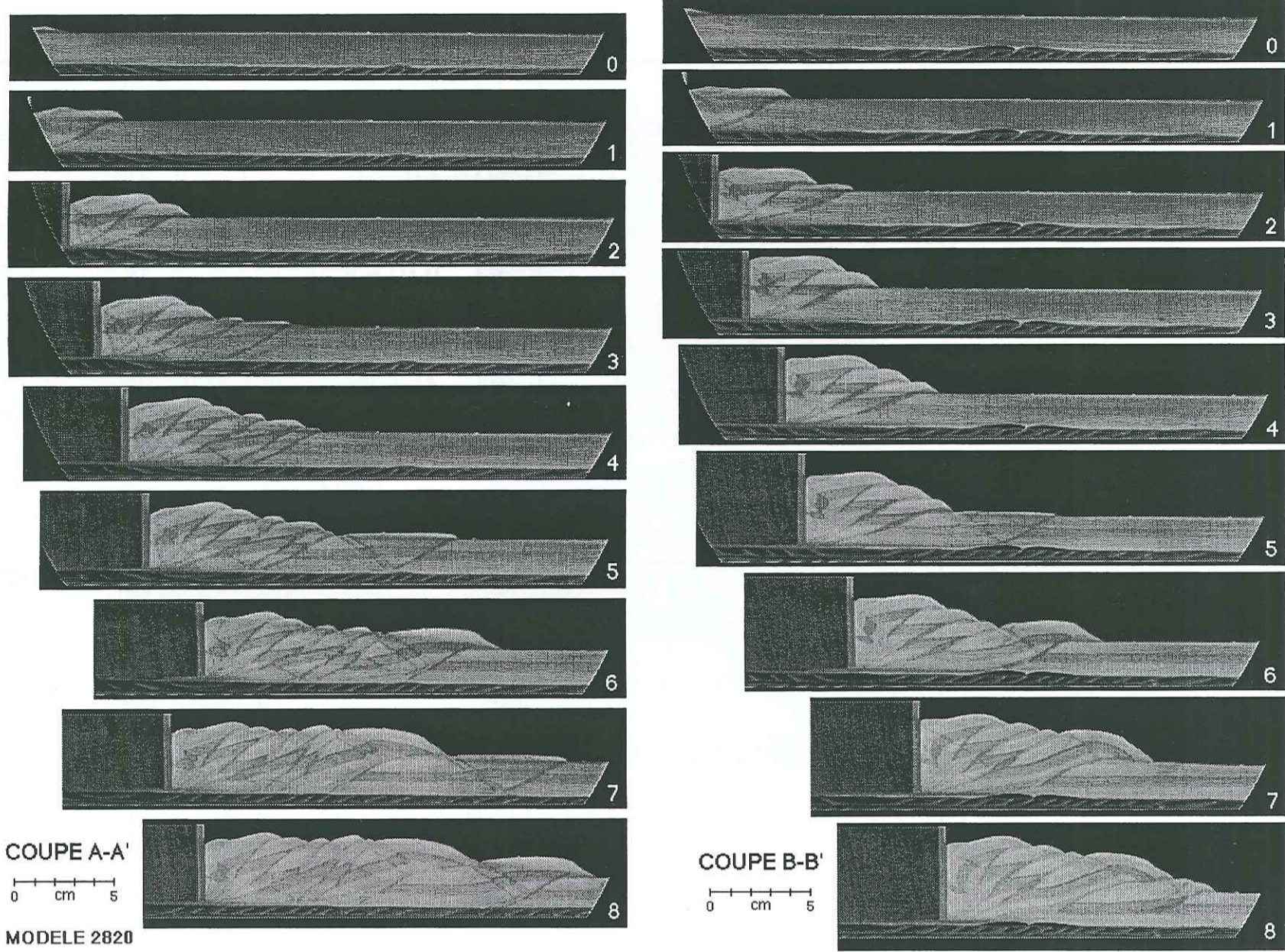


Fig.III-107: Coupes évolutives transversales du modèle n°2820.

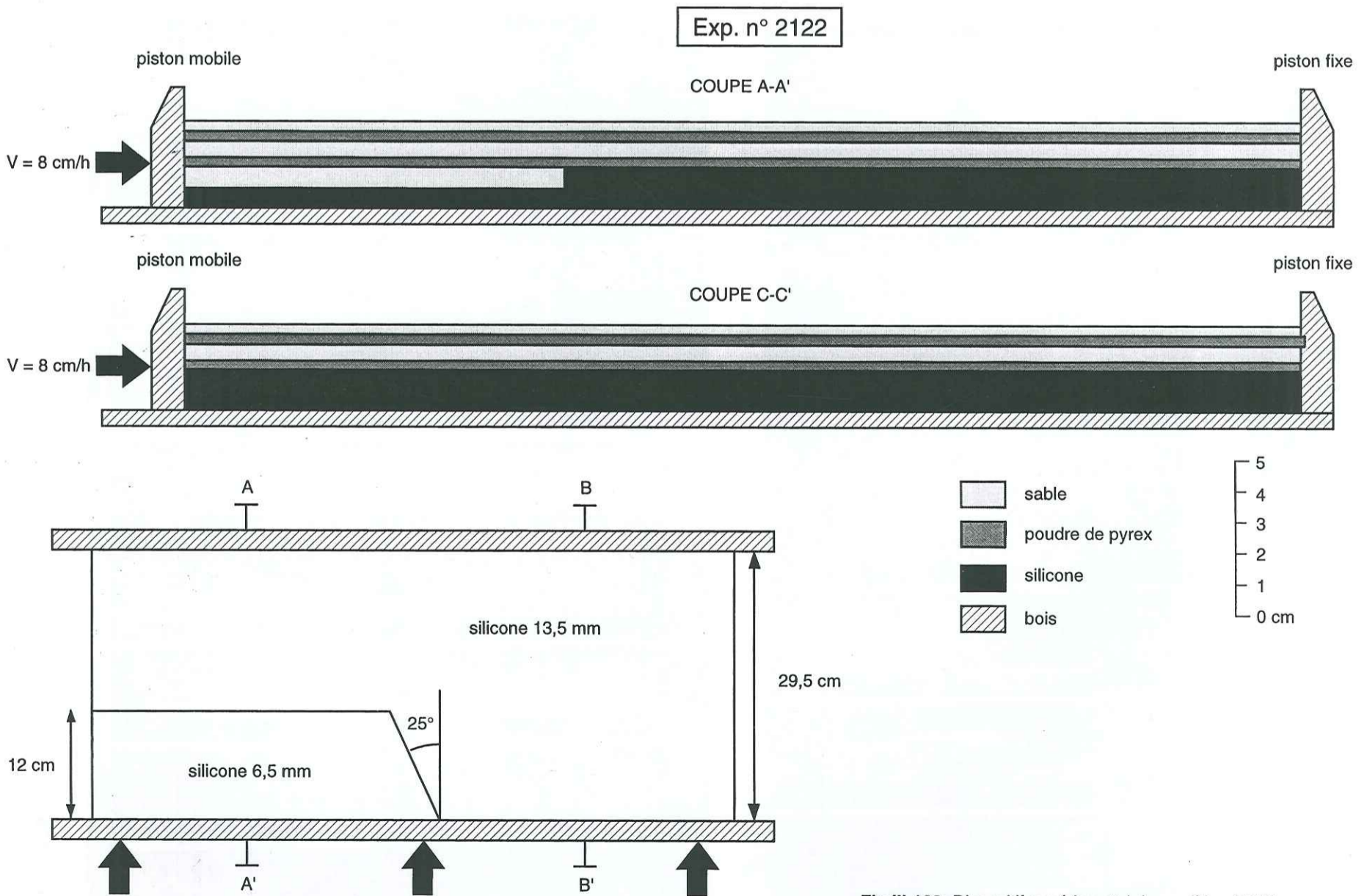


Fig.III-108: Dispositif expérimental du modèle n°2122.



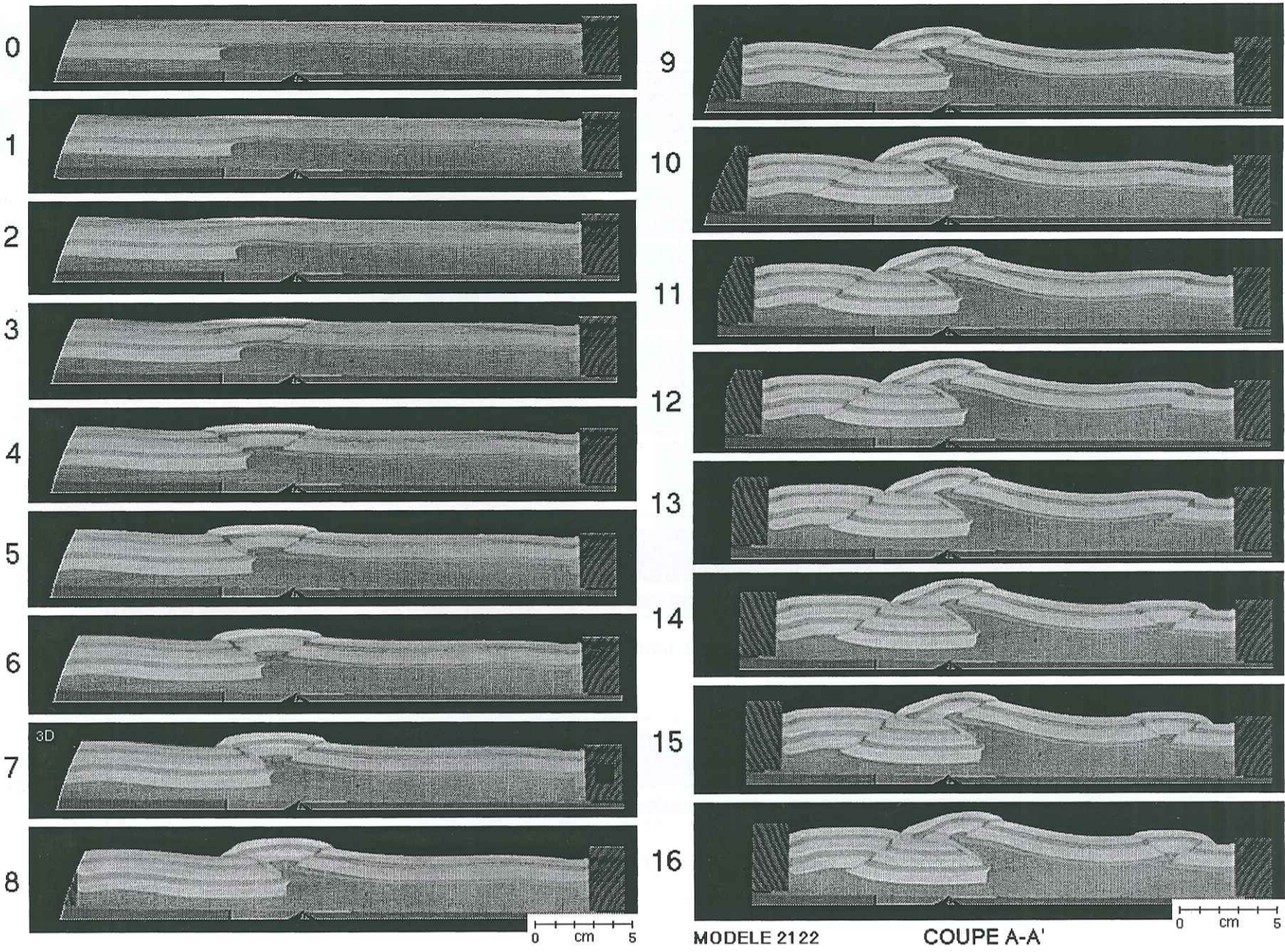


Fig. III-109: Coupes transversales évolutives du modèle 2122 montrant l'influence de la discontinuité basale sur le style de la déformation et la vergence des structures frontales

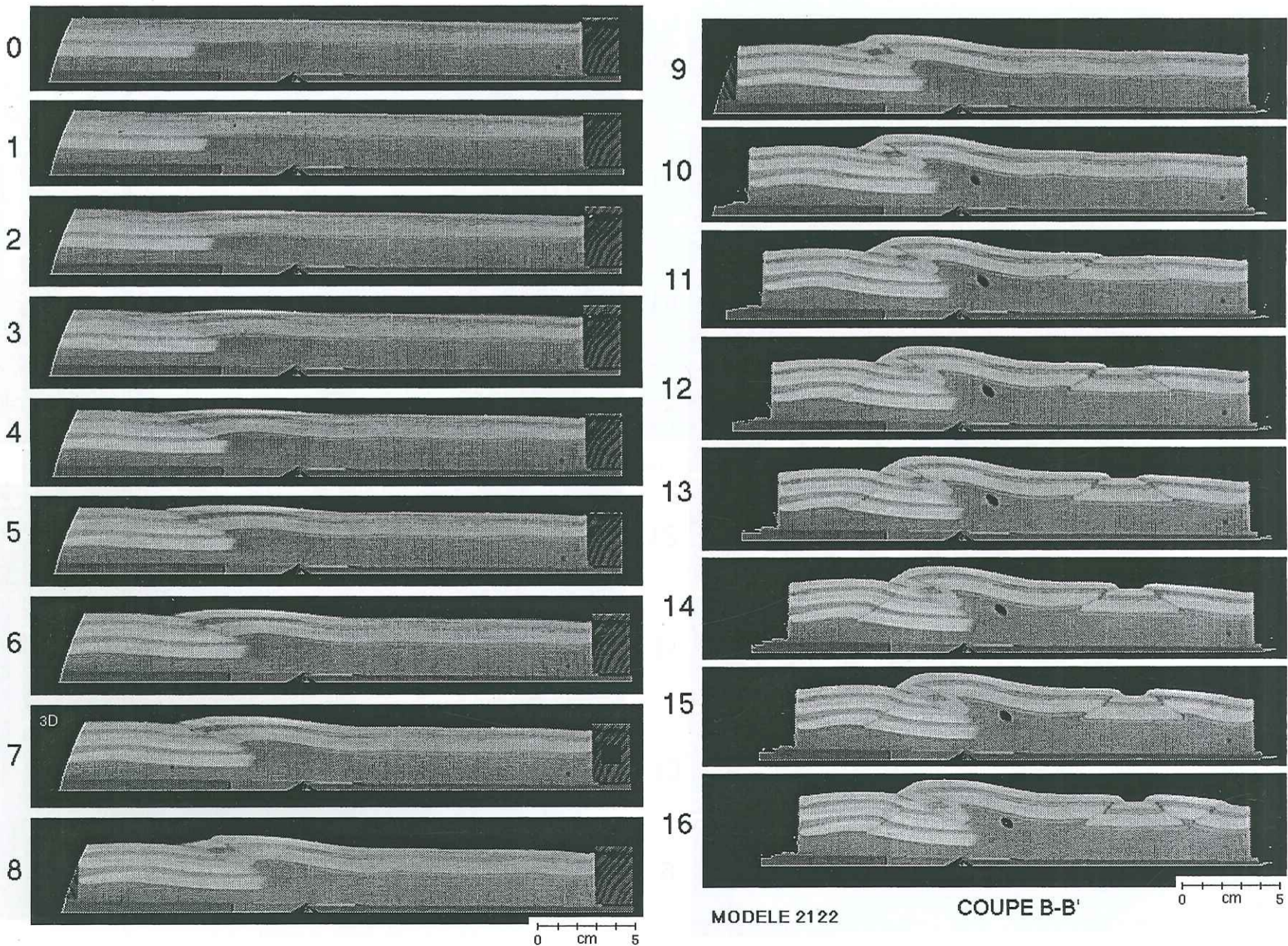


Fig. III-109 (suite)



Fig.III-109 (suite)

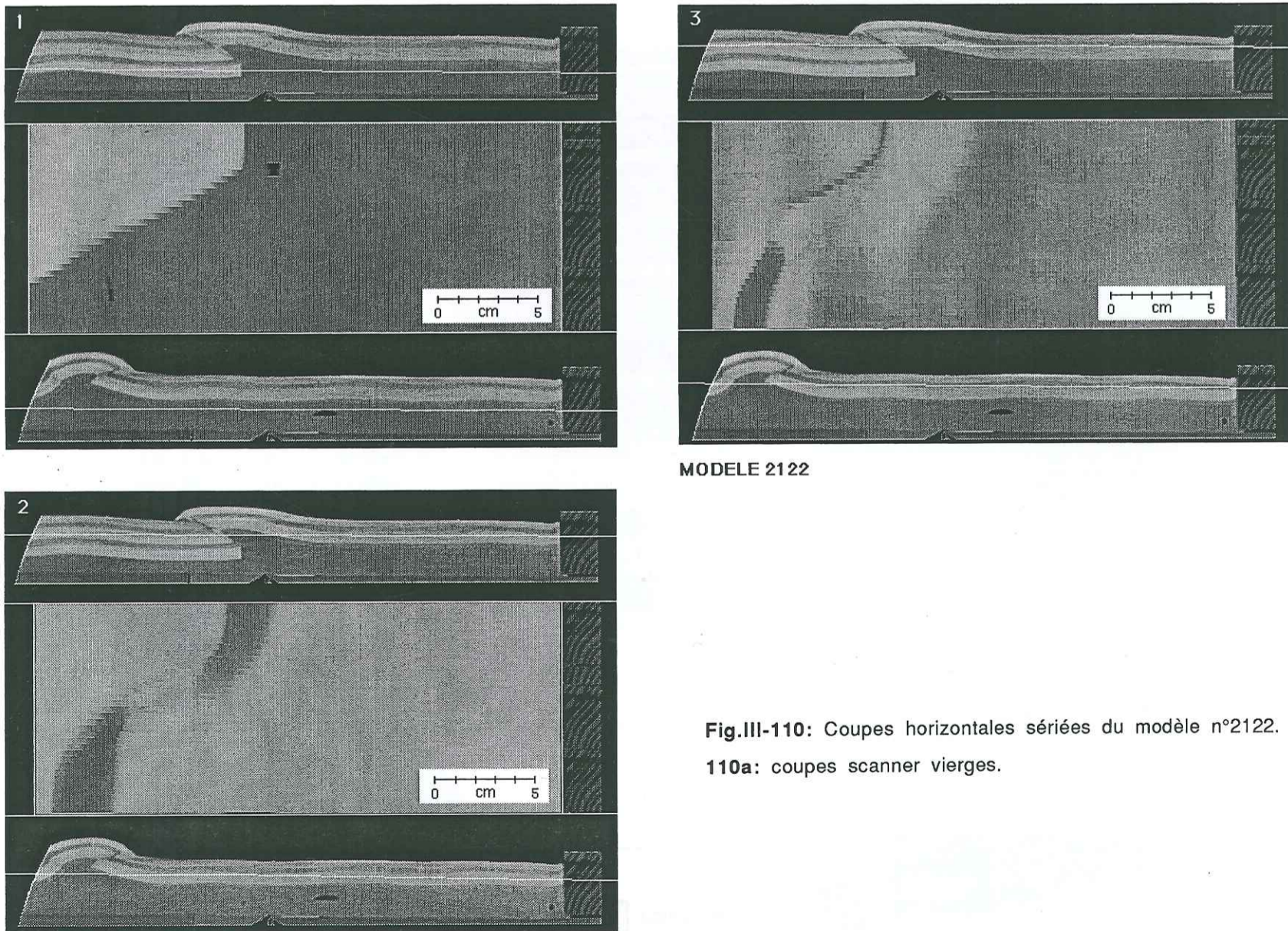
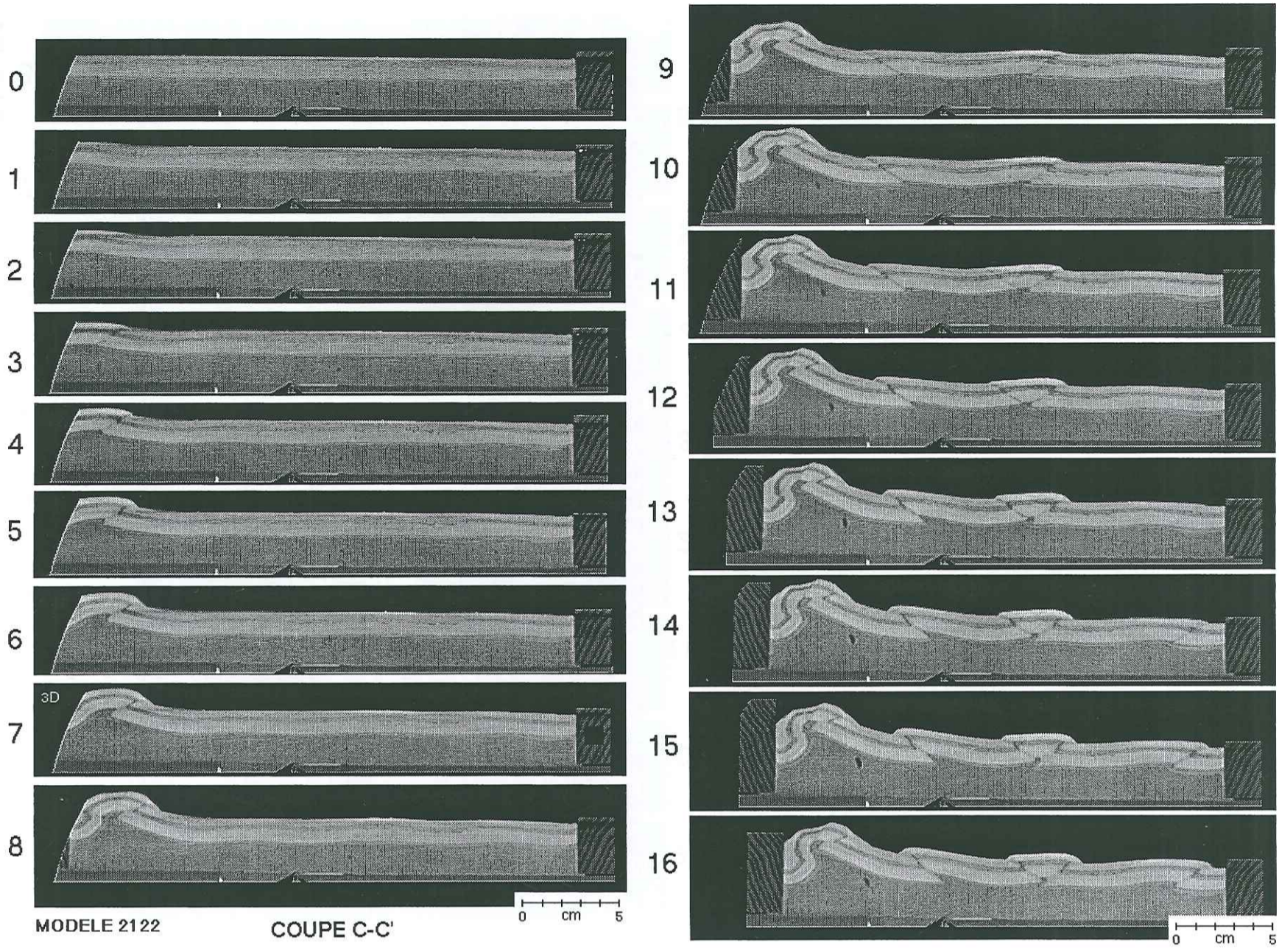


Fig.III-110: Coupes horizontales sériées du modèle n°2122.  
110a: coupes scanner vierges.



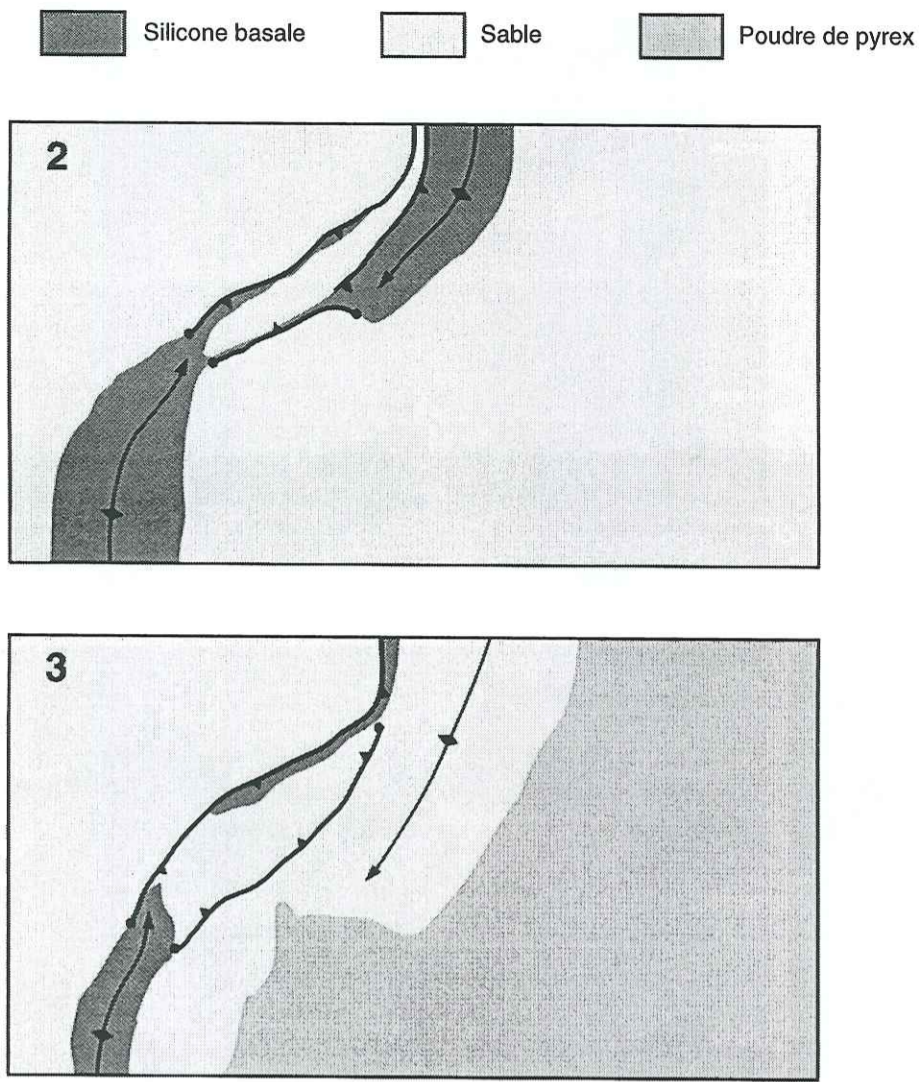


Fig.III-110b: Coupes horizontales interprétées

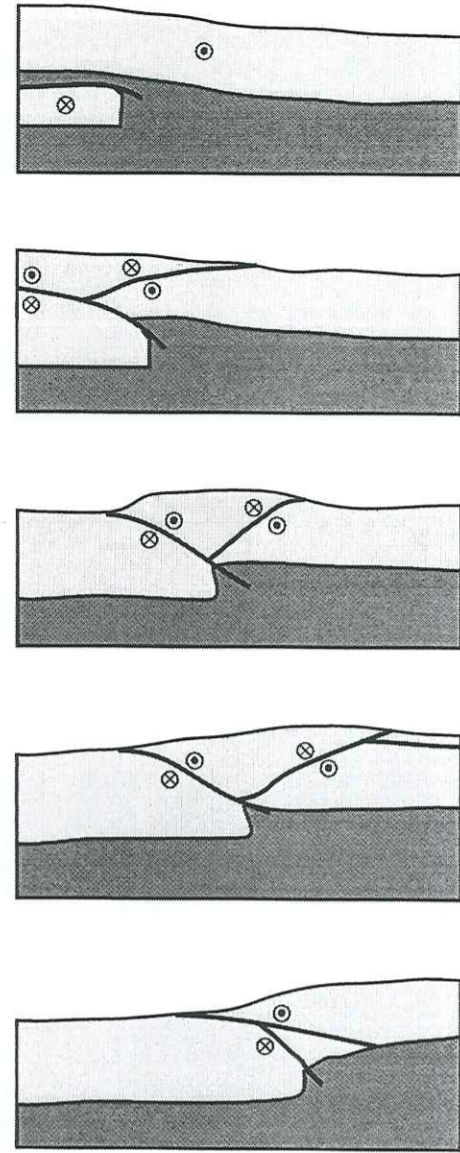


Fig.III-111b: Coupes longitudinales interprétées

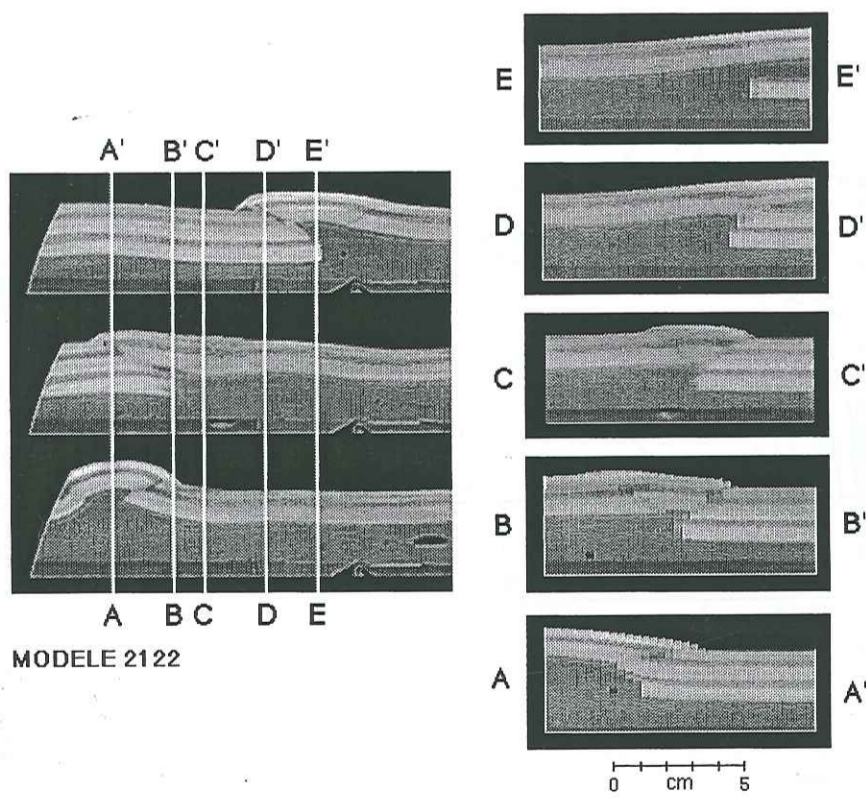


Fig.III-111: Coupes longitudinales localisées au centre de la zone de transfert.  
111a: coupes scanner vierges et localisation sur des coupes transversales.

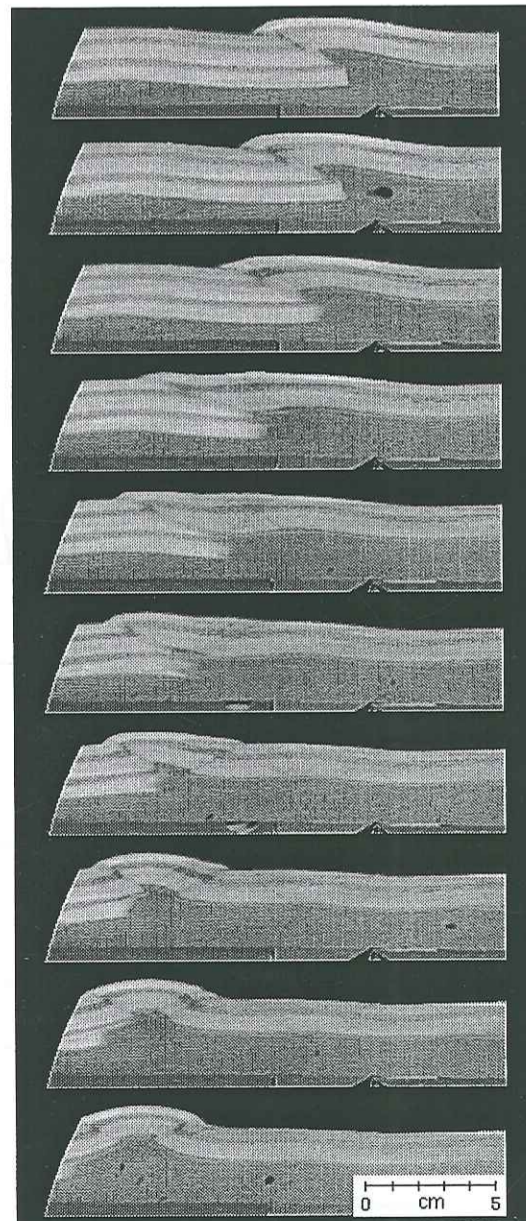


Fig.III-112: Coupes transversales sériées montrant l'inversion progressive de la vergence des 2 structures frontales.



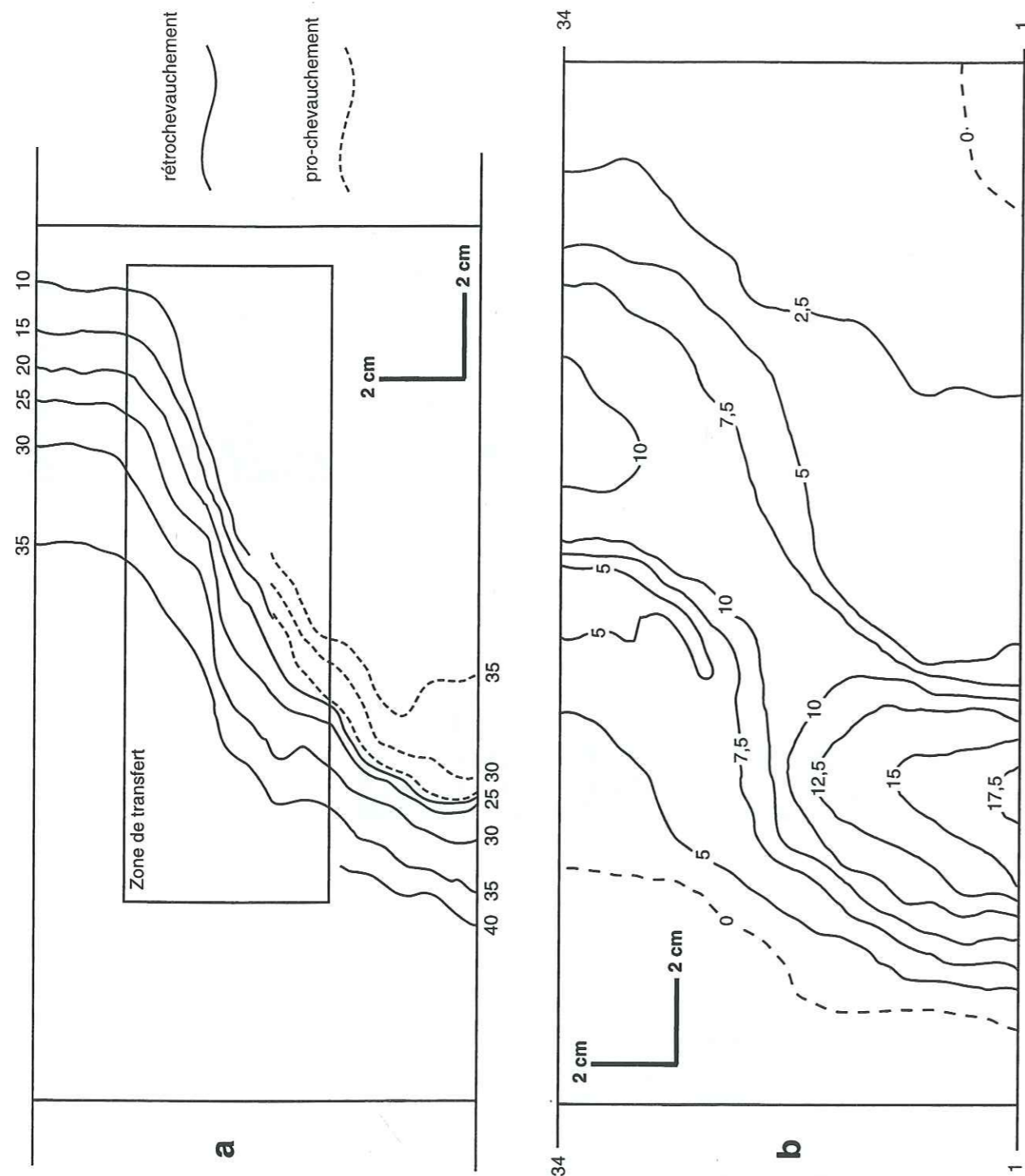
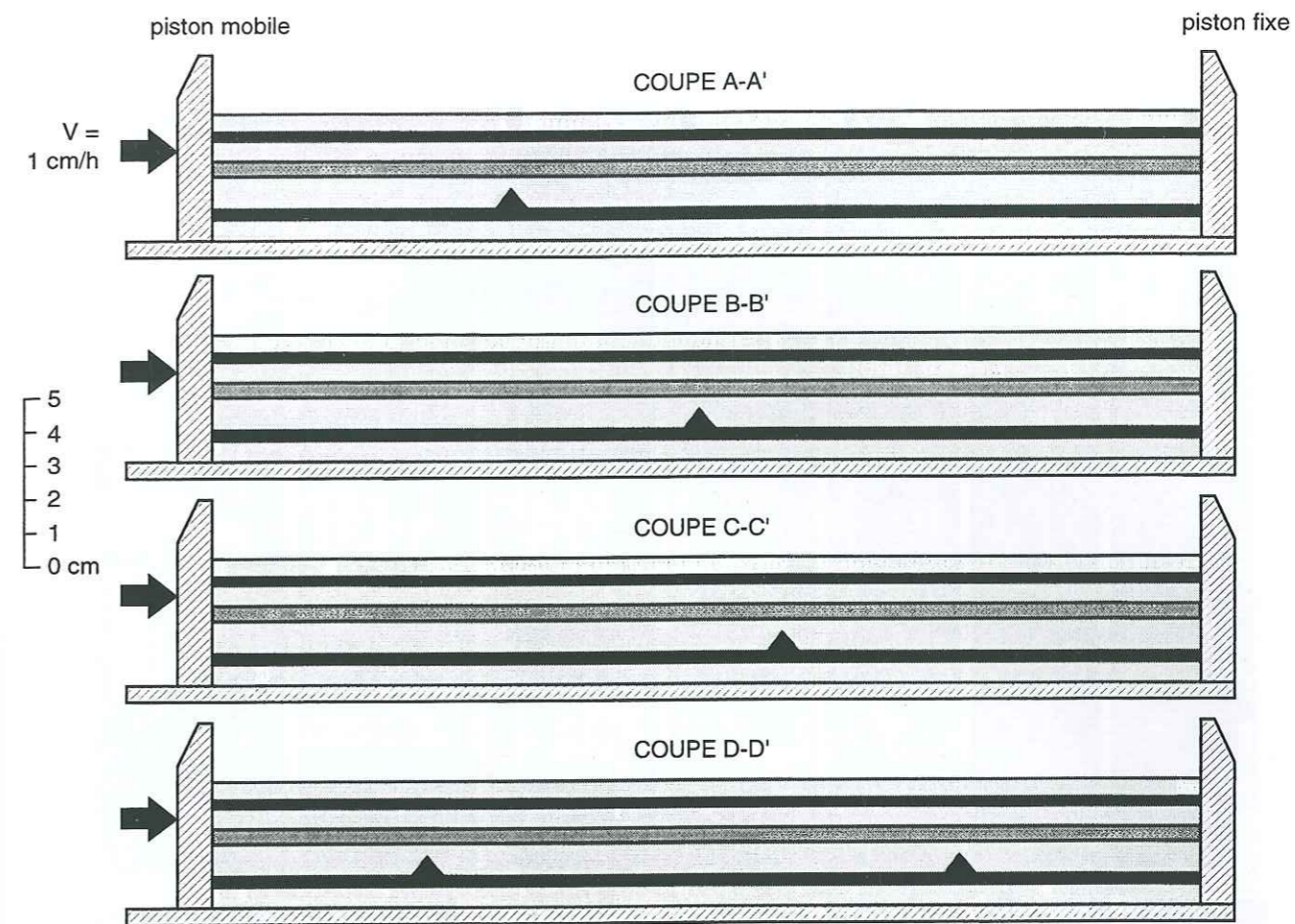


Fig.III-113a: Carte d'isohypses des surfaces de chevauchement (les isovaleurs sont en millimètres et rapportées à la base du modèle).

