



Influence des barrières sur la propagation de la déformation le long des surfaces de décollement : étude expérimentale

Thierry Souriot, Jean-François Ballard, Jean-Pierre Brun

► To cite this version:

Thierry Souriot, Jean-François Ballard, Jean-Pierre Brun. Influence des barrières sur la propagation de la déformation le long des surfaces de décollement : étude expérimentale. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 1991, 312 (II), pp.69-75. <hal-01115382>

HAL Id: hal-01115382

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01115382>

Submitted on 11 Feb 2015

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

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

Comptes rendus de
l'Académie des
sciences. Série 2,
Mécanique, physique,
chimie, sciences de
l'univers, sciences de la
[...]

Académie des sciences (France). Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, physique, chimie, sciences de l'univers, sciences de la terre. 1984-1993.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

*La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.

*La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

Cliquer [ici](#) pour accéder aux tarifs et à la licence

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

*des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

*des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter reutilisation@bnf.fr.

Influence des « barrières » sur la propagation de la déformation le long des surfaces de décollement : étude expérimentale

Thierry SOURIOT, Jean-François BALLARD et Jean-Pierre BRUN

Résumé — Une série d'expériences sur modèles réduits a été réalisée afin d'étudier l'influence des lacunes et des variations d'épaisseur d'un niveau de décollement potentiel sur la propagation d'un système chevauchant. Les résultats montrent qu'un amincissement ou une discontinuité de ce niveau crée une barrière qui peut bloquer au moins temporairement le décollement, localiser la déformation, servir de site d'initiation d'une rampe, et déterminer ainsi l'ordre d'apparition des rampes suivantes.

Influence of "barriers" on fault sequence in a thrust system : experimental study

Abstract — A series of small-scale experiments has been done to study the influence of gaps and thickness variations along a layer of potential decollement on the fault sequence in a thrust system. It is shown that a local thinning or discontinuity of the decollement layer can become a barrier which localises the deformation, initiates a ramp, and controls the order of fault development above the decollement layer.

Abridged English Version — In mountain ranges, the development of thrust systems above decollement zones is mainly controlled by thin layers of weak sedimentary rocks (shales, evaporites...) ([3], [4]), such as in the Jura and the Appalachians ([1], [2]). Several types of thickness variation can occur along this kind of layer (*Fig. 1*), which may influence the mechanisms of thrusting.

Two series of small-scale experiments have been done to study the influence of preexisting gaps and thickness variations along a layer of potential decollement on the fault sequence in a thrust system. Two natural configurations have been considered (*Fig. 1-a, 1-b*).

The experiments were performed using the apparatus described and already used to model propagation of a thrust system above decollement zones by Ballard *et al.* [8]. Rocks exhibiting a brittle behaviour are represented by sand [5] and soft decollement layers by silicone putties [6]. Scaling ratios are given in Table. Models presented in the present paper have undergone a mean horizontal shortening of $dl/L = 0.8$.

In the first type of model (*Fig. 2-A*) a gap of length L exists in the silicone layer before deformation. Several models with varying values for L have been performed. It is shown that a small gap of the ductile layer first localises a thrust fault but new thrust faults develop forward of it (*Fig. 4-A*). Conversely, a large gap stops the decollement and new thrust faults develop backward behind it (*Fig. 4-B*).

In the second type of model (*Fig. 2-B*), synsedimentary tilted blocks are first created by gravitational sliding [7] before shortening of the model. Block rotation induces a heterogeneous thinning of the ductile layer which is proportional to the tilt. It is observed that slightly tilted blocks localise the first thrust fault, and that new faults develop forward of it (*Fig. 4-C*). Conversely, strongly rotated blocks localise the first thrust but new faults develop behind it (*Fig. 4-D*).

In each series of experiments, thickness variations of the decollement layer have consequences on the fault propagation scheme but only some of these variations localise the

Note présentée par Xavier LE PICHON.

deformation (thrust faults). As an example, only one of the four preexisting grabens on Figure 4-C has become a site of thrust faulting.

The deformation localisation depends on the critical length L_c of the gap or thickness variation. For low values of $L < L_c$, the gap is sheared and does not affect the development of the system. For $L = L_c$, the deformation is temporarily localised by the gap which is later sheared, allowing a forward migration. For $L > L_c$, the deformation is stopped by the gap and characterised by a backward migration. This "barrier effect" can be understood if one considers the energy balance in the system (Fig. 3).

