



HAL
open science

La météorisation des marnes

Fabrice Mayor, Yannick Robert, Jean-Louis Ballais, Georges Rovera

► **To cite this version:**

Fabrice Mayor, Yannick Robert, Jean-Louis Ballais, Georges Rovera. La météorisation des marnes. 2003, pp.4.1 - 4.22. hal-01573716

HAL Id: hal-01573716

<https://amu.hal.science/hal-01573716>

Submitted on 10 Aug 2017

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.

La météorisation des marnes

F. Mayor, Y. Robert, J.-L. Ballais et G. Rovéra

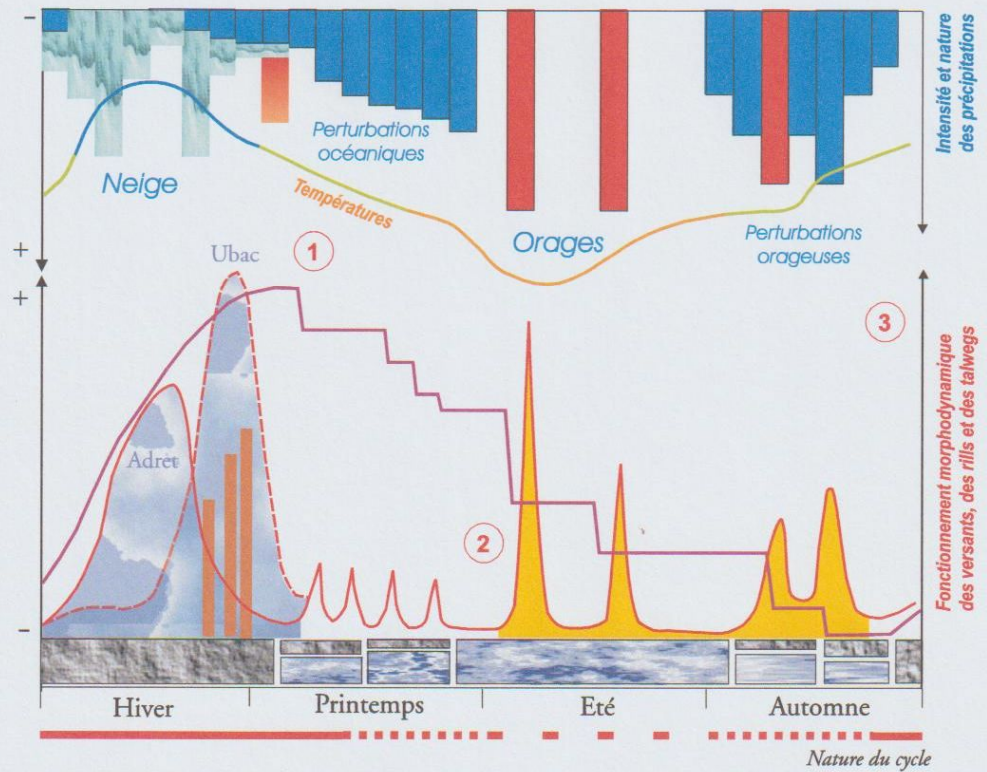
A. Objectif

L'étude porte sur la météorisation des marnes jurassiques de Draix. La météorisation désigne un processus ou un ensemble de processus provoquant la fragmentation de la roche sous l'effet des forçages climatiques. Ces processus engendrent une production de fractes par élargissement et multiplication des fissures de la roche en place (ou de blocs déjà détachés) sous l'effet de mécanismes physiques, physico-chimiques ou chimiques (dissolution); ainsi la météorisation peut s'accompagner d'une altération lorsque la roche se caractérise par une mise en solution au moins modérée de ses minéraux, comme c'est le cas pour les marnes étudiées. Habituellement, on considère que les éléments fournis par la météorisation vont de la taille du petit bloc (5 à 10 cm pour le plus grand côté) au limon. En principe, la fragmentation n'inclut pas la mobilisation des éléments mais il est admis que celle-ci peut s'effectuer sur de courtes distances (un à quelques millimètres); au-delà, il faut l'intervention d'agents comme la gravité, l'englacement, le ruissellement, la solifluxion, le vent...pour déplacer les fractes.

Plusieurs travaux effectués dans les roubines des Alpes du Sud (Descroix, 1994) ou de manière plus localisée dans celles des Baronnies (Chodzko et Lecompte, 1992 ; Alexandre, Lecompte et Garnier, 1995 ; Lecompte, Lhenaff et Marre, 1998) et du Saignon en moyenne Durance (Robert, 1997 ; Coubat, 1998 ; Rovéra, Robert et Coubat, 1999) avaient déjà mis en évidence la succession des processus d'érosion sur l'année, montrant ainsi que l'érosion fluviale n'était pas la seule à agir dans les marnes. Les campagnes mensuelles d'observations et de mesures réalisées au Saignon (30 km au NW de Draix) de juin 1996 à juillet 2000, complétées par celles faites dans les roubines de Draix de septembre 1999 à novembre 2000, ont permis d'établir un calendrier morphoclimatique en fonction de la rythmicité saisonnière et une prise en compte de la succession des types de temps à l'échelle intra-saisonnière (événements épisodiques ou «brutaux», figure 1). Le suivi morphoclimatique des flancs de roubines de Draix dans les secteurs du Laval, du Bouinenc inférieur, du Moulin, du Francon et du Peyroure a mis en évidence les effets des processus nivo-pérglaciaires et nous a permis d'envisager une action probablement importante de l'hydroclastie ainsi qu'une action plus modérée de la thermoclastie et de l'haloclastie. Les processus d'hydroclastie et de thermoclastie ont déjà été incriminés par d'autres auteurs (Alexandre, Lecompte et Garnier, 1995 ; Prick, 1999).

L'objectif, en 1999 et 2000, a été d'approcher au mieux l'efficacité de la cryoclastie et de l'haloclastie par des dispositifs de mesures in situ et, parallèlement pour la cryoclastie, par une expérimentation faite en laboratoire sur deux blocs marneux prélevés. Les processus d'hydroclastie et de thermoclastie, dont les effets sont difficilement repérables sur le terrain compte tenu des faibles moyens techniques mis en œuvre en 1999-2000, ont été appréhendés seulement à partir d'expérimentation de laboratoire. Les travaux sur la cryoclastie sont présentés en premier, suivis de ceux sur l'haloclastie, l'hydroclastie et la thermoclastie. Pour chacun des processus sont présentés l'état de la question, les techniques et les protocoles de mesures mis en œuvre et enfin les résultats discutés. Une conclusion rappelle les principaux apports et propose quelques perspectives de recherche au-delà de l'année 2000 .

Figure 1 : Forçages climatiques et rythmicité de l'érosion en année "moyenne".
D'après les observations et mesures réalisées sur les B.V.R.E. du Saignon et de Draix (1996-2000).



1. Phases érosives saisonnières :

- | | | | | | |
|--|--|--|-------------------------------------|--|----------------------------------|
| | Erosion fluviale, fonctionnement chenalisé (talwegs, rills) | | Ablation et production de sédiments | | Curage des rills et des talwegs. |
| | Erosion nivo-pérglacière et hydrique, régularisation des flancs de roubines. | | | | |

2. Phénomènes climatiques :

- | | |
|--|--|
| | Gel/dégel, avec un décalage entre ubac et adret. |
| | Episodes pluvio-neigeux. |

3. Phénomènes érosifs épisodiques et brutaux :

- | | | | |
|--|---|--|-------------------------------------|
| | Incision des talwegs et des rills. | | Glissements superficiels (< 30 cm). |
| | Orages violents (été, averses d'automne). | | |

4. Seuils remarquables :

- | | | | |
|----------|--|----------|--|
| 1 | Arrêt de la gélification, début du curage des rills. Les bas de versants et les talwegs sont recouverts de colluvions. | 2 | Début des fortes incisions liées aux averses orageuses, nouveaux rills sur les versants. |
| 3 | Début de l'engel, raréfaction des précipitations pluvieuses. | | |

B. L'action de la cryoclastie

B1. L'état de la question

En hiver, saison froide et sèche dans les Alpes internes du Sud, les processus périglaciaires prennent le pas sur les processus d'érosion fluviale (de mi-décembre à mi-mars pour Draix, vers 900 m). Parmi les processus périglaciaires, la gélireptation (pipkrakes et croûtes gelées détachées en plaques décimétriques) et la gélifluxion, surtout lorsque des épisodes neigeux interviennent (3 durant l'hiver 99-2000), provoquent une fragmentation, suivie d'une mobilisation des débris, depuis les flancs des roubines jusqu'aux talwegs les plus proches. Ces phénomènes, déjà connus grâce aux études menées dans le bassin-versant du Saignon (Rovéra *et al.*, 1999), ont été également constatés à Draix, avec cependant des différences intéressantes malgré un éloignement des deux zones d'études de quelques dizaines de kilomètres seulement. Les observations faites, simultanément à Draix et au Saignon en février et mars 99 puis durant l'hiver 99-2000, sur les quantités colluviales accumulées au pied des talus et dans les talwegs ont révélé une plus grande efficacité de ces phénomènes dans le premier site, avec par exemple un remblaiement atteignant jusqu'à 25 cm de plaquettes et fines dans la Roubine instrumentée du Cemagref, en février 2000. Cette différence semble liée à des roubines de Draix plus profondes possédant des flancs plus pentus que celles du Saignon. A cela s'ajoutent des températures plus froides dans les roubines de Draix que dans celles du Saignon à cause d'une différence d'altitude (950 m contre 800 m d'altitude en moyenne) et surtout d'exposition car les premières sont souvent ouvertes à l'ouest et connaissent, durant le trimestre centré sur le solstice hivernal, une ombre portée due aux proches sommets orientaux et méridionaux (Cheval Blanc, 2323 m et Cucuyon, 1886 m) alors que les secondes ont une exposition méridionale et ne sont dominées que par des reliefs modestes.