Noter le pendage plus important de la rampe oblique par rapport aux rampes frontales.

Fig.III-113b: Carte topographique de la surface du modèles (les isovaleurs sont en millimètres et rapportées à la surface initiale du modèle).



sable
  silicone (SGM 36)
  poudre de pyrex
  bois

diapir circulaire de silicone  
 ride de silicone

Exp. n° 3371

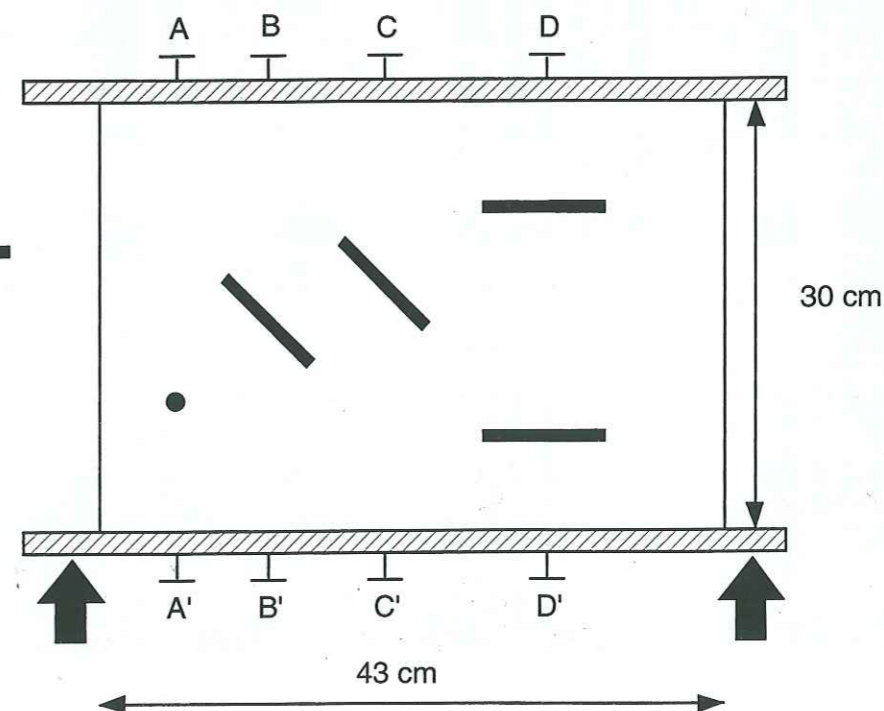
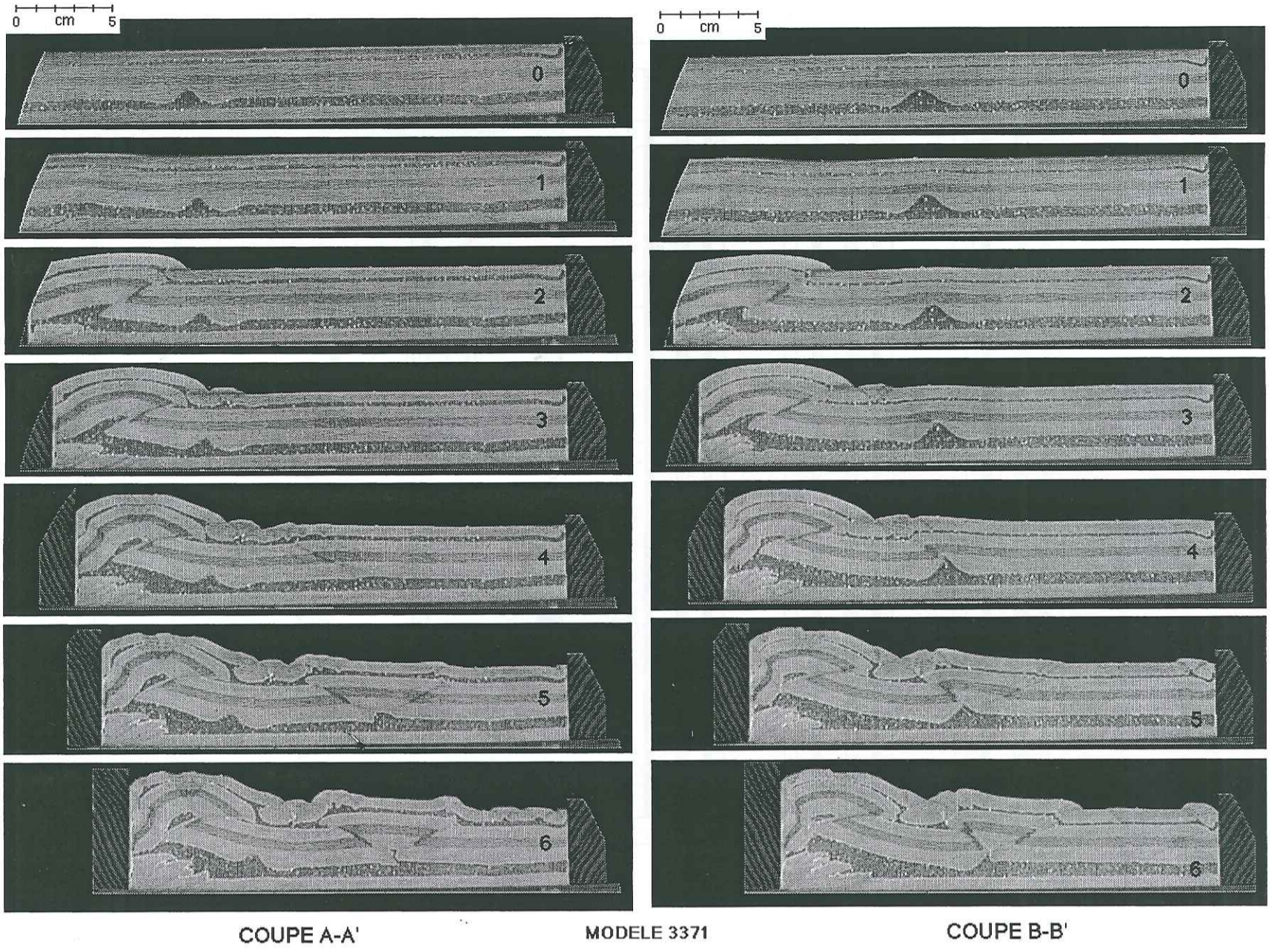


Fig.III-114: Dispositif expérimental du modèle n°3371



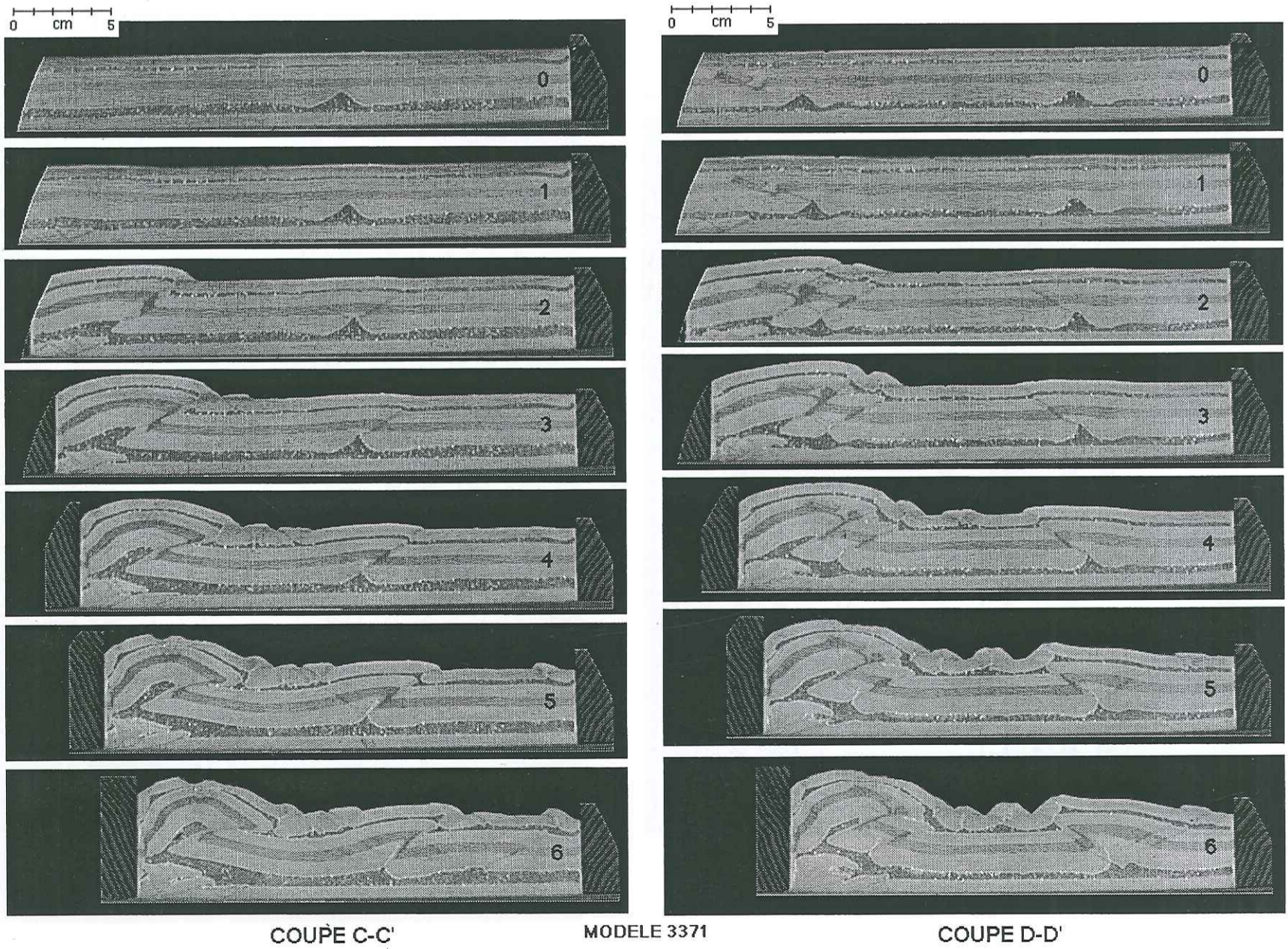


COUPE A-A'

MODELE 3371

COUPE B-B'

Fig.III-115: Coupes transversales évolutives montrant l'influence des hétérogénéités de la silicone basale sur la localisation des chevauchements.



COUPE C-C'

MODELE 3371

COUPE D-D'

Fig.III-115 (suite)



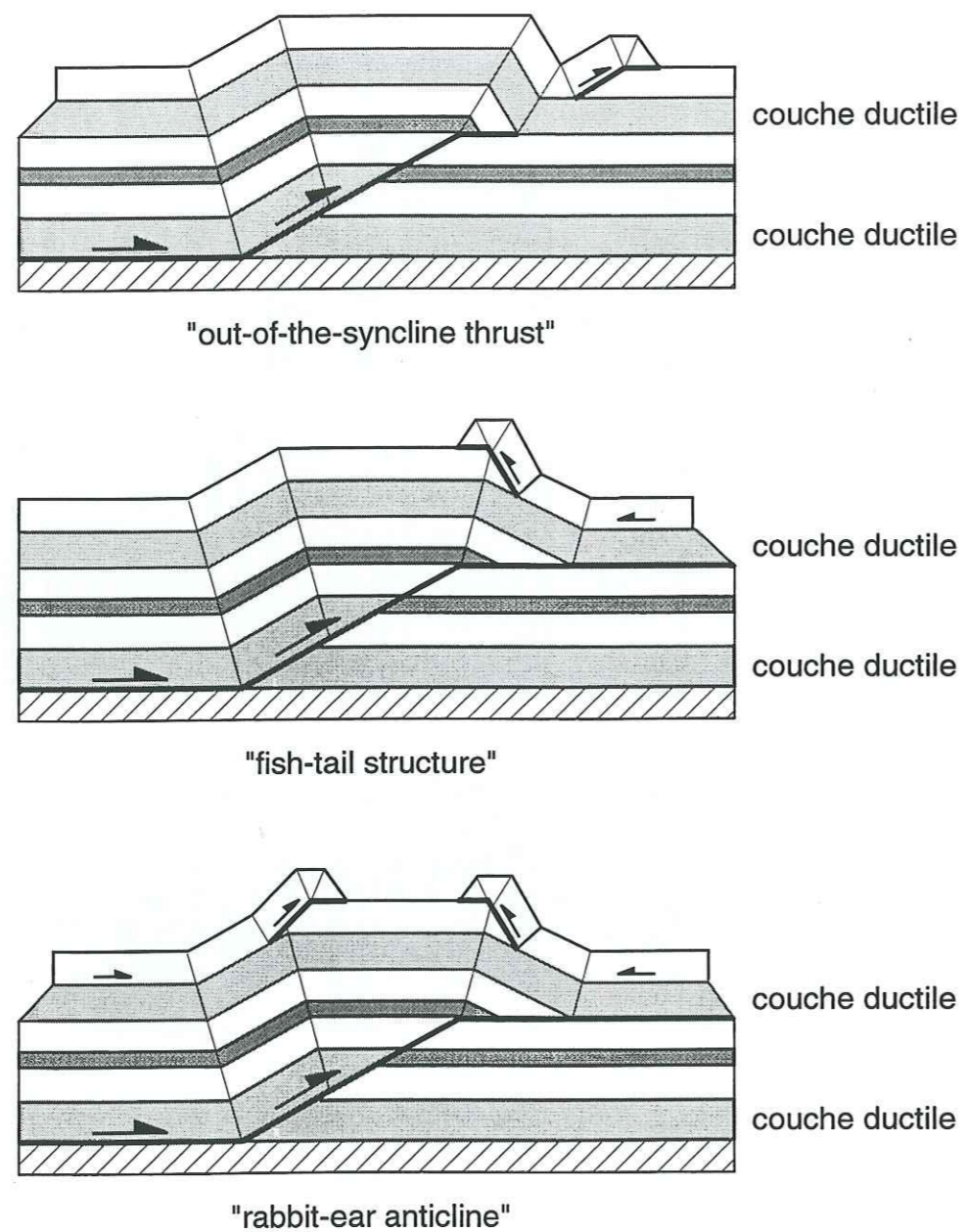


Fig.III-116: 3 cas possibles d'associations chevauchement inférieur - chevauchement(s) superficiel(s) en présence d'une couche ductile (silicone) intermédiaire.

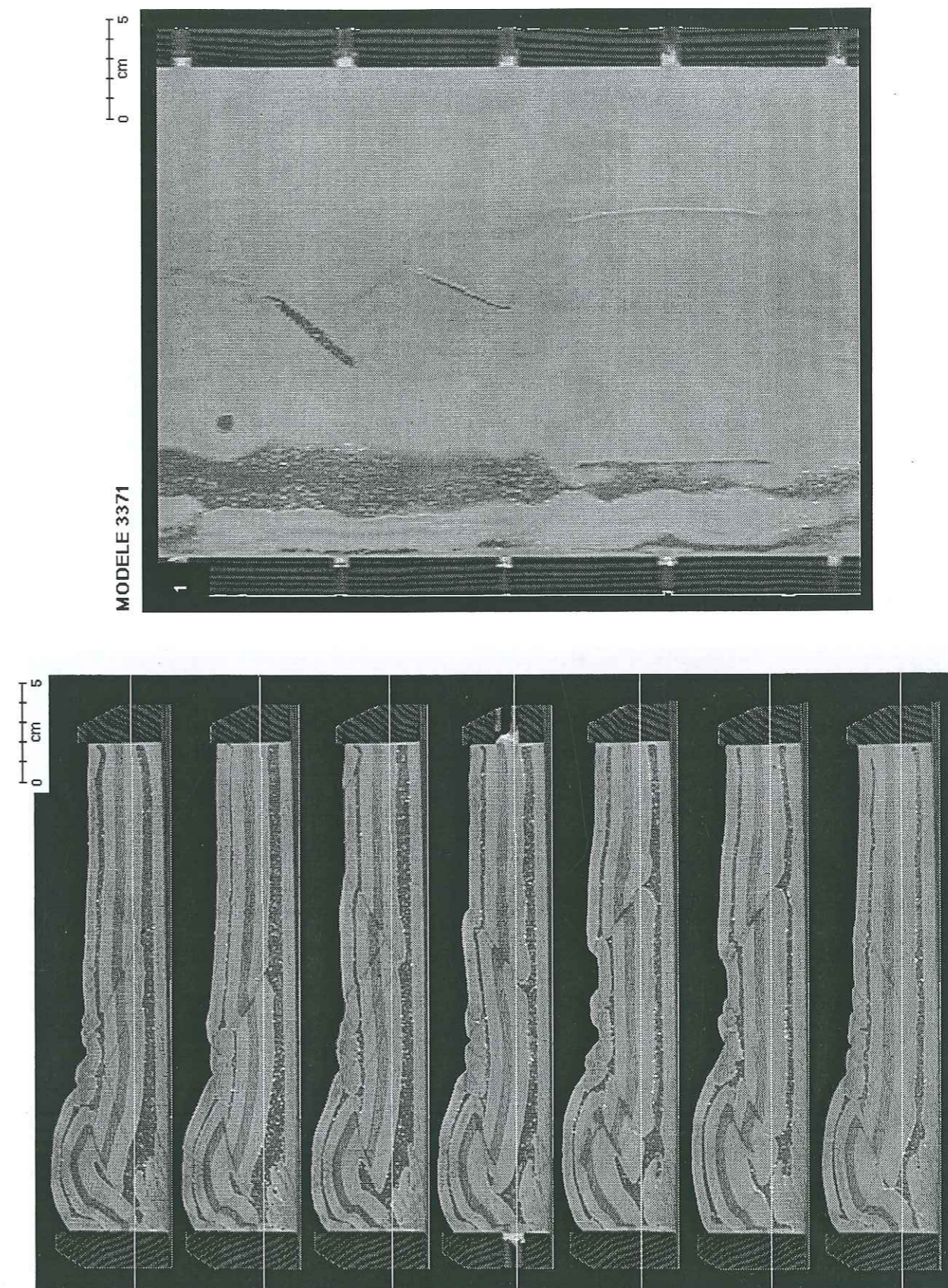


Fig.III-117: Coupes horizontales sériées du modèle n°3371 à 2 stades de la déformation (coupes 1-2-3 : stade intermédiaire; coupes 4-5-6: stade final).



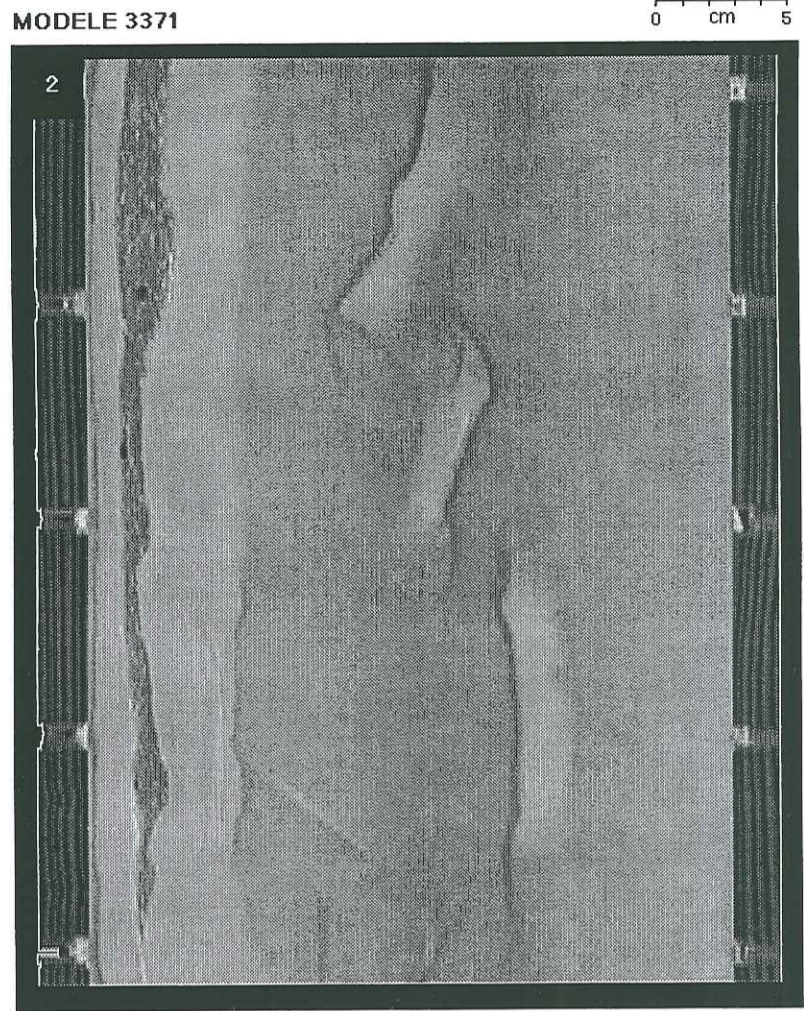
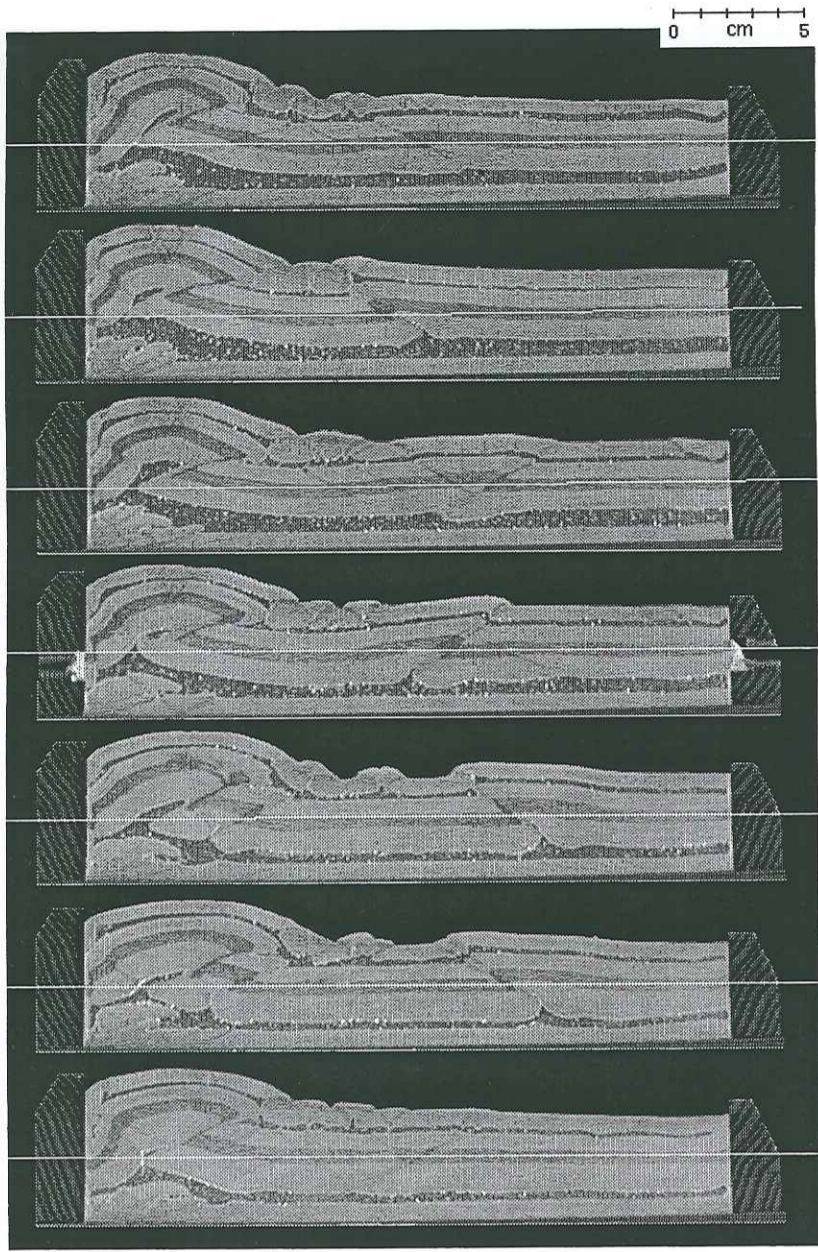


Fig.III-117a (suite)

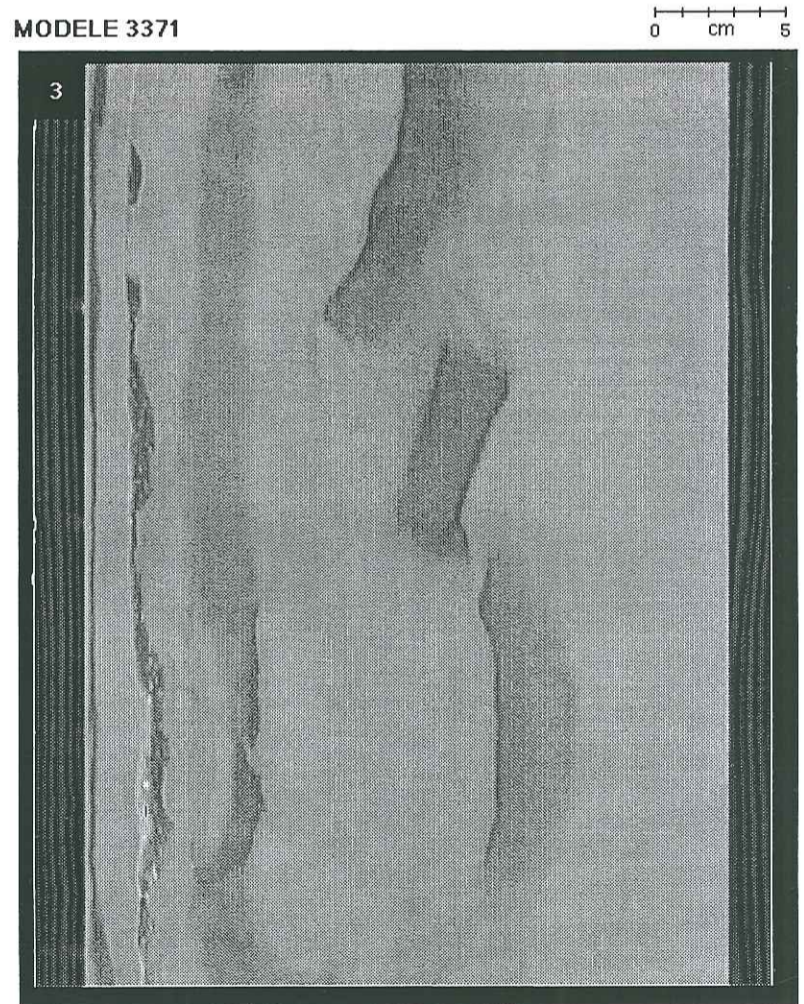
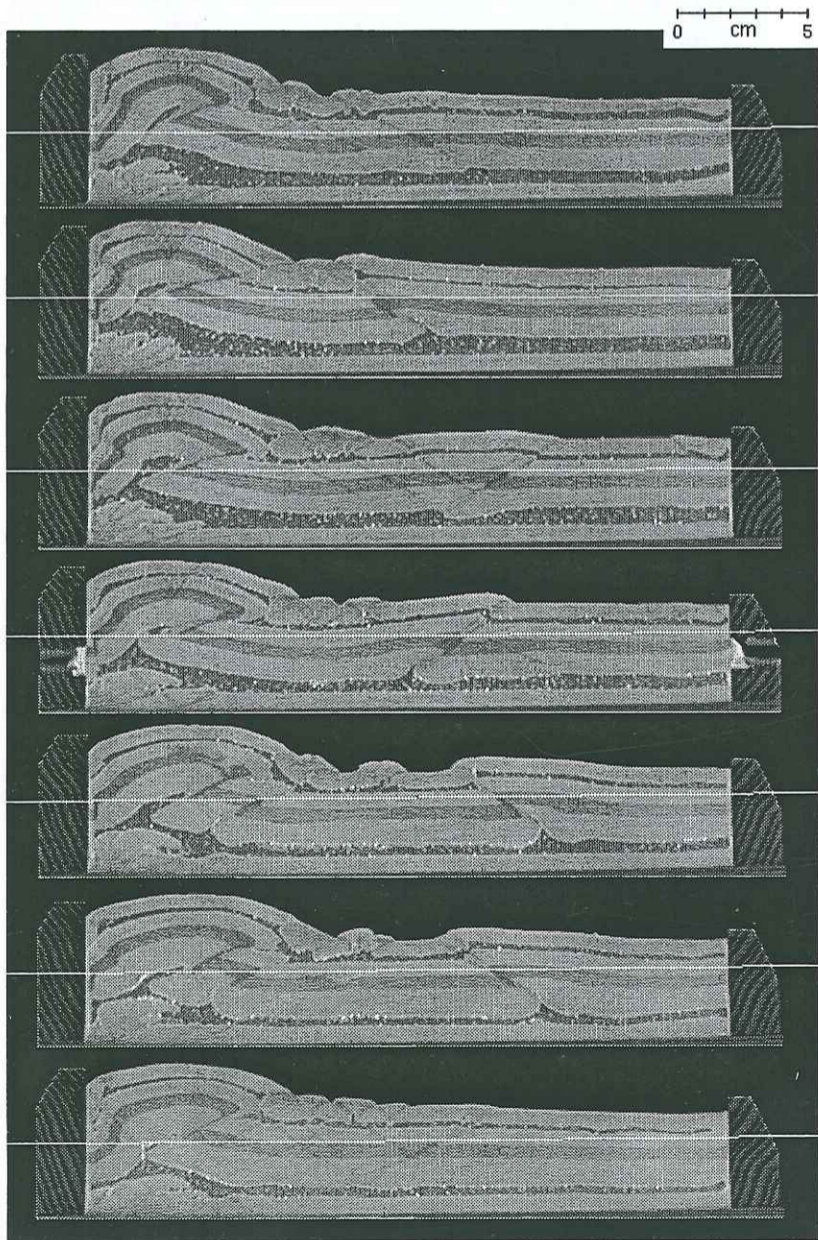
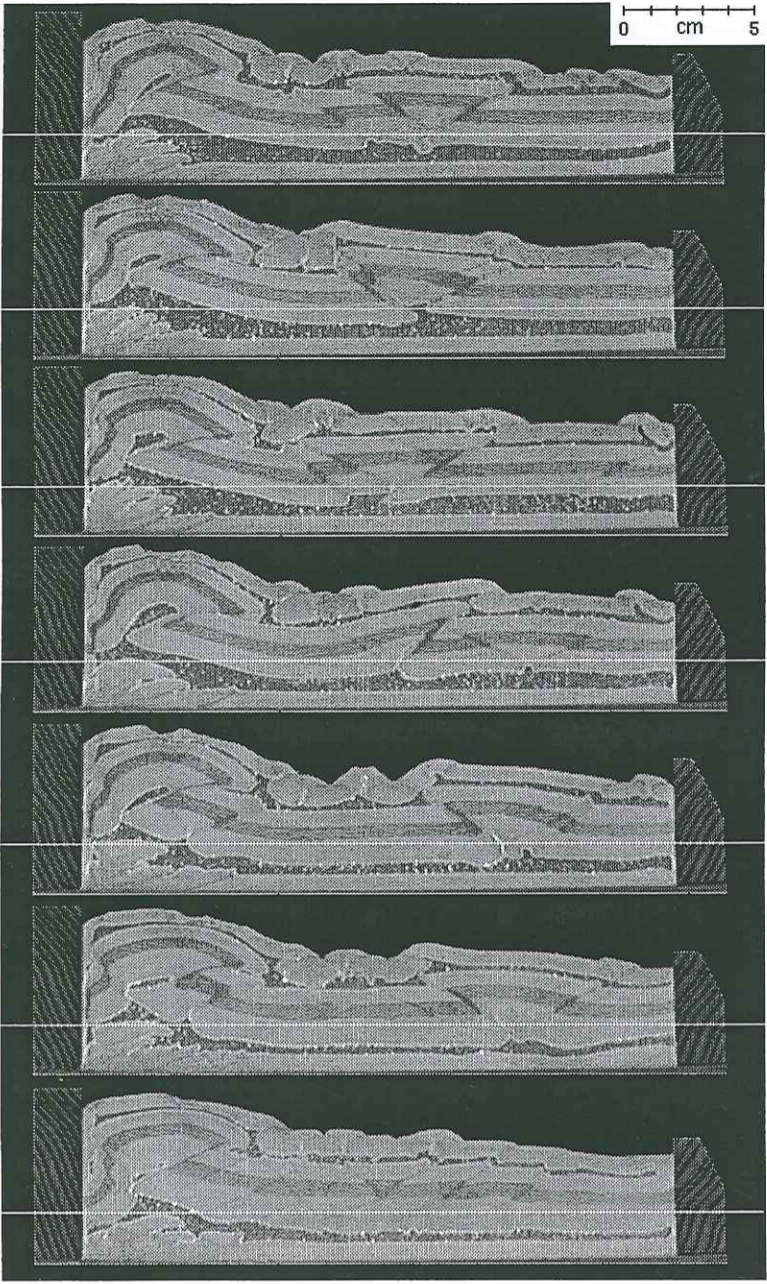


Fig.III-117a (suite)





MODELE 3371

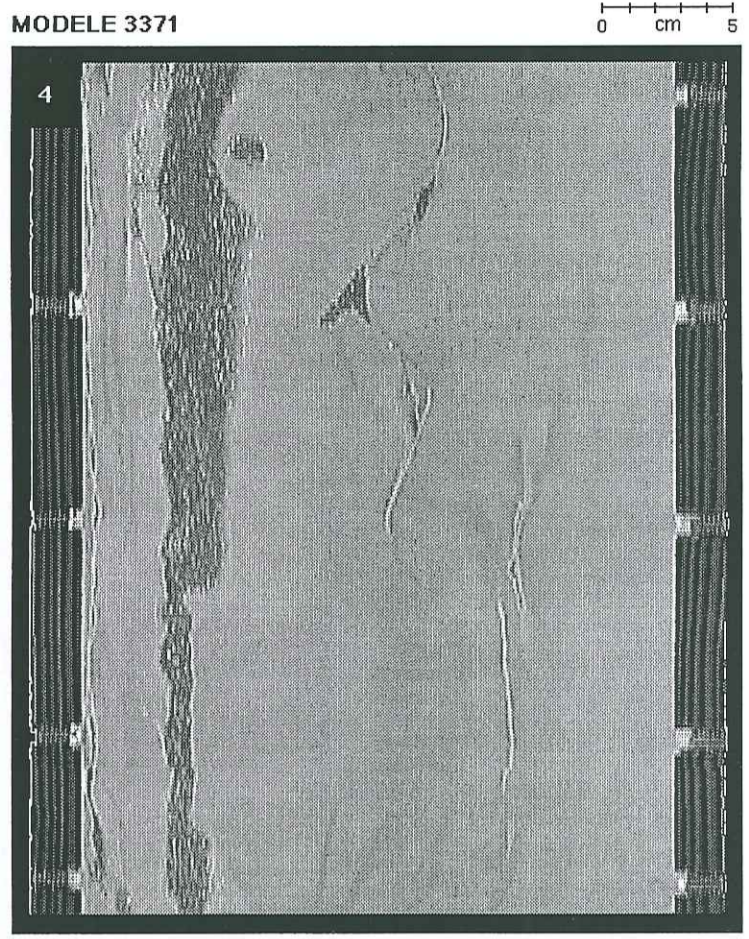
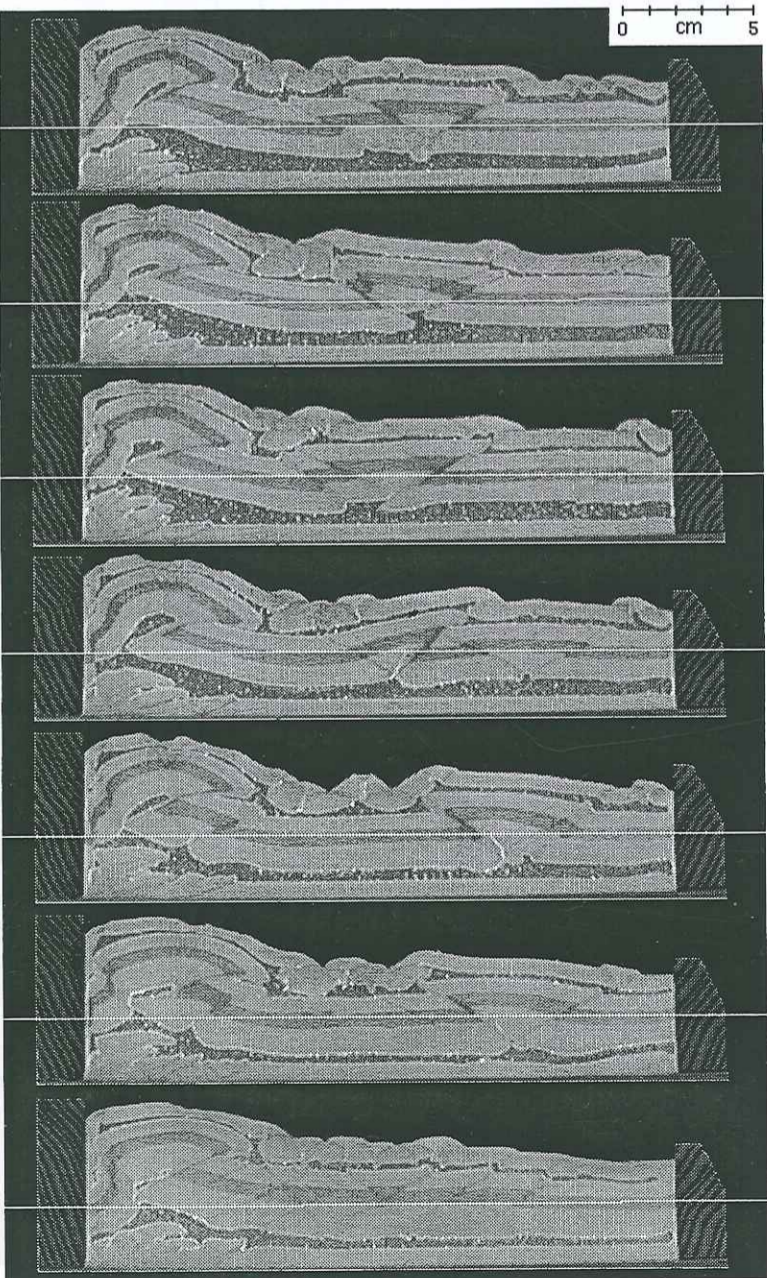