A ramp activation (Fig. 3-B, 2) requires an energy E_2 (Fig. 3-A) and the shearing of a gap an energy E_1 (Fig. 3-C). For $L < L_c$, $E_1 > E_2$ and the gap is sheared. On the contrary for $L > L_c$, $E_1 > E_2$ and a thrust fault (ramp) is initiated (Fig. 4-B). In this later case the length of the ramp increases with shortening increasing progressively the energy E_2 . If the difference between E_1 and E_2 is low, E_2 become rapidly greater than E_1 . The gap is sheared and the décollement migrates forward to the next gap. If the difference is large, E_2 never becomes equal to E_1 , the gap is not sheared and new thrust faults develop behind it.

These experiments show that the activation of a potential layer of décollement in a thrust system strongly depends not only on rheological properties but also on thickness variation. A "barrier" can control temporarily the evolution of the deformation and can induce, in some circumstances, backward sequences—so-called out-of-sequence-of thrust faulting. Finally, this suggests that in natural systems where irregularities and thickness variations are frequent, a bulk forward sequence can alternate with temporarily backward sequences.

INTRODUCTION. — Dans l'avant-pays des chaînes de montagnes, le développement des systèmes en plats et rampes (Jura, Appalaches, etc.) ([1], [2]) est contrôlé par la présence dans la pile sédimentaire, de niveaux de décollement potentiel constitués de roches à faible résistance mécanique (Sel, Gypse, Marnes sous-compactées, etc.) ([3], [4]). Ces niveaux présentent souvent des variations de géométrie et d'épaisseur, d'origine sédimentaire (fig. 1-a) ou tectonique (fig. 1-b et 1-c), structurations susceptibles d'influencer le développement des failles du système chevauchant.

Suite à une étude de la propagation de la déformation dans des systèmes chevauchants « simple » réalisé par Ballard et coll. [8], nous présentons ici une étude expérimentale, sur modèles réduits analogiques, de l'influence de ces structures héritées dans les niveaux de décollement sur le développement d'un système chevauchant. Deux cas sont traités :

- L'influence d'une lacune locale du niveau de décollement (fig. 1-a).
- L'influence d'un amincissement irrégulier du niveau de décollement par une tectonique extensive (fig. 1-b).

CONDITIONS EXPÉRIMENTALES. — Deux matériaux analogues ont été utilisés afin de modéliser le comportement rhéologique de la croûte superficielle : le sable qui possède un angle de frottement interne très proche de celui des roches de la croûte supérieure cassante ($\Phi = 30^\circ$) [5] et la gomme de silicone, matériau newtonien, qui modélise les niveaux de décollement ductiles. Ce choix de matériaux conduit à dimensionner [6] les modèles (tableau).

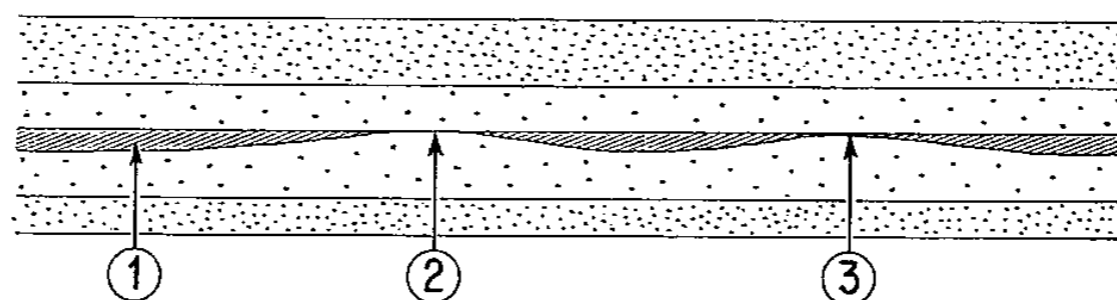
L'appareillage expérimental est semblable à ceux utilisés précédemment pour des expériences d'extension [7] ou de compression [8]. Les taux de compression étudiés sont de l'ordre de 20 %.

Dans les expériences de type I (*fig. 2-A*), les lacunes du niveau de décollement sont représentées par des interruptions de la couche de silicone. Dans les expériences de type II (*fig. 2-B*), le modèle est d'abord soumis à un épisode d'extension (glissement gravitaire [7]) qui donne naissance à des blocs basculés dans la couche de sable supérieure et provoque des amincissements locaux, voire même des lacunes, du niveau de décollement. Dans les deux types d'expérience, le raccourcissement est effectué perpendiculairement aux lacunes ou blocs basculés.