Par rapport à ceux de la gélireptation et gélifluxion, les effets de la cryoclastie dans les marnes restent mal cernés : la fragmentation liée au gel est-elle importante et jusqu'à quelle profondeur ? Au Saignon, à 800 m, les mesures micrométriques hivernales effectuées au niveau de portions de talus réglées ont permis d'enregistrer un gonflement (jusqu'à un centimètre entre 2 campagnes de mesures espacées de 21 jours) de la marnes malgré l'absence de précipitations. Ce phénomène a été interprété comme une augmentation de la macroporosité de la roche en place dans les premiers centimètres et jusqu'à 2 à 3 décimètres, sous l'effet de l'engel (glace de ségrégation) ou des cycles de gel-dégel. Ce phénomène est-il plus marqué à Draix qu'au Saignon ? A cette question, qui rejoint celle de la genèse du régolite (c'est à dire de la fragmentation in situ, sans déplacement vers l'aval des fractes), s'ajoute celle des effets de la cryoclastie dans le colluvionnement assisté par la gravité en période non pluvieuse pour la marnes affleurante lorsque la pente est forte (reptation) ou pour les strates marno-calcaires intercalées, à front vertical (chute libre des débris). Le protocole de mesure mis en place à Draix tente d'apporter des éléments de réponse à ces interrogations.

B2. Méthode de mesures in situ et expérimentation

Plusieurs dispositifs de terrain ont été utilisés, soit successivement soit de manière synchrone : deux au niveau d'abris-sous-roche et ressauts, trois le long des talus réglés. Un complément d'information a été apporté par l'exploitation de deux blocs en laboratoire.

a) Au niveau des abris-sous-roche et des ressauts marno-calcaires

Pendant l'hiver 98-99, une première série de piquets a été installée dans trois sites constitués de petits abris-sous-roche, répartis entre l'adret et l'ubac (Mayor, 2003). Dans les roubines, les abris-sous-roche se développent à l'occasion des binômes marne et marno-calcaire, au pied des strates marno-calcaires faisant ressauts. Ce premier dispositif a eu pour but de tester les possibilités de mesures dans ces sites a priori favorables à la cryoclastie (humidité nécessaire au gel provenant des infiltrations dans les strates surincombantes et conservée par le confinement durant les périodes sèches), sans que l'impact de petites précipitations pluvio-neigeuses puissent interférer avec l'action du gel dans la chute des débris. Un 2^e dispositif a été mis en place pour l'hiver 99-2000, constitué de boîtes permettant de quantifier les clasts libérés par cryoclastie au niveau des ressauts marneux (Mayor, 2003), technique initiée par Douglas (1980) dans les basaltes d'Irlande et adaptée à l'étude des corniches dans les Alpes, pour différentes roches (Rovéra, 1990 ; Rovéra, 1997 ; Rovéra et Naton, 2000).

b) Au niveau les flancs de ravines réglés (marne affleurante ou régolite) et régularisés (accumulation colluviale)

A partir de l'été 1999, le long des flancs de ravines, des catenas ont été équipées de dispositifs de mesures micrométriques ponctuelles et stationnelles. Les premiers correspondent à la technique du piquetage associé à la micrométrie déjà testée au Saignon (Rovéra et al., 1999) et qu'il a fallu adapter aux conditions lithologiques de Draix (usage de tiges métalliques filetées, scellées en profondeur dans une marne souvent fragilisée jusqu'à 10 ou 20 cm de profondeur ; fig 2, 3, 4 et photo 1). Les mesures stationnelles correspondent à un dispositif combinant plusieurs mesures ponctuelles sur une surface d'un demi m², dispositif baptisé banc micrométrique (fig5). L'évolution vers une technique de mesures stationnelles surfaciques s'explique par le fait que les séries de mesures ponctuelles acquises au Saignon n'avaient pas permis de bien connaître le fonctionnement aréolaire des talus marneux, notamment les relations amont-aval ou transversales sur de courtes distances (décimétriques), entre 2 points de mesures et en disposant d'un nombre suffisant de points de mesures pour valider le phénomène observé (fig 6) ; cela afin de tenter d'expliquer la morphogenèse en «plan incliné» des portions régularisées très caractéristiques des flancs de roubines (régularisation soit par dénudation soit par colluvionnement).

Enfin, ces dispositifs de mesures micrométriques ont été complétés par la technique des petites surfaces-témoins peintes (carrés de 10 x 10 cm). Cela permet de bien observer la désagrégation de la marne affleurante ou du régolite (fig 6 et fig 7, voir à titre d'exemple l'évolution de l'état de surface du carré 2). L'intérêt premier est de renseigner visuellement l'opérateur sur l'intensité des processus entre 2 visites mensuelles ; cette technique, accompagnée d'une collecte des fractis peints, permet aussi une quantification de l'érosion entre deux dates, aspect qui n'a été exploité qu'au-delà de la campagne 2000.

La mise en place de ces dispositifs de terrain a été réalisée durant l'été et le début de l'automne 1999, si bien que la date finalement retenue pour le départ des séries de mesures est celle du 5 novembre 99 pour le micrométrage ponctuel, du 17 novembre pour le micrométrage surfacique et à nouveau du 5 novembre pour les premiers carrés peints, la majorité des carrés ayant été mise en place dans les premiers mois de l'année 2000. La date retenue des fins de séries pour la présentation de ces premiers résultats sur la météorisation est de juin 2000. En effet durant l'été 2000, les protocoles ont été complétés par des dispositifs et de l'instrumentation microclimatique supplémentaires, ce qui nous a amenés à considérer de

Figure 2 : dispositif de mesures micrométriques ponctuelles sur des pentes supérieures à 60 %.

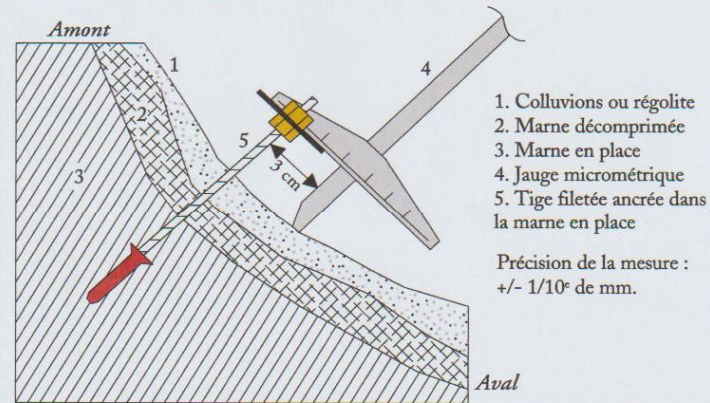


Figure 3

1. Corniche mar
2. Petit talweg av
3. position amon

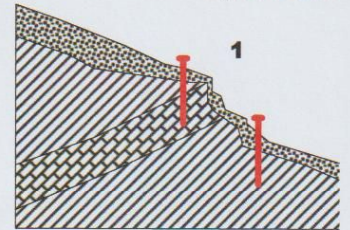


Figure 4 : Roubine n° 2, secteur aval.

Plan, état géodynamique en septembre 1999, localisation des points de mesures.

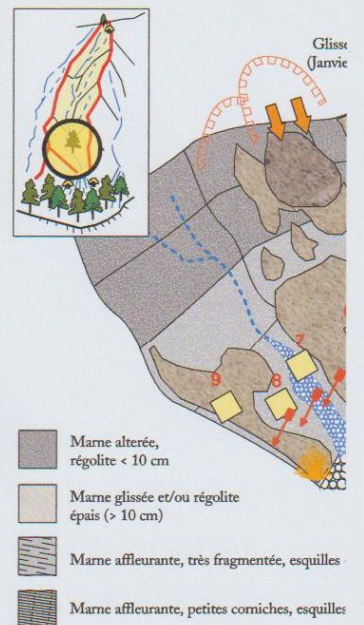


Photo n° 1

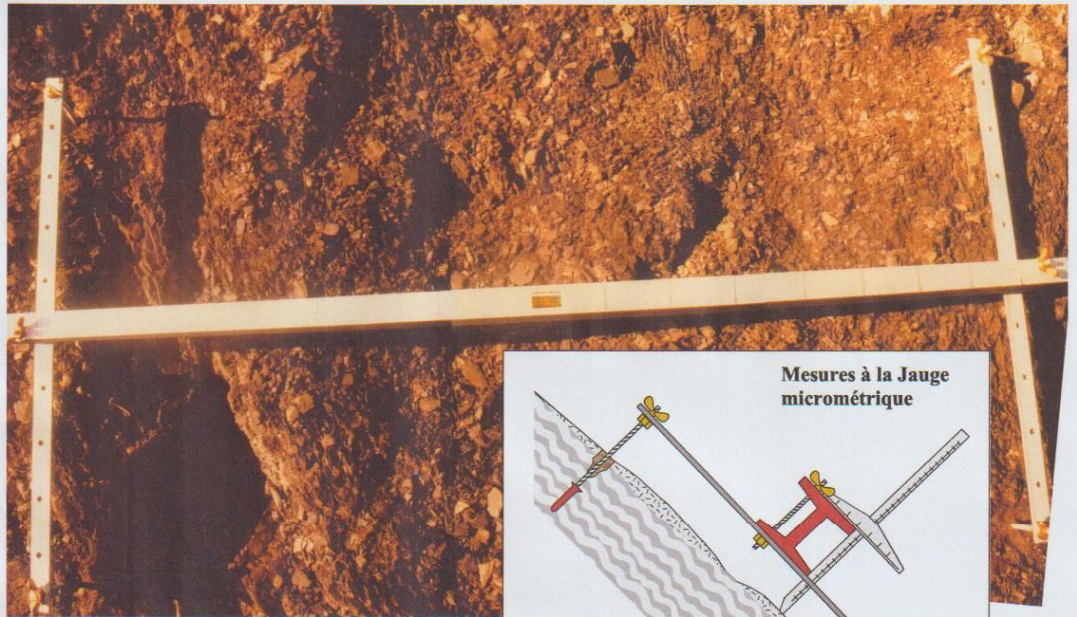


Figure 5 : Banc de mesure micrométrique.