Fig.III-117a (suite)



MODELE 3371

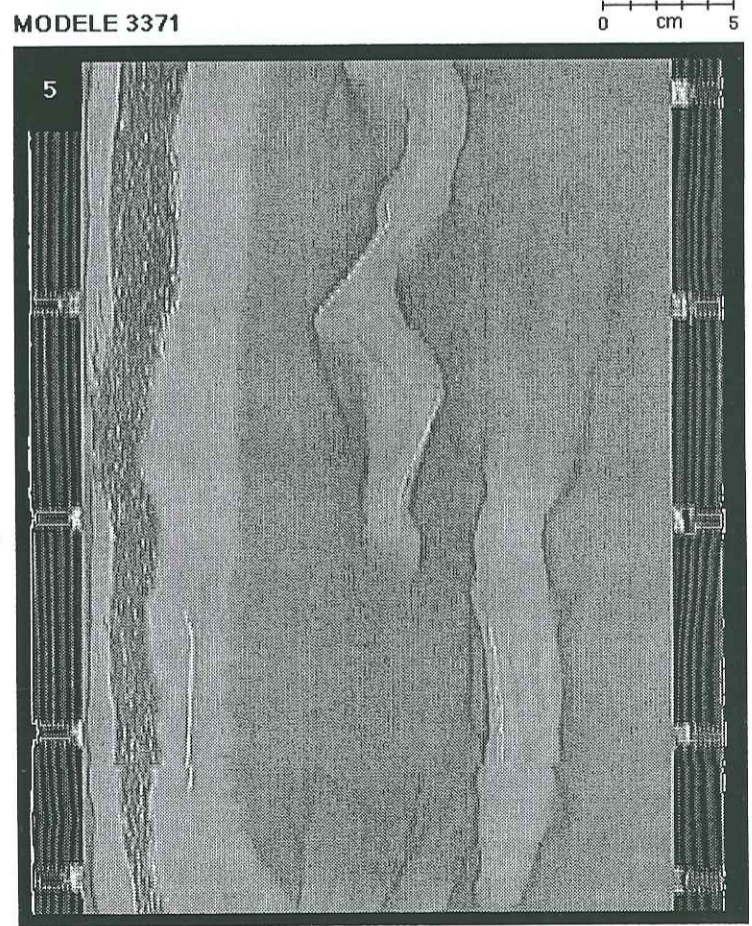


Fig.III-117a (suite)



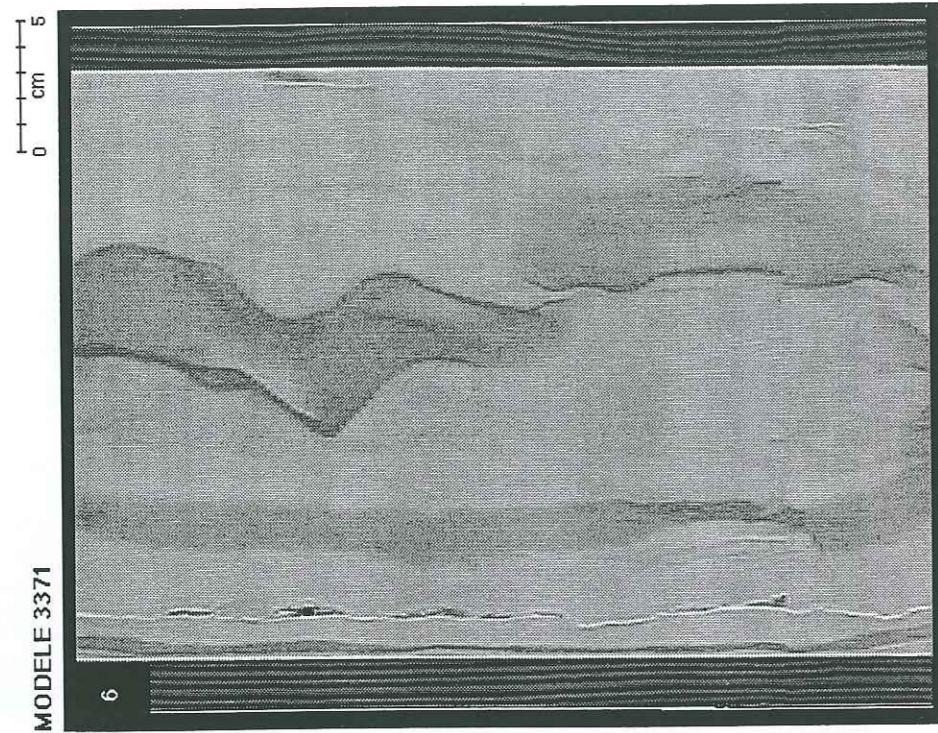
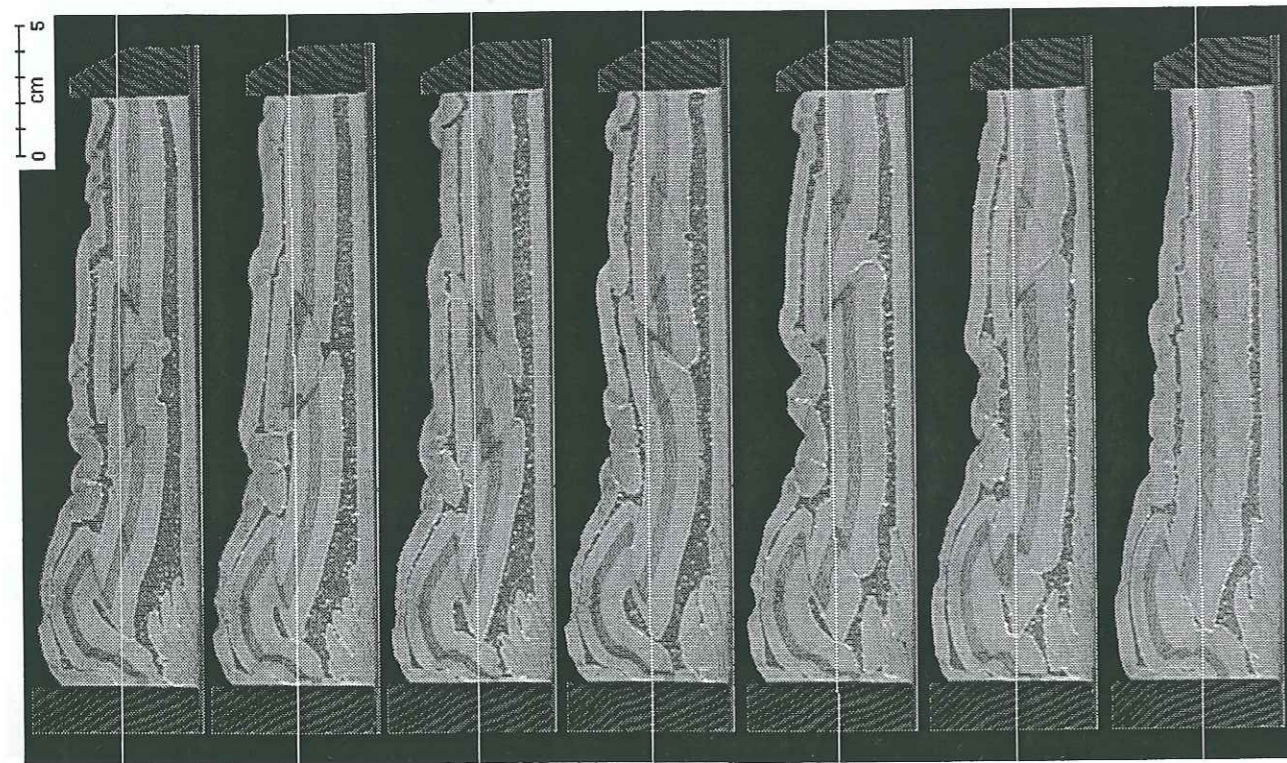
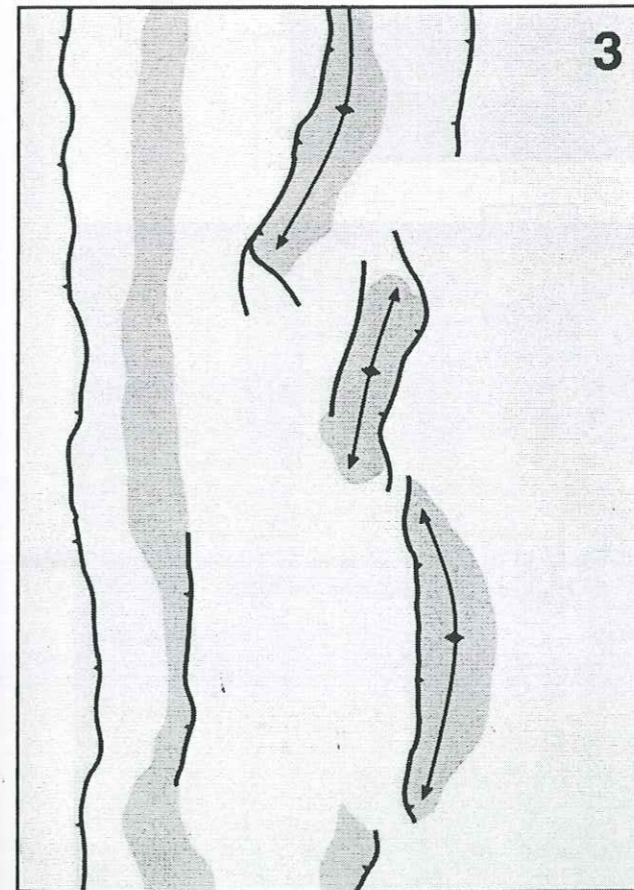
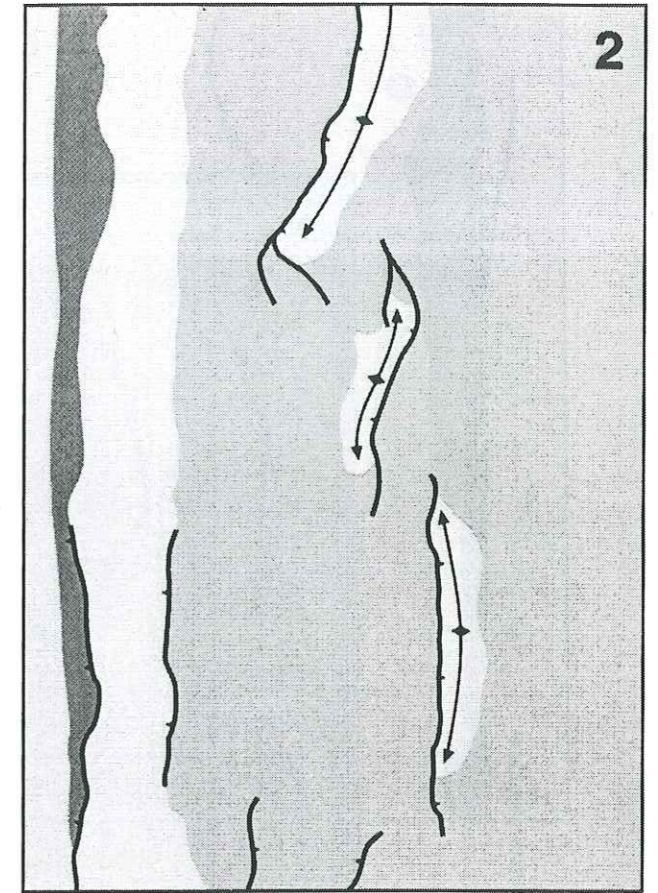
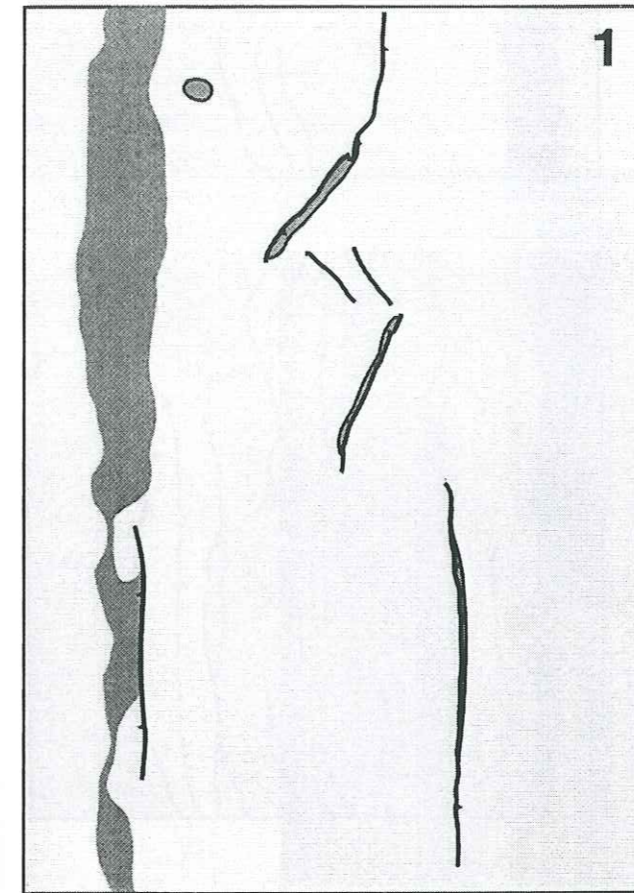


Fig.III-117a (suite)






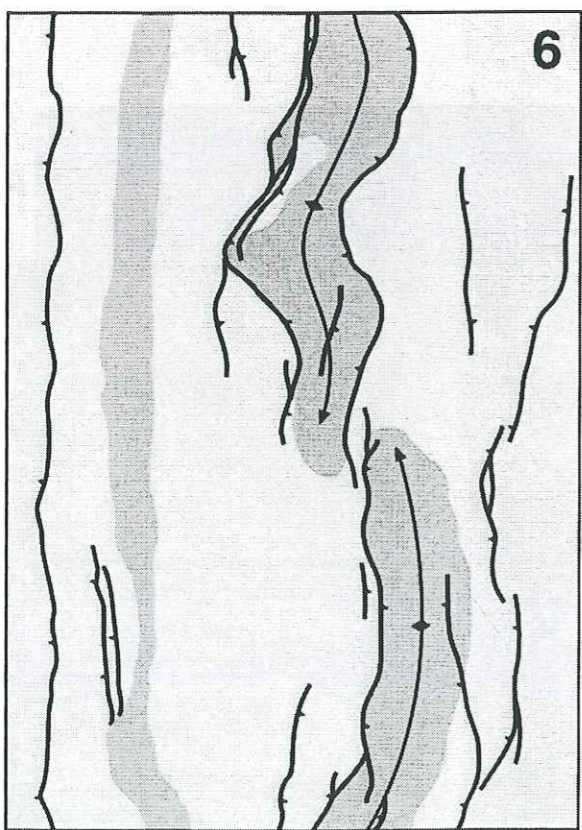
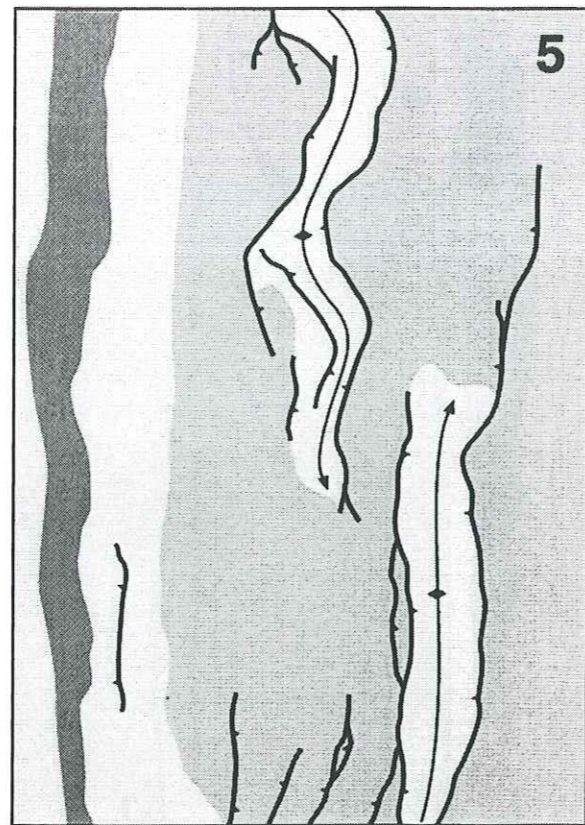
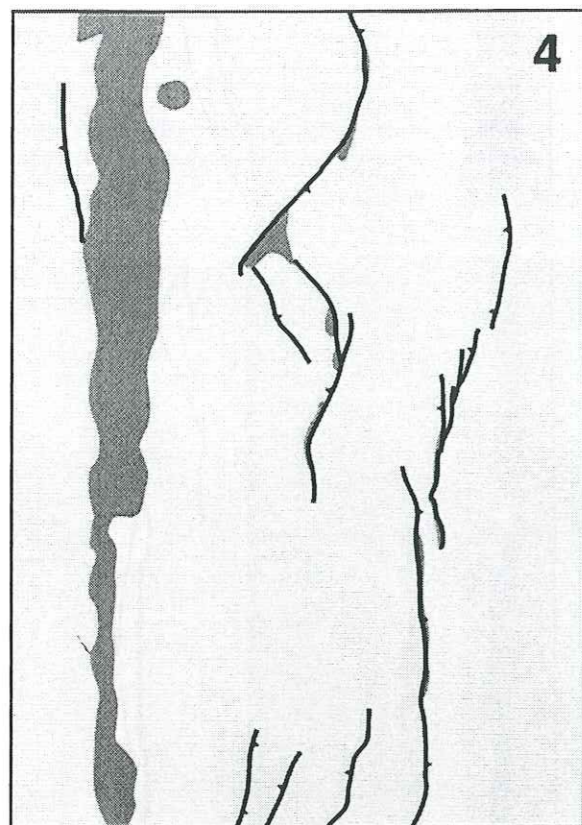
-  Poudre de pyrex
-  Sable
-  Silicone basale

Fig.III-117b: Coupes longitudinales interprétées au stade de raccourcissement intermédiaire.








-  Poudre de pyrex
-  Sable
-  Silicone basale

Fig.III-117b (suite): Coupes longitudinales interprétées au stade de raccourcissement final.

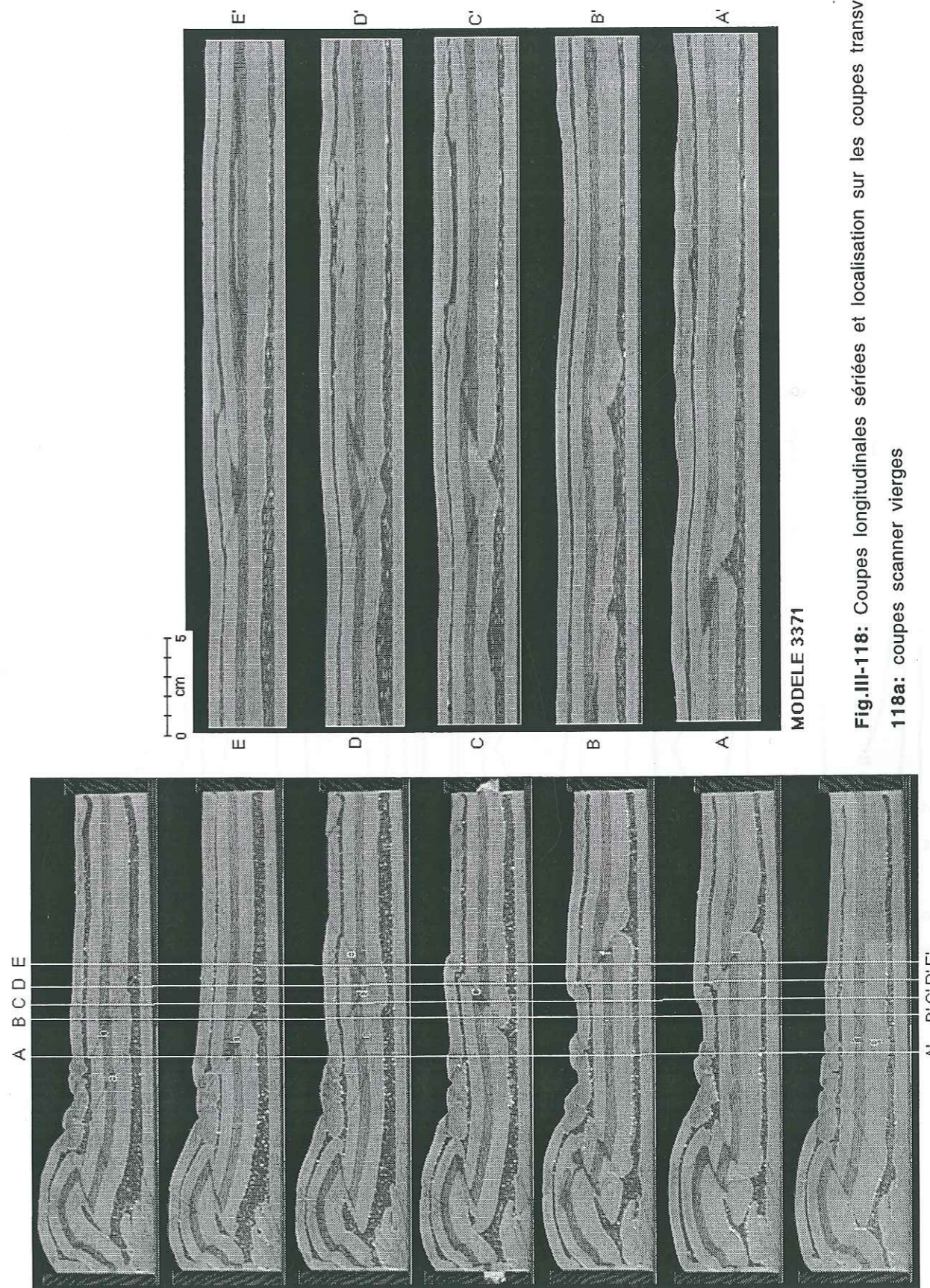


Fig.III-118: Coupes longitudinales sériées et localisation sur les coupes transversales.  
118a: coupes scanner vierges



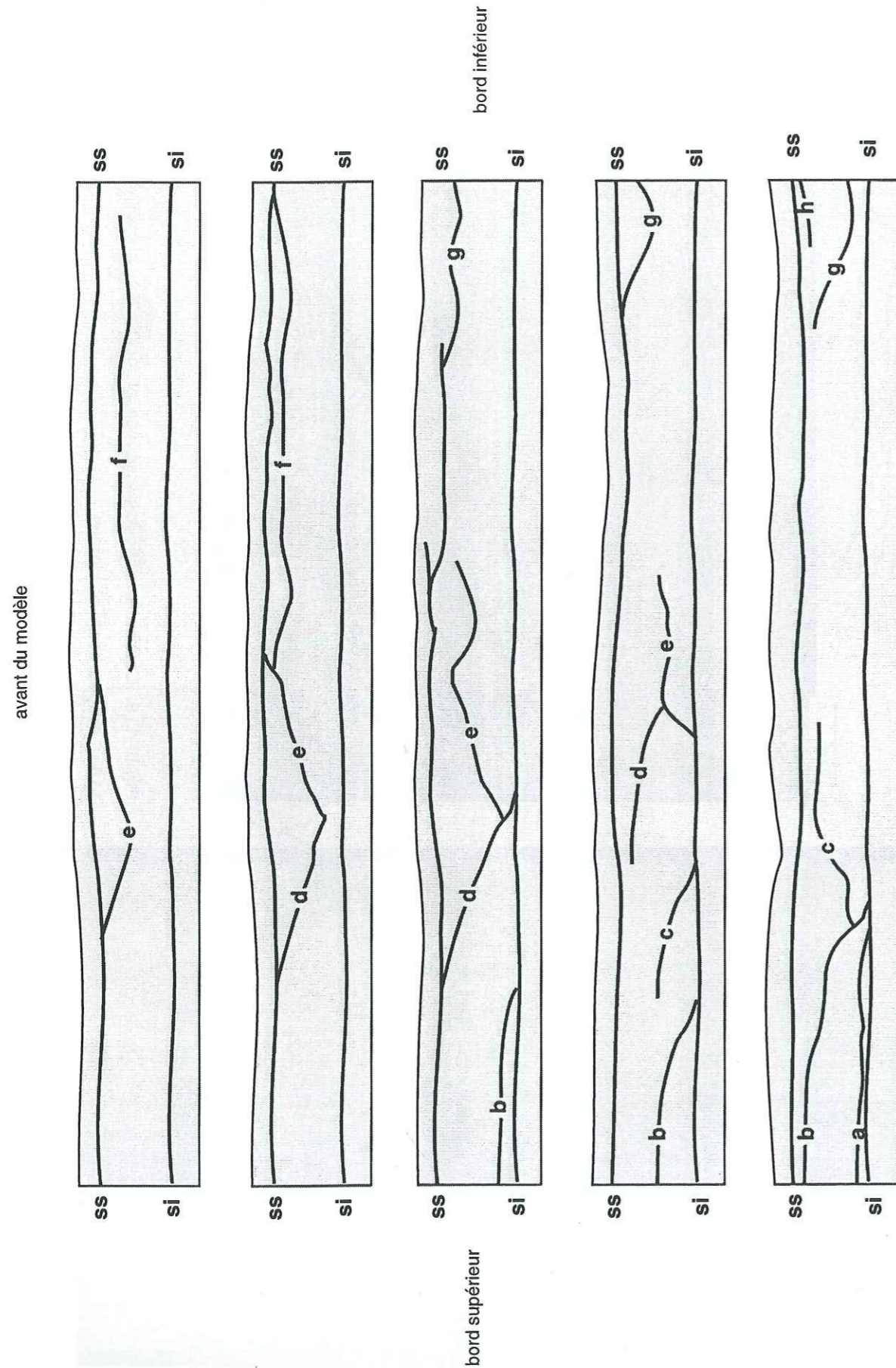


Fig.III-118: Coupes longitudinales interprétées

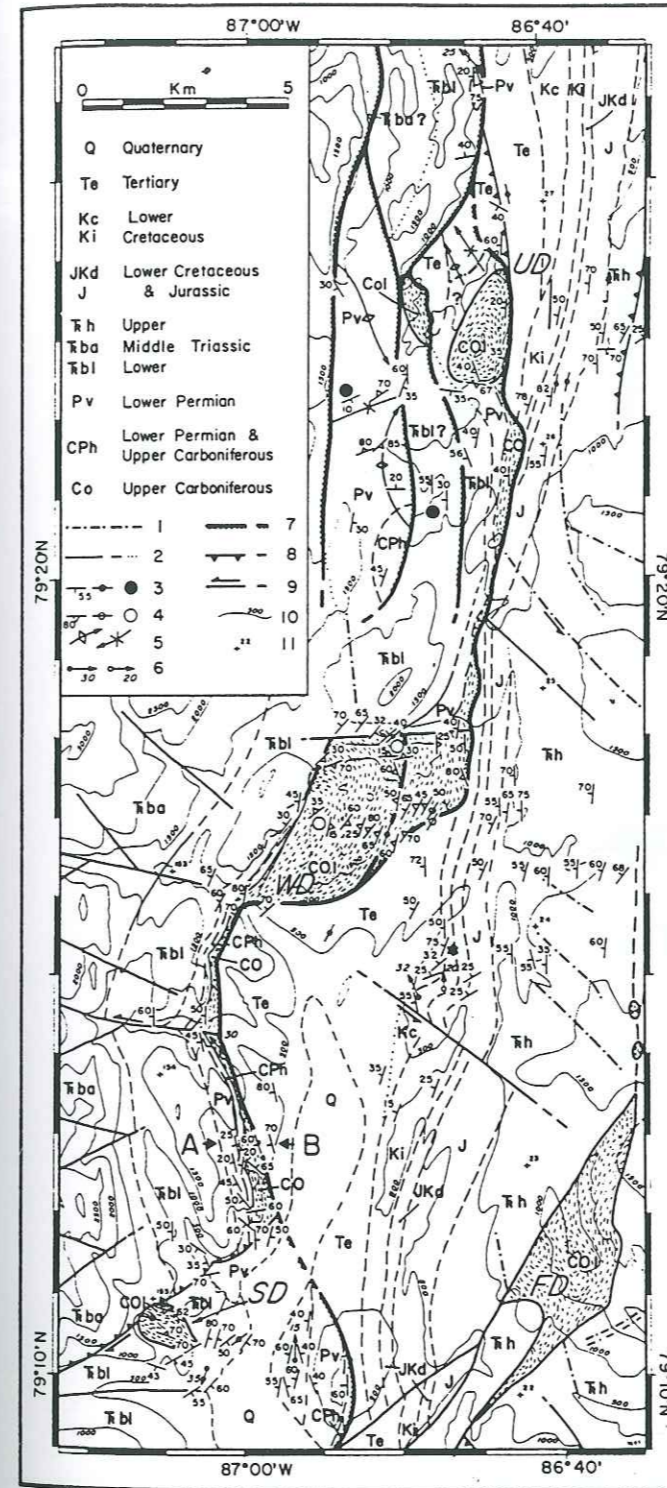


Fig. 10. Geological map of the Whitsunday Bay segment of the Stolz Fault Zone. Partly after Thorsteinsson (1974, map 1302A). 1 - Diabase dykes and sills. 2 - Lithologic contacts (defined, approximate and assumed). 3 - Bedding (inclined, vertical and horizontal). 4 - Foliation (inclined, vertical and horizontal). 5 - Major anticlines and synclines with attitudes of fold axes. 6 - Minor anticlines and synclines with attitudes of fold axes. 7 - Thrust faults (defined, assumed), teeth indicate upthrust side. 8 - Reverse fault (defined and assumed). 9 - Unknown types of faults (defined, assumed). Arrows indicate sense of strike slip. 10 - Topographic contours in feet. 11 - Centre of RCAF Photos (A16760-22 to A16760-27 and A16858-153 to A16858-155). SD - Stolz Diapir. WD - Whitsunday Bay Diapir. FD - Fulmar Channel Diapir. UD - Unnamed Diapir. COL - diapiric Otto Fiord anhydrite.

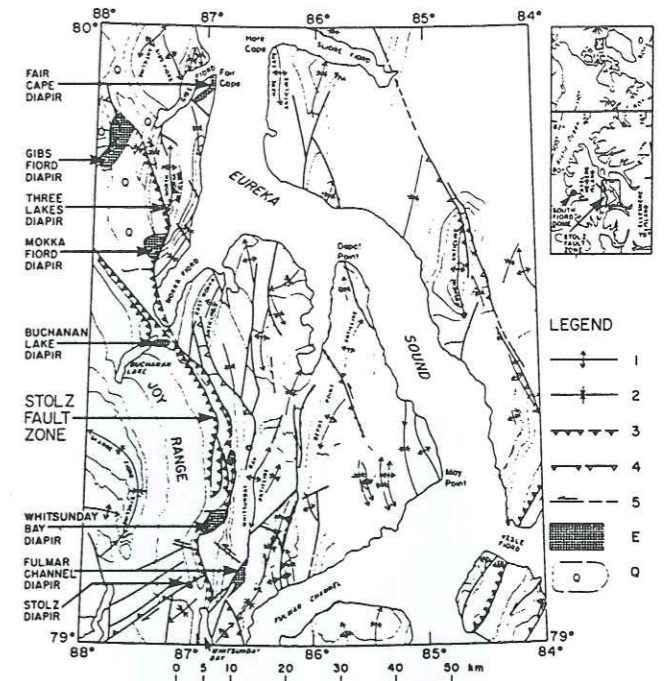


Fig. 1. Tectonic map of eastern Axel Heiberg Island, modified after Thorsteinsson (1974, map 1302A). For simplicity, only geologic boundaries are shown. 1 - Anticline. 2 - Syncline. 3 - Thrust fault (known, assumed). 4 - Reverse fault (known, assumed, arrow indicates minor horizontal displacement component). 5 - Fault (known, inferred). E - Evaporite (anhydrite and gypsum; locally salt) diapir. Q - Quaternary.

Fig.III-119: Carte structurale du front de la Chaîne Eureka et carte de détail d'un segment de la zone faillée de Stolz (Van Berkel *et al.*, 1983).

Noter la présence d'intrusions salifères qui provoquent localement le décalage brutal vers l'avant-pays du front de chevauchement ("Whitsunday Bay diapir").



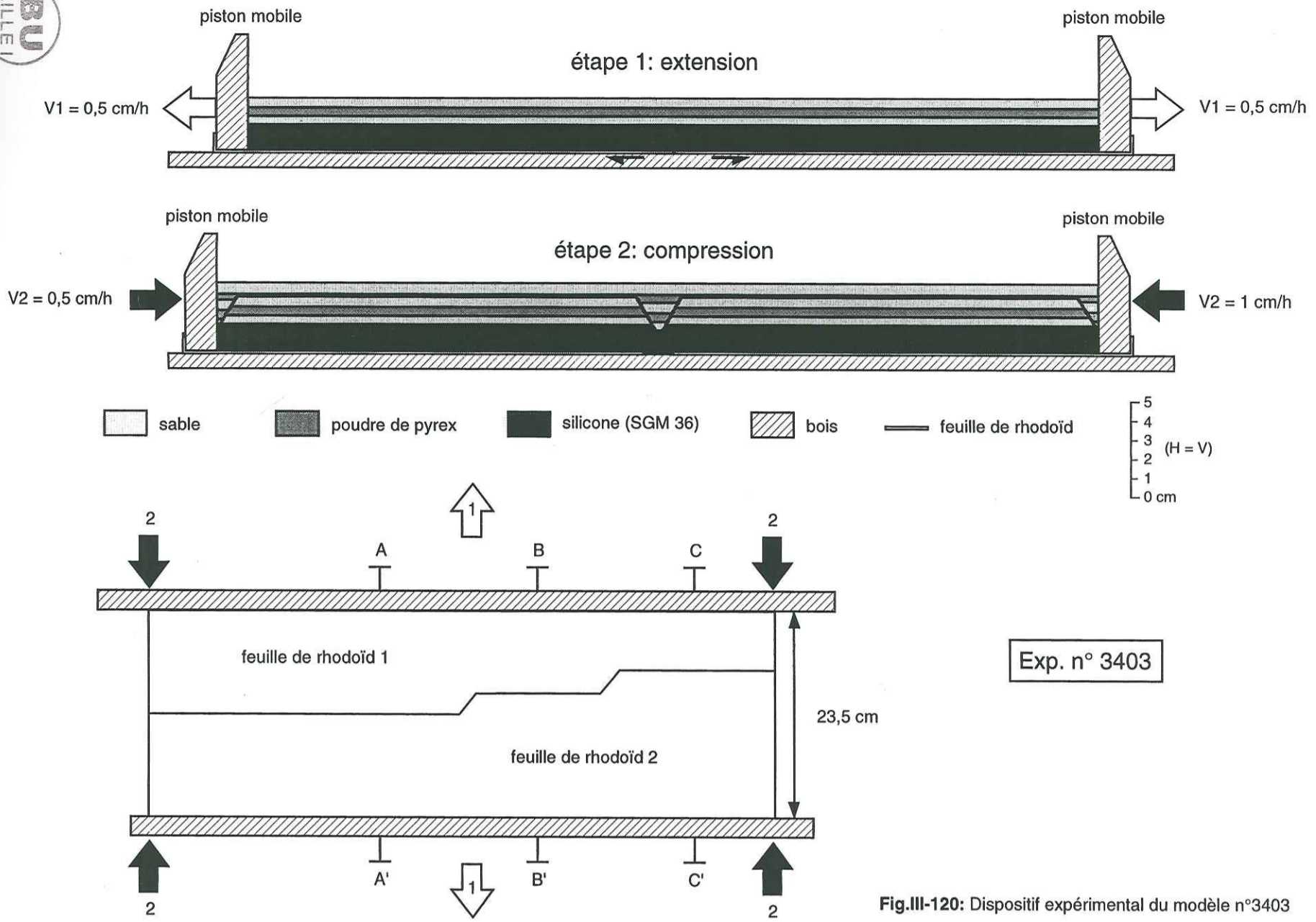


Fig.III-120: Dispositif expérimental du modèle n°3403

MODELE 3403

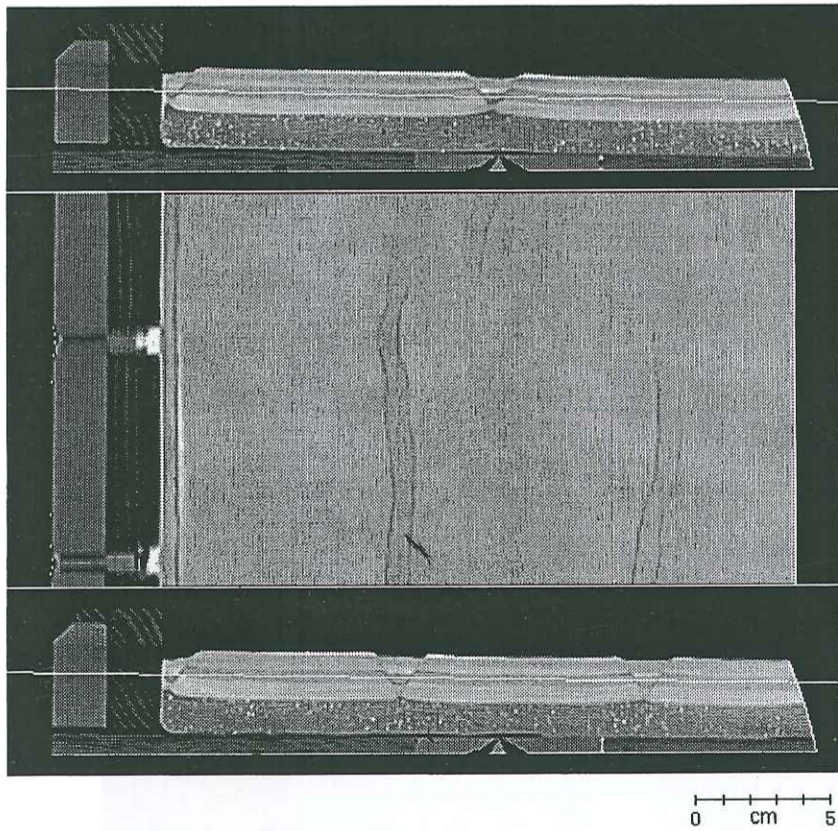


Fig.III-121: Coupe horizontale avant compression du modèle 3403. Noter la présence des 3 grabens rectilignes en relais.