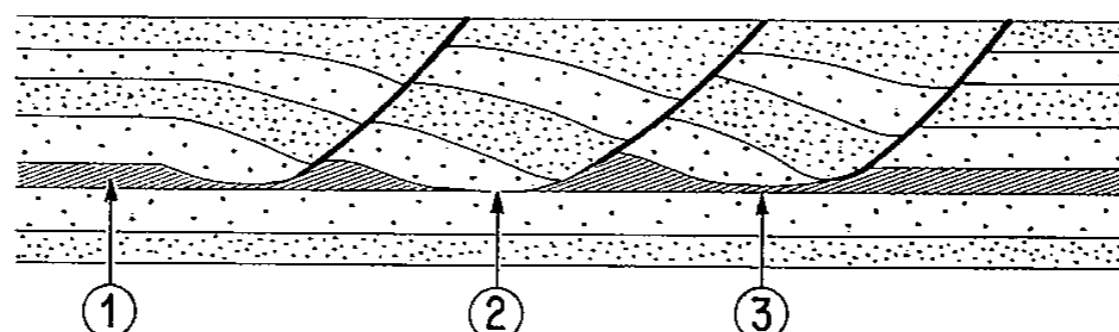
RÉSULTATS. MODÈLE DE TYPE I. — Trois expériences présentant des profils de résistance au cisaillement identiques ont été réalisées en faisant varier la longueur (L) de la lacune du niveau de décollement (*fig. 2*). Sur toutes les figures, les numéros affectés aux failles correspond à leur ordre d'apparition.

— Pour des lacunes de faible longueur on observe que l'activation du décollement n'est pas, dans un premier temps, perturbée. Le sable qui constitue la lacune est cisailé horizontalement et le décollement affecte toute la longueur du modèle. La première rampe émergente se développe à l'extrémité du modèle (*fig. 4-A, 1*). Ultérieurement, une nouvelle rampe apparaît au niveau de la lacune préalablement cisailée (*fig. 4-A, 2*).

a) Lacunes sédimentaires



b) Lacunes tectoniques: type "amincissement localisé"



c) Lacunes tectoniques: type "sectionnement"

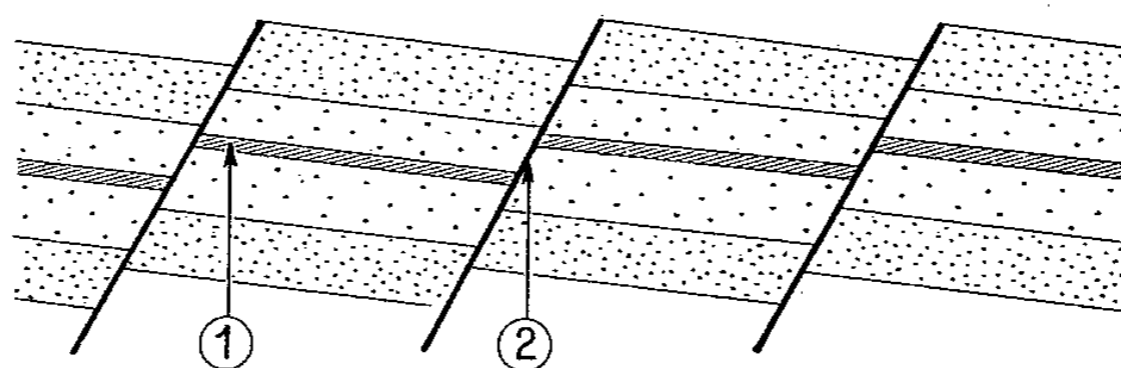


Fig. 1. — Quelques types de lacunes d'un niveau de décollement.
(1 : niveau normal; 3 : niveau aminci; 2 : niveau interrompu).

Fig. 1. — Some types of gap in the decollement layer.
(1: normal layer; 3: thinned layer; 2: discontinuous layer).

TABLEAU

Grandeur	Longueur	Temps	Viscosité	Vitesse	Sédimentation
Modèle	1 cm	1 h	10^5 Pa.s	2 cm/h	0,8 mm/h
Nature	1 km	0,23 Ma	10^{19} Pa.s	2 cm/an	300 m/Ma

— A partir d'une certaine longueur critique de la lacune, le décollement n'est momentanément activé qu'en amont de la lacune qui sert de site d'initiation à la première rampe; puis la lacune est cisailée et la totalité du niveau de décollement est activé.