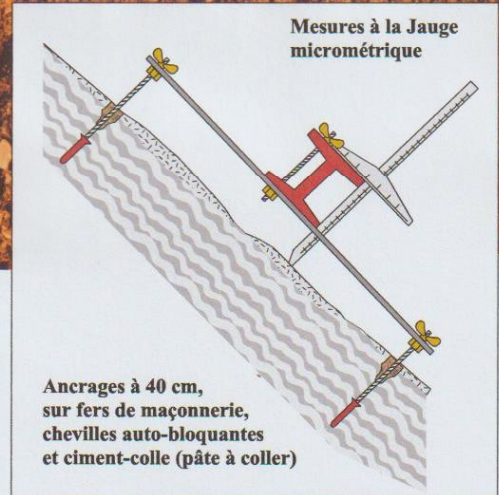


Fig. 6 : Parcelle mesurée au banc micrométrique sur un versant de la ravine n° 2.

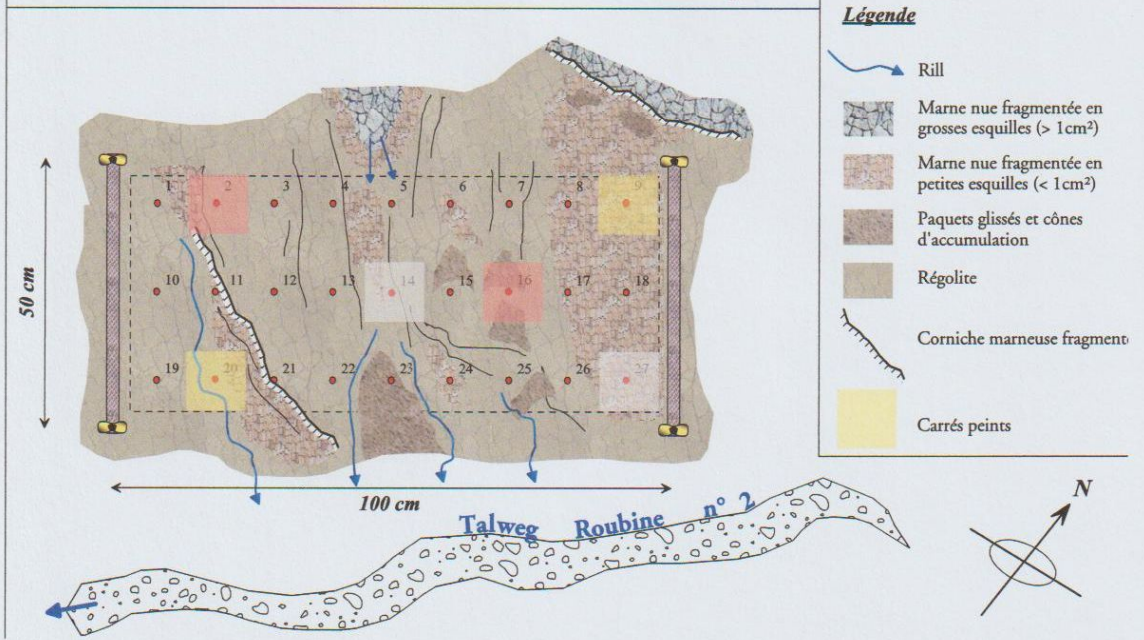
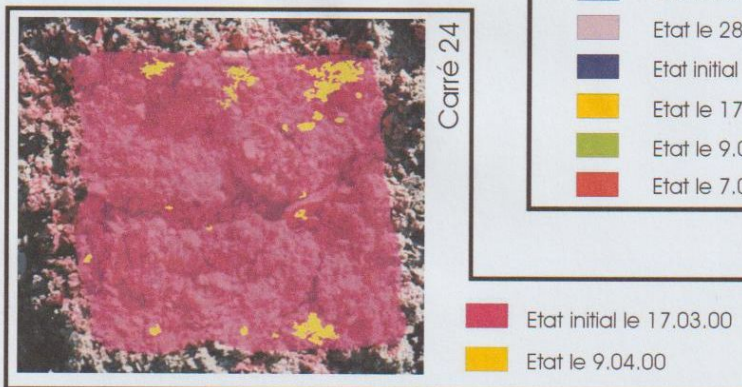
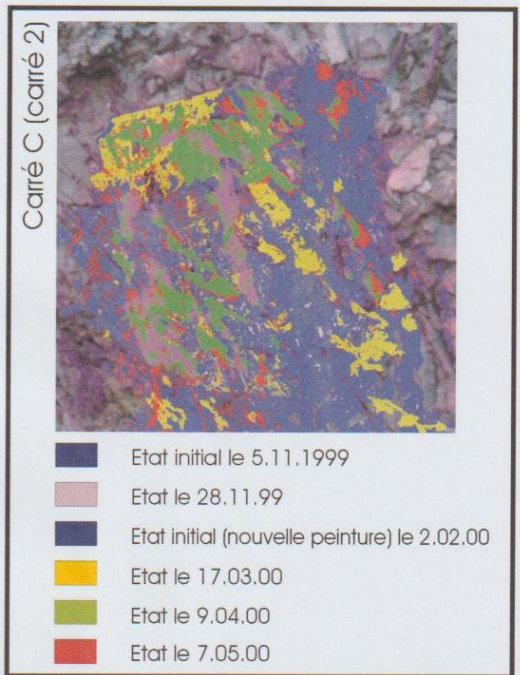
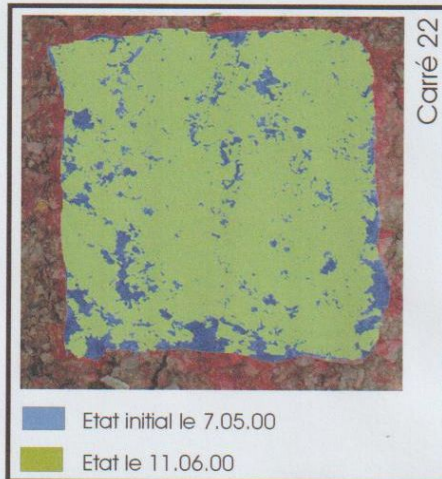
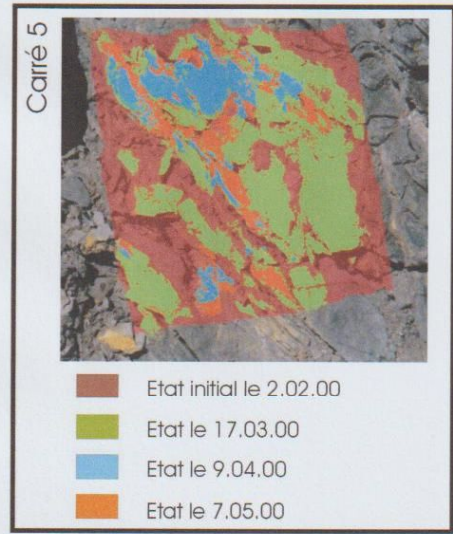
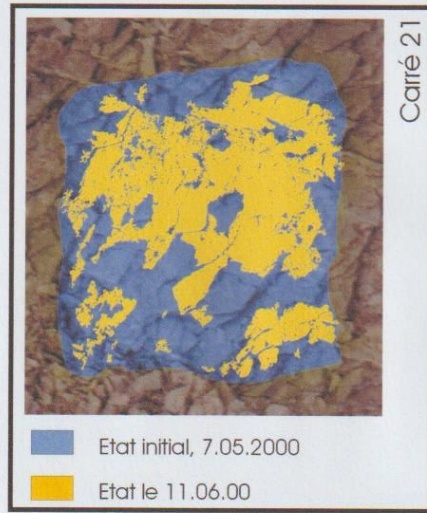


Figure 7 : Technique des carrés peints (Draix, roubine n°2).



nouvelles séries de mesures à partir du milieu de l'année 2000 (voir remarques en conclusion et perspectives).

c) En laboratoire

Un protocole partiellement calé sur celui du laboratoire de Géomorphologie de Caen-CNRS (mis au point depuis les années 70 ; Lautridou et Ozouf, 1982) a été appliqué à deux blocs marneux provenant d'une roubine de Draix, au laboratoire d'Aix en Provence (Mayor, 2003 et Ballais, communication orale le 17 juin 2003 lors des journées scientifiques du GIS Draix). Le protocole retenu a été le suivant : 24 heures à -18°C et 24 heures de dégel à température ambiante du laboratoire (environ 20°C). Le bloc n°1 a eu sa base maintenue en permanence dans 1 cm d'eau afin d'assurer une humectation fissurale par capillarité. Dans un but comparatif et prospectif (en marge du protocole caennais), le bloc n°2 a été immergé totalement dans de l'eau et englacé afin de simuler les phénomènes de icing présents au bas de certains flancs et en fond de talwegs de roubines, au cœur de l'hiver. Bien entendu, l'insuffisance de moyens matériels explique certaines lacunes de ce protocole : il aurait fallu prélever plusieurs blocs représentant un échantillon de la diversité structurale et leur faire subir des essais cryoclastiques en chambre froide, à Caen..., de plus, la seule possibilité offerte sur le plan technique de procéder à des cycles $-18^{\circ}\text{C} +20^{\circ}\text{C}$ accélère la réponse au gel mais ne constitue pas une condition équivalente à celle du terrain (il aurait fallu des cycles de gel doux du type $-5^{\circ}\text{C} +15^{\circ}\text{C}$). Les deux blocs sélectionnés ont subi 15 cycles de gel-dégel, aux conditions précitées.