COUPE A-A'

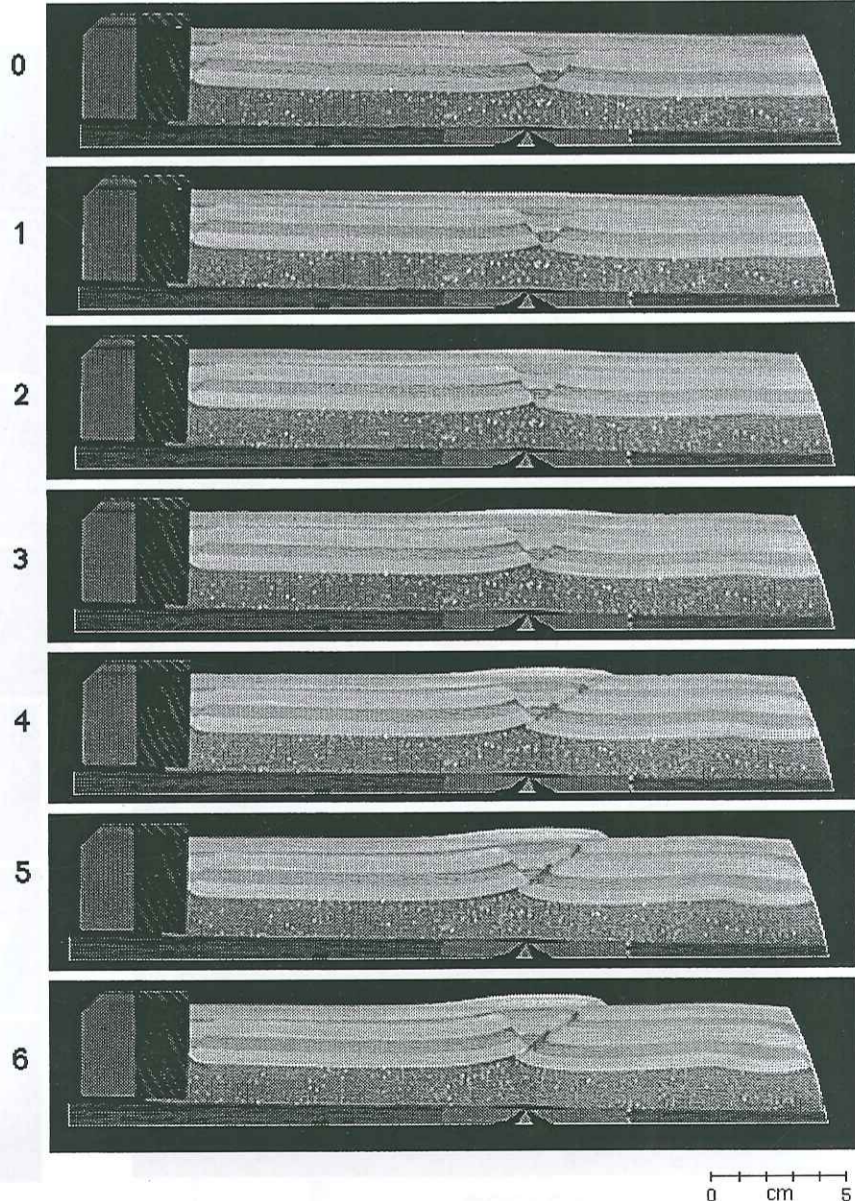


Fig.III-122: Coupes transversales évolutives montrant l'influence des grabens préexistants sur la localisation et la vergence des chevauchements.



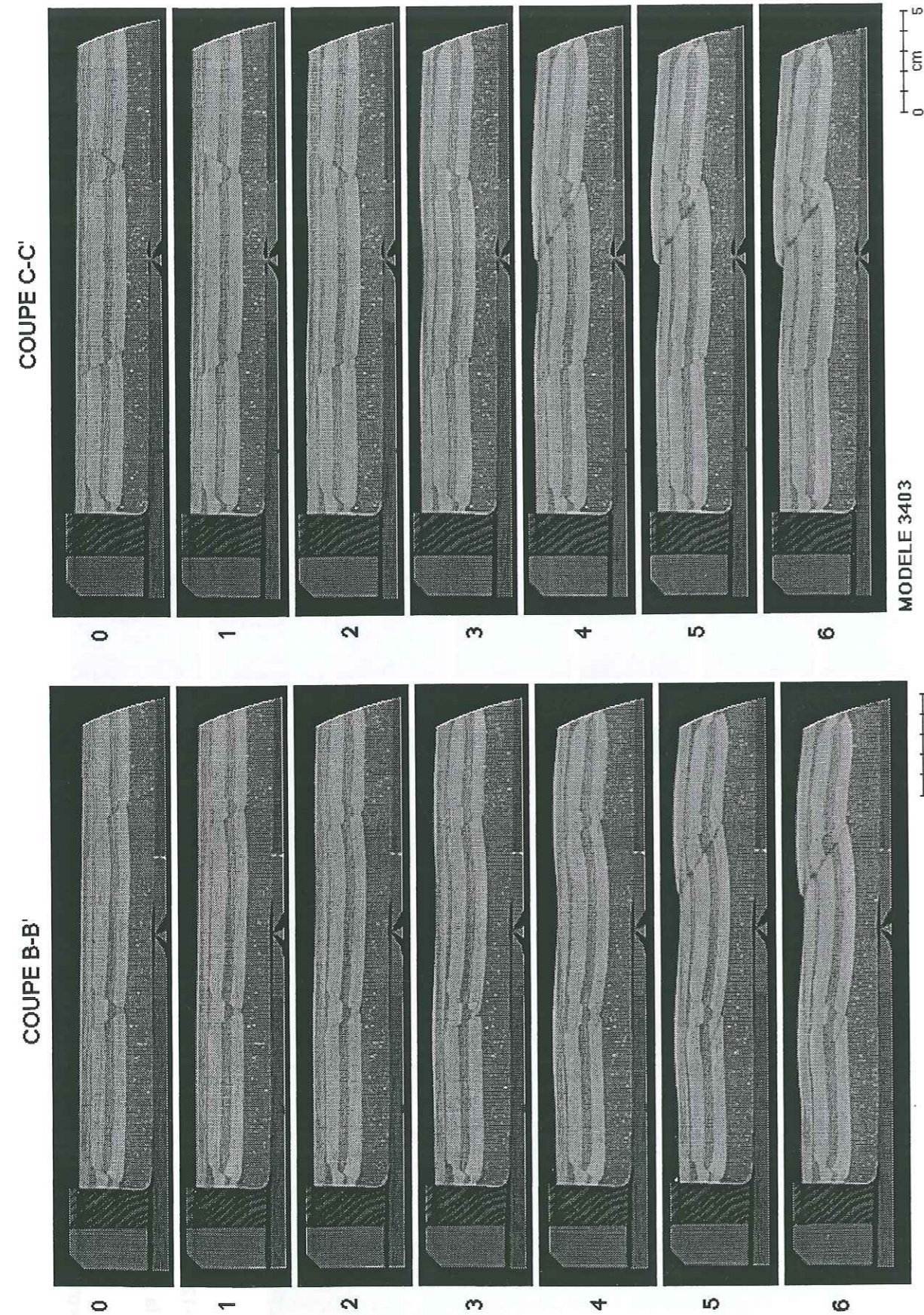


Fig. III-122 (suite)

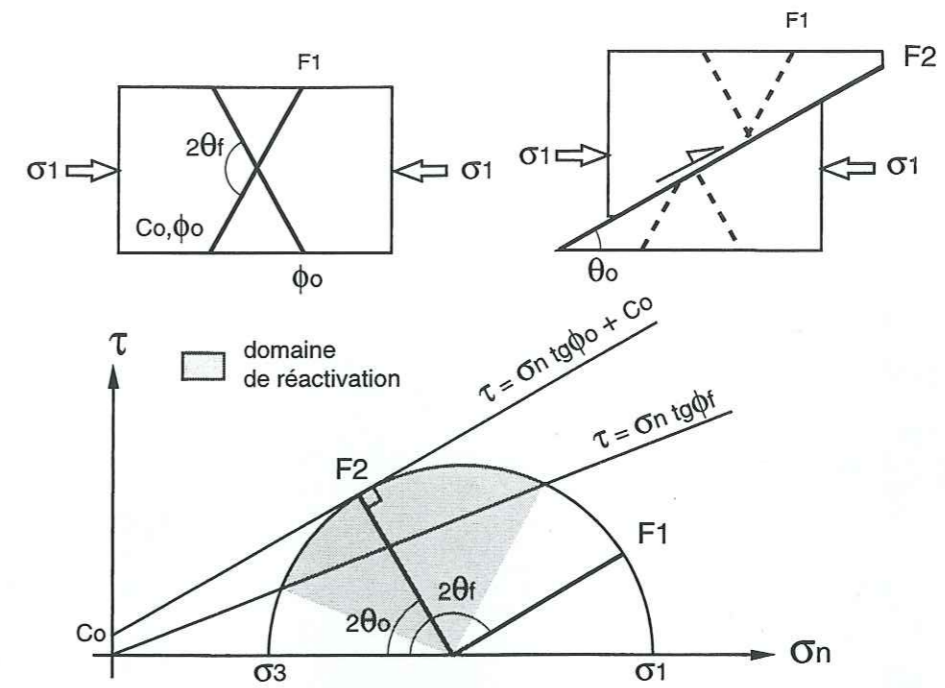


Fig. III-123: Explication mécanique de la néoformation de failles inverses au sein de la couche fragile: les failles normales héritées se situent en dehors du domaine de rupture anisotrope en raison de leur pendage trop élevé.

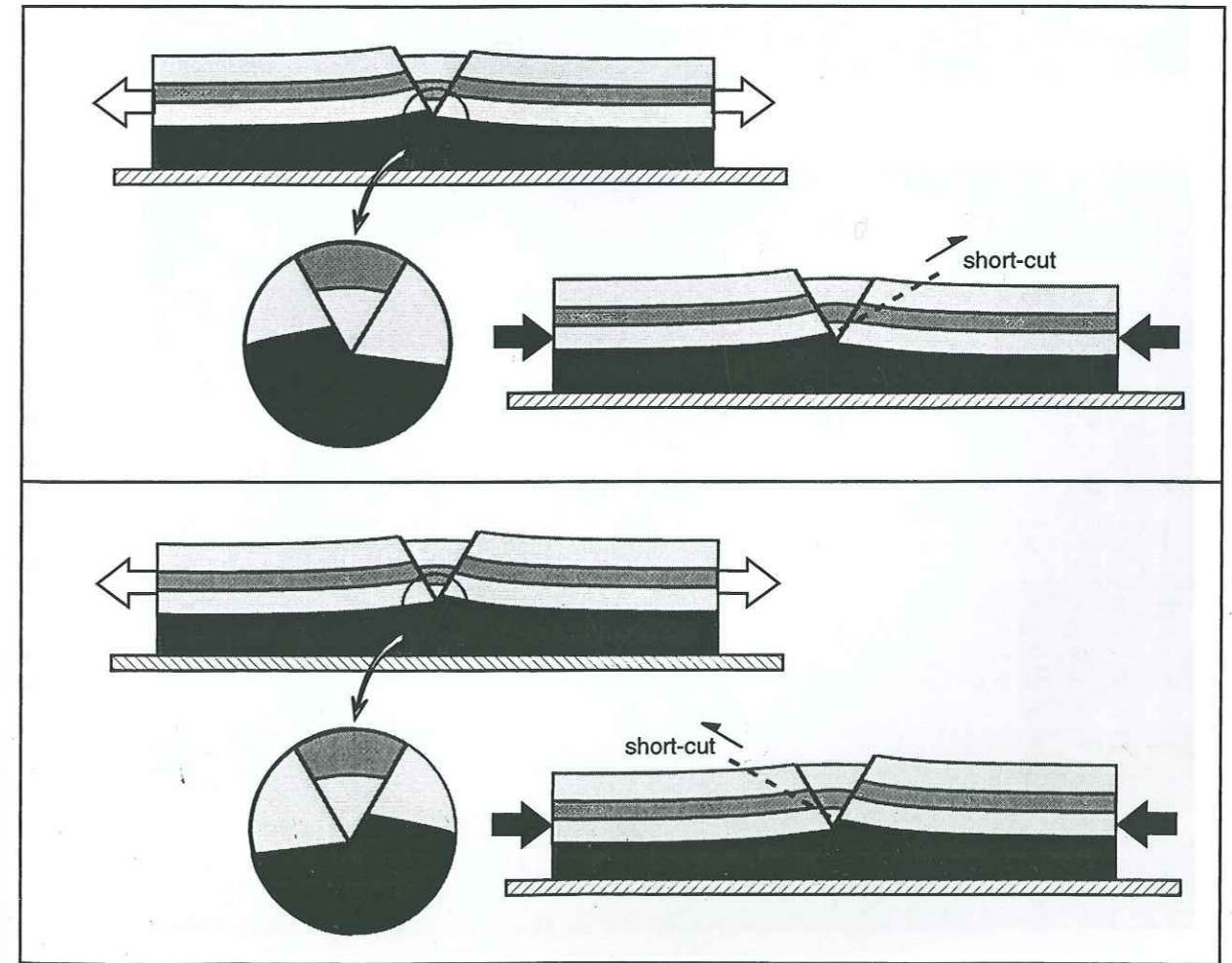


Fig. III-124: Influence du décalage en faille normale à la base de la couche fragile sur la vergence des chevauchements néoformés.

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



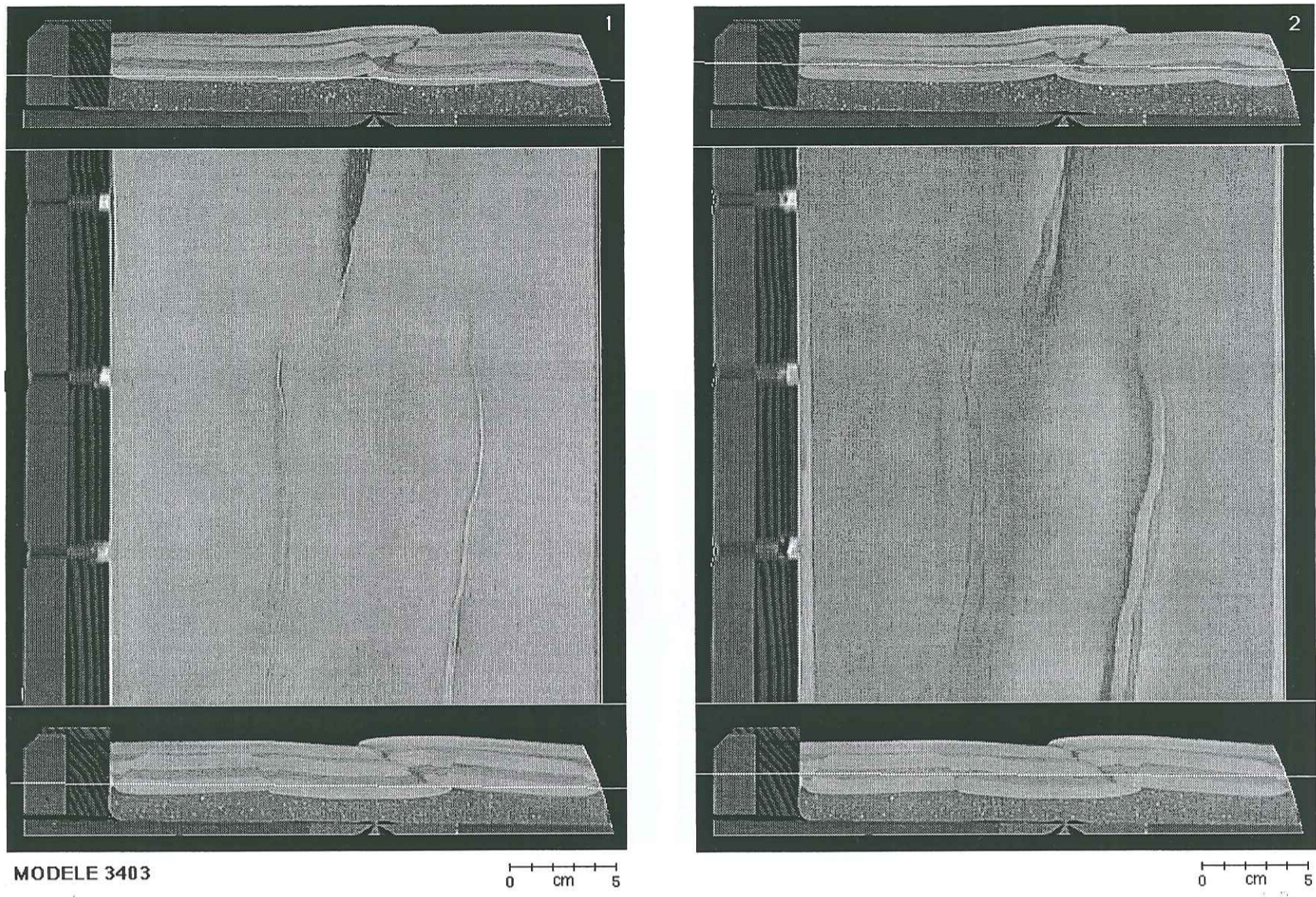


Fig.III-125: Coupes horizontales sériées dans le modèle n°3403 montrant la relation spatiale entre les chevauchements et les failles normales héritées.

125a: coupes scanner vierges

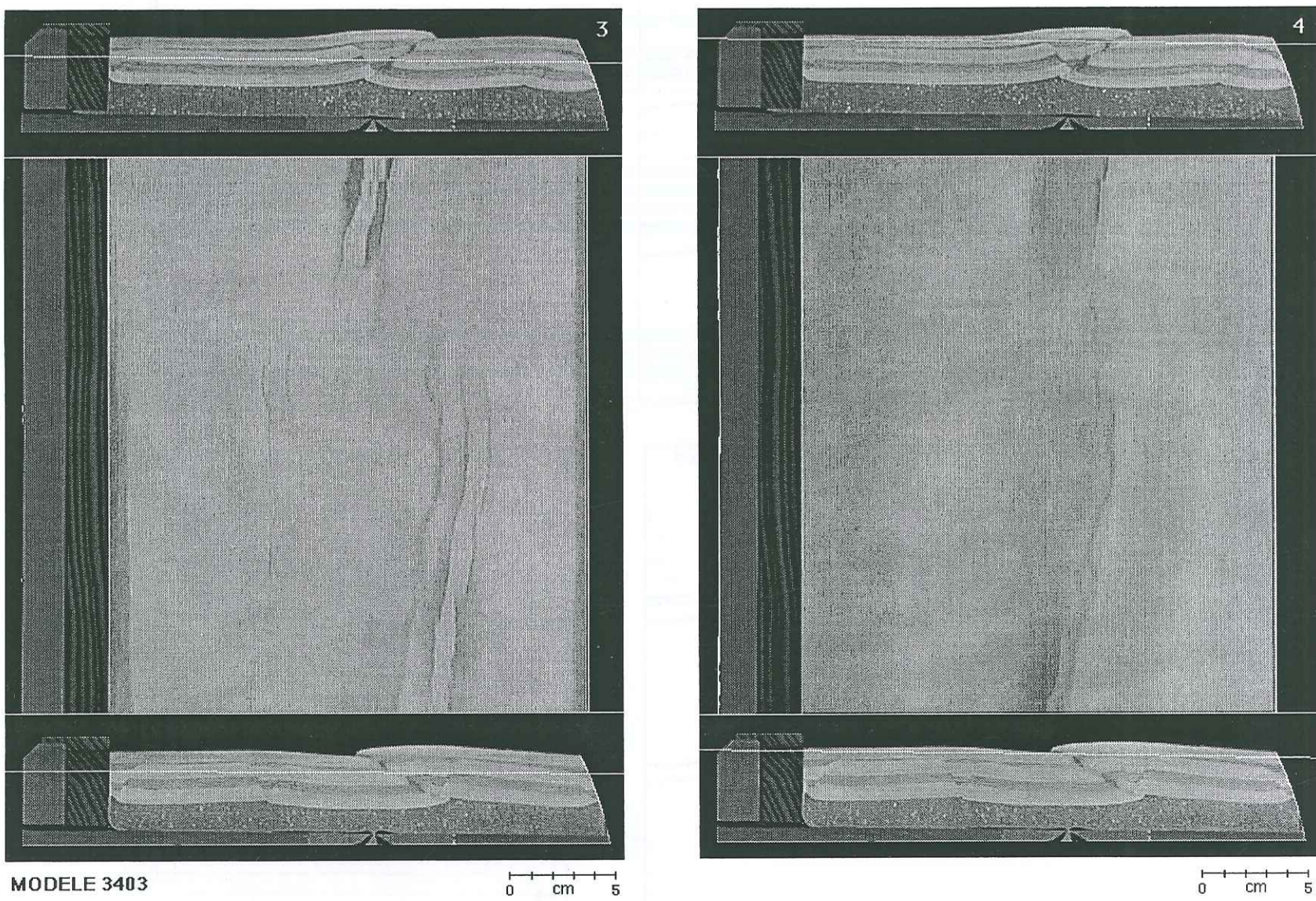


Fig.III-125a (suite)



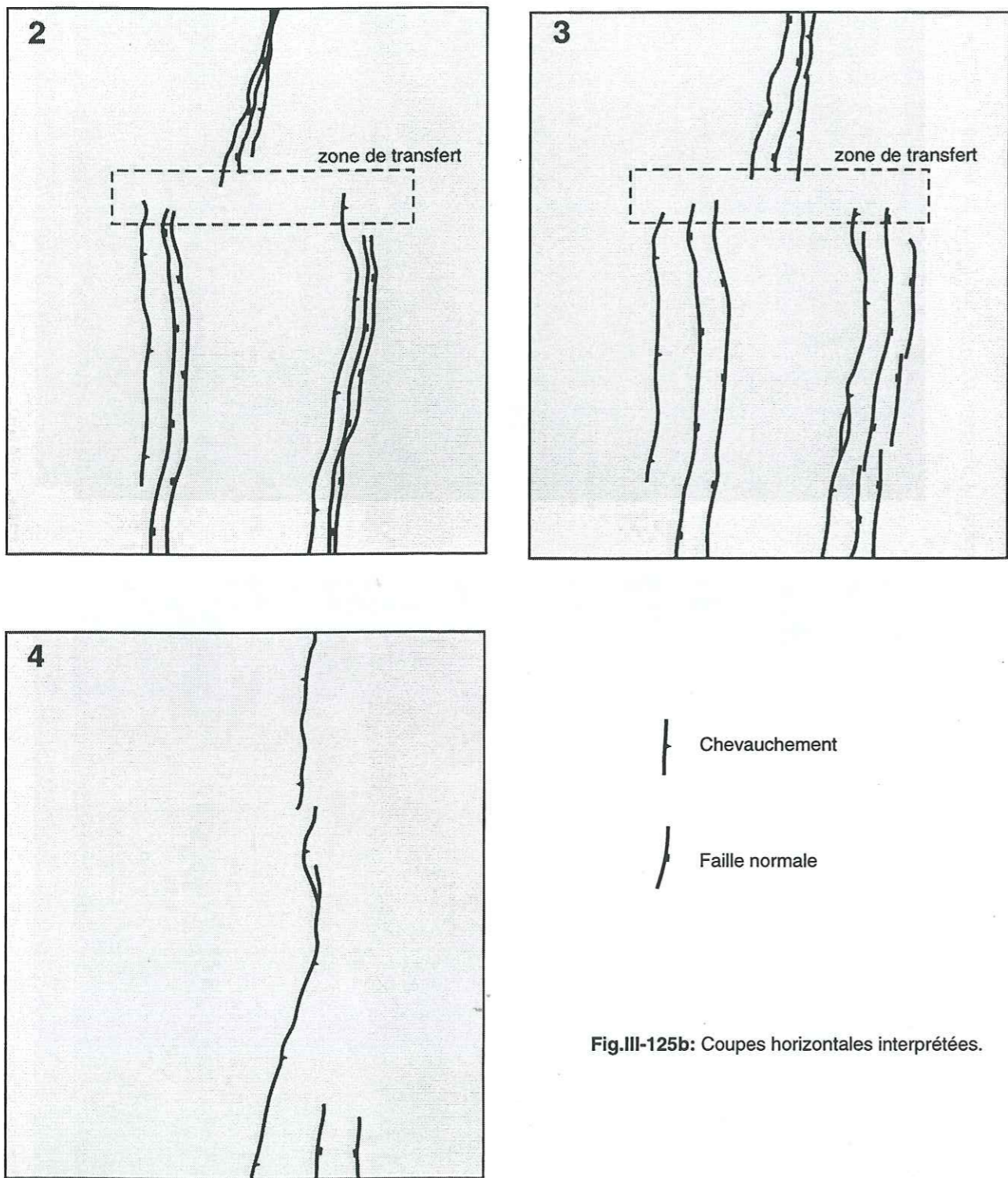


Fig.III-125b: Coupes horizontales interprétées.

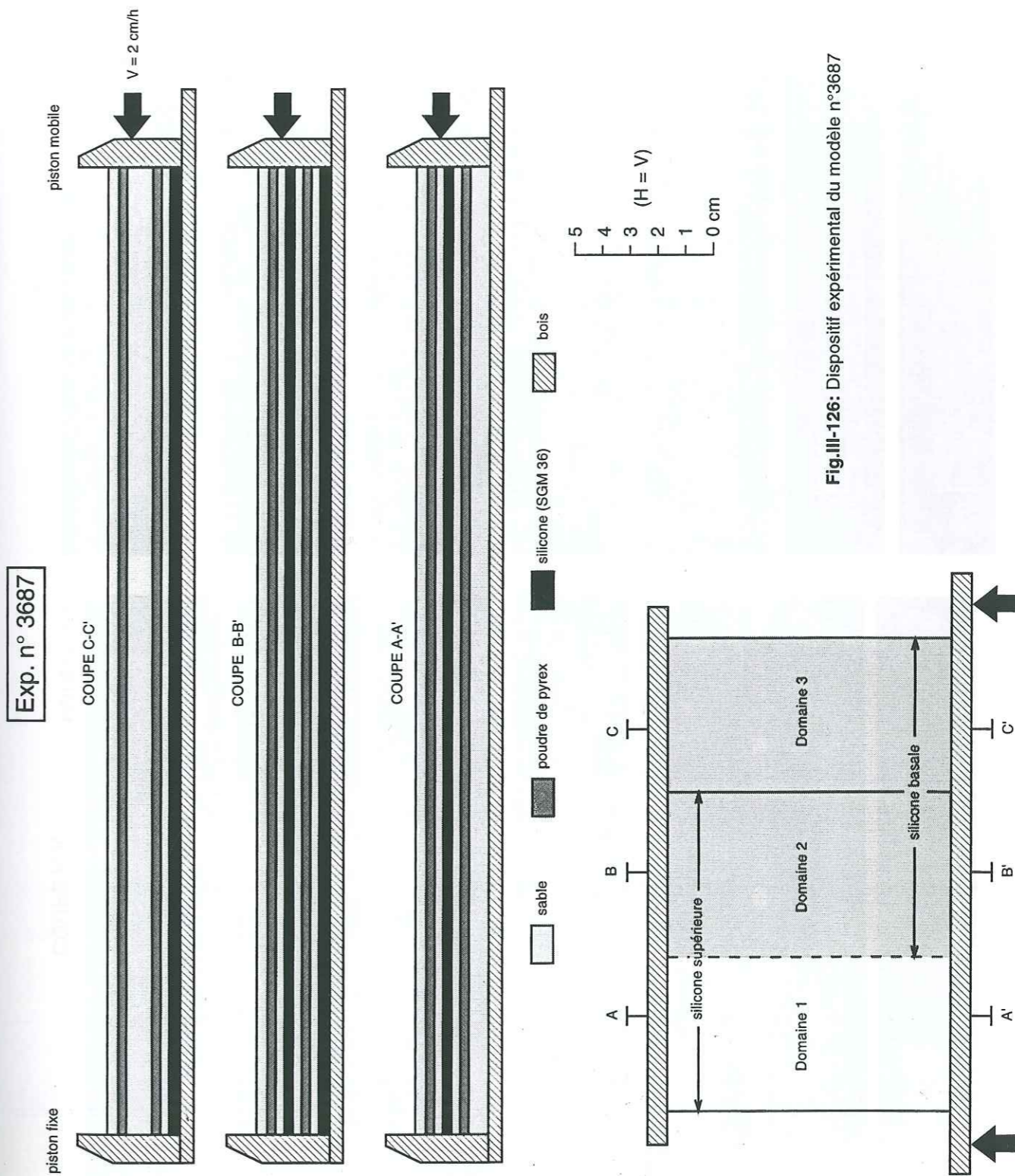


Fig.III-126: Dispositif expérimental du modèle n°3687



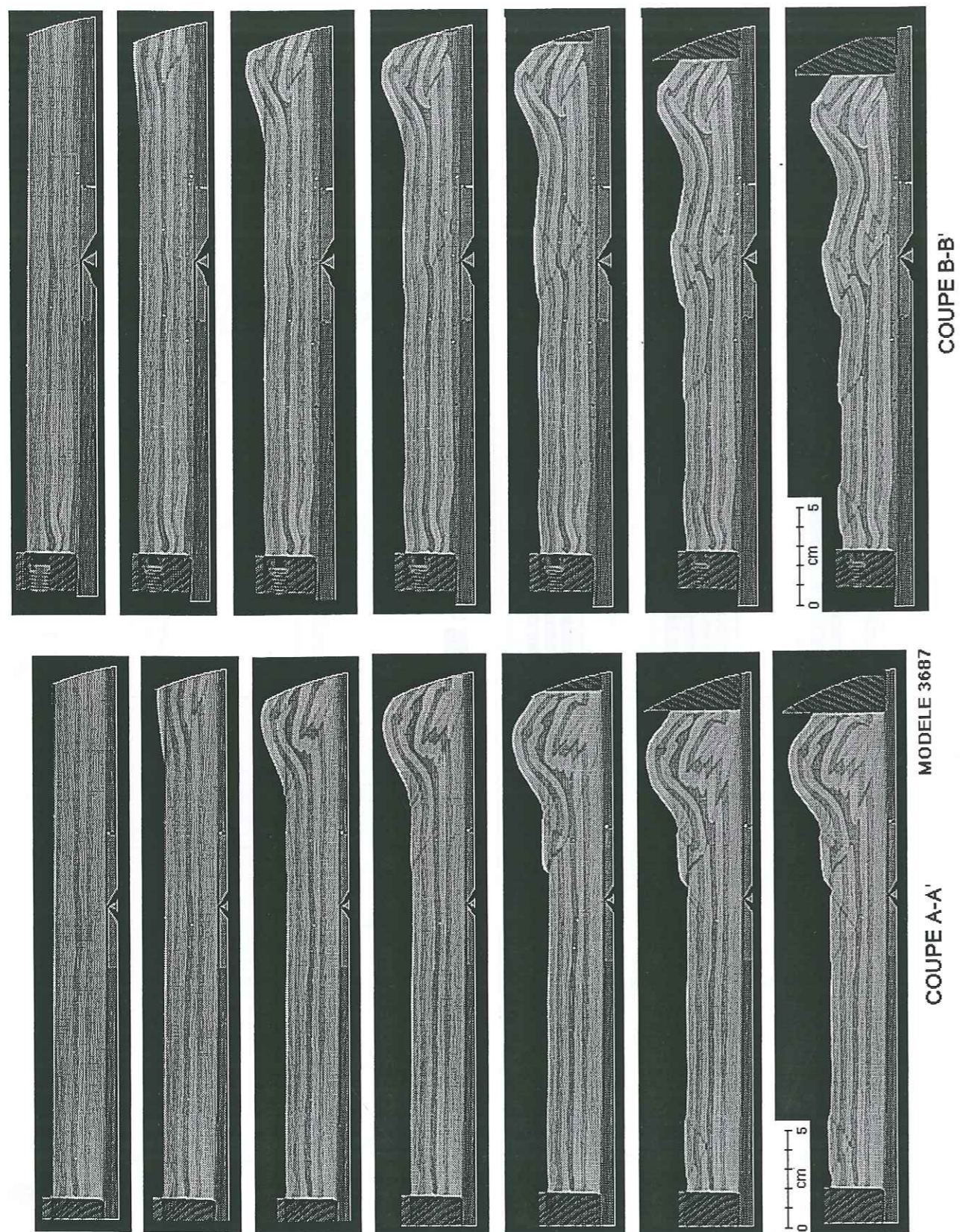


Fig.III-127: Coupes transversales évolutives montrant le style de la déformation dans chacun des compartiments en fonction des niveaux de détachement potentiels.