— Pour une lacune de grande dimension, la première rampe apparaît comme précédemment, au niveau de la lacune (*fig. 4-B, 1*). Mais au cours de l'évolution ultérieure de l'expérience, la lacune n'est pas cisailée et les nouvelles rampes se développent en arrière de la première, seule la partie du niveau de décollement située en amont de la lacune est activée (*fig. 4-B, 2*).

MODÈLE TYPE II. — Dans ces modèles, l'amincissement du niveau de décollement potentiel est proportionnel au taux de basculement des blocs, qui est lui-même dépendant de l'intensité de l'étirement.

— Pour des blocs n'ayant subi qu'un faible basculement, le décollement affecte dans un premier temps l'ensemble du modèle, une rampe se localisant ultérieurement au front des blocs.

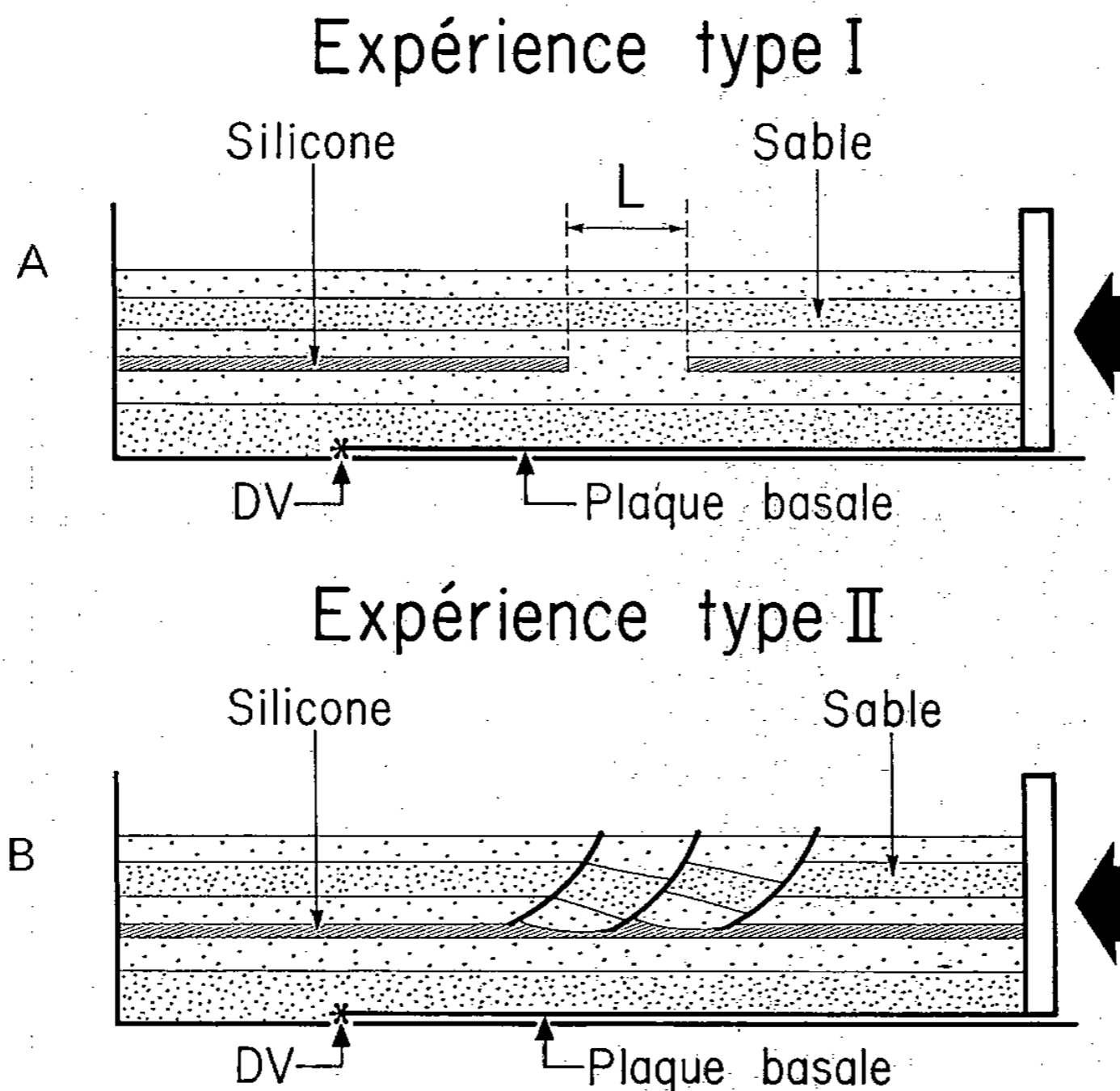


Fig. 2. — Dispositif expérimental. A. Expériences avec discontinuité du niveau ductile. L : longueur de la discontinuité. DV : discontinuité de vitesse. B. Expériences avec blocs basculés dans la couverture.

