Anthropologie et Préhistoire, 111, 2000, 355–363

L'action du gel sur les restes fauniques

Premiers résultats

Jean-Luc GUADELLI et Jean-Claude OZOUF

Résumé

L'interprétation de la fragmentation passe obligatoirement par l'explication de phénomène qui en sont responsable. Nous avons donc procédé à des expériences de gel d'os et de dents pour essayer de caractériser les gélifracts et les distinguer des autres types de fragment. Les premiers résultats exposés ici montrent l'importance du gel dans les processus de fragmentation et la nécessité de poursuivre les expériences.

1. Introduction

Lorsque l'Archéozoologue n'a pas la chance de travailler sur des ossements complets, la *fragmentation* constitue l'un des écueils auxquels il se trouve confronté et les problèmes qui en découlent sont multiples à la fois au niveau de l'analyse (identifications anatomiques et/ou taxonomique, biométriques, ...) que de l'interprétation (origine et signification des cassures).

Expliquer la fragmentation des dents et des os dans un gisement préhistorique (ou historique) n'est jamais chose simple car plusieurs agents « destructeurs » entrent en jeu simultanément, qu'il s'agisse de l'Homme, des autres animaux et des phénomènes naturels (physiques et/ou chimiques).

Nous nous sommes intéressés à un facteur physique, le *gel* et nous avons cherché à savoir s'il existait des gélifracts osseux ou dentaires et si oui, s'ils étaient suffisamment caractéristiques pour qu'on les distingue des fragments ayant une autre origine.

L'hypothèse de départ était qu'il existait un lien entre le phénomène physique qu'est le gel et la fragmentation des os et des dents. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons décidé de recréer des conditions thermiques imitant un cycle *gel/dégel*.

Dans un premier temps nous n'avons procédé qu'à des expériences en laboratoire, afin d'observer les effets liés au gel à l'exclusion de tout autre facteur. Pour ce faire, nous menons depuis plus d'un an des expériences de gelifraction d'os et de dents au Centre de Géomorphologie du CNRS de Caen ou l'un de nous (J.-C. Ozouf) y dirige le laboratoire de cryoclastie.

2. Les expériences

2.1. La méthode

La méthode utilisée est calquée sur celle employée dans les expériences de gélifractions des roches (Lautridou & Ozouf, 1980; 1982; Letavernier & Ozouf, 1987; Ozouf, 1983; etc.). L'hypothèse que nous pouvons formuler d'après les observations sur le terrain et les possibilités de l'enceinte thermique dont nous disposons, nous ont amené à fixer un protocole expérimental dans lequel nous avons pris en compte trois paramètres :

- l'intensité du gel;
- la vitesse de descente de la température;
- la teneur en eau des échantillons au début de l'expérience.

La durée des cycles de gel et de dégel est de 24 heures : 12 heures pour la descente de la température jusqu'à l'intensité fixée et 12 heures pour la remontée jusqu'à +12 °C (ou +15 °C selon la charge de la chambre de gélifraction).

2.1.1. *L'intensité du gel*

Nous avons retenu la température de − 5 °C, car elle correspond à ce que l'on observe dans la nature dans un contexte périglaciaire actuel à l'entrée d'une grotte ou dans un abri-sous-roche. De plus, lors des expériences, un gel à − 5 °C dans l'enceinte thermique du Centre de Géomorphologie permet un gel complet d'un bloc rocheux.

2.1.2. *La vitesse de descente de la température*

La vitesse choisie correspond à ce que l'on observe dans la nature, 5 à 6 °C/heure entre 0 °C et la température minimale (fig. 1).

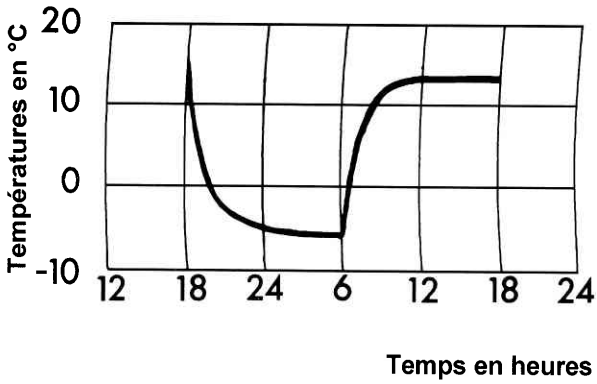

Fig. 1 — Courbe de variation de la température de l'air pendant un cycle gel/dégel de 24 heures.