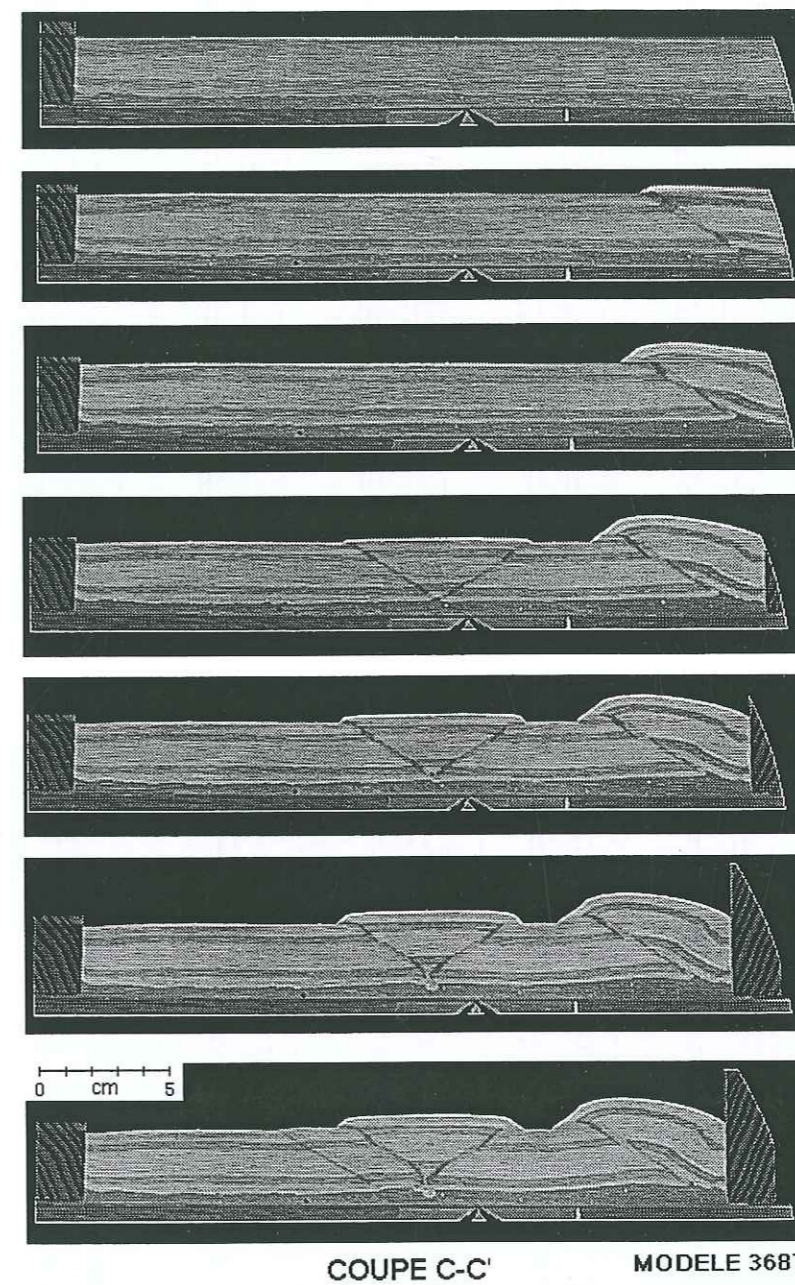
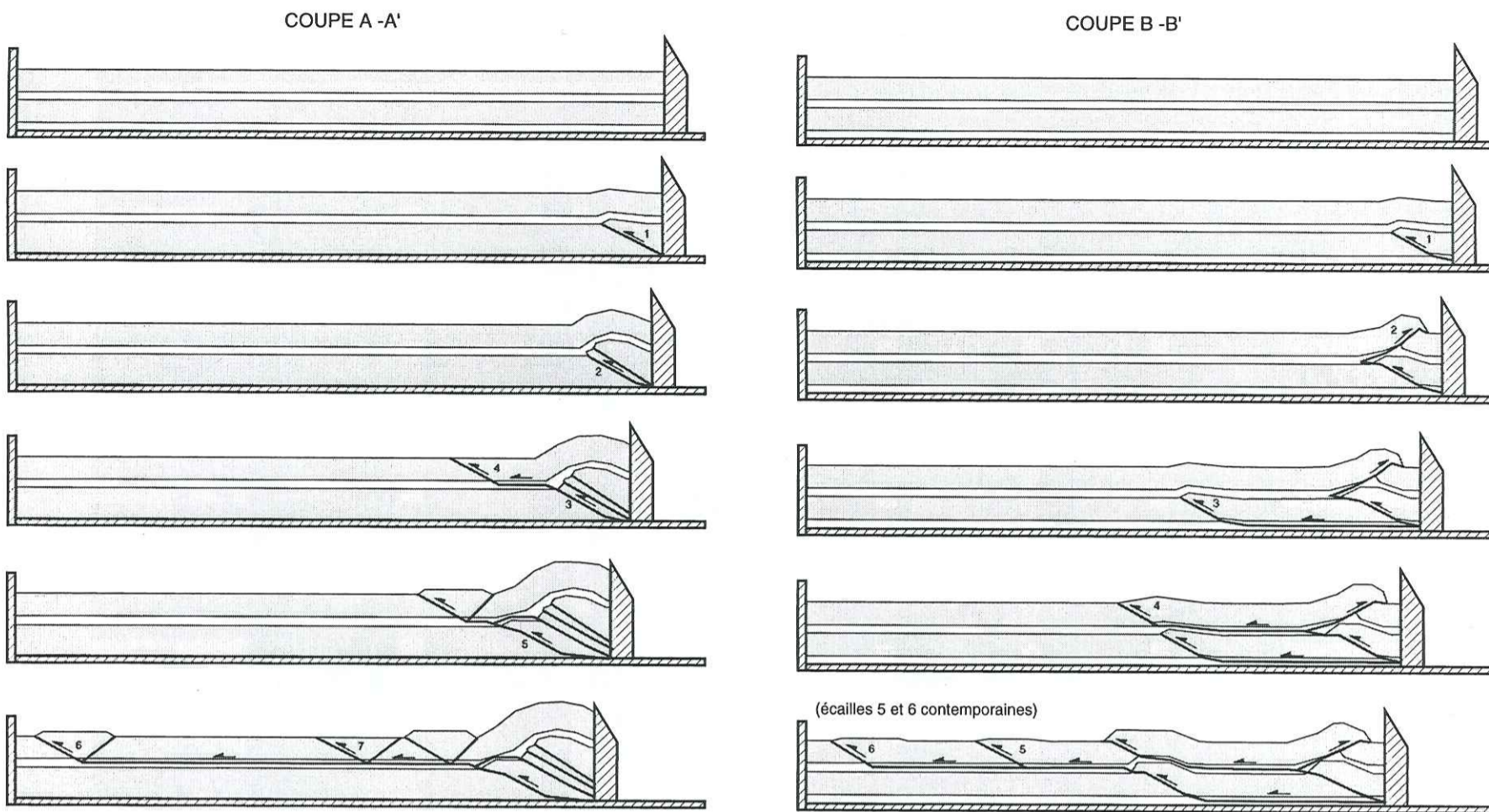


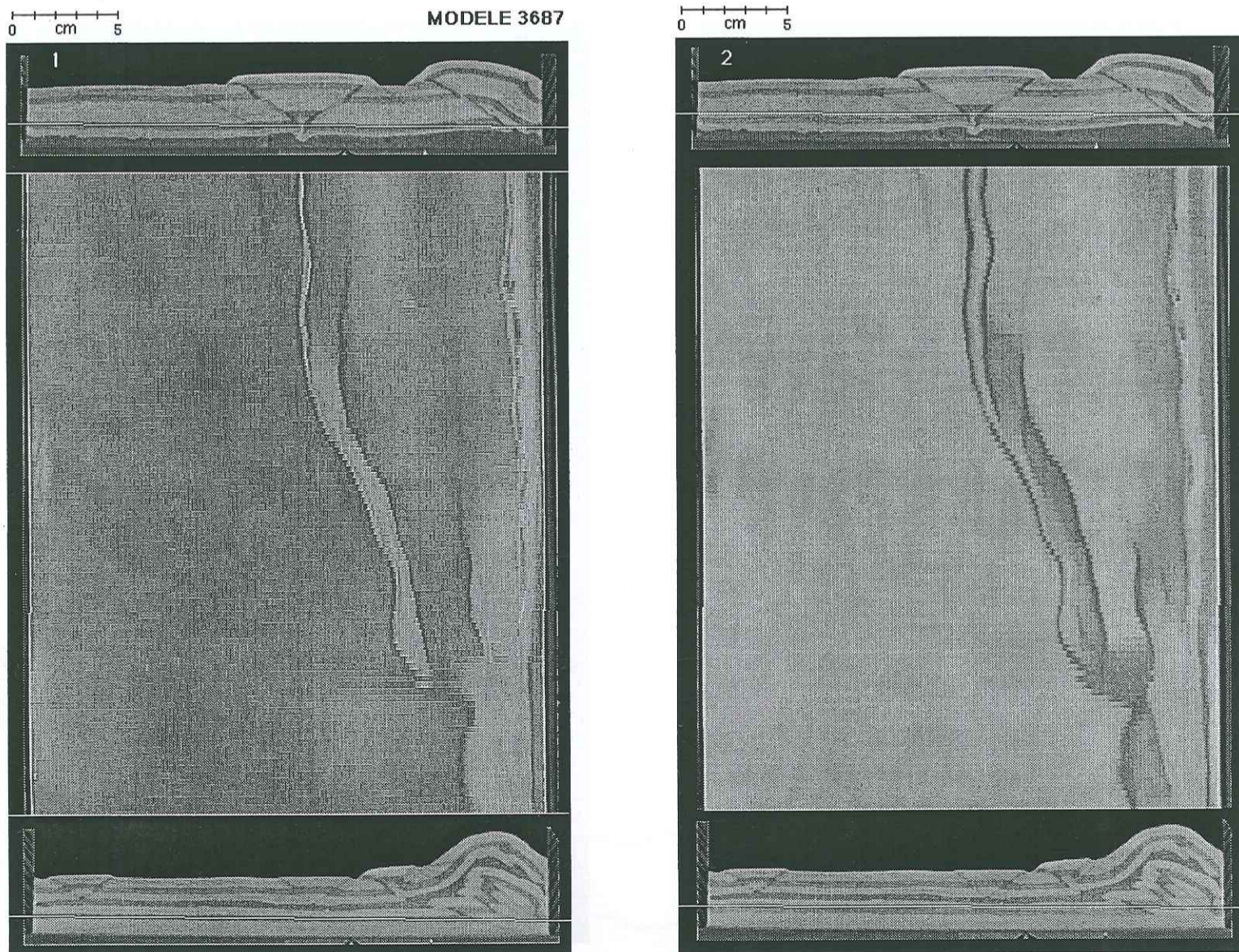
Fig.III-127a (suite)





**Fig.III-128:** Évolution cinématique comparée des chevauchements sur les coupes A-A' et B-B'.

La coupe C-C' n'est pas représentée car son évolution est très simple et ne pose pas de problème de corrélation avec les autres domaines du modèle.



**Fig.III-129:** Coupes horizontales sériées à l'état final.

129a: coupes sacner vierges



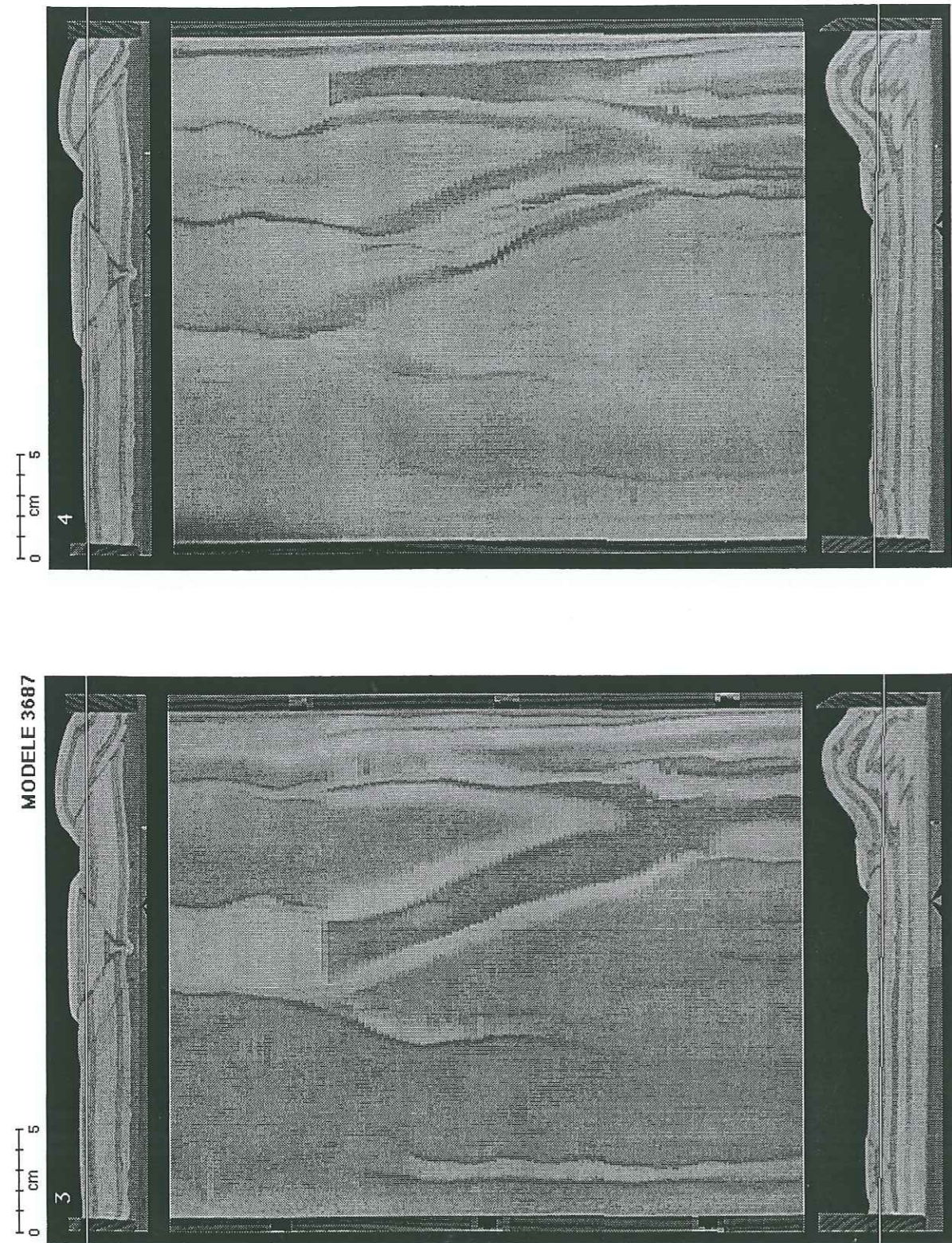


Fig.III-129a (suite)

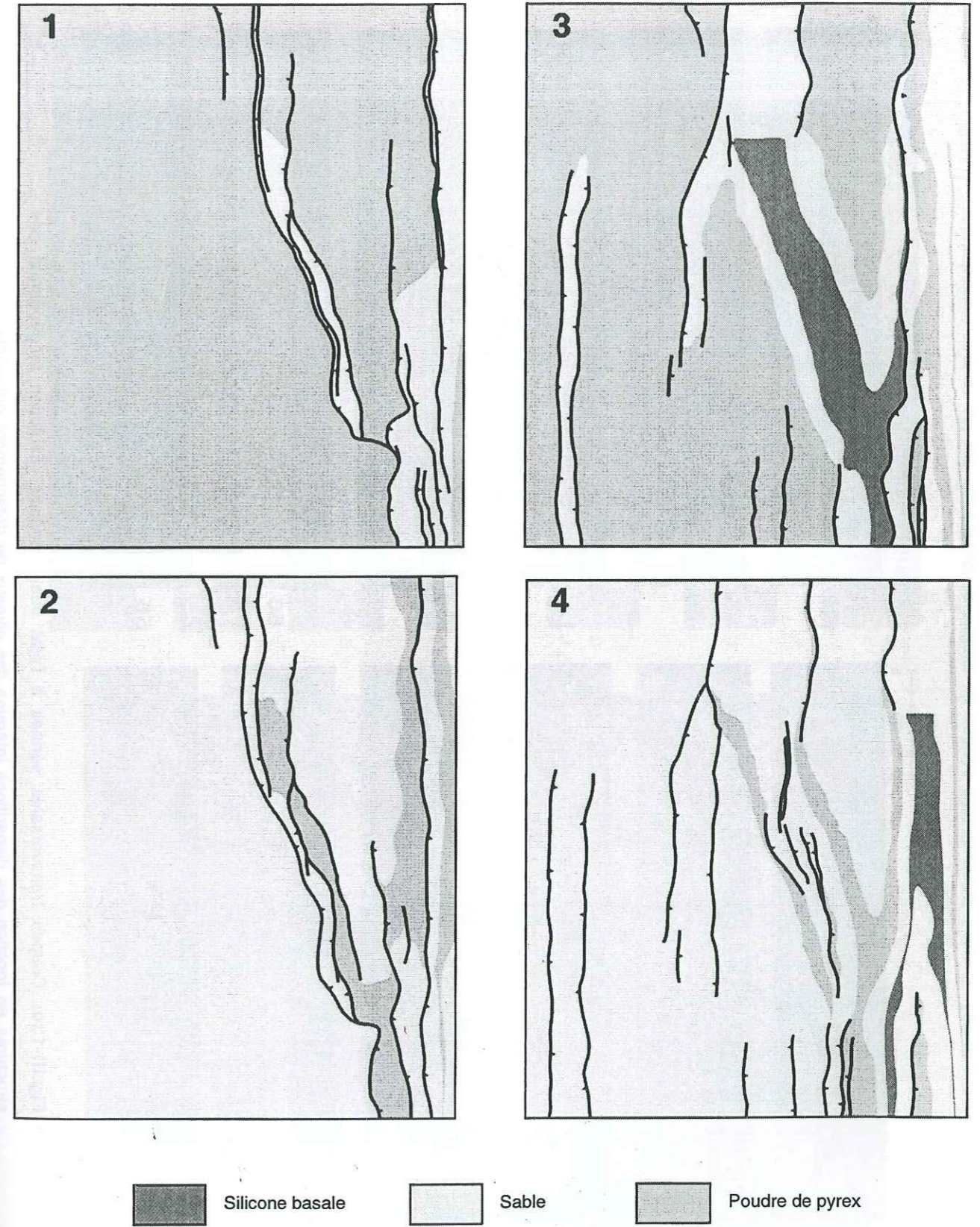


Fig.III-129b: Coupes horizontales interprétées

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



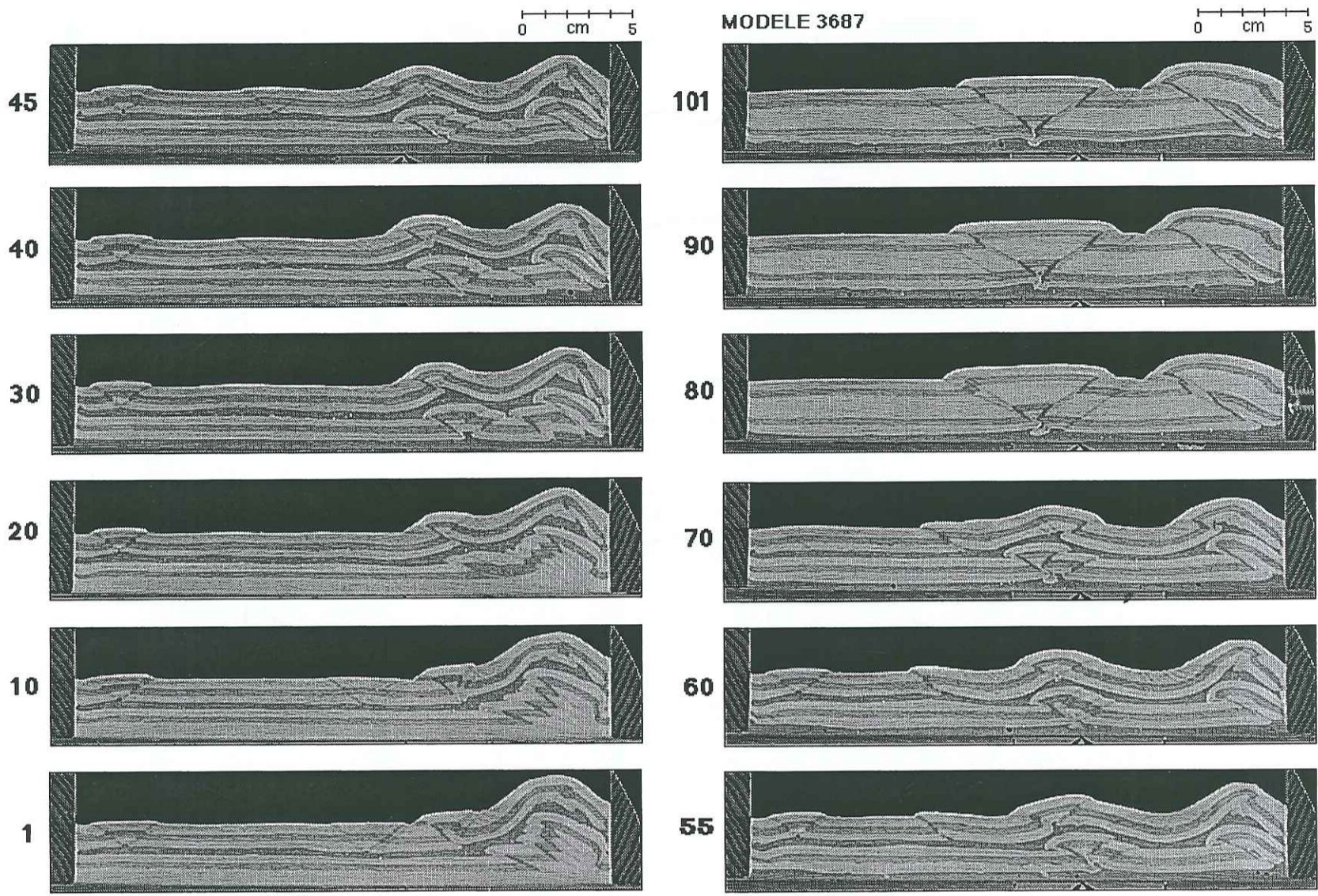


Fig.III-130: Coupes transversales sériées à l'état final montrant l'évolution longitudinale des structures en fonction des disparités latérales des niveaux de détachement potentiels.

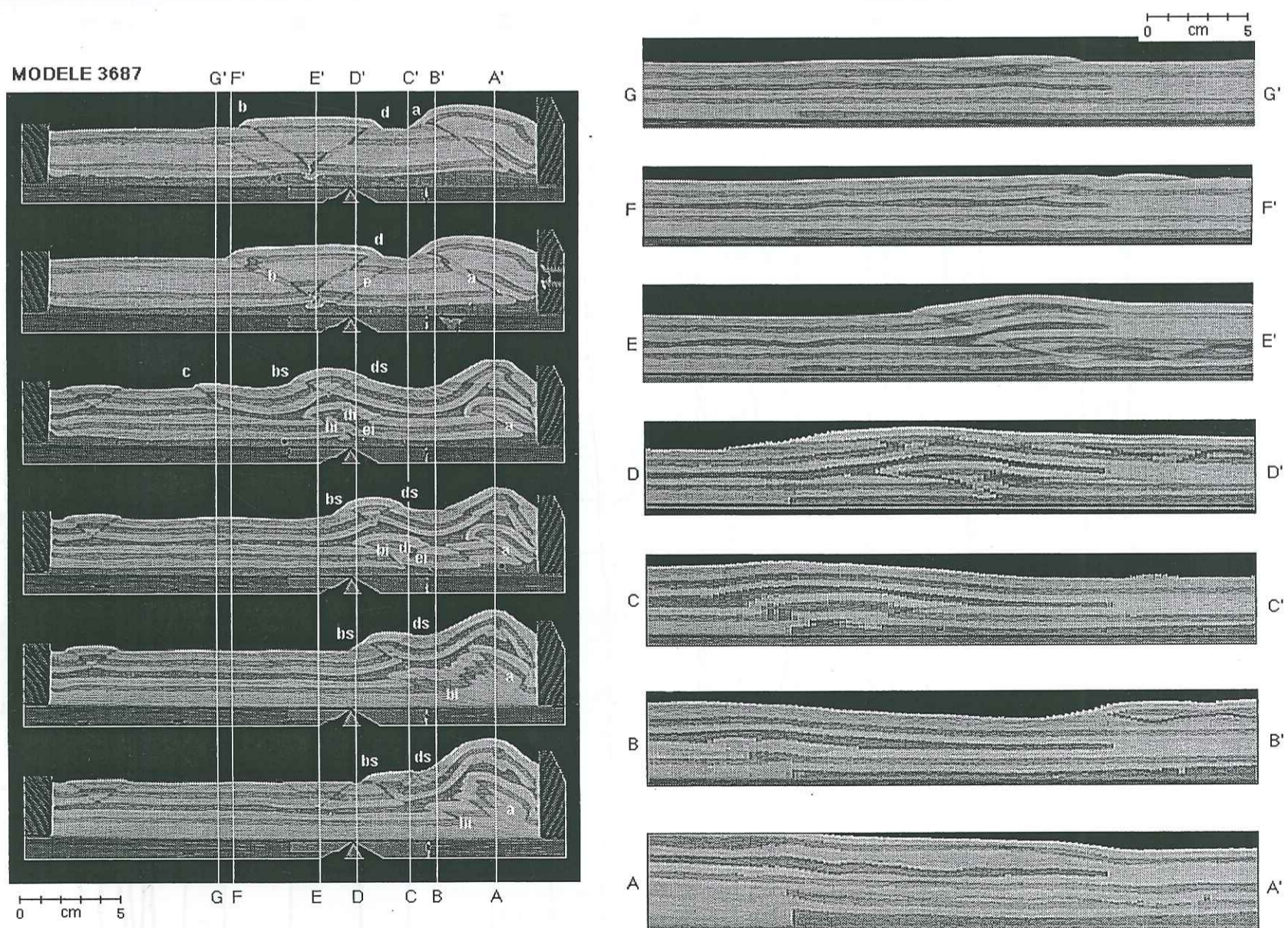
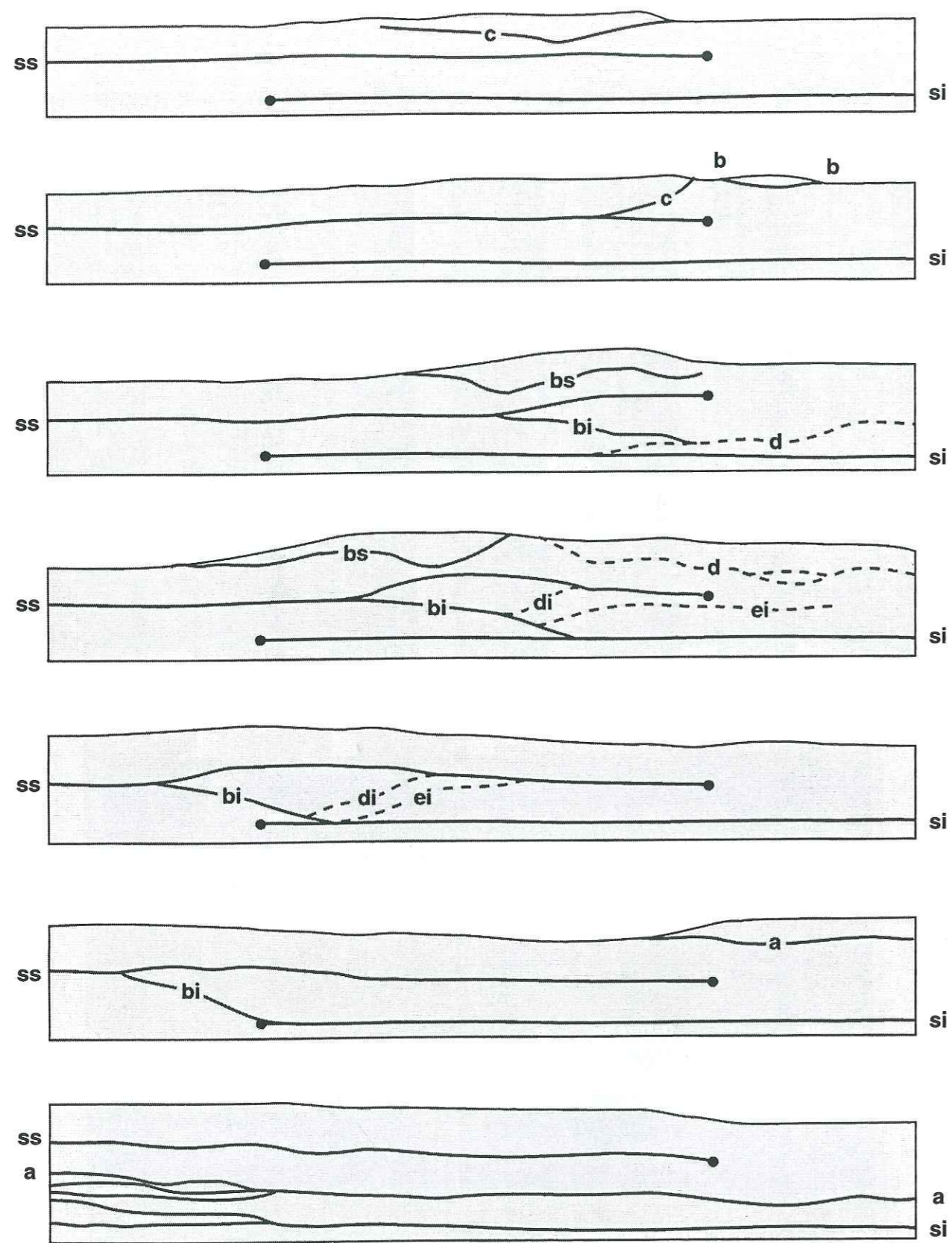


Fig.III-131: Coupes longitudinales sériées du modèle et localisation sur les coupes transversales.

131a: coupes scanner vierges





ss: détachement dans la silicone supérieure  
 si: détachement dans la silicone inférieure (basale)

Fig.III-131b: Coupes longitudinales interprétées

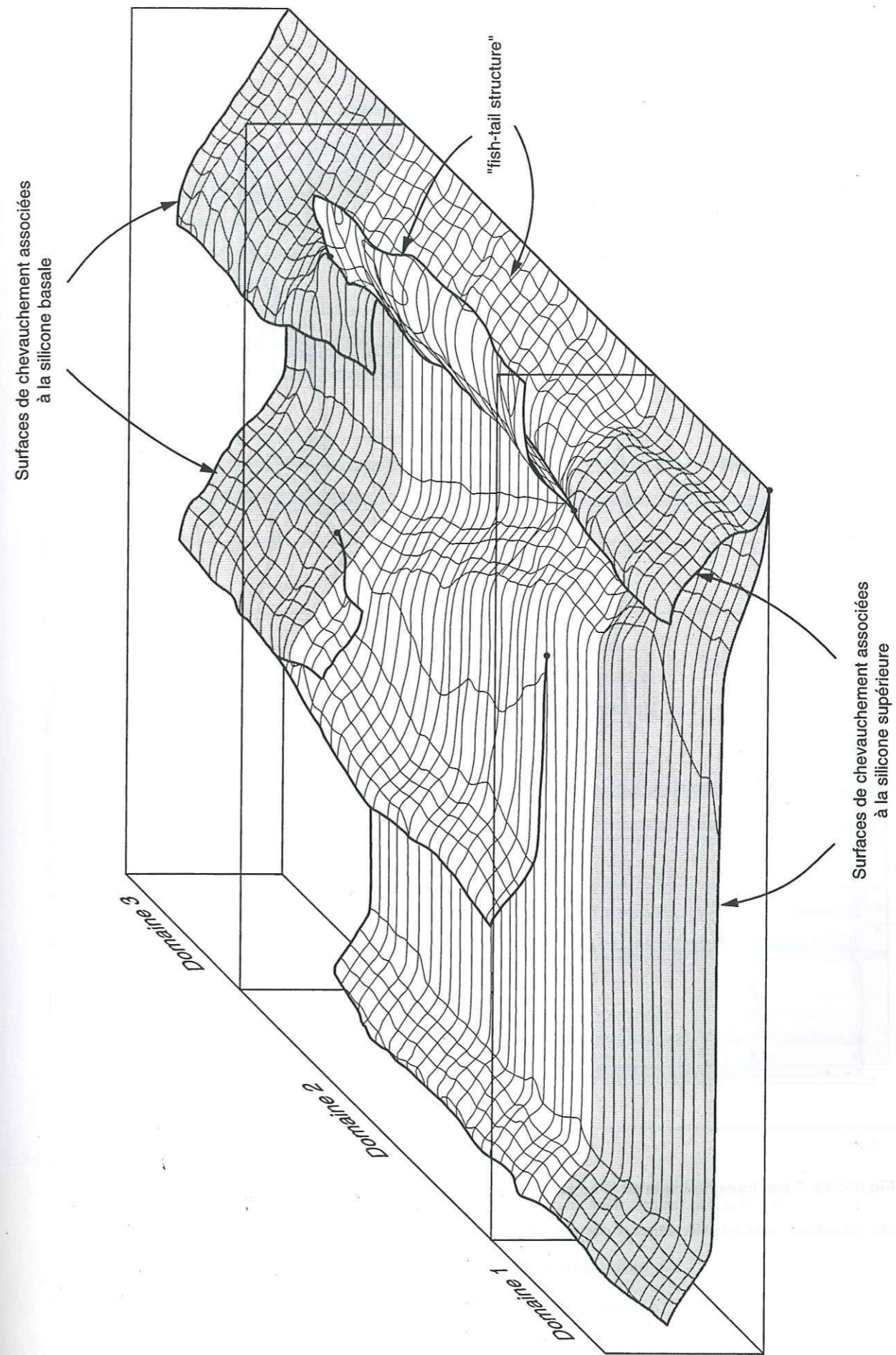
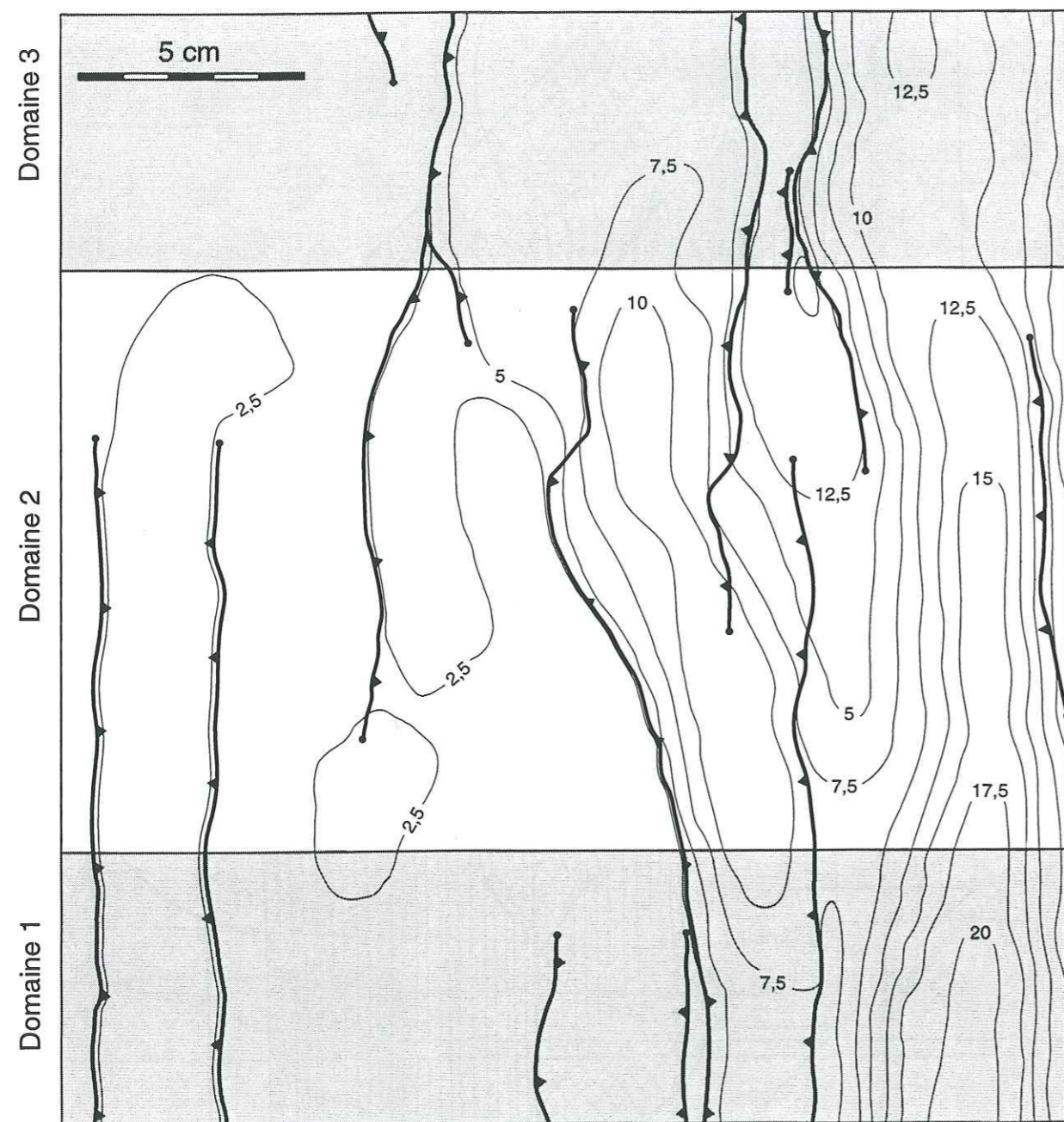
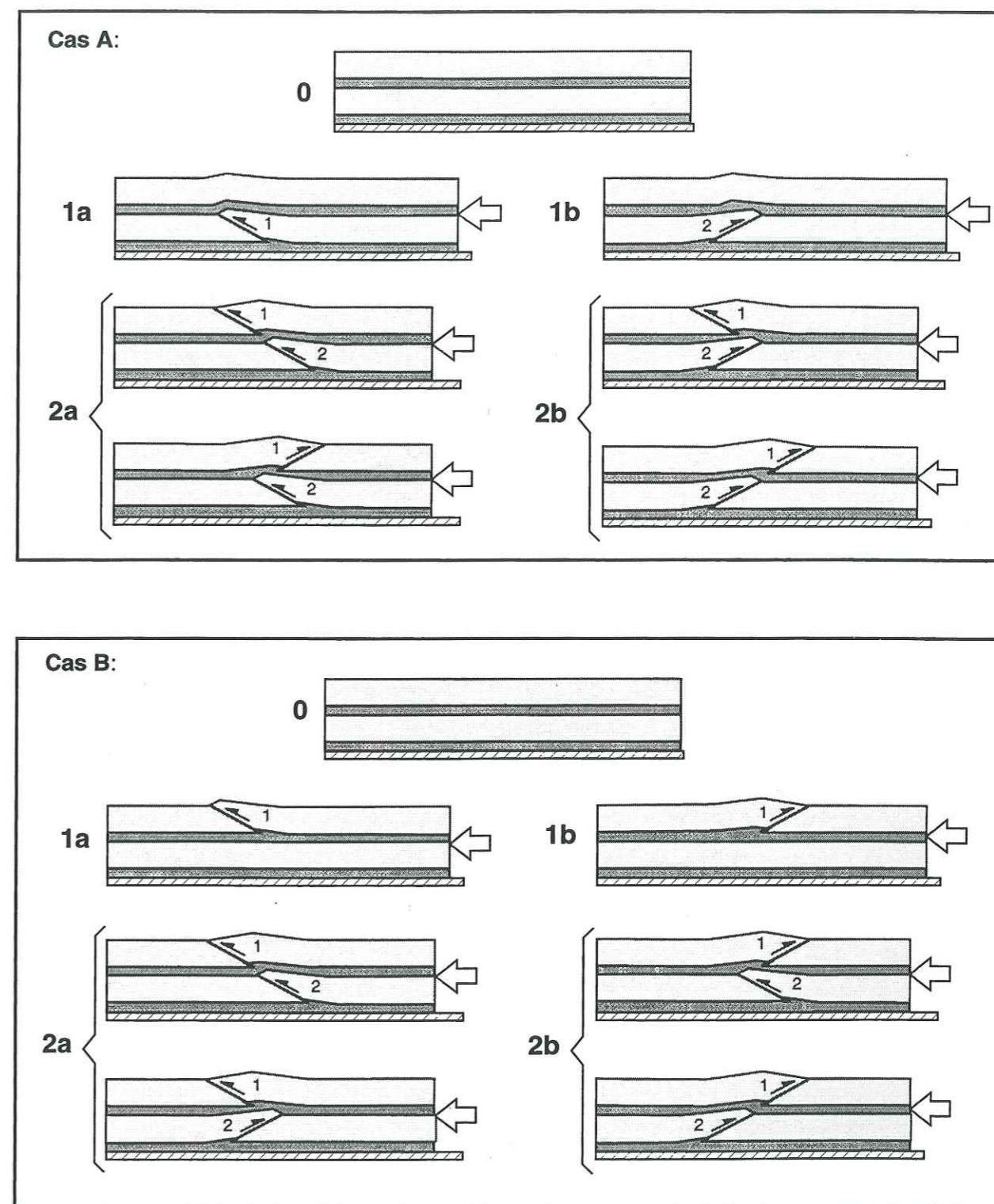


Fig.III-132: Bloc diagramme des surfaces de chevauchement principales.





**Fig.III-133:** Carte topographique de la surface au centre du modèle n°3687 à l'état final.  
Les isovalues sont en millimètres et correspondent à l'altitude par rapport à la surface initiale du modèle.



**Fig.III-134:** Cas d'interférences possibles entre les chevauchements situés de part et d'autre de la couche de silicone supérieure.

Cas A: le premier chevauchement apparaît dans la couche de sable inférieure.

Cas B: le premier chevauchement apparaît dans la couche de sable supérieure.