Fig. 2. — Experimental apparatus. A. Experiments with gap of the ductile layer. L: Gap length. DV: Velocity discontinuity. B. Experiments with tilted blocks in the cover.

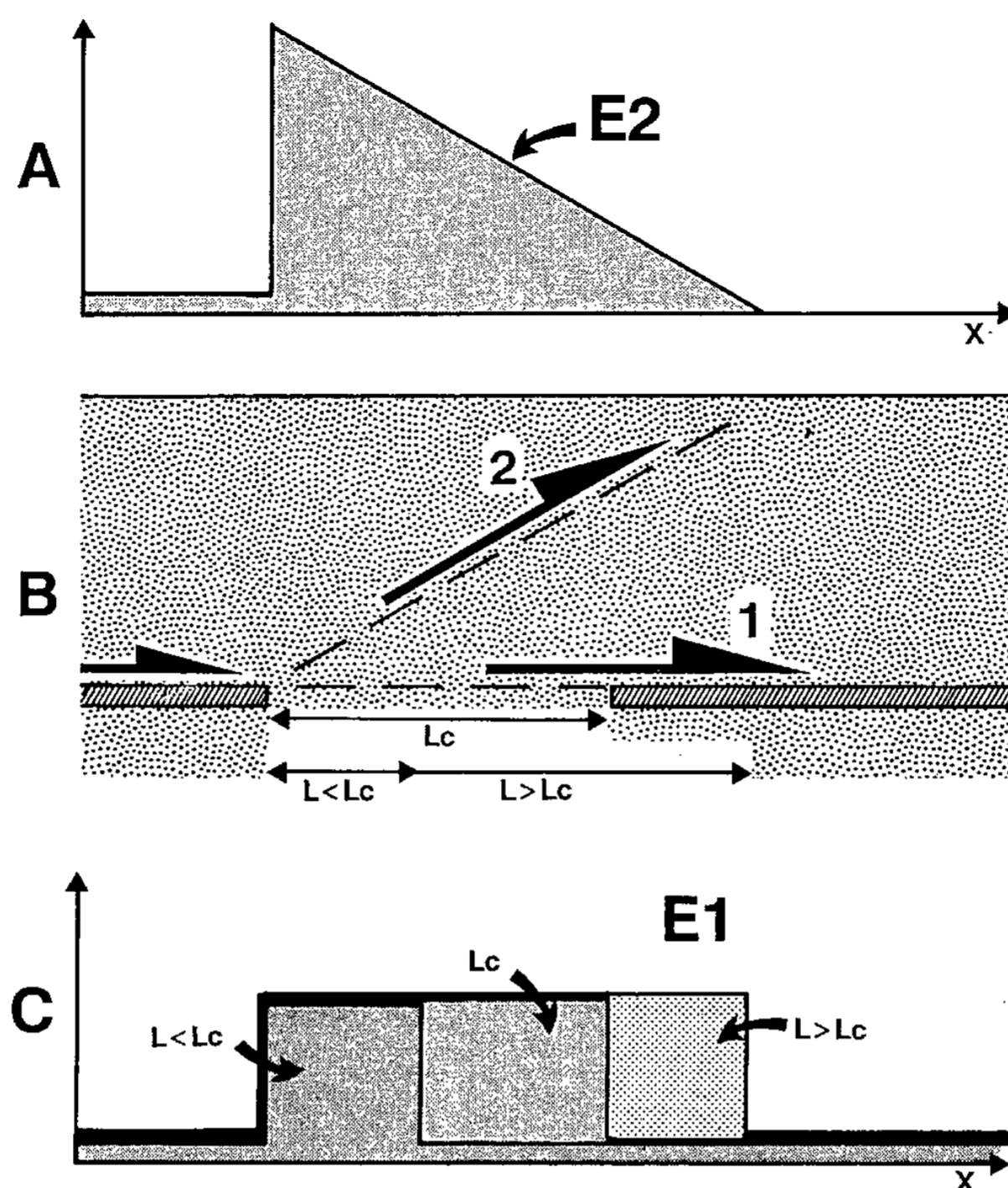


Fig. 3. — Schémas des différents trajets possibles de la déformation en fonction de l'énergie consommée, surfaces grisées en A et C (voir explications détaillées dans le texte). τ : contrainte cisailante, axe vertical.