2.1.3. La teneur en eau au début de l'expérience

Nous avons choisi une teneur en eau initiale obtenue par immersion pendant 48 heures. Cet état hydrique de l'échantillon correspond à ce qui se produit dans la nature lorsqu'un dégel libère une grande quantité d'eau et qu'un gélisol ou un pergélisol empêche toute infiltration. Les échantillons situés dans cette partie superficielle dégelée (mollisol) peuvent ainsi acquérir une teneur en eau proche de celle réalisée en laboratoire.

2.2. Le déroulement des expériences

Les échantillons sont d'abord séchés en étuve, pesés (P_1), immergés dans de l'eau pendant 48 heures et pesés à nouveau (P_2) ce qui nous permet d'en calculer la teneur en eau : $(P_2 - P_1) \times 100/\text{volume}$.

Les os et les dents saturés en eau sont maintenus à demi immergé dans des cuvettes pendant les alternances de gel/dégel et pour compenser l'évaporation qui se produit lors des expériences le niveau de l'eau est constamment entretenu[1].

Dans un premier temps, nous n'avons pas cherché à connaître la nature des vides de chaque pièce tout en ayant à l'esprit que si la porosité totale, la morphologie des vides et la microfissuration sont fondamentaux pour expliquer les effets de l'action du gel sur les calcaires, ces paramètres ne le sont sans doute pas moins dans le cas des échantillons fauniques. Malgré la nature très hétérogène du milieu osseux, nous effectuerons des mesures de porosité au porosimètre à mercure sur des séries d'os afin de caractériser non seulement quantitativement, mais également qualitativement ces vides.

2.3. Les échantillons

Nous les avons choisis (tableau 1) de manière à ce qu'ils représentent le maximum de cas possibles : os frais avec ou sans tendons, os fossiles, complets ou non, os spongieux, os compacts, os longs, os courts, différentes dents.

Échantillon n° 1 (**os frais**).
Il s'agit d'un métacarpe droit de *Bos Taurus* (bœuf) actuel. Il ne présente aucune altération de la surface de l'os ni de fissure sur la diaphyse.

Échantillon n° 2 (**os frais sec**).
Ce tibia et ce tarse droit en connexion de jeune *Capra hircus* (chèvre) actuel possèdent encore la gaine tarsienne, mais les tendons sont secs.

Échantillon n° 3 (**os frais sec**).
Il s'agit d'un métatarse gauche de *Capra Hircus* (chèvre) qui ne présente aucune altération de la surface de l'os ni de fissure sur la diaphyse.

[1] Nous tenons à remercier à ce sujet M. Y. Delehaye pour son aide.

N°	Échantillons	Espèces	Actuel	Fossile*
1	Métacarpe droit	bœuf	✓	
2	Tibia droit et tarse en connexion	chèvre	✓	
3	Métatarse gauche	chèvre	✓	
4	Mandibule gauche portant D_2–M_2	mouton	✓	
5	Fragment d'empaumure	renne	✓	
6	Métacarpe droit + phalanges en connexion	renne	✓	
7	Bois avec restes de velours	renne	✓	
8	Deuxième phalange antérieure droite	cheval		✓
9	Talus (Astragale) gauche	cheval		✓
10	Vertèbre lombaire	cheval		✓
11	Fragment de diaphyse d'os long	grand herbivore		✓
12	D^4 gauche	Boviné		✓
13	$M_{1\text{-}2}$ droite	Boviné		✓

* Roc de Marcamps, Gironde (Magdalénien, fouilles Michel Lenoir).