B3. Résultats et discussion

a) Au niveau des abris-sous-roche et des ressauts marno-calcaires

La cryoclastie a atteint son maximum d'efficacité en janvier 2000. Elle est influencée par l'exposition du versant : les abris sous-roche en versant ubac fournissent, en moyenne, un poids de clasts 2 à 3 fois plus grand que ceux en versant adret. Les clasts fournis par l'ubac sont plus épais et plus longs que ceux fournis par l'adret. La schistosité différente des 2 versants peut en partie expliquer cet écart, mais plus assurément il s'agit de l'opposition, entre adret et ubac, des régimes thermiques dans l'interface rocheux. En l'absence d'enregistrement thermique dans la marne à Draix (capteurs et centrale d'acquisition mis en place en mai 2000 seulement), il est difficile de confirmer pour le moment cette hypothèse ; cependant, au Saignon, des enregistrements thermiques effectués en continu, couplés au piégeage des débris, avaient mis en évidence ce phénomène au niveau de petites corniches marno-calcaires pluridécimétriques, intercalées dans les marnes (Rovéra *et al.*, 1999).

b) Au niveau des flancs de ravines réglés (marne affleurante ou régolite) et régularisés (accumulation colluviale)

Sur les talus régularisés, les premières mesures micrométriques ponctuelles, le long des versants durant l'hiver 1999-2000, confirment l'importance à Draix, de l'action des processus périglaciaires autres que la cryoclastie dans la mobilisation des débris. Dans la roubine équipée de 32 points de mesures (dite roubine n°2, fig 4), à proximité de la confluence du Laval-Bouinenc, les mesures ponctuelles montrent 2 phases érosives de mi-novembre à fin mars :

- de mi-novembre à mi-janvier, une tendance générale à «l'accumulation» (fig 8 a). Ce terme qui correspond, vis à vis de la mesure à une diminution du tirant d'air, dévoile en fait 2 phénomènes géomorphologiques distincts : i) pour certaines portions de talus, il s'agit du phénomène de régolitisation, influencé par la cryoclastie qui agit dans la marne en place ou accentue la comminution des éléments les plus gros du régolite constitué l'année ou les années antérieures. Rappelons que les alternances de gel-dégel dans la marne n'ont pas été enregistrées, faute de moyen, en hiver 99-2000 mais que l'emprise du gel jusqu'à 25 cm de profondeur a été constatée sur les flancs ubac grâce à de petites fosses creusées, de mi-janvier à mi-février 2000 en exposition NW, ii) pour d'autres secteurs, l'accumulation correspond au colluvionnement provoqués par la gélireptation et localement par la gélifluxion (les 2 types de dépôts se différencient par leur modelé, leur granoclassement et leur teneur en eau),
- de mi-janvier à la fin mars 2000, la tendance reste à l'accumulation (fig 8a) mais le fonctionnement des talus devient complexe (fig 8 b et c), il se différencie en fonction : i) de l'état de surface de la marne, ii) de la position du point de mesure, en amont ou en aval de la catena, iii) de l'exposition NW ou SE, iv) du modelé de détail à l'échelle décimétrique. Ainsi certains secteurs demeurent en accumulation (bas de catena ou portion de talus dominée par un affleurement marneux fournisseur de débris comme pour le point de mesure P25, fig 8b ou tab 1) alors que d'autres entrent en phase d'ablation (marne affleurante, points de mesures P 16, 17, 20, fig 8b) ou que d'autres encore connaissent une évolution intermédiaire, avec alternance de phases d'accumulation et d'ablation équivalentes à des remplissages suivis de largages, ce qui s'explique soit par l'existence d'un modelé en creux à l'échelle décimétrique (par exemple un rill constitué ou entretenu pendant la saison pluviale antérieure 1999 et servant de réceptacle ; cas de P 2, fig 8c) qui favorise un surcroît d'accumulation soit plus simplement par le jeu de colluvionnement sur portions réglées, avec dans les 2 cas des coulées sèches qui se déclenchent lorsque le critère de Coulomb est dépassé (angle de frottement interne), c'est à dire d'après les observations faites directement dans les roubines, lorsque l'angle d'inclinaison de la surface colluviale se rapproche de 38-40°.

La parcelle de talus régularisé étudiée à partir des mesures micrométriques surfaciques (banc micrométrique), également sur la même période et toujours dans la roubine n°2, livre des informations en partie différentes de celles qui précèdent (fig 9a, b, c et 10, voir aussi la fig 5 pour le positionnement des 27 points de mesures en 3 séries transversales de 1 à 9, puis de 10 à 18 et de 19 à 27). Dans le cas de cette petite parcelle, l'ablation l'emporte durant toute la période hivernale jusqu'à mi-mars (un seul exemple de gonflement du régolite au point 2), ce sont les points de mesure situés dans la marne nue fissurée qui enregistrent le mieux une ablation constante.

Un premier épisode « d'accumulation » légère apparaît fin mars pour les points de mesure de la série inférieure (3^e série, qui reçoit les colluvions issus de l'amont immédiat, 1^e et 2^e séries). Les variations micro-topographiques de la surface micrométrée, reconstituées à l'aide du logiciel Surfer (fig 10) montrent bien la complexité dans le temps du phénomène de

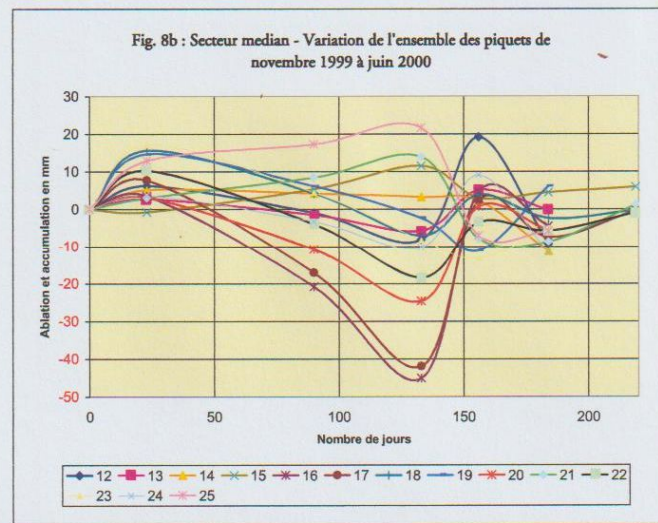
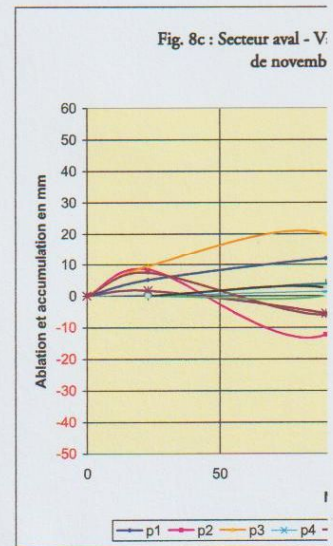
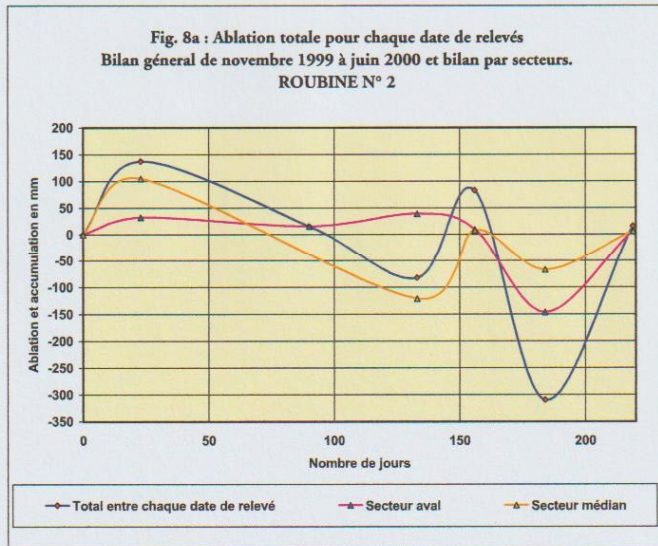


Figure n° 8 : Bilan R2 et détails de

Figure 9 : Banc de mesures micrométriques ; valeurs d'érosion pour la période allant de novembre 1999 à juin 2000