Fig. 3. — Possible deformation paths according to the consumed energy, grey surface in A and C (see text for details). τ : shear stress, vertical axis.

— Pour des basculements de bloc de valeur intermédiaire, le décollement subit un blocage momentané, marqué par l'apparition d'un chevauchement au front des blocs (fig. 4-C, 1), avant de s'étendre à l'ensemble du modèle (fig. 4-C, 2).

— Pour des rotations de blocs importantes, conduisant à une lacune quasi totale du niveau ductile, le décollement est totalement bloqué au front des blocs (fig. 4-D, 1), les rampes suivantes se développent en arrière de la première (fig. 4-D, 2).

Ces résultats sont tout à fait comparables à ceux obtenus dans la première série d'expérience. Il est important de noter que dans toutes les expériences une partie de la déformation se localise sur la structure héritée.

DISCUSSION. — Ces expériences montrent donc comment une variation de l'épaisseur d'un niveau de décollement influence le développement de la déformation dans un système chevauchant.

— Pour des lacunes de faible dimension, le développement du système chevauchant n'est pas perturbé. La lacune est cisailée horizontalement.

— A partir d'une dimension « critique », ces structures localisent temporairement la déformation qui migre ensuite vers l'avant du système.

— Pour des valeurs fortes, supérieures à la dimension critique, la déformation se localise au niveau des lacunes mais migre ensuite vers l'arrière du système.

Les lacunes du niveau de décollement peuvent donc constituer des « barrières » à la propagation d'un plat. La figure 3 schématise, en termes de consommation d'énergie, les différentes possibilités d'évolution. L'activation d'une rampe (fig. 3-B, 2) nécessite une énergie E_2 (fig. 3-A) et le cisaillement de la lacune (fig. 3-B, 1) une énergie E_1 (fig. 3-C). Pour une longueur de lacune inférieure à la longueur critique ($L < L_c$), $E_1 < E_2$ et la lacune est cisailée (fig. 4-A). Au contraire, pour $L > L_c$, $E_1 > E_2$ une rampe est initialisée (fig. 4-B). Dans ce cas, la rampe augmente de longueur à déplacement croissant, et l'énergie E_2 nécessaire à son fonctionnement croît. Si la différence entre E_1 et E_2 est faible, E_2 devient rapidement supérieure à E_1 , la lacune est alors cisailée et le décollement se propage vers l'avant du système jusqu'à la lacune suivante. Par contre si la différence entre E_1 et E_2 est grande, une nouvelle rampe se développe en arrière (fig. 4-B). Plusieurs rampes peuvent ainsi se développer par propagation arrière jusqu'à la rampe profonde initiale avant que la lacune soit cisailée et que le décollement puisse se propager vers l'avant.

CONCLUSION. — Ces expériences montrent que l'activation d'un niveau potentiel de décollement dans un système chevauchant dépend des variations de géométrie et des propriétés mécaniques de ce niveau. Une « barrière » peut contrôler temporairement l'évolution de la déformation dans le système en contraignant sa propagation vers l'arrière. Ceci suggère que dans les systèmes naturels, une propagation globale vers l'avant-pays puisse transitoirement alterner avec des propagation vers l'arrière.

Note remise le 16 février 1990, acceptée après révision le 15 novembre 1990.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] L. HARRIS et R. MILICI, *Geological Survey Professionnel Paper*, 1018, 1977.
- [2] C. D. A. DHALSTROM, *Canadian J. Earth Sci.*, 6, 1969, p. 743-759.
- [3] D. DAVIS et T. ENGELDER, *Tectonophysics*, 119, 1985, p. 67-88.
- [4] N. CARTER et F. HANSEN, *Tectonophysics*, 92, 1983, p. 275-333.
- [5] J. BAYERLEE, *Pageoph.*, 116, 1978, p. 615-626.
- [6] M. K. HUBBERT, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 48, 1937, p. 1459-1520.
- [7] B. VENDEVILLE et P. R. COBBOLD, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, série II, 1987, p. 1313-1319.
- [8] J.-F. BALLARD, J.-P. BRUN, J. VAN DEN DRIESSCHE et P. ALLEMAND, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, série II, 1987, p. 1249-1253.

Laboratoire de Tectonique, Centre armoricain d'Étude structurale des Socles,
Université Rennes-I, 35042 Rennes Cedex.