Tabl. 1

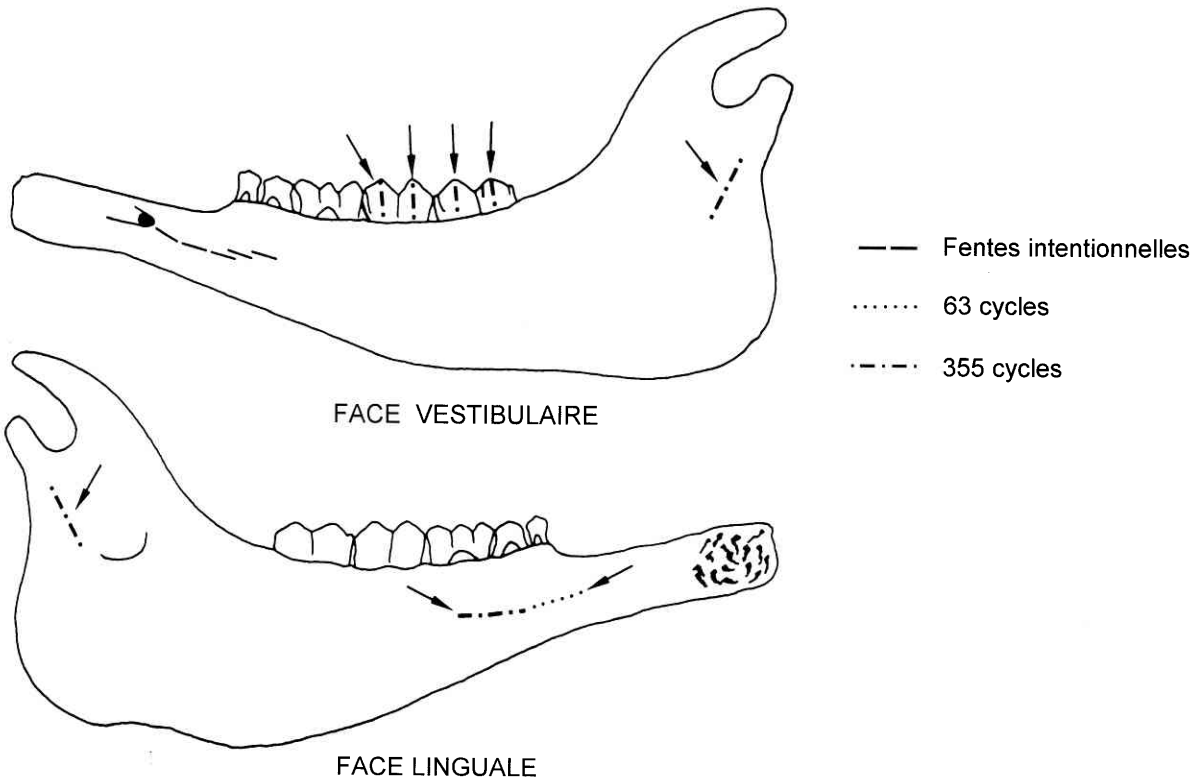

Fig. 2 — Échantillon n° 4 : mandibule gauche de mouton actuel (*Ovis aries*, grandeur naturelle). Position des fissures aux 63e et 355e cycle de gel.

Échantillon n° 4 (**os frais sec**).
Cette mandibule gauche de jeune *Ovis aries* (mouton) actuel porte D_2, D_3, D_4, M_1, M_2 tandis que M_3 n'est pas encore sortie. Les incisives font défaut, il existe une série de 3 fissures intentionnelles (fig. 2) allongées parallèlement à la partie inférieure de la branche horizontale au niveau du trou mentonnier principal et située entre celui-ci et la D_3.

Échantillon n° 5 (**bois frais**).
Ce fragment d'empaumure de *Rangifer tarandus* (renne) actuel provient de Tromsø (Norvège). Sa surface ne porte aucune trace.

Échantillon n° 6 (**os frais sec**).
Ce métacarpe droit de *Rangifer tarandus* (renne) actuel provient d'Alaska. Les premières, deuxièmes et troisièmes phalanges, de même que les métacarpiens et phalanges 1, 2, 3 accessoires sont en connexion. Les tendons, secs, sont conservés. Nous n'avons décelé aucune trace, ni fissure à la partie que nous pouvions voir de la surface des os.

Échantillon n° 7 (**bois frais sec**).
Comme l'échantillon n° 5, ce fragment de merrain de *Rangiler Tarandus* (renne) actuel provient de Tromsø. Il a conservé une partie de son velours. La surface de ce fragment de bois ne porte aucune atteinte.

Échantillon n° 8 (**os fossile complet**).
Cette deuxième phalange antérieure droite d'*Equus caballus gallicus* provient d'un niveau magdalénien du Roc de Marcamps (Gironde, fouilles M. Lenoir). La surface de l'os ne présente que quelques fines fissures qui, semble-t-il, ne se prolongent pas à l'intérieur de l'os.

Échantillon n° 9 (**os fossile complet**).
Ce talus gauche d'*Equus caballus gallicus* ne présente qu'un léger écrasement de la poulie médiale de l'articulation tibiale.

Échantillon n° 10 (**os fossile incomplet**).
Cette vertèbre lombaire d'*Equus caballus gallicus* est amputée de son apophyse épineuse et de ses deux apophyses transverses. Le corps vertébral est intact.