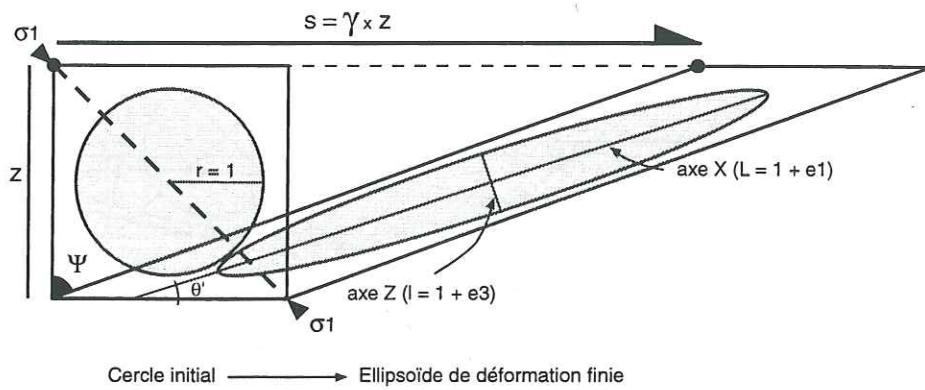


**CHAPITRE IV**

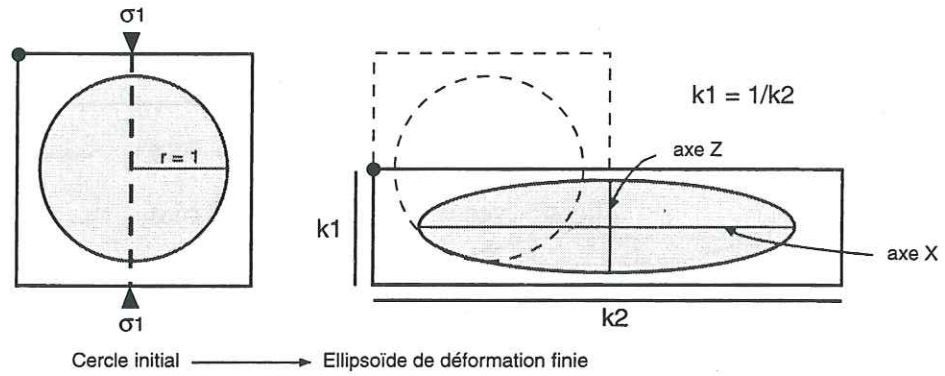
**MODÉLISATION ANALYTIQUE DES DÉFORMATIONS ASSOCIÉES AUX  
ZONES TRANSVERSES DANS LES SYSTEMES COMPRESSIFS**



CISAILLEMENT SIMPLE (Ramsay, 1980)



CISAILLEMENT PUR (sans variation de volume)



CISAILLEMENT PUR (avec variation de volume)

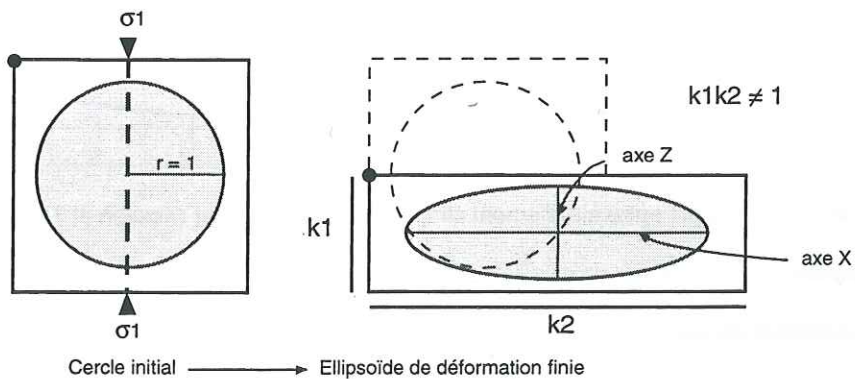


Fig.IV-1: Les 3 cas élémentaires de déformations homogènes



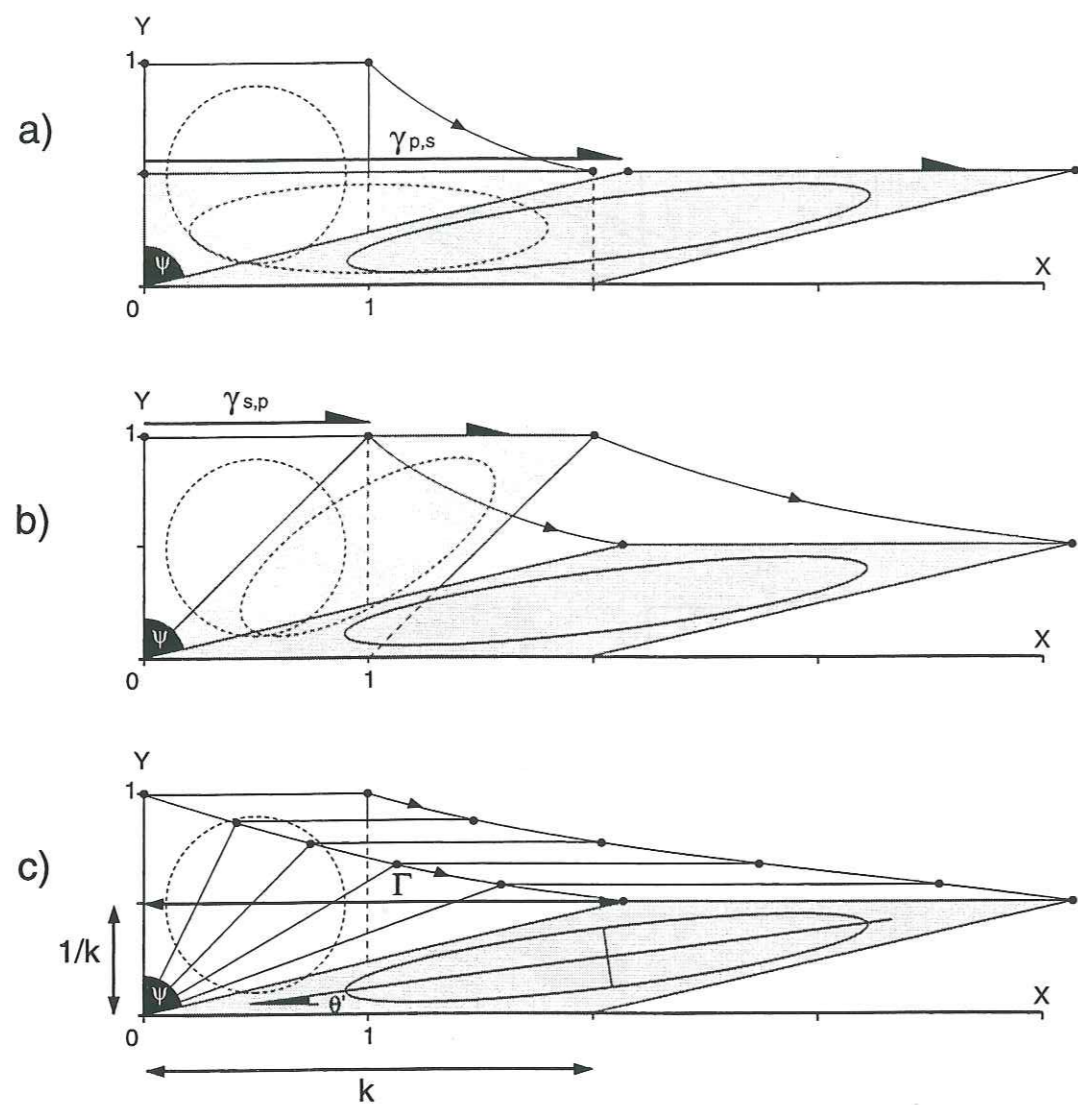
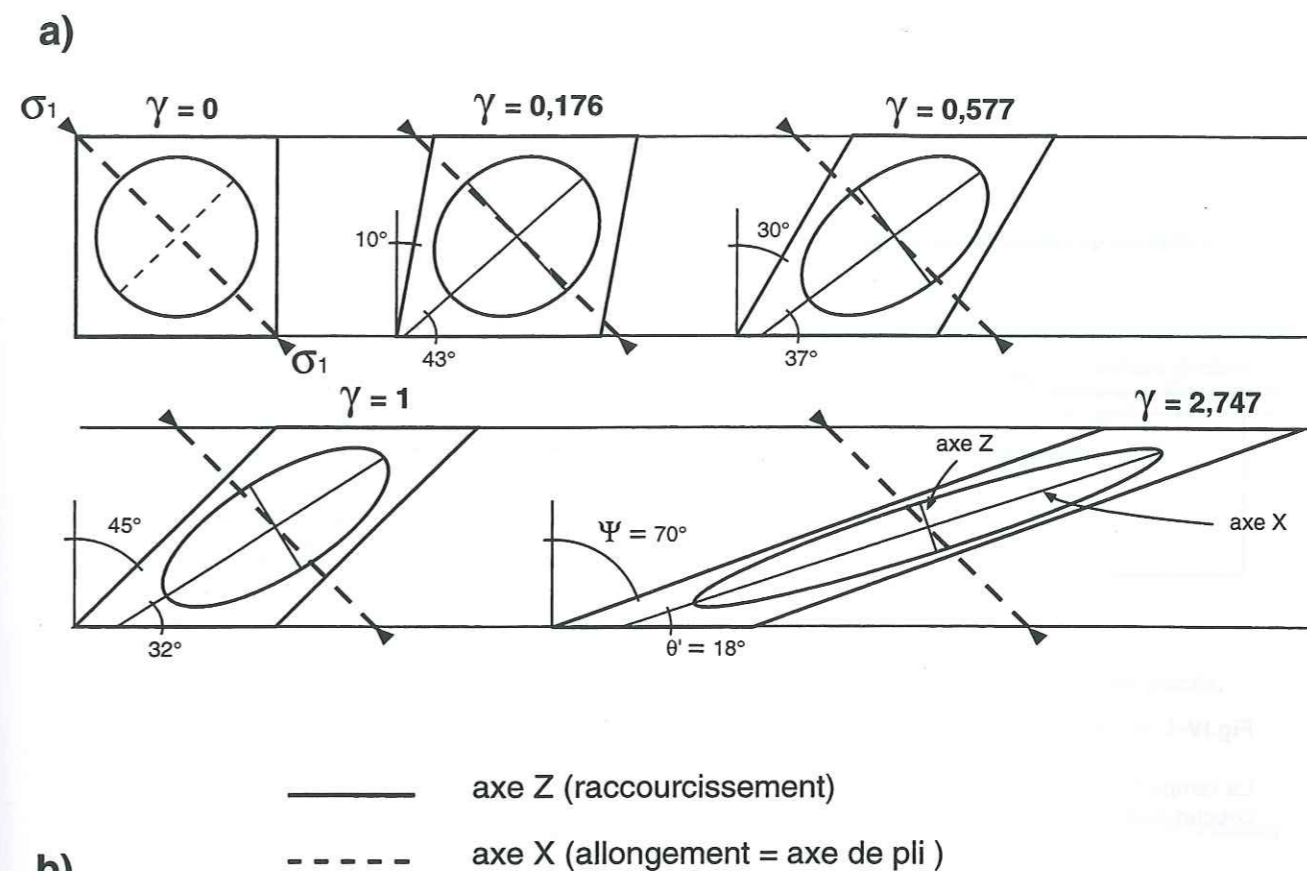


Fig.IV-2: Combinaisons entre cisaillement simple et cisaillement pur (Fossen et Tikoff, 1993).

- (a): cisaillement pur suivi par un cisaillement simple
- (b): cisaillement simple suivi par un cisaillement pur
- (c): cisaillement simple et cisaillement pur simultanés

Dans les 3 cas la déformation finie est la même mais la déformation incrémentale est différente: les matrices respectives de déformation seront donc différentes. En partant l'état final de déformation, il est à priori impossible de reconstituer le chemin de la déformation.



b)

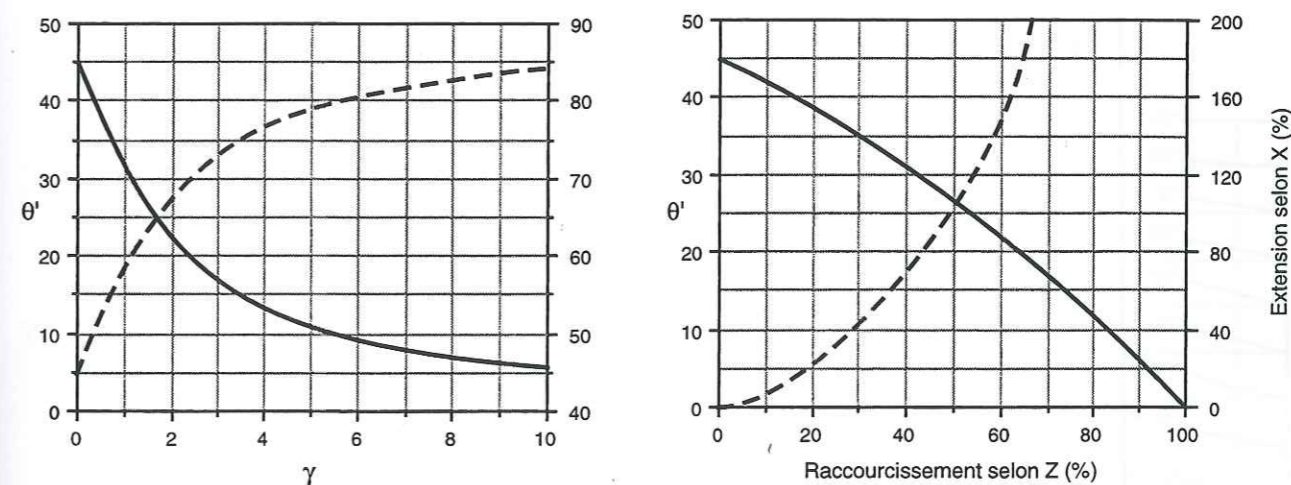


Fig.IV-3: La notion de déformation incrémentale et de déformation finie par l'exemple du cisaillement simple (Ramsay, 1980; modifié).

(a): évolution d'un carré élémentaire initial en fonction de l'augmentation de la déformation cisailante. La contrainte est toujours orientée à 45° du plan de cisaillement tandis que le grand axe de l'ellipse de déformation se parallélise avec le plan de cisaillement. Les axes de la déformation finie ne correspondent pas avec les axes de la déformation incrémentale.

(b): orientation du grand axe de la déformation en fonction de la contrainte cisailante et quantification de l'extension selon l'axe X en fonction du raccourcissement selon l'axe Z



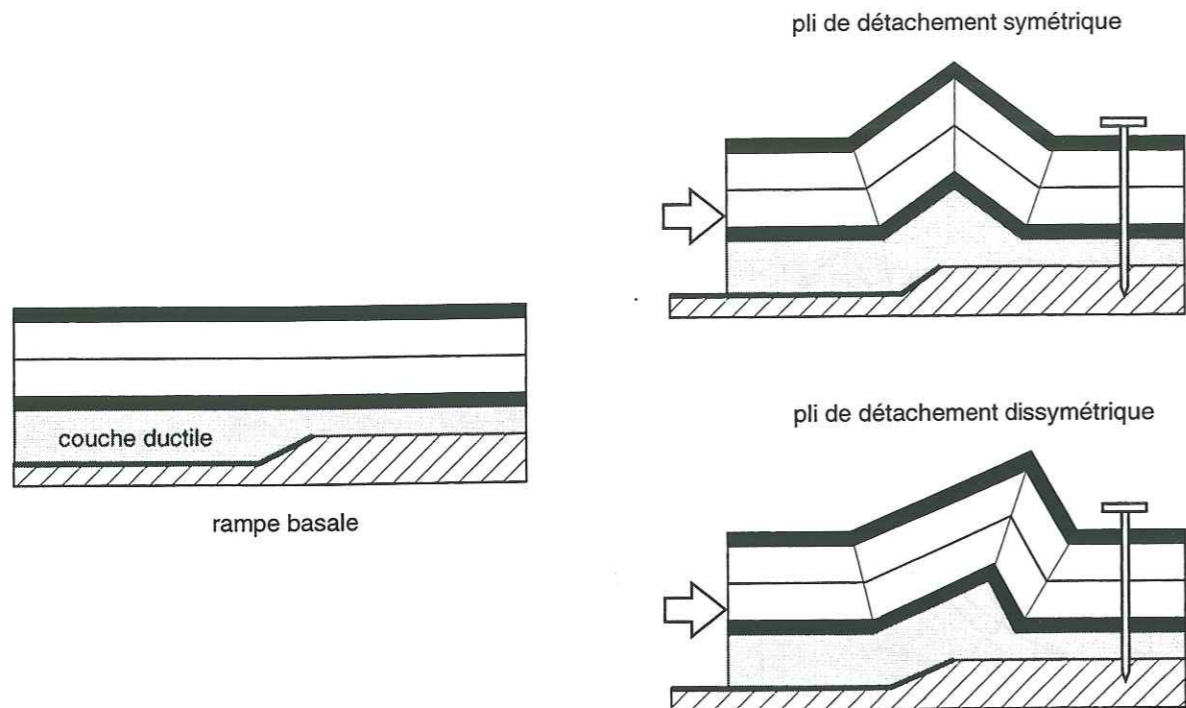


Fig.IV-4: Modèle cinématique du pli de détachement

La rampe basale induit un plissement passif de la série au dessus par un mécanisme de flambage de la couche ductile.

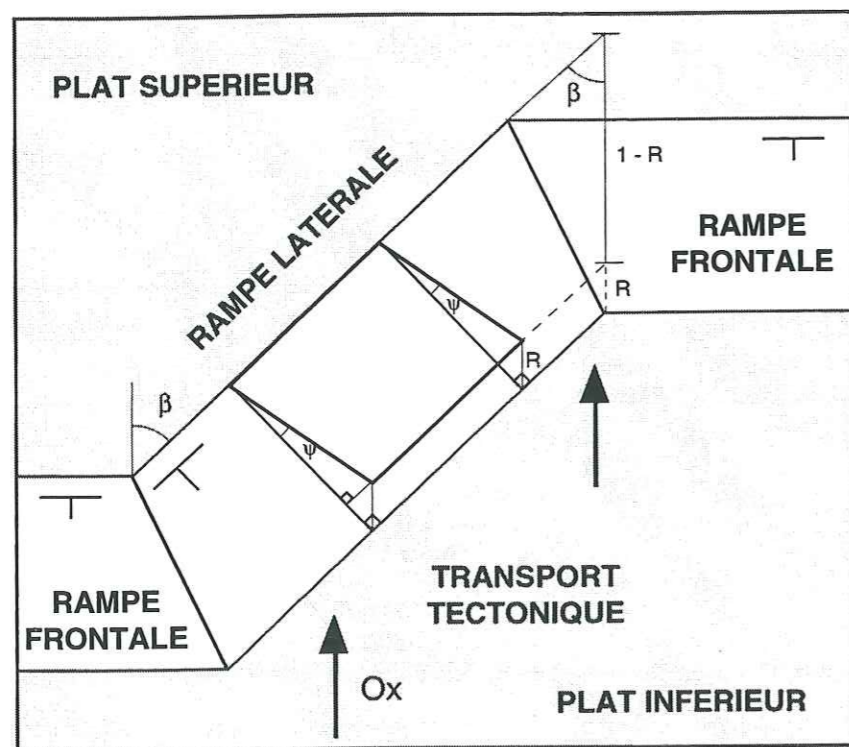


Fig.IV-5: Schéma du modèle (vue en carte)

On considère qu'il y a blocage de la déformation contre une discontinuité faisant un angle  $\beta$  avec la direction de raccourcissement régionale N-S.

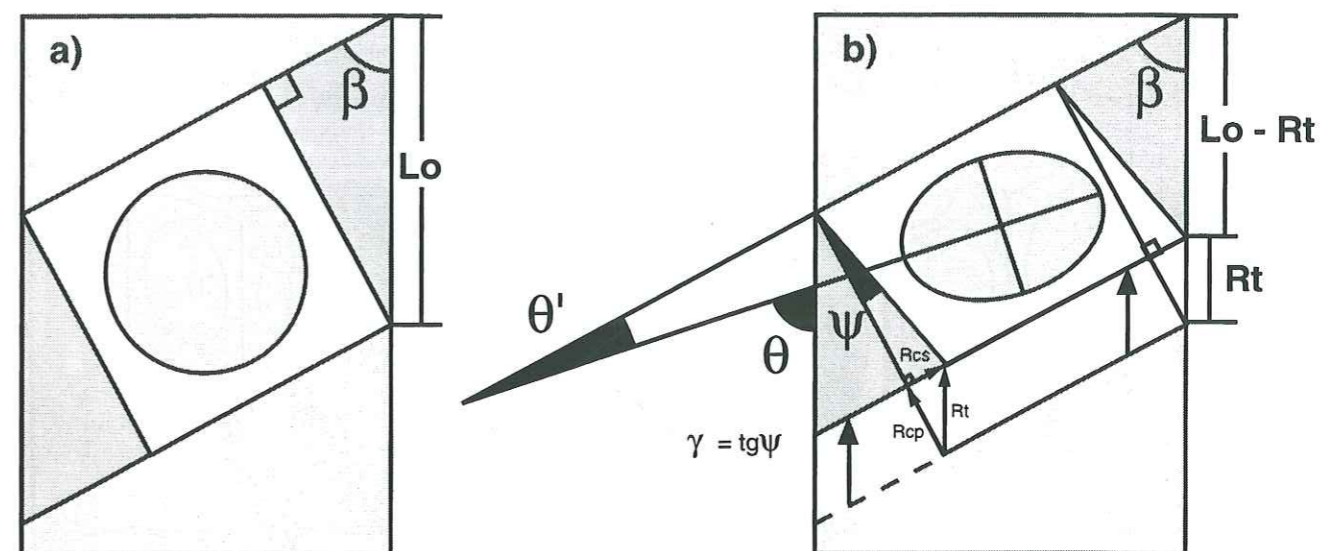


Fig.IV-6: Schéma en carte d'un cube élémentaire dans lequel une sphère de rayon égal à 1 est placée.

a: état initial  
b: état déformé

La déformation totale peut se décomposer en un cisaillement pur  $R_{cp}$  perpendiculaire à cette discontinuité oblique et en un cisaillement simple  $R_{cs}$  parallèle à la discontinuité.

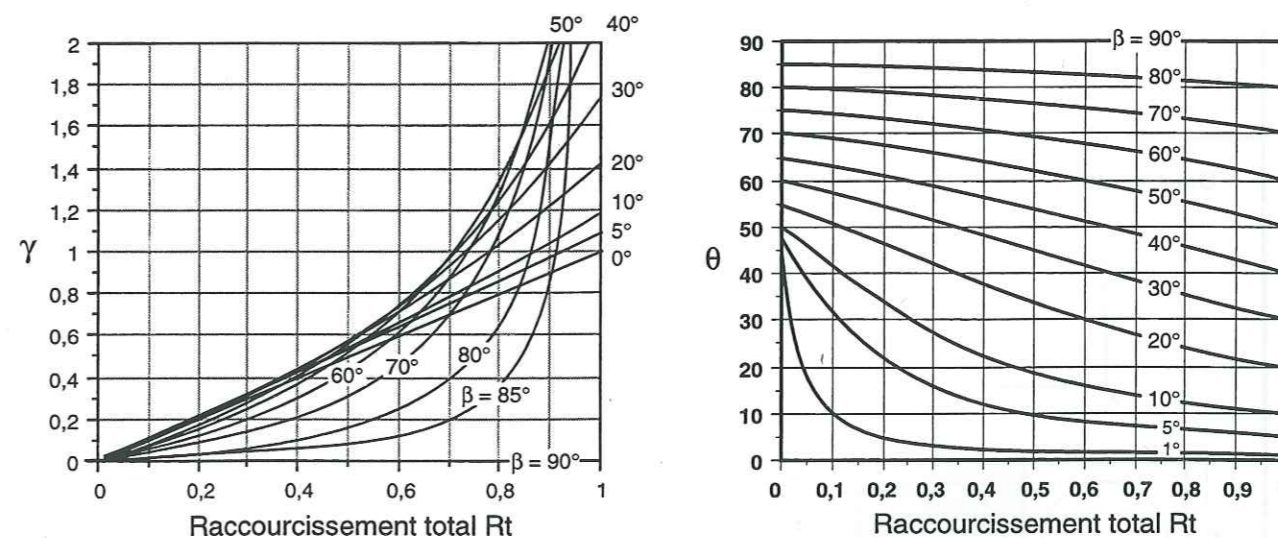


Fig.IV-7: Résultats analytiques en 2 dimensions du modèle.

a: évolution de la valeur du cisaillement simple en fonction du raccourcissement total  $R_t$  et de l'angle  $\beta$ .  
b: orientation de l'axe du pli (considéré comme étant parallèle au grand axe horizontal de l'ellipse de déformation) en fonction du raccourcissement total  $R_t$  et de l'angle  $\beta$ .



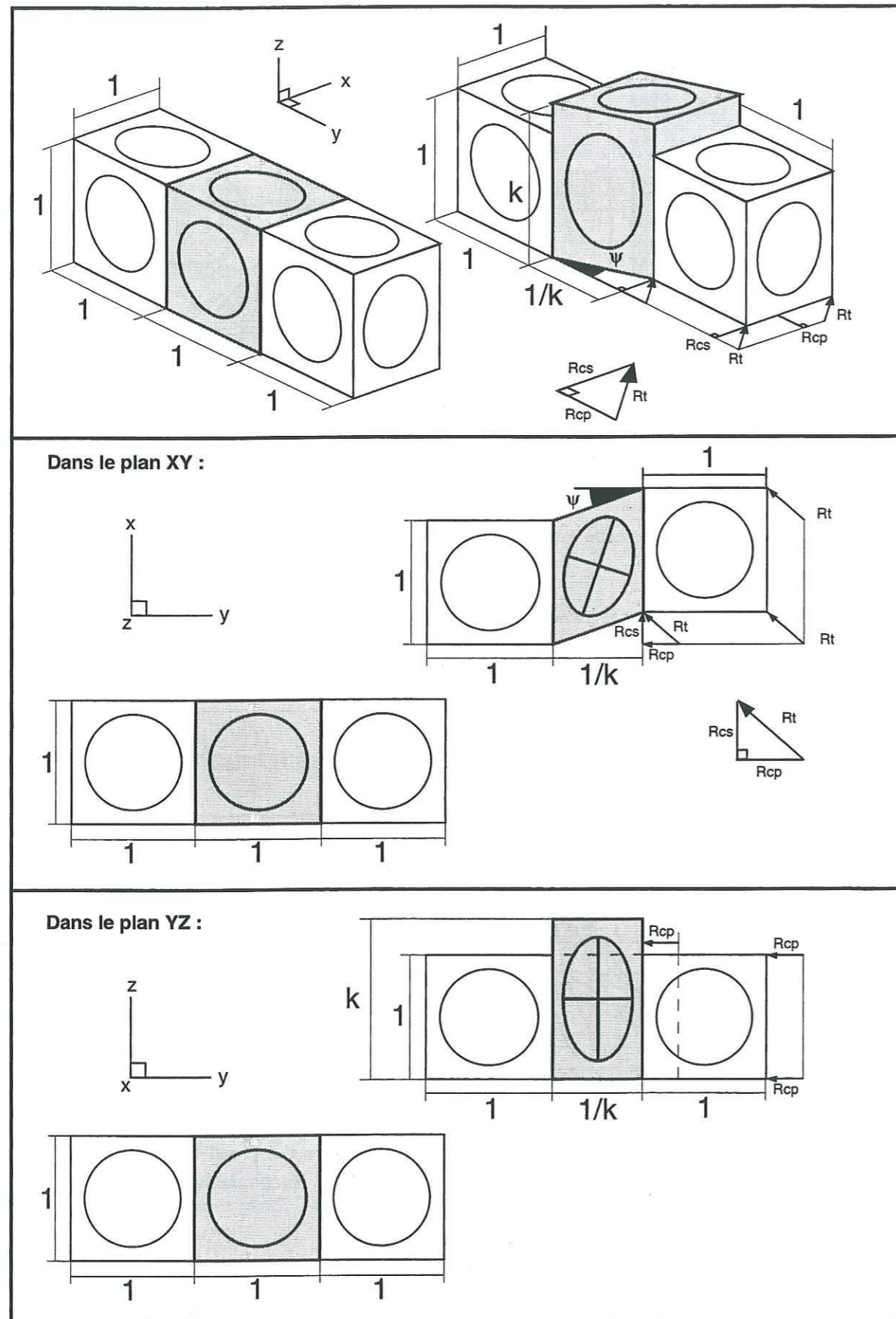


Fig.IV-8: Caractérisation en 3 dimensions d'une déformation en transpression (Sanderson et Marchini 1984; modifié)

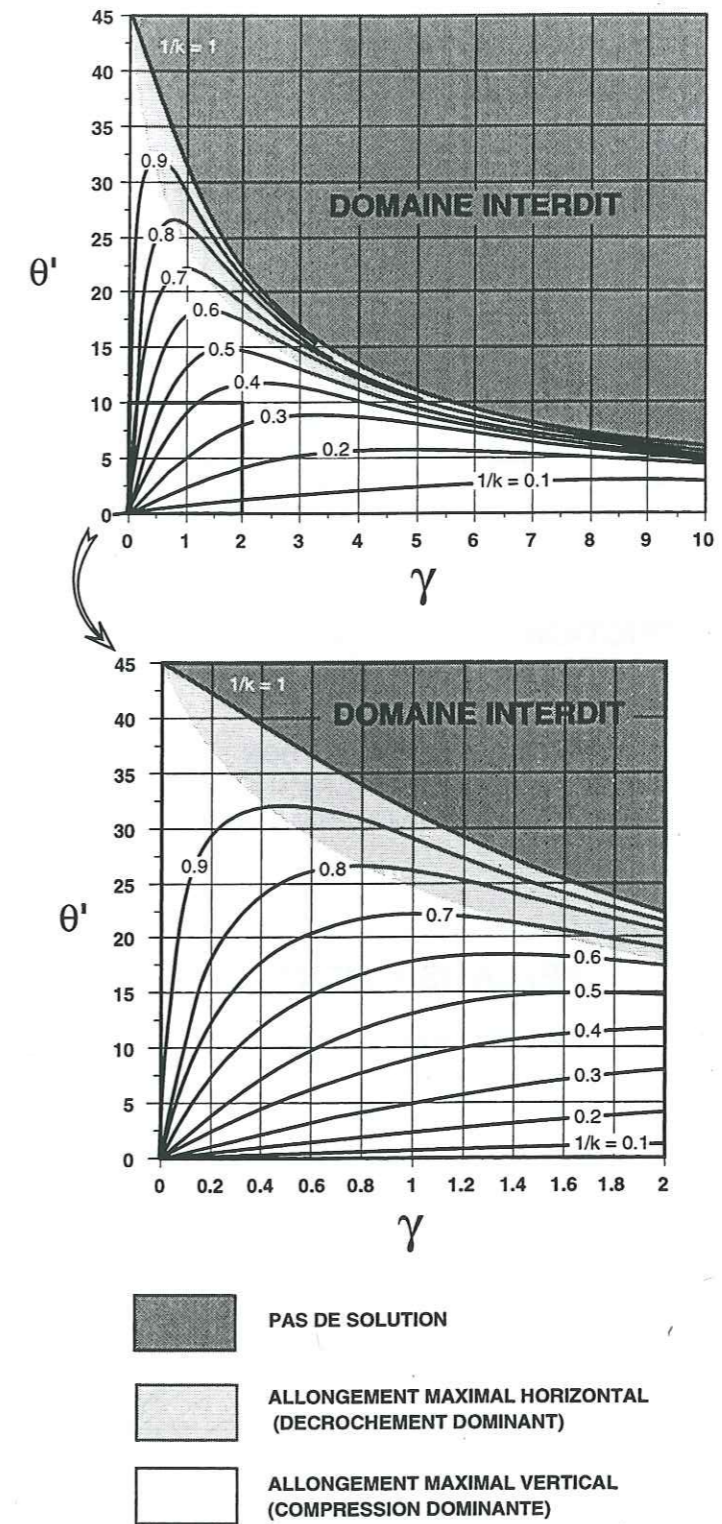


Fig.IV-9: Évolution de l'angle  $\theta'$  entre l'axe du pli et la discontinuité oblique en fonction du cisaillement simple  $\gamma$  imposé, pour différentes valeurs de cisaillement pur  $1/k$  (avec  $1/k = 1 - R_{cp}$ ; voir figure IV-7).

Quand  $1/k = 1$ , cela veut dire que le raccourcissement pur est nul: la déformation est donc uniquement du cisaillement simple.

Noter que le domaine où l'allongement est vertical (régime compressif) est beaucoup plus étendu que le domaine où l'allongement est horizontal (régime décrochant)



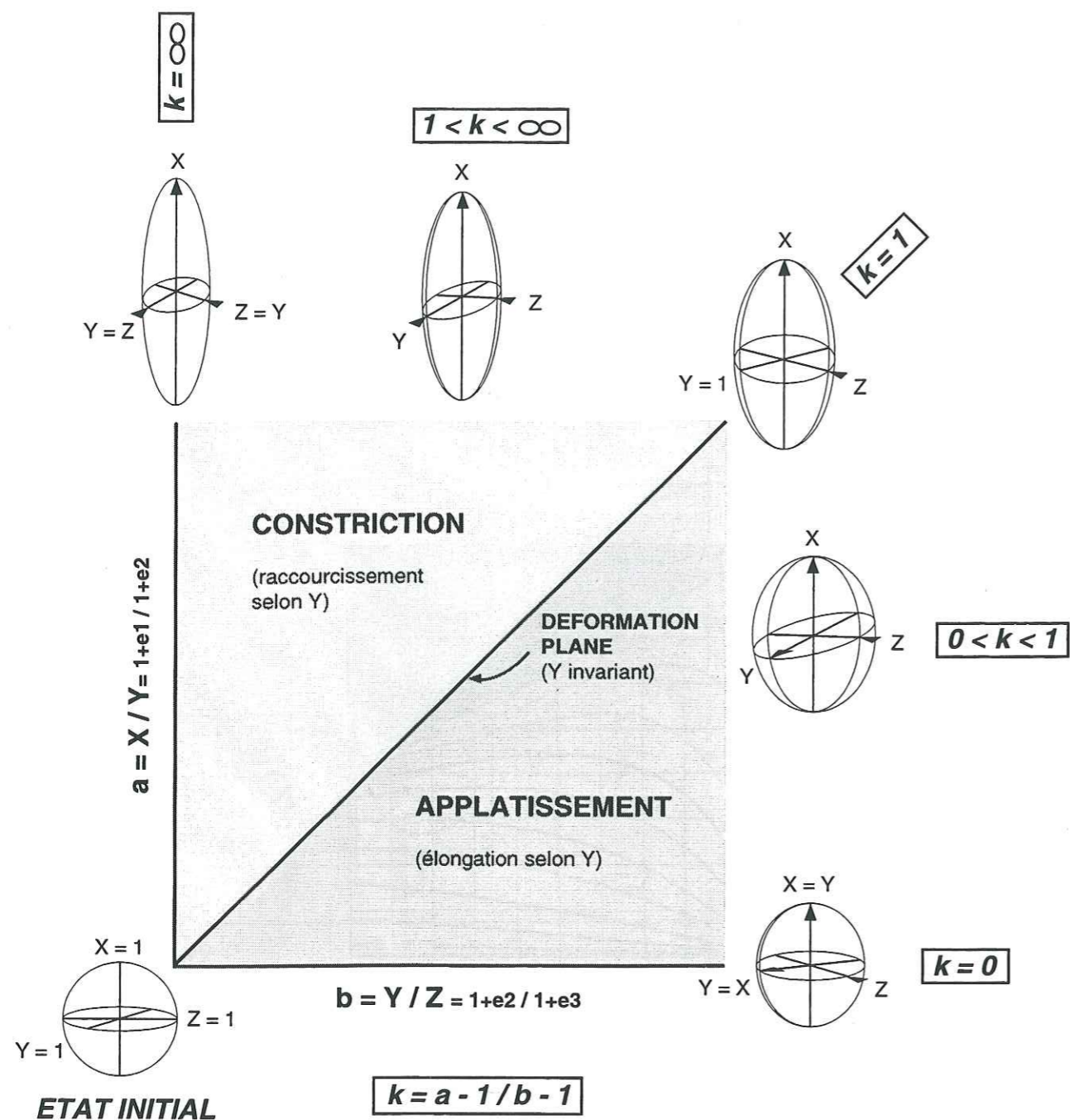


Fig.IV-10: Principes de la représentation de Flinn (Nicolas, 1982)

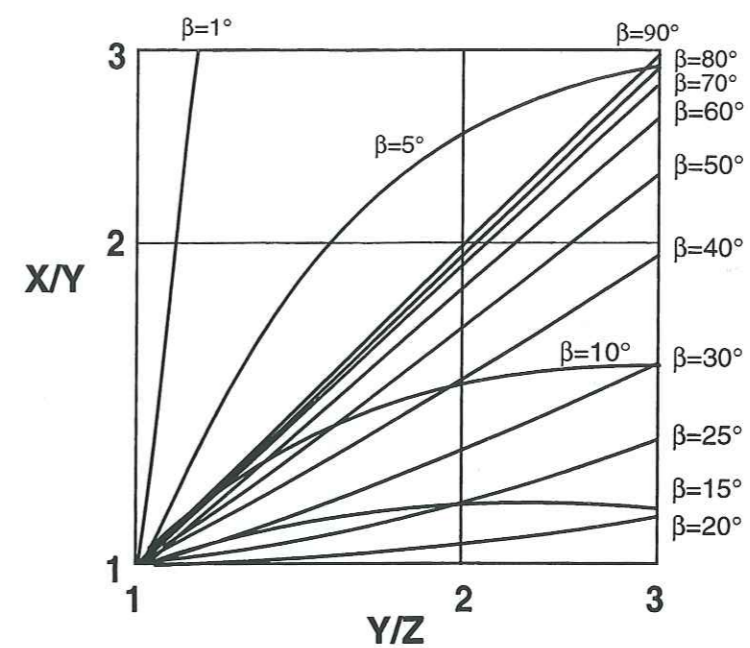


Fig.IV-11a: Représentation dans un diagramme de Flinn des valeurs des rapports Y/Z et X/Y du modèle pour différentes valeurs de  $\beta$ .

Noter la convexité vers le haut des courbes correspondant à des valeurs de  $\beta$  faibles et la convexité vers le bas des courbes correspondant à des  $\beta$  plus élevés (explication dans le texte).

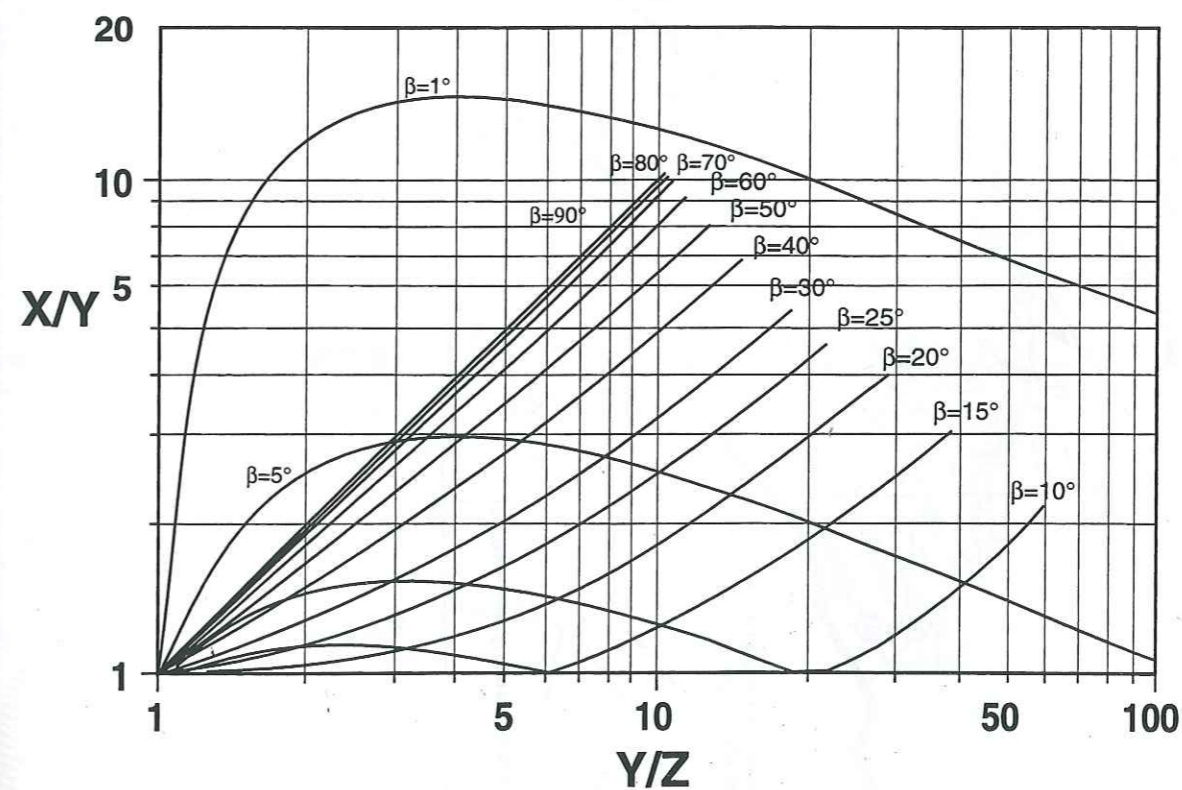


Fig.IV-11b: Idem figure IV-11a mais pour des déformations extrêmement élevées (explication dans le texte).