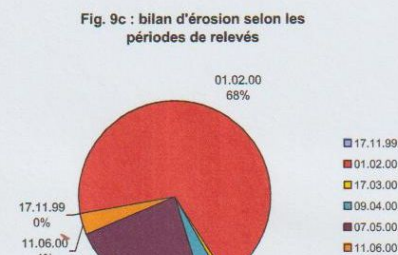
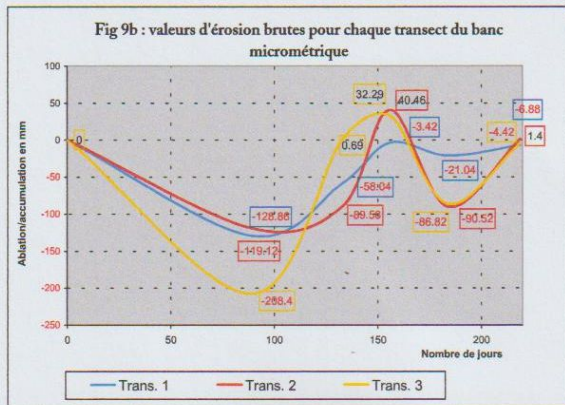
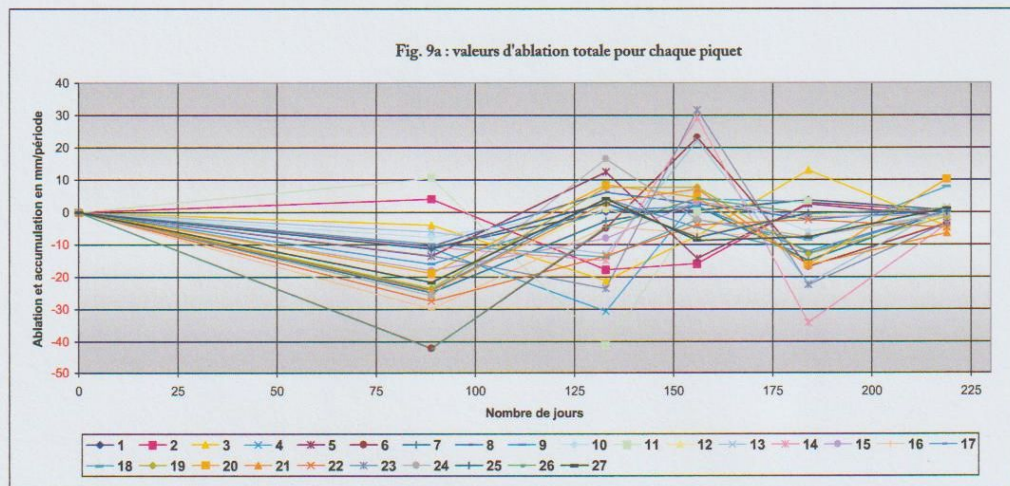
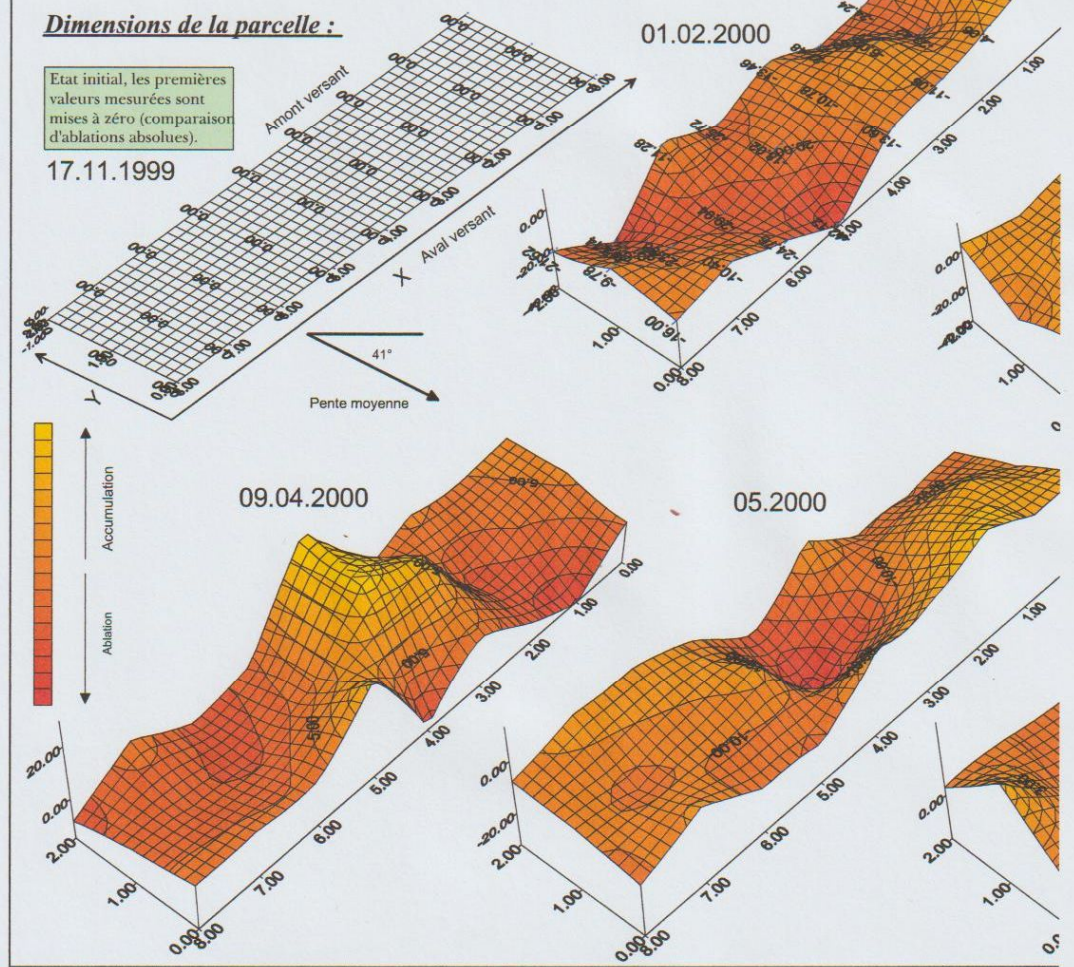


Fig. 10 : Variations topographiques de la parcelle de mesures micrométriques. Interpolation des points selon la matrice originale (logiciel Surfer 7).



production et de déplacement de débris durant la période hivernale, à l'échelle d'une petite portion de versant de roubine. On note, par exemple, que le petit secteur d'ablation du 01/02/2000 (teinte rouge en diagonale, coordonnées X = 5 à 7,5 et Y = 0 à 2) se trouve en accumulation au 17/03/00 (teinte jaune dominante X = 3,5 à 8 et Y = 0 à 2), ce qui correspond au remblaiement d'un petit secteur préalablement creusé ; un phénomène inverse entre les 2 mêmes dates apparaît dans l'autre partie de la parcelle (X = 0 à 3). Par ailleurs, la parcelle étudiée révèle un 3^e cas d'évolution avec sa « crête » centrale de la parcelle (X = 3 à 4) ; cette crête pluricentimétrique, à peine marquée le 01/02/2000, s'exhausse au fil de l'hiver pour atteindre sa hauteur maximale le 9/4/00, suivie en début mai d'un largage important à l'occasion des premières pluies de printemps (rappelons qu'une topographie positive, même minime, est vite attaquée par l'érosion). L'enchaînement des précipitations en mai et juin aboutit à un nivellement de la parcelle qui montre ainsi, sur ces 2 mois, une nette tendance à une ablation uniformément répartie (sauf sur les 2 bordures) et peu prononcée (- 2mm); ce phénomène souvent évoqué par les géomorphologues mais plus senti que prouvé et rarement décrit avec précision, semble bien révéler des types de précipitations à effet aréolaire, c'est à dire sans fortes intensités et agissant sur une marne en place de plus en plus débarrassée de sa couverture détritique, ce qui favorise la régularisation de l'interface rocheux par dénudation et non plus par accumulation. Tout cela correspondrait au stade morphogénique qui précède le rilling dans la succession théorique et habituellement admise du « ruissellement diffus au ruissellement concentré ». Ainsi, cette combinaison climatique et morphologique pourrait expliquer partiellement la genèse ou au moins le maintien des portions de talus en « plan incliné » dans les roubines marnescues.

On retient qu'à partir d'avril-mai (mesures ponctuelles ou banc micrométrique), les pluies nettoient les fractis produits par les processus périglaciaires y compris la cryoclastie mais il faudra attendre les pluies orageuses d'été (puis les dépressions d'automne comme cela avait été constaté au Saignon, octobre étant aussi le mois le plus pluvieux à Draix) pour assister à l'évacuation de l'essentiel de la livrée hivernale et voir se généraliser l'incision de la marne en place (rilling). Quoi qu'il en soit, le bilan érosif est déjà négatif sur la période hivernale et printanière comme l'attestent les mesures 99-2000. Il ressort clairement que l'action périglaciaire fragilise considérablement la marne en place, contribue à la régolisation et mobilise en assez grande quantité des colluvions qui se stockent dans les parties déprimées des versants et dans les talwegs, depuis les rills décimétriques jusqu'aux fonds des roubines, y compris sur les bordures des lits des torrents principaux comme le Laval. Les éléments du régolite et les colluvions fabriqués pendant la saison périglaciaire et nivale sont facilement exportables par le ruissellement. Sur le plan quantitatif et sur la période de mesure de novembre 99 à juin 2000 (tab 1 ou fig 8 et 9), le bilan érosif issu des 32 points de mesures ponctuelles est le suivant :

- pour la période hivernale, le bilan a été légèrement favorable à l'accumulation (voir tab 1 : + 1,2mm de mi-novembre à mi-mars ou + 3,4 mm si on prolonge la période hivernale jusqu'en début avril 2000),
- pour la courte période de mi-avril à mi-mai, les coulées sèches puis le retour des pluies provoquent une ablation généralisée et importante (-22mm en moyenne ; tab 1),
- pour la période complète de mesures, du 5/11/99 au 11/6/2000, le bilan reste à l'ablation avec une valeur de -7mm (tab 1)