Échantillon n° 11 (**fragment de diaphyse d'os long**).
Il porte sur la face externe 5 fentes parallèles à l'allongement du fragment ainsi que la trace d'un choc situé sur un bord et dirigé de l'intérieur vers l'extérieur.

Échantillon n° 12 (**dent complète**).
Cette D^4 gauche de Boviné est amputée de

sa racine mésio-vestibulaire. Les fossettes sont vides. Cette dent représente à la fois la catégorie des dents déciduales et celles des dents à fossettes creuses de cervidés.

Échantillon n° 13 (**dent complète**).
Il s'agit d'une M_{1-2} droite de Boviné. Les racines font défaut et le flanc vestibulaire du protoconide et de l'hypoconide présente une légère fissure longitudinale.

Nous avons volontairement choisi de traiter des échantillons de nature hétérogène parce que nous ne savions pas si nous allions obtenir des résultats interprétables dans un délai raisonnable. La seconde étape de notre expérimentation étant naturellement principalement axée sur un type de matériel plus homogène.

Avant de présenter les résultats au terme de 355 cycles, il nous faut insister sur le fait qu'ils ne sont que préliminaires car ces expériences sont très longues. Nous allons donc décrire les effets de l'action du gel sans chercher à faire pour le moment des comparaisons directes entre les gélifracts expérimentaux et les fragments récoltés dans les gisements archéologiques.

2.4. L'expérimentation

2.4.1. La teneur en eau

Dans le tableau 2 figurent les résultats des différentes pesées et des teneurs en eau calculées.

N°	Poids sec	Poids après immersion de 48h	Volume	Teneur en eau
1	332,8	289,0		
2	25,6	53,4		
3	15,3	19,3	15	26,7 %
4	35,9	43,0	75	9,5 %
5	74,0	109,9		
6	233,4	298,0		
7	47,0	62,0		
8	38,0	49,0	33	33,3 %
9	96,0	134,8	91	42,6 %
10	70,5	103,2	80	40,9 %
11	58,0	70,4	37	33,5 %
12	17,0	19,9	10	29,0 %
13	15,1	17,2	8	26,2 %

Tabl. 2

N'ayant pu obtenir le volume de tous les échantillons [forme inadaptée ne permettant pas la mesure du volume avec l'installation dont nous disposons (n° 1 et 5), présence de tendons (n° 2 et 6), de velours (n° 7), ...] il nous manque les teneurs en eau de certaines pièces. Nous constatons que les valeurs calculées sont très variables. La mandibule à une faible teneur en eau (9,5 %), le métatarse de chèvre (n° 3) et la M_{1-2} de Boviné (n° 13) ont à peu près la même (respectivement 26,7 % et 26,2 %), la D^4 (n° 12) a une teneur en eau de 29 %. La deuxième phalange de cheval (n° 8) et le fragment de diaphyse d'os long (n° 11) ont à peu près la même teneur en eau (respectivement 33,3 % et 33,5 %), tandis que celle de la vertèbre lombaire (n° 10) est légèrement inférieure à celle du talus (n° 9) [respectivement 40,9 % et 42,6 %]. N'ayant pas pour chaque type d'os des teneurs en eau sur matériel frais et matériel fossile, il n'est pas possible d'esquisser des comparaisons.

2.4.2. Les résultats des cycles de gel/dégel

Nous allons présenter pour chaque échantillon les résultats observés à 63, 104, 355 et 596 cycles. Les pièces n° 1, 3 et 4 ont été extraites de l'enceinte thermique entre le 447e et le 596e cycle.

Échantillon n° 1
Au 63e cycle nous n'avons pas observé de modification de la surface de l'os. En revanche, on note l'apparition d'une fente longitudinale de 110 mm de long sur la face antérieure en position médiale par rapport au sillon. Elle débute sous le tubercule de l'extenseur radial du carpe et se poursuit vers l'extrémité distale. Au cours des 384 cycles suivant cette fente, qui s'est accentuée vers le bas (117,0 mm de long et 2,0 mm de large), atteint la partie interne de la diaphyse.