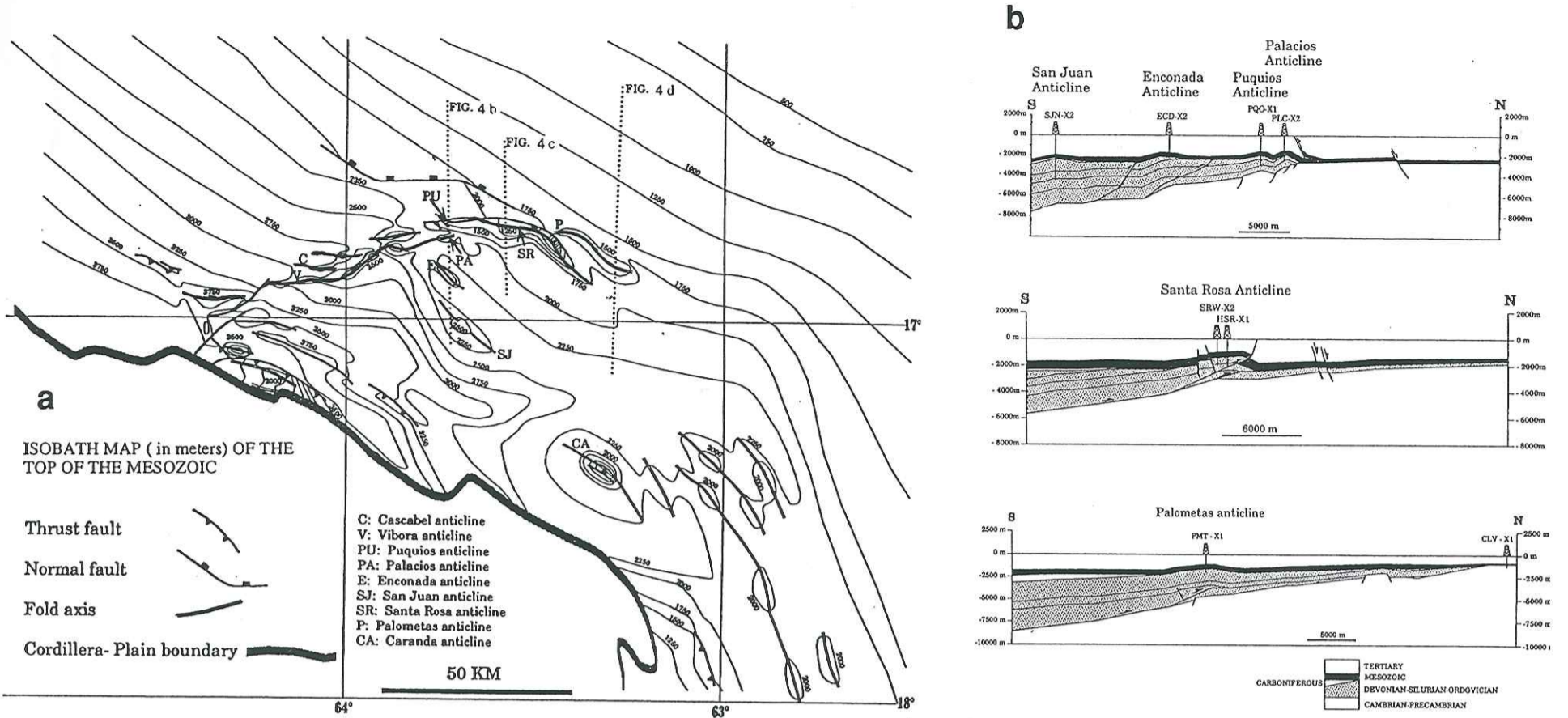


Fig.IV-12: La zone transverse du Boomerang en Bolivie (Baby *et al.*, sous presse).

a: carte structurale et localisation des coupes séries.

Noter la disposition des plis en échelons à axes sinueux au sein de la zone transverse.

b: coupes structurales montrant la géométrie des plis et leur superposition sur la limite du bassin paléozoïque.

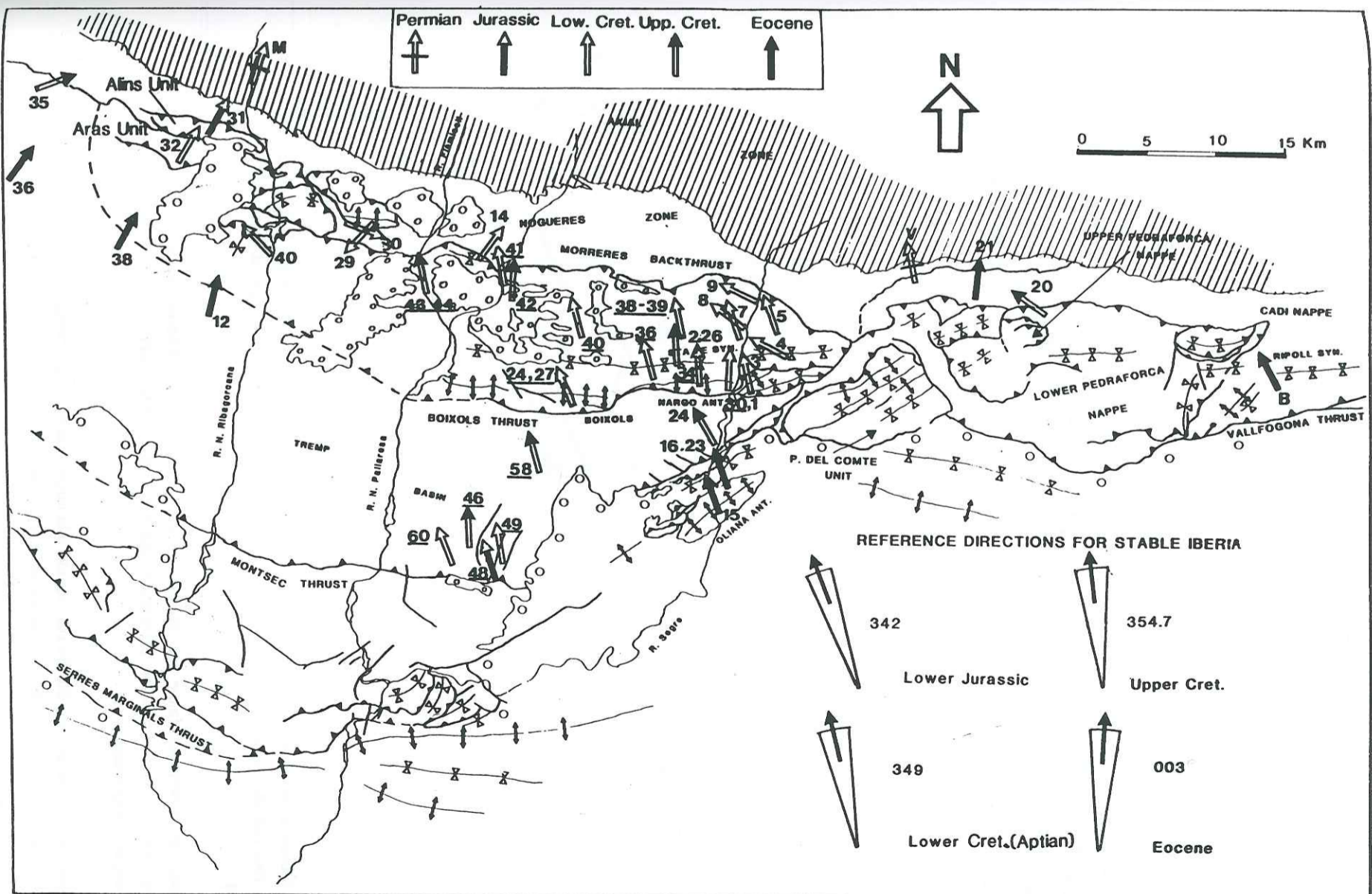
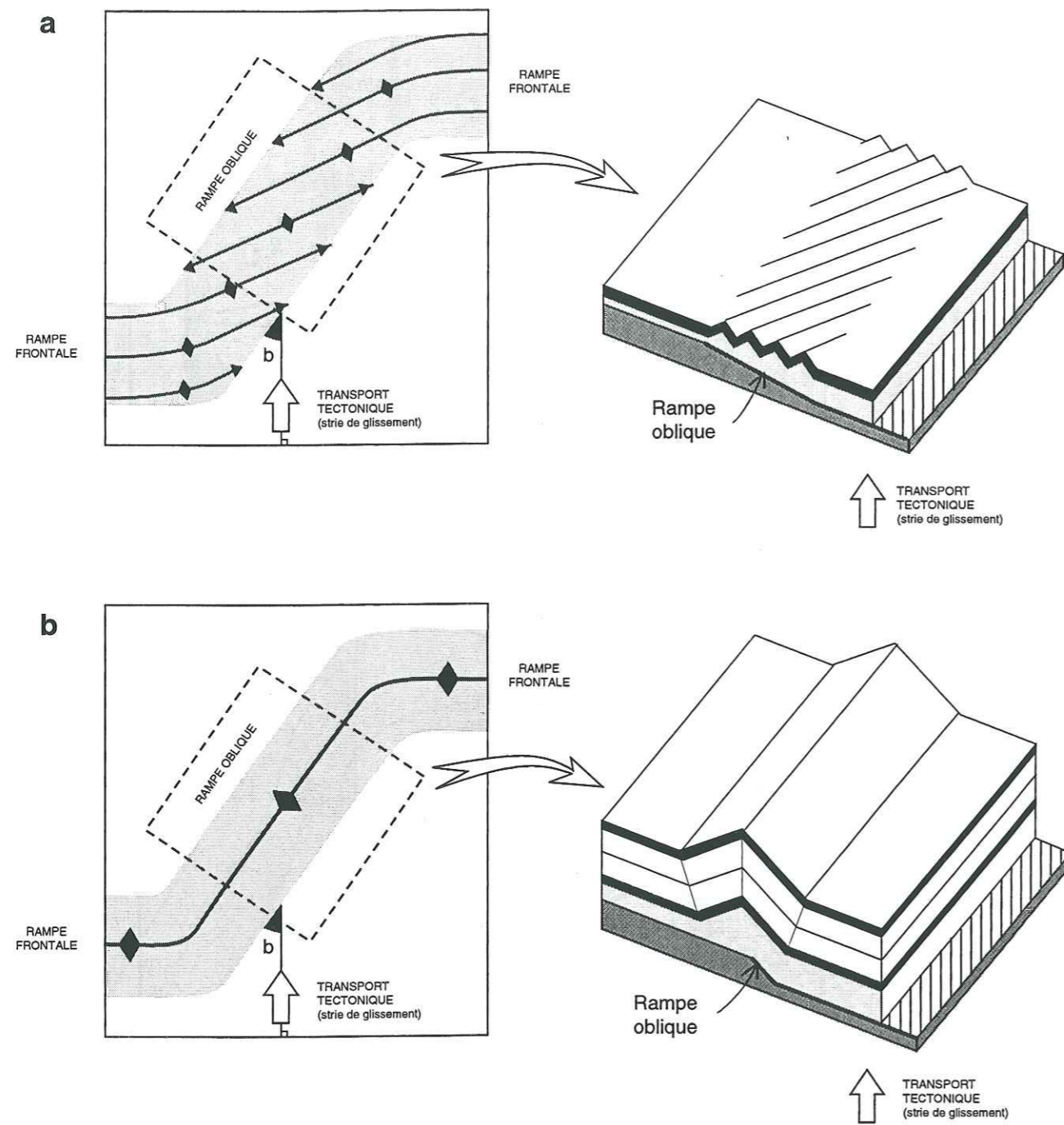


Fig.IV-13: Données paléomagnétiques de la zone centrale et orientale des Pyrénées espagnoles (Dinarès *et al.*, 1992).

Noter la rotation anti-horaire du pli d'Oliana développé le long de la rampe latérale sénestre du Sègre.

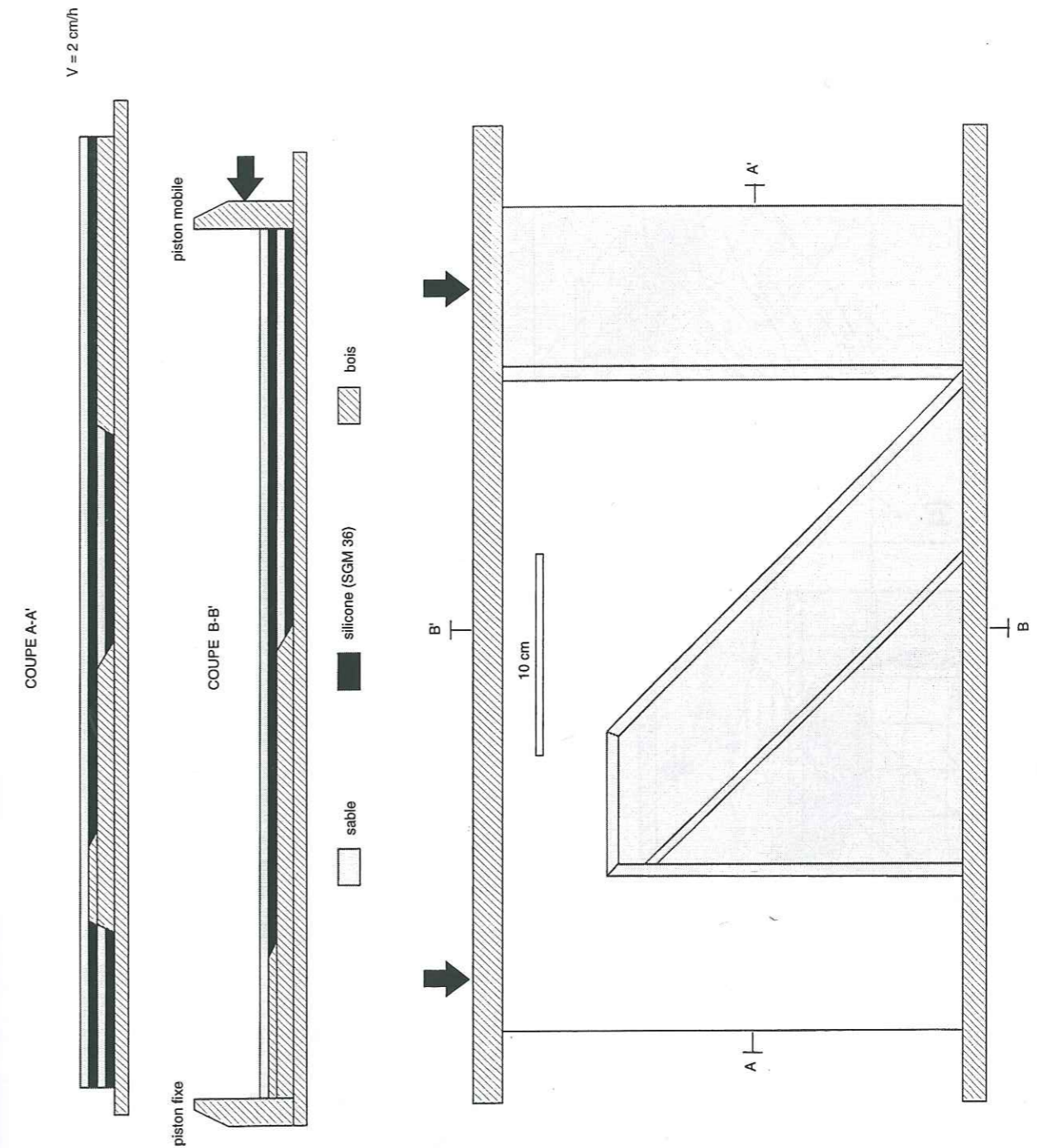




**Fig.IV -14 :** Schéma caricatural montrant l'influence de l'épaisseur de la série décollée sur la longueur d'onde et l'orientation des plis de détachement dans une zone transverse (seuls les plis de la zone transverse sont représentés).

**(a):** L'épaisseur de la série est faible par rapport à la largeur de la rampe oblique basale: il se développe une succession de plis disposés en échelon, de faible longueur d'onde, dont la direction est proche des prédictions du modèle de simple-transpression.

**(b):** L'épaisseur de la série est très élevée par rapport à la largeur de la rampe oblique basale: il se forme un seul pli de grande longueur d'onde parallèle à la rampe oblique basale.



**Fig.IV -15 :** Dispositif expérimental du modèle Pakistan

tel-00755680, version 1 - 21 Nov 2012



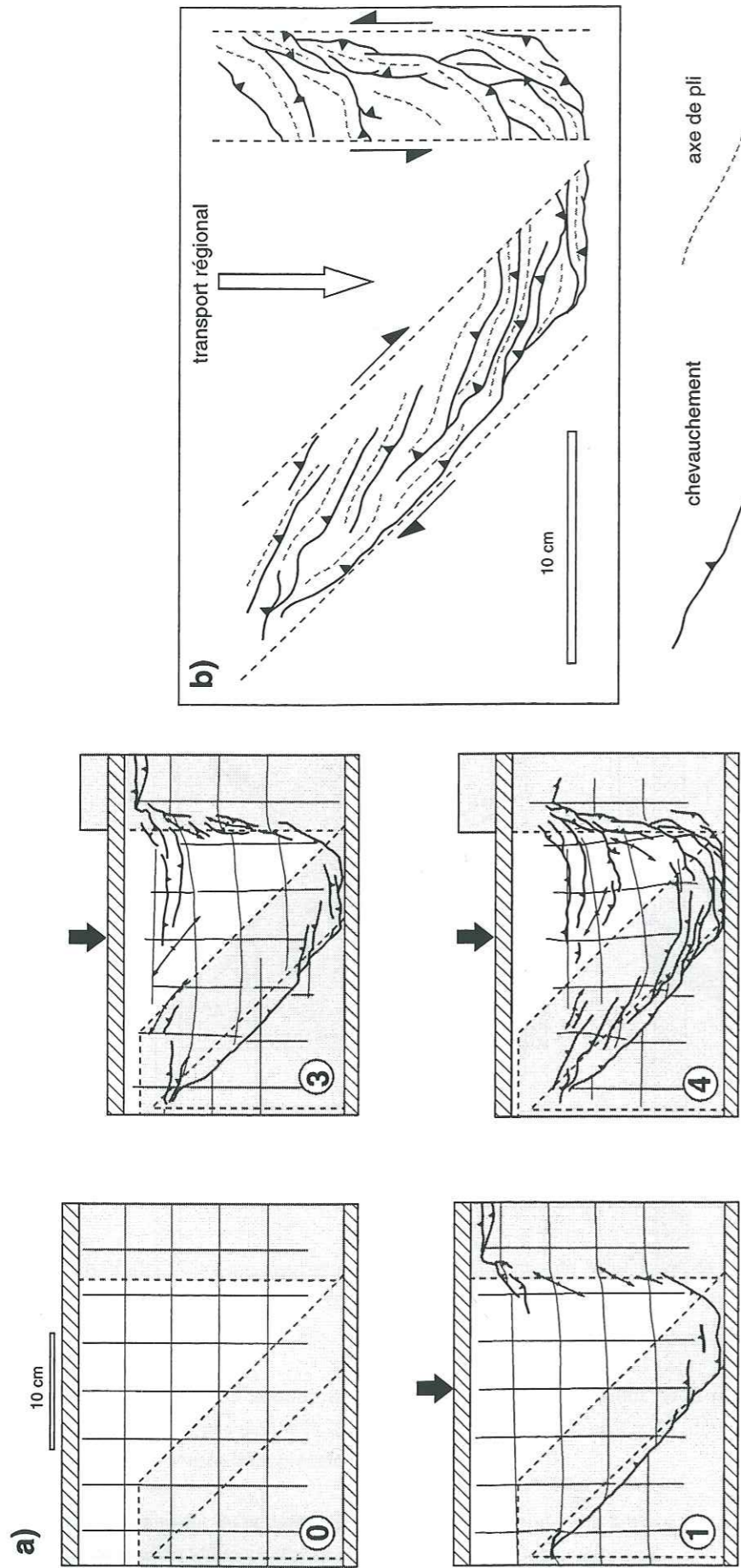


Fig.IV -16 : Modèle Pakistan.

(a): Vues de surface du modèle montrant l'évolution de la déformation.

Noter le développement de plis frontaux au centre du modèle et des plis en échelon au sein des zones transverses, qui se réorientent progressivement avec l'augmentation du raccourcissement.

(b): Vues de détail des 2 zones transverses à l'état final montrant la disposition des plis et des chevauchements associés.

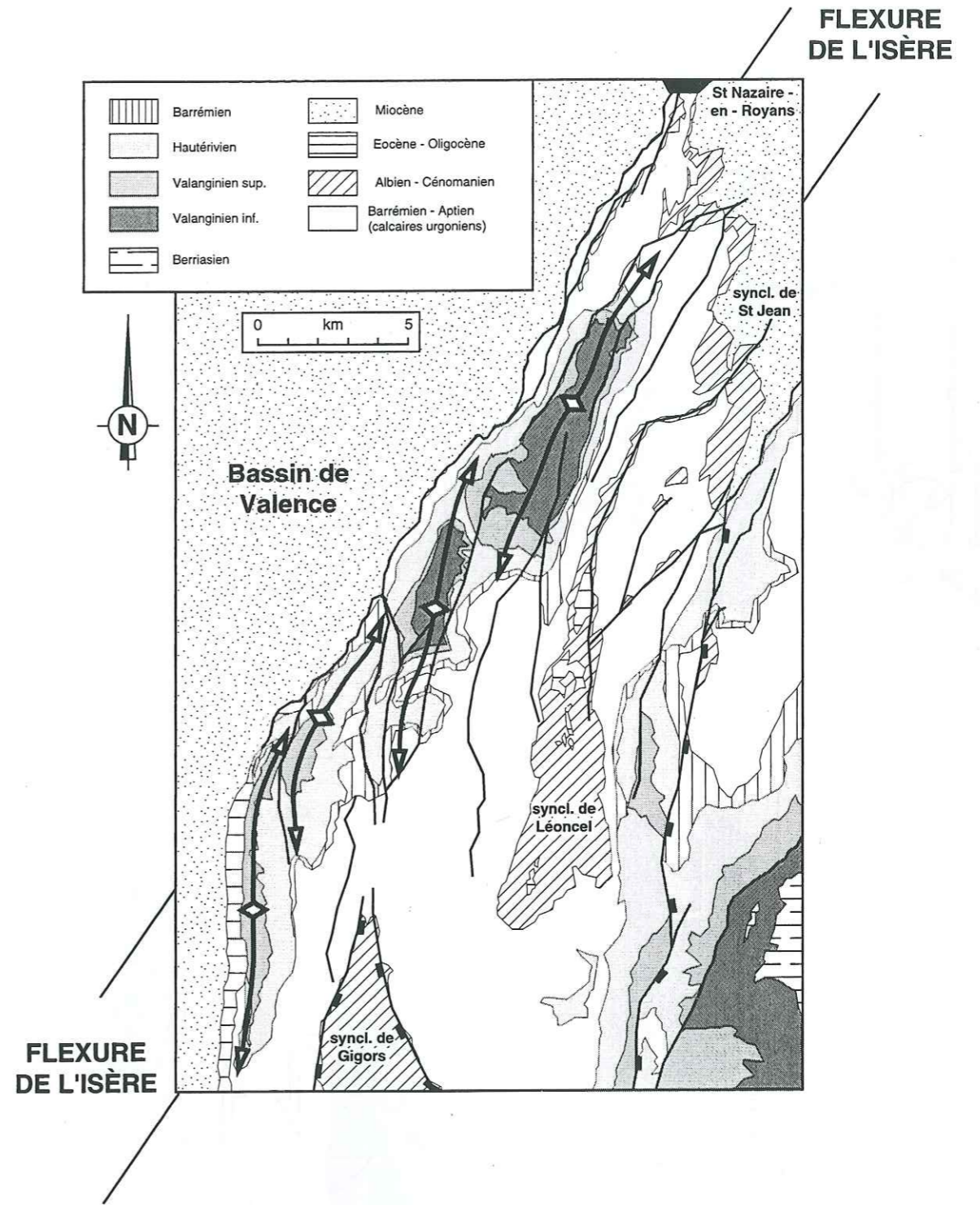


Fig.IV -17 : Carte de détail de l'anticlinal de L'Épenet - Musan - St Nazaire (d'après carte 1/50.000 BRGM).

Il s'agit d'un pli de propagation développé à l'aplomb d'une limite de bassin oblique. En raison de la présence d'un niveau de décollement intra-Néocomien, il s'est produit un phénomène de découplage (dysharmonie) entre la série Trias-Crétacé inférieur et les calcaires massifs urgoniens. Les niveaux anté-urgoniens sont déformés en plis de deuxième ordre disposés en échelon, alors que la barre massive de calcaire sommitale se déforme en un vaste pli parallèle à la limite de bassin.



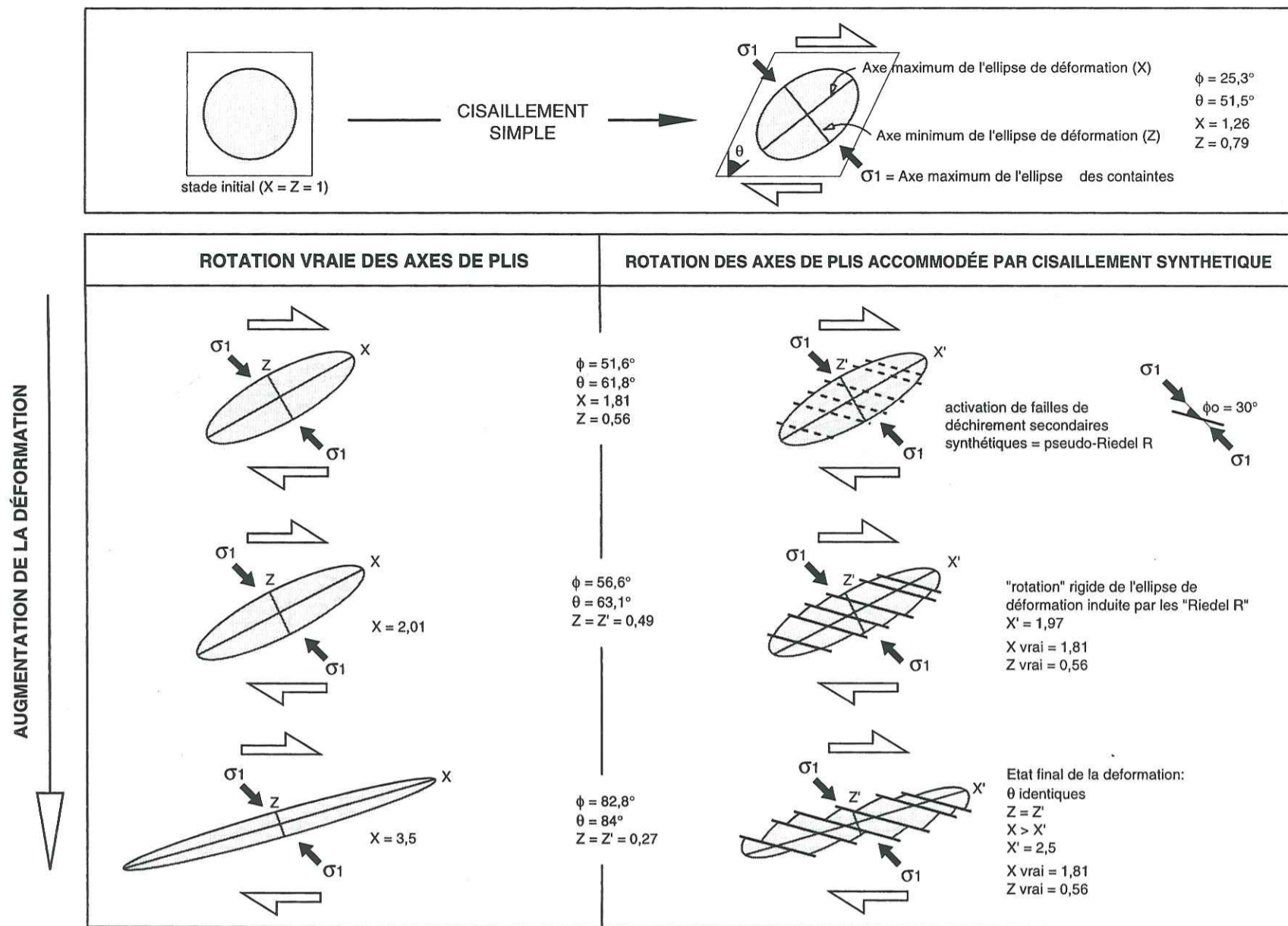


Fig.IV-18: Schéma montrant comment la rotation souple d'une ellipse de déformation peut être remplacée par le jeu d'une famille de failles de déchirement secondaires synthétiques (exemple du cisaillement simple)

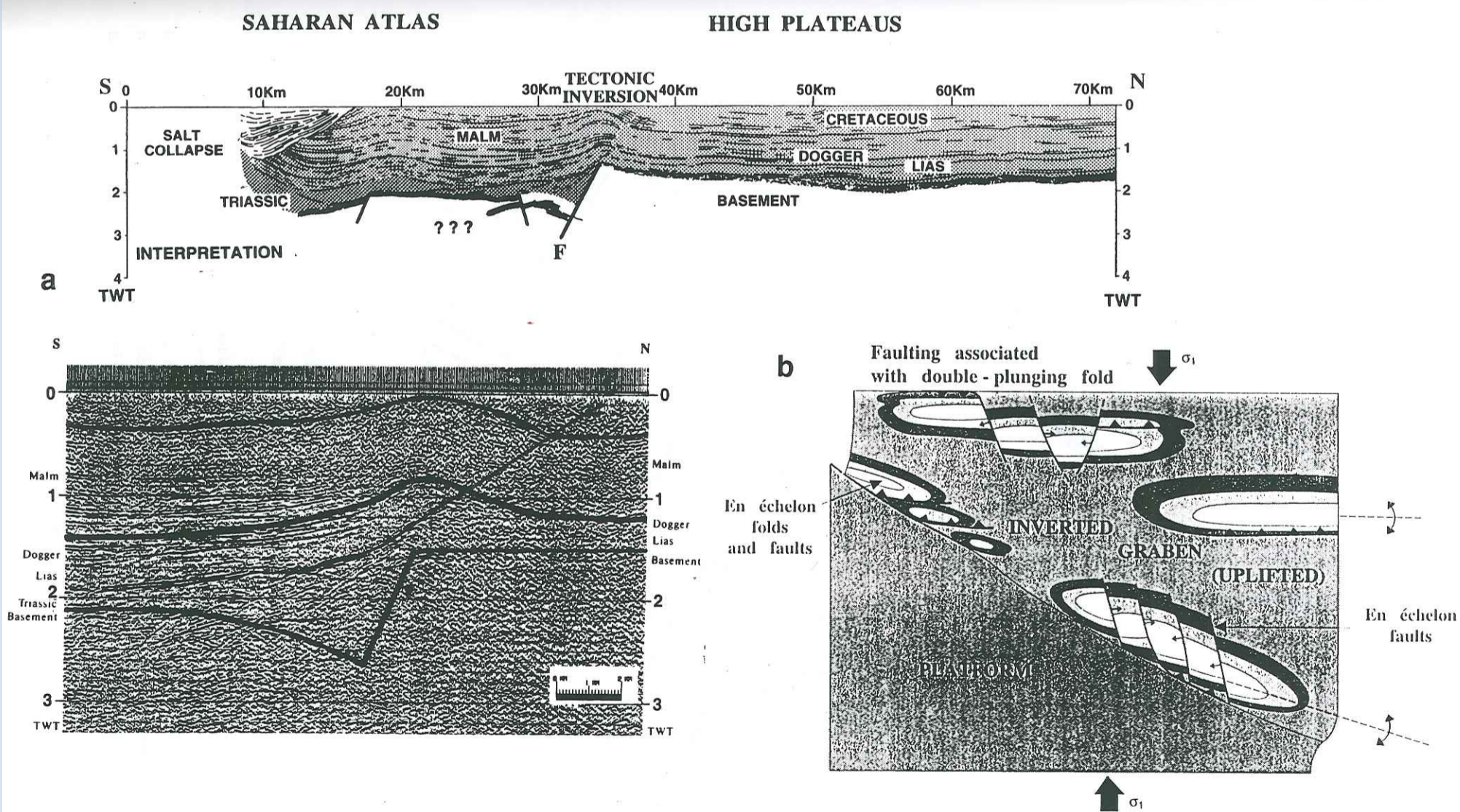


Fig.IV-19: Phénomènes d'inversion tectonique sur les bordures de l'Atlas Saharien (Vially *et al.*, 1994).

a: coupes transversales montrant le développement de plis de propagation ou de détachement à l'aplomb de la limite du domaine atlasique, par blocage de la déformation contre la faille normale profonde.

b: carte structurale simplifiée des plis développés contre la bordure oblique méridionale du domaine atlasique.

Noter la présence de plis frontaux au N de la bordure oblique et les plis obliques associés à un régime transpressifs le long de la rampe transverse.

La rotation du pli le plus méridional est permise par l'activation de failles de déchirement secondaires dextro-normales qui accommodent en plus l'extension longitudinale requise par la réorientation du pli.



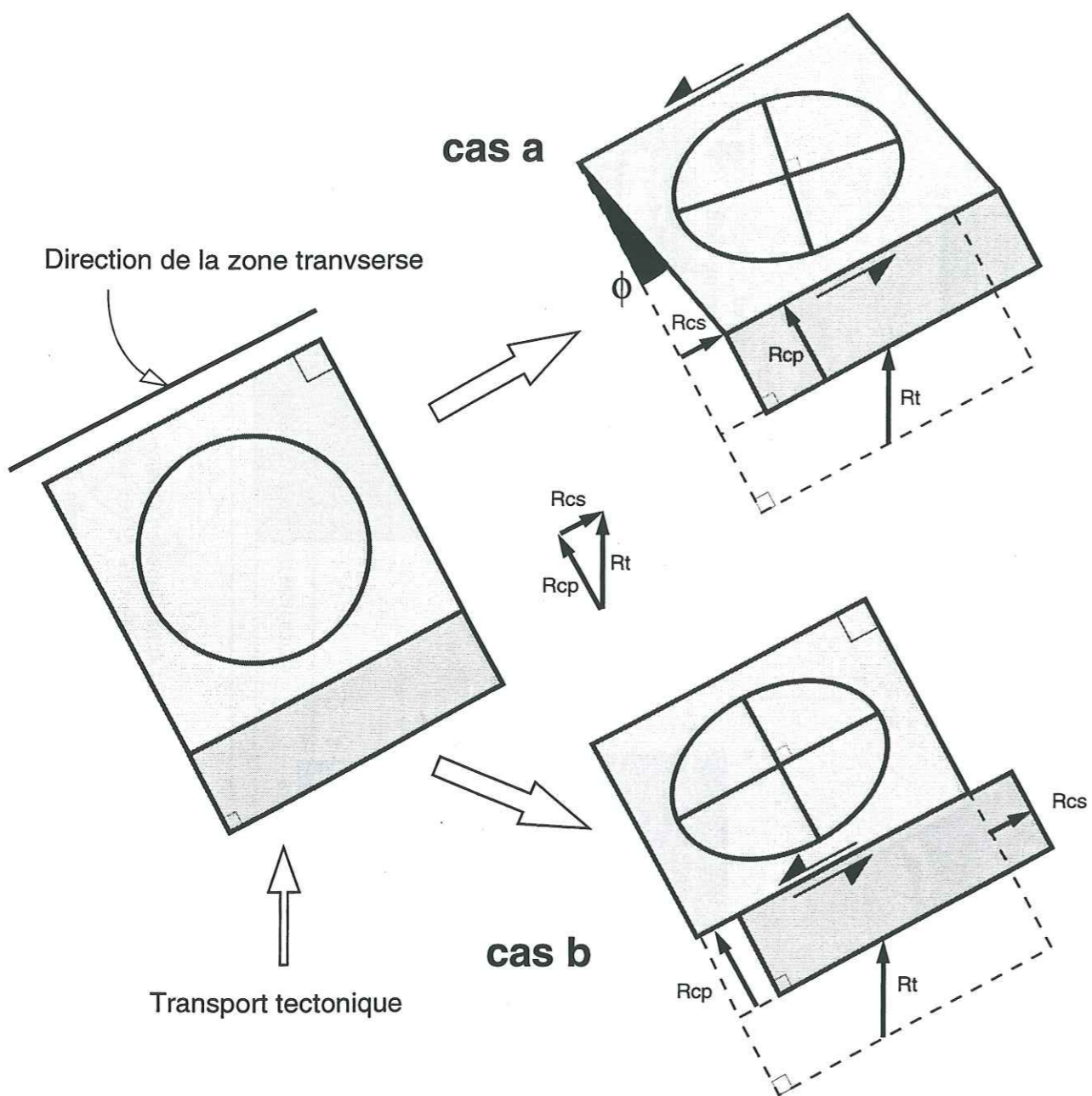


Fig.IV-20 : Répartition de la déformation transpressive dans une zone transverse.

a: la déformation se répartit uniformément dans toute la zone impliquée (cas du Jura septentrional).

b: la convergence oblique se décompose en 2 vecteurs de déplacement: la composante en cisaillement simple est localisée le long d'un décrochement pur parallèle ou très proche en direction de la rampe oblique et la composante en cisaillement pur perpendiculaire à la rampe se répartit entre le décrochement et la rampe oblique (cas du Jura méridional ou de la région des Corbières).