Tableau 1: Ablations et accumulations sur les versants de la roubine R2, de Novembre 1999 à Juin 2000

Ablation et accumulation en mm sur les 3 secteurs Roubine R 2

Dates		5.11.99	28.11.99	2.2.00	17.03.00	9.4.00	7.5.00	11.6.00	
Zones	N° piquet	0	23	90	133	156	184	219	Total
Secteur aval SAV	1	0	5.06	11.85	12.33	7.4	-24.57		12.07
	2	0	8.35	-12.31	46.69	4.23	-42.25	-1.38	3.33
	3	0	9.41	19.89	-17.53	1.53	-5.76	-1.69	5.85
	4	0	0.38						0.38
	5	0	1.72	-5.59	-15.06	2.82	-3.7		-19.81
	6	0	7.39	-6.08	6.95	0.59	-36.31		-27.46
	7		0	3.8	2.45	-2.09	5.77		9.93
	8			0			-28.55	11.06	-17.49
	9		0	1.34	0.05	0.93	-2.535	0.065	-0.15
	10		0	0	13.92	-9.72	-2.41	-1.46	0.33
	11		0	2.6	-10.92	4.01	-6.27		-10.58
Secteur médian MED	12	0	6.23		-8.08	19.18	-9.28		8.05
	13	0	2.71		-5.73	5.05	-0.28		1.75
	14	0	5.1		3.23	2.2	-11.34		-0.81
	15	0	-0.76		11.51	3.02	4.46	5.89	24.12
	16	0	3.5		-45.08	4.66	-4.56		-41.48
	17	0	7.69		-41.92	2.39	-7.38	-0.41	-39.63
	18	0	15.61		-7.03	3.88	-2.31	-0.24	9.91
	19	0	14.71		-2.34	-11.02	6.24		7.59
	20	0	3.12		-24.68	0.66	-5.74		-26.64
	21	0	3.015		13.92	-7.84	-8.62	1.22	1.695
	22	0	10.255		-18.235	-3.45	-5.69	-0.88	-18
	23	0	17.165		-8.21	-13.18	-5.04		-9.265
	24	0	3.63		-10.25	9.07	-11.69		-9.24
	25	0	12.84		21.58	-7.05	-5.9		21.47
					22.2.00	9.4.00	7.5.00	11.6.00	
					110	156	184	219	
Secteur amont SAM	26				0	1.2	-0.01	-3.18	-1.99
	27				0	-6.235	-2.665	-0.54	-9.44
	28				0	19.76	-3.74	-0.575	15.445
	29				0	17.48	-27.51		-10.03
	30				0	15.42	-26.96	7.52	-4.02
	31				0	16.78	-31.45	-0.28	-14.95
	32				0	1.01	-3.73	0.34	-2.38

Tableau récapitulatif:

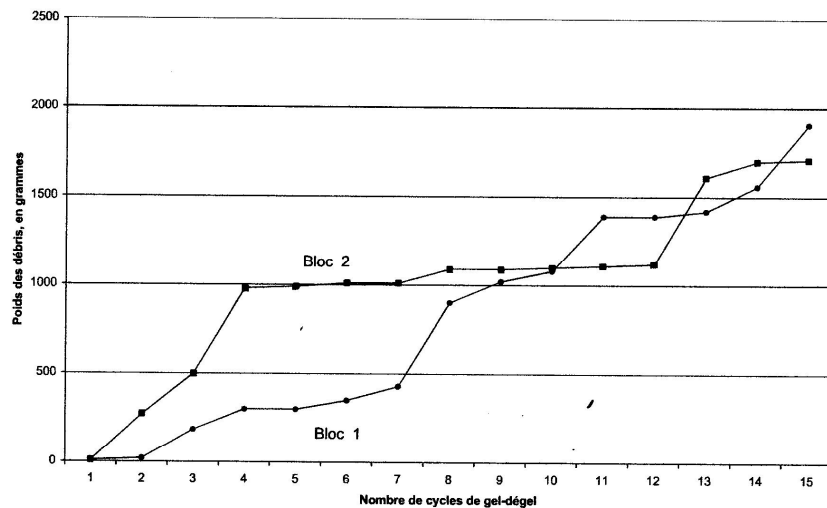
	Dates	5.11.99	28.11.99	2.2.00	17.03.00	9.4.00	7.5.00	11.6.00	
Total		0	137.125	15.5	-82.435	82.685	-309.78	15.46	-141.445
Moyenne		0	5.7135417	1.55	-3.58413	10.09587	-22.62836	1.765	-7.088082
Mediane		0	4.345	0.67	-5.73	17.62	-9.49	-0.735	6.68

Ce dernier chiffre «moyen» est comparable à celui obtenu sur la parcelle micrométrée (fig 10) malgré une rythmicité différente sur la période d'investigations comme cela vient d'être exposé (fig 9b et 9c).

c) En laboratoire

La cryoclastie expérimentale a révélé une extrême sensibilité de la marne au gel et même si l'amplitude de l'alternance est très exagérée, l'enseignement demeure (dans ce sens, on peut se référer à certaines expériences également avec gel fort réalisées au laboratoire de Caen). La figure 11 montre une comminution assez régulière du bloc1 (2,8 kg au départ) avec une fourniture de clasts dès les 4 premiers cycles de gel-dégel (jusqu'à 300 g), atteignant au total 1700 g au 15^e cycle. Malgré une similitude structurale avec le bloc 1, le bloc 2 (2,5 kg au départ) soumis à un phénomène de icing a eu un comportement différent avec une importante et rapide libération de frags dès les 4 premiers cycles (jusqu'à 980 g), suivie d'un ralentissement relatif de la fragmentation ; au 15^e cycle, le bloc est détruit à 75 % environ.

Figure 11. Cryoclastie expérimentale. Poids cumulés des débris libérés par 2 blocs au cours de 15 cycles de gel-dégel (-18 +20°C). F. Mayor et J.L. Ballais, 2000-2003



C. L'action de l'haloclastie

C1. Définition et état de la question

L'haloclastie désigne une fragmentation sous l'action d'une accumulation progressive de sels et d'alternances d'humectation et de dessiccation de ces sels, situés dans les pores ou les fissures d'une roche. Dans les marnes de Draix, on rencontre des efflorescences dans les parties exondées des fonds de talwegs en période d'étiage et sur les flancs de roubines au niveau de certaines strates ou sur les accumulations colluviales basales. Ces sels se forment en fin d'hiver ou en été et sont dissous, les uns par les pluies de printemps, les autres par celles d'automne. Certaines efflorescences sont présentes toute l'année dans des abris-sous-

roche, soit directement sur les strates affleurantes en dévers, soit par de petites accumulations pulvérulentes au pied de ces dernières. On note aussi qu'à Draix, ces efflorescences sont essentiellement gypseuses (Richy, 1992). La question est de savoir si ces sels provoquent réellement une fragmentation de la marne en place. De nombreux travaux, pour des lithologies non marneuses, ont déjà été consacrés au sujet, à partir d'observations sur le terrain ou d'expérimentations en laboratoire (Biot, 1981 ; Prick, 1999).

C2. Méthode de mesures, in situ et analyse d'échantillons en laboratoire

La méthode utilisée a été identique à celle de la cryoclastie. Un premier dispositif de petits piquets a été placé dans plusieurs abris-sous-roche dans le secteur du Peyrouré. Il s'agit de strates en front ou en dévers, orientées vers l'ouest et partiellement recouvertes d'efflorescences. La mise en place de boîtes permettant une meilleure quantification des débris est venue compléter les piquets. Les mesures ont comporté la collecte des clasts, leur pesée et leur étude morphométrique ainsi que la mesure du taux de solubles dans la matrice.

C3. Résultats et discussion

Mis à part le cas de l'abri-sous-roche B1 (fig 12a), on constate que l'haloclastie atteint son minimum d'efficacité au cœur de l'hiver, en janvier pour les abris B2 et D (fig 12 b et c). Le processus devient réellement producteur de fines en mai ou en juin, avec des quantités allant de 20-30 g à 95g pour des surfaces émettrices de l'ordre de 50 cm². Par ailleurs, la variation de la teneur en sulfates, extraits par macération dans de l'eau distillée avant le dosage, est bien corrélée à la quantité de fines fournies : de 0 à quelques pour cent en hiver (% par rapport à la minéralisation globale obtenue par conductivité) et jusqu'à 15 à 20 % au milieu du printemps. Ce taux a atteint 40% à la fin du mois de mai dans le cas de l'abri-sous-roche D. En l'absence d'intervention d'autres processus grâce à la position d'abri (sauf probablement pour l'hydroclastie à certaines dates car les parois des abris sont parfois humides), ces résultats semblent bien confirmer une action saline. Au niveau de la granulométrie, le matériel fourni est essentiellement limoneux, ce qui semble être un bon critère de distinction de l'action de l'haloclastie par rapport à celle de la cryoclastie qui intervient aussi dans ces abris (cryoclasts allant de la taille d'une esquille centimétrique à celle d'un sable grossier).