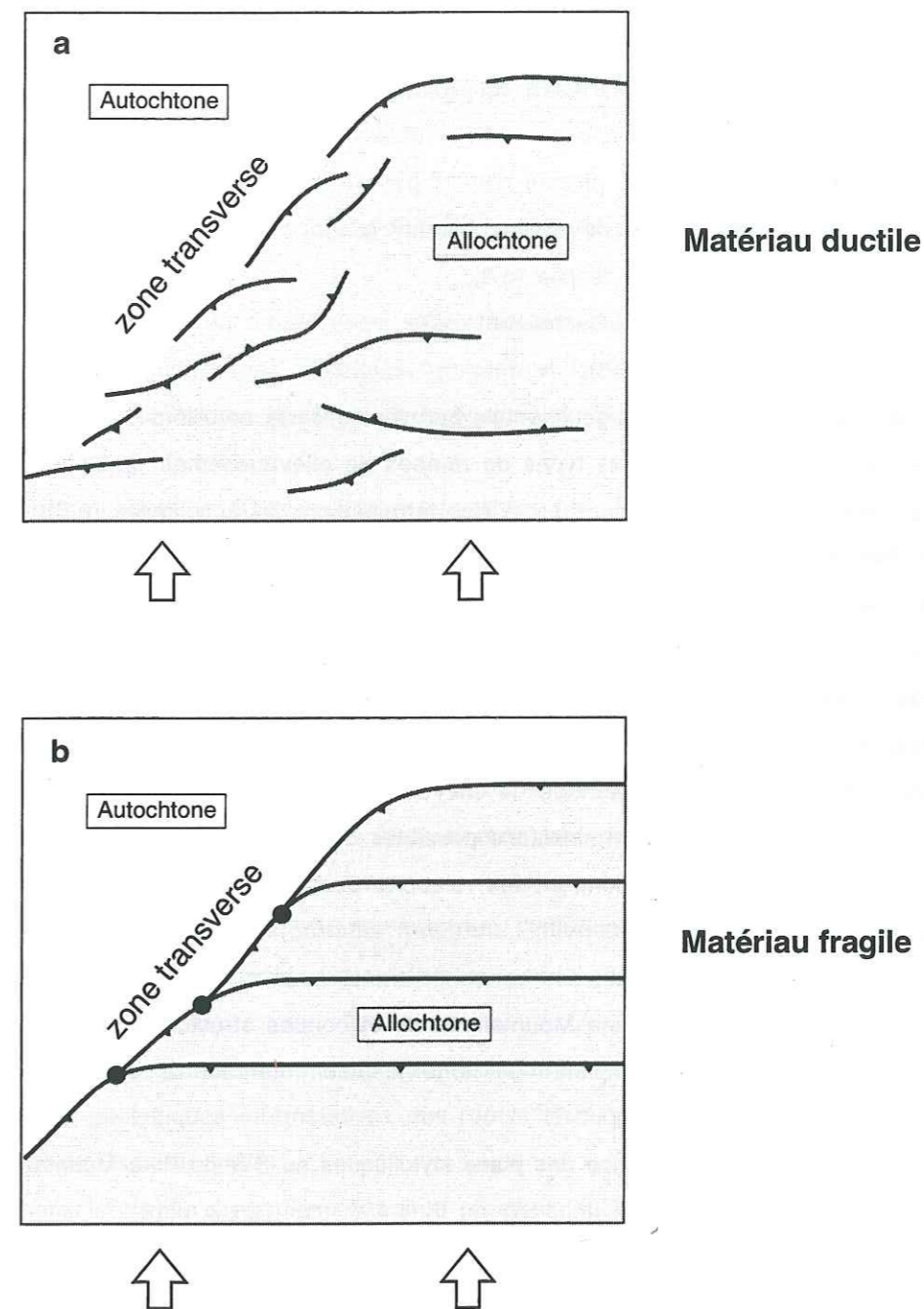


Fig.IV-21: Schéma caricatural montrant l'influence de la rhéologie du niveau de décollement sur la géométrie des structures dans une zone transverse.

a: niveau de détachement ductile. Il y a développement plus ou moins désordonné de structures en échelon à double vergence sans continuités latérales importantes. La zone transverse est relativement diffuse.

b: niveau de décollement fragile. Il y a activation prograde de rampes frontales espacées régulièrement en fonction de l'épaisseur de la couverture décollée. Ces rampes frontales se propagent latéralement dans la zone transverse par des rampes obliques raccordées entre elles et dont l'alignement constitue la zone transverse.



## LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I: DÉFINITIONS ET RAPPELS - EXEMPLES NATURELS

- Figure 1:** Géométrie d'une chaîne plissée d'avant-pays idéalisée (p.1).
- Figure 2:** Définition d'une surface de chevauchement (p.2).
- Figure 3:** Les 2 principaux types de plis (p.2).
- Figure 4:** Les 2 types de plis de détachement (p.3).
- Figure 5:** Les plis transportés (p.3).
- Figure 6:** Image Landsat de la marge orientale péruvienne de la cordillère des Andes (p.4).
- Figure 7a:** Définitions des différents types de rampes de chevauchement (p.5).
- Figure 7b:** Définitions de plis en surface et des terminaisons péranticlinales (p.5).
- Figure 8:** Exemples de failles de déchirement primaires (p.6).
- Figure 9:** Les failles de déchirement primaires: problème d'obliquité par rapport à la direction de transport (p.7).
- Figure 10a:** Schéma d'évolution d'une faille de déchirement secondaire (p.8).
- Figure 10b:** Développement d'une faille de déchirement secondaire en fonction du déplacement latéral différentiel sur une surface de chevauchement (p.8).
- Figure 11a:** Coupe illustrant les terminaisons possibles des surfaces de chevauchement (p.9).
- Figure 11b:** Blocs diagrammes montrant les relations possibles entre chevauchements imbriqués (p.9).
- Figure 12:** Tableau de classification des zones de transfert élémentaires (p.10).
- Figure 13:** Carte géologique du Pine Mountain Block et coupes structurales transversales (p.11).
- Figure 14a:** Carte structurale simplifiée de la terminaison méridionale du Pine Mountain Block (p.12).
- Figure 14b:** Diagramme de fréquence des plans stylolitiques au SW du Pine Mountain Block (p.12).
- Figure 14c:** Carte géologique du secteur SW du Pine Mountain Block (p.12).
- Figure 15:** Coupe longitudinale restaurée du Pine Mountain Block (p.13).
- Figure 16a:** Carte du Plateau du Cumberland (p.14).
- Figure 16b:** Blocs diagrammes schématiques montrant la relation géométrique entre les anticlinaux de surface et la configuration du plan de chevauchement basal (p.14).
- Figure 17a:** Carte structurale de Plateau nord-appalachien (p.15).
- Figure 17b:** Carte d'isohypses et coupe schématique de l'anticlinal de Burning Springs (p.15).
- Figure 18:** Relation entre le développement des plis du Plateau nord-appalachien et l'extension du sel de la Formation Salina du Silurien supérieur (p.15).
- Figure 19:** Carte structurale du Pakistan septentrional (p.16).
- Figure 20:** Carte structurale simplifiée de la zone faillée de Kalabagh (p.16).

- Figure 21:** Bloc diagramme schématique de la rampe latérale de Kalabagh (p.16).
- Figure 22a:** Schéma structural de l'orocline bolivien (p.17).
- Figure 22b:** Schéma structural de la Zone Subandine du coude de Santa Cruz (p.17).
- Figure 22c:** Variations latérales de la géométrie du front de chevauchement de la Zone Subandine du coude de Santa Cruz (p.17).
- Figure 23a:** Carte structurale des isobates du toit du Mésozoïque dans la région du Boomerang (p.18).
- Figure 23b:** Carte isopaques du bassin sédimentaire paléozoïque (p.18).
- Figure 24:** Coupes tectoniques des structures frontales et latérales (p.19).
- Figure 25a:** Carte de localisation du segment transverse du South Fork thrust dans la Cordillère ouest-américaine (p.20).
- Figure 25b:** Carte structurale détaillée de la rampe oblique du South Fork thrust (p.20).
- Figure 26:** Carte tectonique régionale montrant la localisation de la zone transverse du SW Montana (p.21).
- Figure 27:** Carte structurale détaillée de la zone transverse du SW Montana (p.22).
- Figure 28:** Carte de détail du segment interne de la zone transverse du SW Montana (p.23).
- Figure 29:** Bloc diagramme interprétatif montrant les relations entre la faille normale de Willow Creek, la zone transverse du SW Montana et les rampes frontales de l'Helena Salient (p.24).
- Figure 30:** Coupe longitudinale interprétative montrant la configuration avant et après chevauchement le long de la zone transverse (p.24).
- Figure 31:** Blocs diagrammes interprétatifs montrant l'influence de la faille normale de Willow Creek et des compartiments surélevés de socle sur la géométrie du chevauchement dans la zone de transfert (p.24).
- Figure 32:** Carte géologique du secteur nord du massif de Cameros (p.25).
- Figure 33:** Coupes géologiques interprétatives des profils sismiques montrant la structure générale du massif de Cameros (p.26).
- Figure 34:** Reconstitution du champ de contrainte régional (p.27).
- Figure 35:** Orientation des indicateurs cinématiques mesurés dans 4 stations sur ou proche de la surface de chevauchement montrant un transport général vers le NNW (p.27).
- Figure 36:** Modèle cinématique et mécanique proposé pour le mouvement du chevauchement du massif de Cameros (p.27).
- Figure 37a:** Carte géologique simplifiée des Appalaches en Alabama et Géorgie (p.28).
- Figure 37b:** Carte géologique de la zones transverse d'Anniston (p.28).
- Figure 38:** Coupes structurales transversales équilibrées et longitudinales de la zone transverse d'Anniston (p.29).
- Figure 39:** Carte de localisation des zones transverses étudiées (p.30).



**CHAPITRE II: ANALYSE STRUCTURALE D'EXEMPLES NATURELS DE ZONES  
TRANSVERSES - CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'AVANT-PAYS ALPIN**

**Partie I - Le raccord Jura méridional - Chartreuse occidentale.**

- Figure 1:** Structural map of the western Alpine Belt and its foreland (p.31).
- Figure 2:** Structural map of the southern Jura fold-and-thrust belt and adjacent areas (p.32).
- Figure 3:** Synthetic lithostratigraphic column of the Mesozoic cover in the southern Jura thrust belt (p.33).
- Figure 4:** Location map of the seriated cross-sections (p.34).
- Plate 1:** Serial cross-sections through the southern Jura belt and the western Chartreuse massif (pp.35-37).
- Figure 5:** Upper Triassic (Keuper-Rhetic layers) isopach map in the southern Jura (p.38).
- Figure 6:** Comparison between the cross-sectional taper of natural examples of fold-and-thrust belts and theoretical models depending on the shear strength of the basal detachment layer (p.39).
- Figure 7:** Location of sites of brittle microtectonic data in the study area (p.40).
- Table 1:** Results of the paleostress reconstructions using fault slip data (pp.41-43).
- Figure 8:** Rose diagrams of the frequency of  $\sigma_1$  axes orientations computed in each distinct zone (p.44).
- Figure 9:** Map of  $\sigma_1$  trajectories related to the Mio-Pliocene compressive stress regime responsible for the development of the Jura and Chartreuse fold-and-thrust belts (p.45).
- Figure 10a:** Sketch of the outcrop corresponding to the site n°76, showing the contact between the NE-SW directed Internal Jura and the N-S trending Jurassian chaînons (p.46).
- Figure 10b:** Projection onto a Wulff stereogram of the poles of Neocomian bedding planes within the footwall of the strike-slip thrust fault and the calculated axis of the tight conical fold observed near the tectonic contact (p.46).
- Figure 10c:** Diagram of brittle microtectonic data observed in the Upper Jurassic layers in the hangingwall of the fault (p.46).
- Figure 11a:** Structural map of the southern Jura fold-and-thrust belt divided in surface units (p.47).
- Figure 11b:** Intermediate balanced map (p.48).
- Figure 11c:** Final restored map (p.49).
- Figure 12:** Diagrams pitch of striae vs. strike of reverse faults planes or bed-to-bed surfaces (p.50).
- Figure 13:** Strain-partitioning models (p.51).

**Figure 14:** Structural interpretation of the southern transverse termination of Jura thrust belt as the result of a strain-partitioning between the internal and external parts of the Jura thrust belt (p.52).

**Annexe I:** Stéréogrammes des données de la microtectonique cassante (pp.53-62).

**Partie II - Le Jura septentrional.**

- Figure 1:** Carte structurale du Jura septentrional et localisation des coupes structurales (p.63).
- Figure 2:** Coupes structurales simplifiées du Jura tabulaire et du Jura plissé (p.64).
- Figure 3:** Profil sismique interprété montrant les relations entre le Jura plissé au sud et le Fossé rhénan au nord (p.65).
- Figure 4:** Carte simplifiée du socle anté-triasique (p.66).
- Figure 5:** Localisation des sites de mesures (p.67).
- Figure 6:** Carte des directions de la contrainte Eocène (p.68).
- Figure 7:** Carte des directions de la contrainte Miocène inférieur (p.68).
- Figure 8:** Carte des directions de la contrainte Mio-Pliocène et interpolation des données sur l'ensemble de la zone étudiée (p.69).
- Figure 9a:** Schéma de localisation des principaux accidents anté-miocènes dans le Jura septentrional (p.70).
- Figure 9b:** Évolution cinématique très schématique du Jura septentrional au Mio-Pliocène (p.71).
- Annexe II:** Stéréogrammes des données de la microtectonique cassante (pp.72-82).

**Partie III - La Haute-Chaîne du Jura central.**

- Figure 1:** Carte structurale schématique du Jura interne central et méridional (p.83).
- Figure 2:** Colonnes lithostratigraphiques des forages pétroliers implantés dans la Haute-Chaîne (p.84).
- Figure 3:** Coupes transversales sériées au travers de la Haute-Chaîne du Jura (p.85).
- Figure 4:** Calendrier tectonique du Jura central et méridional (p.86).
- Figure 5:** Classification des accidents transverses dans les chaînes plissées (p.87).
- Figure 6:** Carte schématique de la faille de Pontarlier-Vallorbe (p.88).
- Figure 7:** Interprétation du profil ECORS dans la Haute-Chaîne du Jura central (p.89).
- Figure 8:** Exemple d'inversion tectonique en mer du Nord (p.90).
- Figure 9:** Carte des isohypses du toit du socle dans la région d'Oyonnax (p.91).
- Figure 10a:** Carte des bassins paléozoïques de l'est de la France (p.92).
- Figure 10b:** Carte des mesures de nivellement dans le Jura et en Bresse (p.92).



**Figure 11:** Coupe profondeur des Alpes externes et de leur avant-pays le long du profil ECORS (p.93).

**Partie IV - Le role du Bassin molassique dans la tectogenèse du Jura: approche expérimentale.**

- Figure 1:** Tectonic map of the Jura fold-and-thrust belt (p.94).  
**Figure 2:** Selected cross-sections through the Jura gold-and-thrust belt and Molasse Basin (p.95).  
**Figure 3:** Relationship between the development of the Jura fold-and-thrust belt and the distribution of the Triassic evaporites (p.96).  
**Figure 4:** Diagram illustrating the shear strength versus depth of evaporites and brittle rocks in the upper crust (p.97).  
**Figure 5a:** Experimental set-up of the analogue model n°1 (p.98).  
**Figure 5b:** A possible interpretation of the Internal "High-" Jura as a basement horst located beneath the sole thrust (p.98).  
**Figure 6:** Experimental set-up of the analogue model n°2 (p.99).  
**Figure 7:** Serial cross-sections through the model n°1 at the final stage (p.100).  
**Figure 8:** Surface views of the model n°2 showing the evolution of the deformation according the amount of shortening (p.101).  
**Figure 9:** Evolutive cross-section of the model n°2 (p.102).  
**Figure 10:** Seriated cross-sections through the model n°2 at the final stage illustrating the variations along strike of the deformation style (p.103).  
**Figure 11:** Horizontal section of the model n°2 at the final stage showing the branch-lines between thrust faults and the distribution of the basal detachment layer (p.104).  
**Figure 12:** Comparison between cross-sectional tapers of natural examples of fold-and-thrust belts and theoretical models depending on the shear strength of the basal detachment layer (p.105).

**Partie V - Analyse cinématique et mécanique de l'arc du Jura.**

- Figure 1a:** Schematic structural map of western Alps and foreland (p.106).  
**Figure 1b:** Schematic cross-section through western Alps and their foreland, along the ECORS deep seismic profile (p.106).  
**Figure 2:** Tectonic map of the Jura fold-and-thrust belt (Chauve *et al.*, 1980, modified) and location of the cross-sections (p.107).

- Figure 3:** Summary lithostratigraphic column of Mesozoic and Tertiary series of the Jura and the Molasse basin (p.108).  
**Figure 4:** Tectonic events recorded in the Jura domain (p.109).  
**Figure 5:** Relationship between basement faults and the location of the Jura thrust front. The deep-seated basement faults in the Bresse graben are inferred from gravimetry data (p.110).  
**Figure 6:** Relationship between the development of the Jura fold-and-thrust belt and the distribution of the Triassic evaporites (p.111).  
**Enclosure 1:** Regional balanced cross-sections through the Jura and western Chartreuse subalpine chain (p.112-115).  
**Figure 7a:** Schematic structural map of the Valempoulières area (p.116).  
**Figure 7b:** Structural correlation between selected boreholes along a NW-SE transect (p.117).  
**Figure 7c:** Restoration of the previous section (p.117).  
**Figure 8:** Critical taper model of Davis *et al.* (1983) applied to the Jura fold-and-thrust belt (p.118).  
**Figure 9:** Evolutive cross-section of an analogue model simulating the horizontal push exerted by a backstop on the Alpine foreland (p.119).  
**Figure 10:** Grid-map of the Mio-Piocene principal stress axes in the Jura fold-and-thrust belt based on stylolitic peaks (p.120).  
**Figure 11a:** Structural map of the Jura fold-and-thrust belt divided in surface units (p.121).  
**Figure 11b:** Final restored map (p.121).  
**Figure 11c:** Finite displacement vectors derived from figure 11b (p.122).  
**Figure 12:** Megatectonic map illustrating indenter effect of West Alpine arc and position of Jura fold-belt relative to the External crystalline massifs and Simplon-Rhône line (p.123).

**Partie VI - le Vercors occidental.**

- Figure 1a:** Schematic structural map of southeastern France and location of the study area (p.124).  
**Figure 1b:** Structural map of the Chartreuse and Vercors Subalpine massifs (p.125).  
**Figure 2:** Regional balanced cross-sections through the Chartreuse and Vercors massifs (p.126).  
**Figure 3:** Successive tectonic phases recorded in the Chartreuse and Vercors massifs (p.127).  
**Figure 4:** Seriated WNW-ESE stratigraphic correlations characterizing the Jurassian and Dauphinois Mesozoic domains of southeastern France (p.128).  
**Figure 5:** Grid-map of Late Miocene main shortening axes in the western Chartreuse and Vercors massifs (p.129).



- Figure 6:** Serial balanced cross-section through the western Chartreuse and Vercors massifs (pp.130-131).
- Figure 7:** N-S time-section of the northern Diois massif and the Aurel Dome based on a seismic-reflection profile (p.132).
- Figure 8:** Detailed geological map of the Épenet - St. Nazaire fault-propagation anticline (p.133).
- Figure 9a:** Stress trajectories within a rectangular body horizontally shortened by a vertical mobile back-stop and location of potential conjugated forethrust and backthrust (p.134).
- Figure 9b:** Scheme illustrating the sequential development of pop-up structures bounded by conjugated thrust and backthrusts in an homogeneous model (p.134).
- Figure 9c:** Application of the Coulomb wedge model to the western Chartreuse and Vercors massifs, based on numerical models and analogue models (p.134).
- Figure 10a:** Surface view of the bottom of the model (p.135).
- Figure 10b:** Three seriated cross-sections of the model showing along-strike thickening of the sedimentary cover from the upper edge to the lower edge of the model (p.135).
- Figure 11:** Serial evolutive cross-sections of the model during the experiment (p.136-137).
- Figure 12:** Surface views of the model at four steps of the experiment among nine stages of deformation (p.138).
- Figure 13:** Seriated cross-sections between sections A-A' and C-C' at the final stage showing spatial evolution along-strike of the internal structures (p.137).
- Figure 14:** Comparison between an horizontal section in the centre of the model and a map view of the middle part of the western Vercors and Chartreuse transverse zone (p.139).
- Annexe III:** Données microtectoniques (pp.140-149).

### CHAPITRE III: APPORTS DE LA MODÉLISATION ANALOGIQUE DES SYSTEMES CHEVAUCHANTS ET DES ZONES DE TRANSFERT

- Figure 1:** Profil de résistance au cisaillement d'une couverture sédimentaire naturelle et d'un modèle analogique dimensionné (p.150).
- Figure 2:** Relation entre résistance au cisaillement et vitesse de déformation pour une couche ductile (p.150).
- Figure 3:** Principe d'acquisition du scanner X (p.151).
- Figure 4:** Valeurs du coefficient d'atténuation des rayons X en unités Hounsfield pour différents matériaux (p.151).
- Figure 5:** Dispositif expérimental du modèle n°1041 (p.152).
- Figure 6:** Coupes évolutives transversales montrant la séquence de développement des chevauchements et la géométrie des structures associées (p.153).

- Figure 7:** Coupes évolutives transversales d'un modèle fragile de faible épaisseur (p.154).
- Figure 8:** Évolution d'une écaïlle chevauchante dans un modèle isopaque d'après la valeur du pendage relatif de la rampe dans le compartiment supérieur (p.155).
- Figure 9:** Modèles de déformation d'une écaïlle chevauchante par plissement flexural (p.156).
- Figure 10:** Modélisation d'un pli de rampe passif (p.157).
- Figure 11:** Valeur du pendage effectif de la rampe dans le compartiment supérieur d'une écaïlle chevauchante en fonction du rapport épaisseur couche fragile/niveau de détachement (p.158).
- Figure 12:** Géométrie idéale d'une écaïlle chevauchante (p.159).
- Figure 13:** Relation entre la friction basale et le pendage des accidents (p.160).
- Figure 14:** Relations entre les modèles analogiques et le modèle de prisme critique de Coulomb de Davis *et al.* (1983), en fonction de la friction basale. (p.161)
- Figure 15:** Exemples de modélisations analogiques en fonction de la friction basale (p.162).
- Figure 16:** Exemples de profils sismiques de prismes d'accrétion océaniques (pp.163-168).
- Figure 17:** Interprétation possible de la Haute-Chaîne du Jura en terme de horst de socle préservé sous le niveau de décollement intra-triasique (p.169).
- Figure 18:** Dispositif expérimental du modèle n°0138 (p.169).
- Figure 19:** Coupes évolutives transversales du modèle montrant l'influence de l'obstacle basal sur la propagation des chevauchements (p.170).
- Figure 20:** Coupes évolutives interprétées montrant l'évolution de la déformation à l'échelle du modèle (p.171).
- Figure 21:** Dispositif expérimental du modèle n°1449 (p.172).
- Figure 22:** Coupes évolutives transversales montrant l'influence de la marche d'escalier sur la propagation des chevauchements dans le domaine interne (p.173).
- Figure 23:** Coupe équilibrée du Jura septentrional à l'est de Bâle (p.174).
- Figure 24:** Dispositif expérimental du modèle n°2819 (p.175).
- Figure 25:** Coupes évolutives transversales (à 2 endroits différents) montrant l'influence du horst profond sur la propagation des chevauchements dans le domaine interne (p.176).
- Figure 26:** Coupes horizontales sériées du modèle à l'état final (pp.177-178).
- Figure 27:** Dispositif expérimental du modèle n° 2821 (p.179).
- Figure 28:** Coupes évolutives transversales montrant l'influence de la marche d'escalier sur la propagation des chevauchements dans le domaine interne (p.180).
- Figure 29:** Schéma montrant le comportement du prisme tectonique lorsque son front de chevauchement atteint la limite du compartiment interne (p.181).
- Figure 30:** Coupes horizontales sériées du modèle à l'état final (pp.182-184).
- Figure 31:** Schéma de l'évolution cinématique des rampes frontales développées sur le promontoire (p.184).



- Figure 32:** Coupes longitudinales du modèle à la fin de la déformation (p.185).
- Figure 33:** Le système de Gale-Buckeye en Oklahoma (p.186).
- Figure 34:** Cartes structurales des chevauchements de Buckeye et Gale (p.187).
- Figure 35:** Dispositif expérimental du modèle n°2145 (p.188).
- Figure 36:** Vues de surface du modèle montrant l'évolution de la déformation en fonction du raccourcissement imposé (p.189).
- Figure 37:** Coupes évolutives transversales montrant la séquence de chevauchement dans chacun des compartiments du modèle (p.190).
- Figure 38:** Coupes horizontales sériées de la partie centrale du modèle à l'état final (pp.191-193).
- Figure 39:** Coupes longitudinales sériées de la zone de transfert à l'état final (p.194).
- Figure 40:** Carte topographique de la surface du modèle n°2145 (p.195).
- Figure 41:** Cadre géodynamique du prisme de la Barbade (p.196).
- Figure 42:** Carte structurale de la zone de Tiburon et coupes profondeurs sériées (p.197).
- Figure 43:** Carte sea-beam de la ride de Tiburon (p.198).
- Figure 44:** Profils sismiques au travers des parties frontales du prisme de la Barbade situées de part et d'autre de la zone de Tiburon (p.199).
- Figure 45:** Profils sismiques sériés montrant le détail des déformations compressives au travers de la zone de transfert de Tiburon (p.200).
- Figure 46:** Coupe horizontale (localisation sur 2 coupe transversales) et coupes longitudinales sériées dans le modèle n°2821b à l'état final (p.201).
- Figure 47:** Représentation sur le cercle de Mohr en 2 dimensions de la rupture isotrope du sable en présence d'une paroi verticale indéformable (p.202).
- Figure 48:** Vues de surface du stade de déformation précoce d'un modèle analogique composé des 3 compartiments différenciés par l'épaisseur de la couche fragile et comparaison avec la zone centrale sud-pyrénéenne (p.203).
- Figure 49:** Effet du pendage initial du décollement basal sur la morphologie du prisme de Coulomb et localisation d'une zone transverse entre les segments de la chaîne (p.204).
- Figure 50:** Carte de la Cordillère ouest-américaine montrant un ensemble de segments de la chaîne séparés par des zones transverses (p.204).
- Figure 51:** Carte structurale de la zone transverse d'Anniston dans les Appalaches (p.205).
- Figure 52:** Carte structurale de la région de Morteau dans le Jura (p.206).
- Figure 53:** Dispositif expérimental du modèle n°2143 (p.207).
- Figure 54:** Vues de surface du modèle (d'après photographies) montrant l'évolution du champ de déformation en fonction du raccourcissement imposé (p.208).
- Figure 55:** Coupes transversales du modèle montrant l'influence sur la propagation des chevauchements et la géométrie des écaillés (p.209).

- Figure 56:** Coupes transversales d'un modèle cylindrique montrant que le chevauchement frontal émerge à une distance supérieure à la distance théorique d'espacement des accidents en fonction de l'épaisseur (p.210).
- Figure 57:** Représentation sur un diagramme de Mohr des conditions de rupture d'un matériau donné en fonction de l'état de contrainte (p.211).
- Figure 58:** Influence mécanique d'un plan d'anisotropie (limite de la plaque basale) sur la propagation des accidents dans un modèle analogique fragile et diagrammes de Mohr correspondants à l'évolution de l'état de contrainte en différents point du modèle en fonction du raccourcissement imposé (p.212).
- Figure 59:** Idem figure 58, mais ici le plan d'anisotropie est situé trop loin du piston mobile pour être réactivé précocement (p.213).
- Figure 60:** Idem figure 58, mais ici le pendage du plan d'anisotropie est trop faible pour qu'il y ait réactivation précoce (p.214).
- Figure 61:** Évolution théorique à 2 étapes successives de la déformation dans un modèle avec plan d'anisotropie oblique au raccourcissement (p.215).
- Figure 62:** Modèle analogique n°2237 (p.216).
- Figure 63:** Modèle Bolivie (p.217).
- Figure 64:** Modèle analogique n°2860 (p.218).
- Figure 65:** Coupes horizontales du modèle à 3 hauteurs différentes (pp.219-220).
- Figure 66:** Coupes longitudinales du modèle dans sa partie centrale (p.221).
- Figure 67:** Carte structurale de la zone sud-pyrénéenne et localisation de la zone étudiée (p.222).
- Figure 68:** Coupe simplifiée montrant la distribution initiale de la formation Cardona selon un transect N-S, et coupe interprétative de la structure actuelle de la limite méridionale de la formation Cardona (p.223).
- Figure 69a:** Image Landsat de la partie frontale de la Cordillère des Andes au Pérou (p.224).
- Figure 69b:** Comparaison avec la géométrie des rampes frontales du modèle n°2143 à proximité de la rampe oblique (p.224).
- Figure 70:** Profils sismiques des structures frontales des systèmes plissés de Ouachita et des Appalaches méridionales (pp.225-226).
- Figure 71:** Profils longitudinaux traversant la zone de jonction entre les structures Ouachita et les Appalaches méridionales (pp.227-229).
- Figure 72:** Dispositif expérimental du modèle n°3069 (p.230).
- Figure 73:** Coupes évolutives du modèle n°3069 montrant l'influence de la géométrie du socle sur la propagation des chevauchements, en fonction de l'épaisseur de la couverture fragile (pp.231-233).



- Figure 74:** Vues de surface du modèle (d'après photographies) montrant l'évolution de la déformation en fonction du raccourcissement imposé et la géométrie des chevauchements (p.234).
- Figure 75:** Coupes sériées à l'état final du modèle montrant l'évolution longitudinale des structures en fonction de la topographie du socle et de l'épaisseur de la couche fragile raccourcie (p.235).
- Figure 76:** Coupes horizontales du modèle à 4 hauteurs différentes illustrant la géométrie en profondeur des chevauchements (pp.236-238).
- Figure 77:** Coupes longitudinales sériées au stade final (pp.239-240).
- Figure 78:** Comparaison entre le modèle analogique et le massif du Vercors (p.241).
- Figure 79:** L'exemple du prisme d'accrétion sud-Panama (p.242).
- Figure 80:** Dispositif expérimental du modèle n°1133 (p.243).
- Figure 81:** Vue de surface du modèle n°1133 à la fin de l'expérience (p.244).
- Figure 82:** Coupes horizontales sériées du modèle n°1133 (pp.245-246).
- Figure 83:** Coupes longitudinales sériées du modèle n°1133 (pp.247-248).
- Figure 84:** Carte bathymétrique de la région sud du prisme de la Barbade et localisation de la zone de transfert étudiée (p.249).
- Figure 85:** Carte sea-beam de la partie centrale de la terminaison méridionale du prisme de la Barbade (p.249).
- Figure 86:** Line-drawing du profil sismique recoupant la zone de transfert sud-Barbade et vue de détail (p.250).
- Figure 87:** Dispositifs expérimentaux des modèles n°2852 et n° 2854 (p.251).
- Figure 88:** Vues de surface du modèle n°2852 (p.252).
- Figure 89:** Vues de surface évolutives du modèle n°2854 (p.253).
- Figure 90:** Coupes évolutives montrant la progression du raccourcissement dans chacun des 2 domaines du modèle n°2852 (p.254).
- Figure 91:** Coupes horizontales sériées du modèle n°2852 (pp.255-257).
- Figure 92:** Coupes horizontales sériées du modèle n°2854 (p.258).
- Figure 93:** Coupes longitudinales du modèle n°2852 et localisation sur des coupes transversales (p.259).
- Figure 94:** Carte structurale montrant la mise en place des unités tectoniques des Corbières (p.260).
- Figure 95:** Carte structurale de l'arc de Wetar situé au nord de l'île de Timor en Indonésie (p.261).
- Figure 96:** Carte structurale et bathymétrique de la zone transverse qui affecte le front de déformation à vergence nord du prisme d'accrétion (p.261).
- Figure 97:** Dispositifs expérimentaux des modèles n°2144 et n°2146 (p.262).

- Figure 98:** Vues de surface du modèle n°2144 (p.263).
- Figure 99:** Vues de surface du modèle n°2146 (p.264).
- Figure 100:** Coupes évolutives transversales du modèle n°2144 (p.265).
- Figure 101:** Coupes évolutives transversales du modèle n°2146 (p.266).
- Figure 102:** Coupes horizontales sériées du modèle n°2144 (pp.267-269).
- Figure 103:** Coupes longitudinales du modèle n°2144 et localisation sur les coupes transversales (p.270).
- Figure 104:** Coupes horizontales sériées du modèle n°2146 (pp.271-272).
- Figure 105:** Coupes longitudinales du modèle n°2146 et localisation sur les coupes transversales (p.273).
- Figure 106:** Modèle n°2820 (p.274).
- Figure 107:** Coupes évolutives transversales du modèle n°2820 (p.275).
- Figure 108:** Dispositif expérimental du modèle n°2122 (p.276).
- Figure 109:** Coupes transversales évolutives du modèle n°2122 montrant l'influence de la discontinuité basale sur le style de la déformation et la vergence des structures frontales (pp.277-279).
- Figure 110:** Coupes horizontales sériées du modèle n°2122 (pp.280-281).
- Figure 111:** Coupes longitudinales localisées au centre de la zone de transfert (pp.281-282).
- Figure 112:** Coupes transversales sériées montrant l'inversion progressive de la vergence des 2 structures frontales (p.282).
- Figure 113:** Carte d'isohypses des surfaces de chevauchement et carte topographique de la surface du modèle (p.283).
- Figure 114:** Dispositif expérimental du modèle n°3371 (p.284).
- Figure 115:** Coupes transversales évolutives montrant l'influence des hétérogénéités de la silicone basale sur la localisation des chevauchements (pp.285-286).
- Figure 116:** 3 cas possibles d'associations chevauchement inférieur-chevauchement(s) superficiel(s) en présence d'une couche ductile intermédiaire (p.287).
- Figure 117:** Coupes horizontales sériées du modèle n°3371 à 2 stades de la déformation (pp.288-295).
- Figure 118:** Coupes longitudinales sériées et localisation sur les coupes transversales (pp.296-297).
- Figure 119:** Carte structurale du front de la Chaîne Eurekienne et carte de détail d'un segment de la zone faillée de Stolz (p.298).
- Figure 120:** Dispositif expérimental du modèle n° 3403 (p.299).
- Figure 121:** Coupe horizontale au stade anté-compression du modèle 3403 (p.300).
- Figure 122:** Coupes transversales évolutives montrant l'influence des grabens préexistants sur la localisation et la vergence des chevauchements (pp.300-301).



- Figure 123:** Explication mécanique de la néoformation de failles inverses au sein de la couche fragile (p.302).
- Figure 124:** Influence de décalage en faille normale à la base de la couche fragile sur la vergence des chevauchements néoformés (p.302).
- Figure 125:** Coupes horizontales sériées dans le modèle n°3403 montrant la relation spatiale entre les chevauchements et les failles normales héritées (pp.303-305).
- Figure 126:** Dispositif expérimental du modèle n° 3687 (p.306).
- Figure 127:** Coupes transversales évolutives montrant le style de la déformation dans chacun des compartiments en fonction des niveaux de détachement potentiels (pp.307-308).
- Figure 128:** Évolution cinématique comparée des structures sur les coupes A-A' et B-B' (p.309).
- Figure 129:** Coupes horizontales sériées à l'état final (pp.310-312).
- Figure 130:** Coupes transversales sériées à l'état final montrant l'évolution longitudinale des structures en fonction des disparitions latérales des niveaux de détachement potentiels (p.313).
- Figure 131:** Coupes longitudinales sériées du modèle et localisation sur les coupes transversales (pp.314-315).
- Figure 132:** Bloc diagramme du chevauchement principal (p.316).
- Figure 133:** Carte topographique de la surface du modèle à l'état final (p.317).
- Figure 134:** Cas d'interférences possibles entre les chevauchements situés de part et d'autre de la couche de silicone intermédiaire (p.318).

#### CHAPITRE IV: ÉLÉMENTS DE MODÉLISATION ANALYTIQUES DES DEFORMATIONS ASSOCIÉES AUX ZONES TRANSVERSES DANS LES SYSTEMES COMPRESSIFS

- Figure 1:** Les 3 cas élémentaires de déformations homogènes (p.319).
- Figure 2:** Combinaisons entre cisaillement simple et cisaillement pur (p.320).
- Figure 3:** La notion de déformation incrémentale et de déformation finie par l'exemple du cisaillement simple (p.321).
- Figure 4:** Modèle cinématique du pli de détachement (p.321).
- Figure 5:** Schéma du modèle en carte (p.322).
- Figure 6:** Schéma en carte d'un cube élémentaire dans lequel une sphère de rayon égal à 1 est placée (p.323).
- Figure 7:** Résultats analytiques en 2 dimensions du modèle (p.323).
- Figure 8:** Caractérisation en 3 dimensions d'une déformation en transpression (p.324).
- Figure 9:** Évolution de l'angle  $\theta'$  entre l'axe du pli et la discontinuité oblique (p.325).

- Figure 10:** Principes de la représentation de Flinn (p.326).
- Figure 11:** Représentation dans un diagramme de Flinn des valeurs des rapports X/Y et Y/Z du modèle pour différentes valeurs de  $\beta$  (p.327).
- Figure 12:** La zone transverse du Boomerang en Bolivie (p.328).
- Figure 13:** Données paléomagnétiques de la zone centrale et orientale des Pyrénées espagnoles (p.329).
- Figure 14:** Schéma montrant l'influence de l'épaisseur de la série décollée sur la longueur d'onde et l'orientation des plis de détachement dans une zone transverse (p.330).
- Figure 15:** Dispositif expérimental du modèle Pakistan (p.331).
- Figure 16:** Résultats (en carte) du modèle Pakistan (p.332).
- Figure 17:** Carte de détail de l'anticlinal de l'Épenet - Musan - St Nazaire (p.333).
- Figure 18:** Schéma montrant comment la rotation souple d'une ellipse de déformation peut être remplacée par le jeu d'une famille de failles de déchirement secondaires (p.334).
- Figure 19:** Phénomènes d'inversion tectonique sur les bordures de l'Atlas saharien (p.335).
- Figure 20:** Répartition de la déformation transpressive dans une zone transverse (p.336).
- Figure 21:** Schéma montrant l'influence de la rhéologie du niveau de détachement sur la géométrie des structures dans une zone de transfert (p.337).