Figure 12 a. Haloclastie, débris collectés dans l'abri-sous-roche B 1, de décembre 99 à juin 2000. F. Mayor et J.L. Ballais, 2000-2003

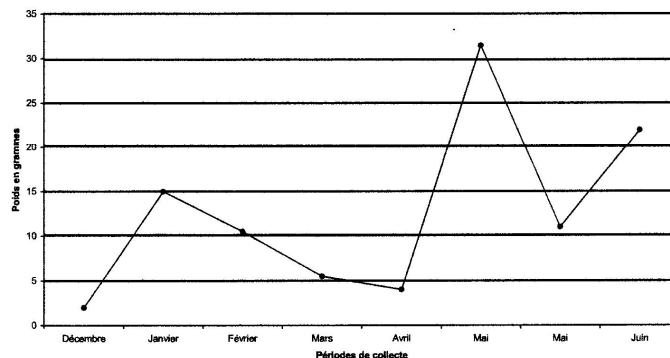


Figure 12 c. Haloclastie, débris collectés dans l'abri-sous-roche D (courbe A) et du taux de sulfates issus de ces débris (courbe B). Collecte des débris de décembre 99 à juin 2000. F. Mayor et J.L. Ballais, 2000-2003

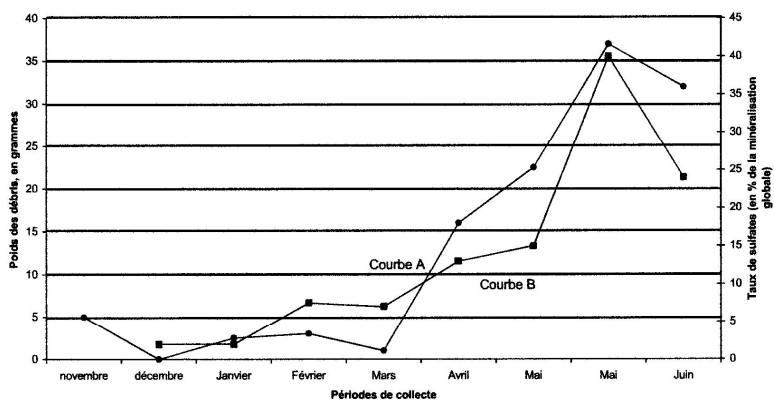
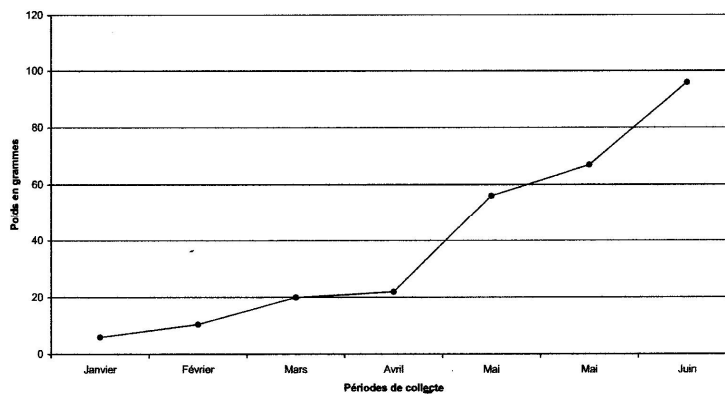


Figure 12 b. Haloclastie, débris collectés dans l'abri-sous-roche B 2, de décembre 99 à juin 2000. F. Mayor et J.L. Ballais, 2000-2003



D L'action de l'hydroclastie et de la thermoclastie

D1. Définitions et état de la question

L'hydroclastie désigne le processus d'exfoliation, de desquamation ou de désagrégation granulaire des roches par les alternances d'humectation-dessiccation. Dans les roches feuilletées comme les marnes, les mécanismes peuvent être complexes mettant à contribution les argiles lorsqu'elles sont présentes ou la pression hydrostatique parfois associée à des bulles d'air coincées dans les fissures (joints de stratification, plans de schistosité ou diaclases) au moment de l'hydratation qui suit la phase de dessiccation (Biro, 1981). La structure des marnes et le climat subméditerranéen de Draix constituent deux conditions qui sont d'entrée favorables à l'hypothèse d'une action hydroclastique.

La thermoclastie correspond au processus de fragmentation d'une roche soumise à des oscillations thermiques. Fort logiquement, les recherches dans ce domaine se sont d'abord attachées aux oscillations diurnes, auxquelles on attribue les phénomènes d'exfoliation ou de desquamation (écailles parallèles à la surface), de désagrégation granulaire ou de fissuration (fissures perpendiculaires à la surface ou radiales). On se reportera à la synthèse faite par P. Birot (1981), aux travaux du laboratoire de Géomorphologie de Caen (Bertouille, cité par Birot) ; signalons aussi des avancées récentes dans ce domaine faites par des auteurs anglo-saxons, notamment à propos du nombre de cycles et de l'amplitude thermique les plus « efficaces » (travaux actuels de Kevin Hall, communication verbale de S. Etienne aux journées scientifiques de la Commission française du Périglaciaire, en janvier 2003).

Il est important d'insister sur le fait qu'à Draix, les spécificités d'un climat très contrasté (fort ensoleillement interrompu par un orage...) ajoutées à celles de la marne (fissuration, couleur sombre et coefficient de conductibilité thermique) favorisent théoriquement non seulement l'action de l'hydroclastie ou de la thermoclastie mais aussi leur probable combinaison.

D2. Protocole expérimental de laboratoire

Pour l'hydroclastie et la thermoclastie, seule l'expérimentation en laboratoire a été pratiquée. Pour l'hydroclastie, il s'agit de deux blocs prélevés sur le terrain qui ont été totalement imbibés par immersion pendant 48 heures, pesés à nouveau et séchés à température du laboratoire pendant 3 jours. La manipulation s'est déroulée à la température du laboratoire (environ 20°C). Le bloc a subi 37 cycles d'humectation/assèchement. Les clasts produits ont été pesés et mesurés, à chaque cycle. Ces conditions pratiquées sur le bloc sont assez éloignées de celles existant sur le terrain, en particulier pour l'humectation (sauf dans le cas des fonds de talweg et des bas versants où la marne est immergée à chaque crue).

Pour la thermoclastie, le protocole a été de 24 heures à 50°C en étuve suivies de 24 heures de refroidissement jusqu'à température du laboratoire (20°C) ; 40 cycles ont été pratiqués sur un seul bloc (2,7kg), à sec. Les thermosondes mises en place en mai 2000 ont confirmé que la température des premiers centimètres de marne en exposition adret durant l'été pouvait atteindre 48°, par contre cela ne dure que 2 ou 3 heures de part et d'autre de midi ; on peut considérer que la phase de refroidissement est assez proche de la réalité.

D3. Résultats et discussion (fig 13 et 14)

Pour l'hydroclastie, le bloc (poids de départ : 4,2 kg) montre des périodes peu ou pas productives et des « pics » qui correspondent à la libération de gros débris : 300 g au bout de 10 alternances, 520 au bout de 12 ou encore un élément de 680 g à la 27^e alternance. Le bloc traité au laboratoire a ainsi subi 29 alternances humectation-dessiccation à l'issue desquelles il a été réduit à 5 blocs secondaires d'environ 500g chacun en moyenne. A l'observation, on voit que le processus est constitué d'une première phase d'ouverture des fissures et d'effritement de leurs lèvres, puis d'une phase de libération massive de gros clasts. Dans le détail, après la fragmentation en blocs, on peut aussi noter la fourniture de petits clasts (du 19^e au 24^e cycle ou du 32^e au 34^e), ces clasts se répartissant préférentiellement en 2 classes : d'une part des limons et d'autre part des graviers et petits cailloux (1, 2 à 7,2 cm). En revanche, le second bloc traité au laboratoire ne libère que très peu de matériel (moins d'une dizaine de grammes). Cette différence radicale est très probablement due à la présence d'une veine de calcite

constituant la face arrière du bloc et qui n'a pas été modifiée par 40 alternances humectation-dessiccation, cette veine jouant le rôle de liant et empêchant l'élargissement des fissures qui précède la libération des débris (du moins jusqu'à 40 cycles...).

Figure 13. Hydroclastie, fragmentation du bloc 1 au cours de 40 cycles d'humectation-dessiccation. F. Mayor et J.L. Ballais, 2000-2003

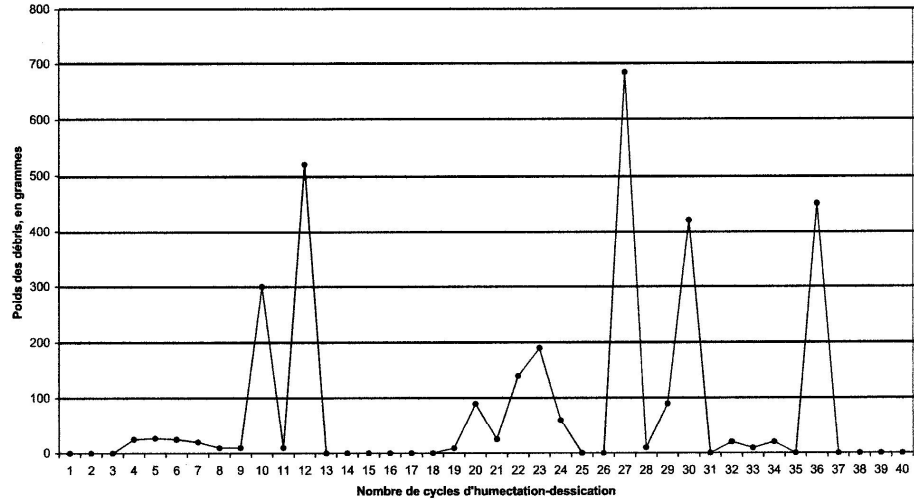
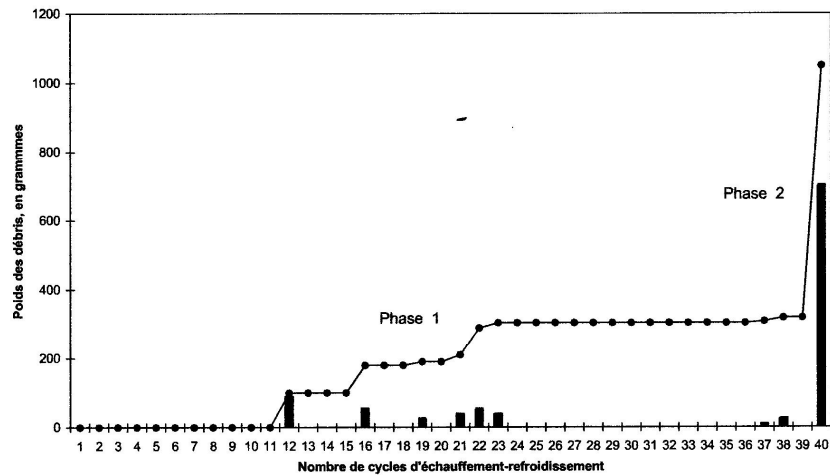


Figure 14. Thermoclastie, fragmentation du bloc au cours de 40 cycles d'échauffement-refroidissement (+50 +20°C en 24h). Bâtons : poids simples, courbe : poids cumulés. F. Mayor et J.L. Ballais



Pour la thermoclastie, on constate deux phases dans la libération des fracts par le bloc. Une première phase de production de débris est apparue entre le 11^e et le 24^e cycle (livrées de quelques décigrammes à 100 grammes), puis une deuxième phase a été observée au 40^e cycle

avec la libération d'un bloc de 700 g grâce à une fragmentation réalisée le long d'une diaclase.

Ces deux expériences montrent des résultats intéressants, en particulier une fragmentation libérant des blocs assez importants pour les 2 processus, surtout l'hydroclastie. Cependant ces essais ne sont qu'exploratoires et doivent être validés par d'autres expérimentations sur blocs et si possible directement sur les affleurements de terrain (protocole à définir).

E. Conclusion et perspectives

Le rôle des processus de cryoclastie, haloclastie, hydroclastie et thermoclastie dans la météorisation des marnes, a été confirmé ou approché. Il semble se dessiner une hiérarchie d'après le calibre des éléments fragmentés : de gros débris pluricentimétriques pour l'hydroclastie et peut être la thermoclastie, plutôt des esquilles centimétriques jusqu'aux sables grossier pour la cryoclastie et enfin seulement des limons pour l'haloclastie (auxquels s'ajoutent des minéraux «secondaires» très solubles).

Parmi les apports nouveaux, on retient : i) l'efficacité prouvée de l'haloclastie dans les marnes, processus qui n'avait pas été abordé lors de recherches antérieures, ii) l'intervention des processus périglaciaires dont la cryoclastie dans la genèse du régolite et dans laquelle interviennent aussi probablement l'hydroclastie et la thermoclastie (voir aussi l'étude faite par l'équipe de Strasbourg et le Lirigm sur les variations d'épaisseurs de ce régolite et sa répartition spatiale), iii) une ablation de l'ordre de 5 à 7 mm de l'hiver au début de l'été sans l'intervention de grosses pluies, valeur compatible avec valeurs moyennes annuelles d'ablation de 10 à 15 mm établies sur plusieurs années de mesures en sortie de bassin-versant (Mathys, Brochot et Meunier, 1996) mais qui souligne la contribution des processus périglaciaires dans cette ablation annuelle, contribution qui passe inaperçue si on pratique seulement des estimations d'ablation en sortie de bassin-versant. La même remarque vaut probablement pour les autres processus, en été et automne. Pour l'haloclastie, en l'état actuel des recherches, les effets semblent discrets et localisés, alors que ceux de l'hydroclastie et la thermoclastie devraient être plus fréquents et affecter une épaisseur marseuse plus grande.

Ces recherches peuvent et doivent être encore approfondies pour la cryoclastie (influence de l'encaissement des roubines sur le microclimat périglaciaire) et la thermoclastie (fortes chaleurs d'été sur flancs en adret), en s'appuyant sur le suivi thermique rendu possible par la mise en place en mai 2000 d'une station d'enregistrements thermiques «air-roche» (14 capteurs, enregistrement horaire). Ces précisions microclimatiques n'auraient d'ailleurs qu'un faible intérêt si elles ne s'accompagnaient d'une même précision dans le suivi morphologique, aspect qui devraient aboutir en 2001 grâce à la mise au point du topomicromètre à lecteur laser pour lequel le banc à jauge micrométrique mécanique évoqué dans ce compte-rendu a servi de prototype. Ce dispositif morphoclimatique d'ensemble devrait permettre de déceler les mécanismes fins de la météorisation et de la mobilisation des débris selon les rythmes saisonniers et de mieux repérer les intrications ou les relais entre ces processus sur l'année. Le topomicrométrage laser devrait aussi permettre de juger des effets des oscillations humectation-dessiccation grâce à une 2^e station d'enregistrement automatique composée de 2 capteurs capacitifs implantés à 6 cm de profondeur, acquise en fin 2000 et dont l'installation est prévue pour 2001. Signalons enfin que pour bien cerner les effets de ces processus de météorisation, il conviendrait aussi d'isoler les effets de la décompression qui agit

indépendamment des agents climatiques dans le matériel marneux, comme cela avait déjà démontré dans les Baronnies.

F. Publications / production scientifique

ROBERT Y., 2000.- Processus d'érosion et modélisation de l'ablation dans le bassin versant marneux de Draix. Mémoire de DEA, géographie université J. Fourier

MAYOR F., 2003.- Les processus de fragmentation mécanique à Draix (Alpes de Haute Provence) : modalités et implications actuelles, mémoire de maîtrise, Université de Provence, 795 p

Bibliographie

- BIROT P., 1981.- Les processus d'érosion à la surface des continents, Masson, 605 p.
- CHODZKO J. et LECOMPTE M., 1992.- Ravinement dans les Baronnies, suivi expérimental, Travaux du laboratoire de Géographie physique n° 20. Paris XII, 111 p.
- COUBAT M., 1998.- Rôle des processus périglaciaires et niveaux dans l'érosion des marnes noires en milieu subméditerranéen reboisé. L'exemple du bassin-versant du Saignon, La Motte du Caire, Alpes de Haute Provence. Mémoire de maîtrise, Institut de Géographie Alpine. Univ. Grenoble 1, 90 p.
- DESCROIX L., 1994.- L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud. Thèse de doctorat, Université Lyon II, 360 p.
- DOUGLAS G., 1980.- Magnitude frequency study of rockfall in Co. Antrim, N. Ireland.- Earth Surf. Processes and Landf, 5, pp. 123-129.
- LAUTRIDOU J.P. et OZOUF J.C., 1982.- Expérimental frost-shattering : 15 years of research at the Centre de Géomorphologie du CNRS.- Progress in Physical Geogr., 6, 2, pp. 217-232
- LECOMPTE M., LHENAFF R. et MARRE A., 1998.- Huit années de mesures du ravinement des marnes dans les Baronnies méridionales (Préalpes françaises du Sud), Géomorphologie : relief, processus, environnement, 4, pp 351-360
- MATHYS N., BROCHOT S. et MEUNIER M., 1996.- L'érosion des Terres Noires dans les Alpes françaises du Sud : contribution à l'estimation des valeurs annuelles moyennes (bassins versants expérimentaux de Draix, Alpes de Haute Provence), Revue de Géographie Alpine, 2, pp 17-27
- PRICK A., 1999.- *Etude de la cryoclastie et de l'haloclastie par méthode dilatométrique.* Académie Royale de Belgique, classe des sciences, 311 p.
- RICHY P., 1992.- *Contribution à l'étude des mécanismes et bilans de l'érosion chimique des «terres noires» du bassin de la Durance.* Mémoire de DEA Géosciences de l'environnement, université d'Aix-Marseille III, 50 p.
- ROBERT Y., 1997.- Erosion et colonisation végétale dans les bad-lands marneux des Alpes du Sud, l'exemple du bassin du Saignon (La Motte du Caire, Alpes de haute Provence). Mémoire de maîtrise, IGA, Université Grenoble 1, 135p
- ROVERA G., 1990.- Géomorphologie dynamique et aménagement des versants en moyenne Tarentaise, une contribution à l'érosion naturelle et anthropique dans les Alpes. Thèse de doctorat, Univ. Grenoble 1, 465 p.
- ROVERA G., 1997.- L'éboulisation des corniches de calcaire urgonien dans le massif de la Grande Chartreuse (Alpes du Nord), *Environnements périglaciaires*, n° XXII-4, pp 13-27.

- ROVERA G., ROBERT Y., COUBAT M., 1999.- L'action des processus périglaciaires dans les bad-lands marneux des Alpes du Sud: l'exemple du bassin du Saignon. Environnements périglaciaires, bulletin de l'association française du périglaciaire, 6, pp. 41-52
- ROVERA G., ROBERT Y., COUBAT M. et NEDJAI R., 1999.-Erosion et stades biorhexistatiques dans les ravines du Saignon (Alpes de Provence). Essai de modélisation statistique des vitesses d'érosion sur marnes. Colloque « La montagne méditerranéenne : Paléoenvironnement, morphogenèse, aménagement », Aix-en-Provence, 18-19 sept.1998, XXVIII, pp. 109-115
- ROVERA G. et NATON H-G, 2000.- Remplissage sédimentaire et rythmes de l'éboulisation des blocs calcaires erratiques de l'Aulp du Seuil (massif de la Grande Chartreuse) : comparaison entre les caractéristiques tardiglaciaires, holocènes et actuelles. In Thillet T. (dir) «Les paléoalpins, hommage à P. Bintz », *Géologie alpine*, mémoire H.S., 31, pp.13-20