Échantillon n° 2
Dès le 63e cycle, l'articulation tibio-tarsienne a repris de la souplesse et on observe la séparation de l'épiphyse proximale du tibia. Au 104e cycle, toutes les épiphyses se sont détachées. Au 355e cycle, nous avons noté l'apparition de plusieurs fentes verticales : la première (longueur inconnue) parcours la diaphyse dans le trou nourricier, la seconde (3,0 mm de long) intéresse le bord postérieur du trou nourricier tandis que la troisième (41,0 mm de long) part du trou nourricier et se prolonge vers le bas et vers l'avant. La surface des os (à l'exception de la diaphyse du tibia) se corrode et on peut voir la partie spongieuse en de nombreux endroits. Au 596e cycle, les fissures ne se sont pas beaucoup accentuées alors qu'une fente verticale est apparue (env. 10,0 mm de long) sur la face antérieure de l'extrémité distale

de la diaphyse du tibia. La corrosion de la partie dure des os se poursuit. On note l'absence de débris dans la cuvette où repose l'échantillon.

Échantillon n° 3

On constate, au 63e cycle, l'existence d'une très légère fissure sur la face postérieure de l'os au niveau de la soudure entre les deux métatarsiens. Au 104e cycle, une fente est apparue sur la face externe du métatarse; elle débute à 15,0 mm sous l'extrémité proximale et se poursuit sur 60,0 mm vers l'extrémité distale. Il existe également une fissure dans la coulisse antérieure du côté interne, sous le foramen. La petite fissure sur la face postérieure n'a pas évolué. Au cours des 343 cycles suivants, la fente située sur la face externe du métatarse a progressé vers le haut et débute maintenant à 8,0 mm de l'articulation. Sa longueur atteint 68,0 mm.

Échantillon n° 4

Les fissures intentionnelles situées entre le trou mentonnier principal et la D_3 s'accentuent dès le 63e cycle. Sur la face linguale et au même niveau apparaît une légère fente (fig. 2). Au 104e cycle, nous observons une accentuation de la fissure linguale alors que les fentes vestibulaires se poursuivent vers l'arrière. On note l'apparition de deux fissures obliques sur la branche montante : la première, linguale, située postérieurement sur foramen mandibulaire, est parallèle à la fosse pterigoïdienne et mesure 20,0 mm de long. L'autre sur la face vestibulaire possède la même orientation et la même longueur (fig. 2). Pendant les 343 cycles suivants toutes les fissures s'accentuent. Le flanc vestibulaire des protoconide et hypoconide des M_1 et M_2 est fendu de haut en bas (fig. 2).

Échantillons nos 5 et 7

Après 596 cycles de gel/dégel, on n'observe aucune modification de ces deux échantillons.

Échantillon n° 6

Au 63e cycle, nous n'avons obtenu aucune modification mais ce spécimen a commencé à se corrompre dans la chambre froide, ce qui nous a obligé à le retirer et à l'enterrer.

Échantillon n° 8

Pendant les 63 premiers cycles, quelques esquilles d'os se sont détachées de la partie proximo-postérieure de la phalange (fig. 3). Ces fragments mesurent moins de 10,0 mm de long. 41 cycles plus tard, l'esquillage de la partie postérieure s'est poursuivi. Les dimensions des fragments sont les mêmes que précédemment. Au cours des 292 cycles suivants la phalange s'est coupée en deux dans le sens de la hauteur. Le fragment latéral s'est brisé en de nombreux morceaux et des fentes longitudinales apparaissent sur le fragment médial (fig. 3). 241 cycles après, la phalange est réduite en fragments dont les 4 plus grands ne dépassent pas 37,0 mm de long (tableau 3).

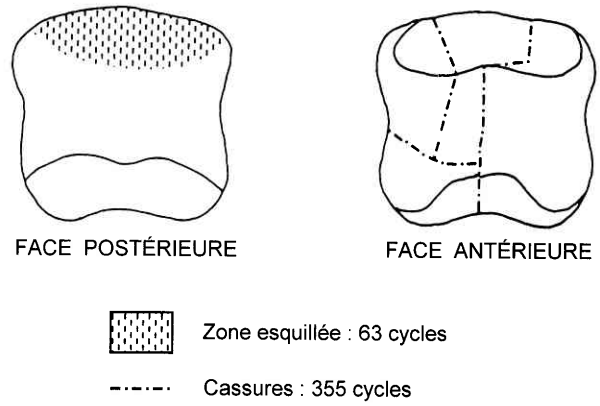

Fig. 3 — Échantillon n° 8 : deuxième phalange antérieure droite de cheval fossile (*Equus caballus gallicus*). Position de la zone esquillée (au 63e cycle de gel) et de cassures (au 355e cycle de gel).

Longueur (mm)	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)
37,0	20,0	15,0
36,0	16,0	8,5
32,0	25,0	10,0
26,0	19,0	19,0

Tabl. 3

Échantillon n° 9

Au cours de 63 premiers cycles de gel/dégel, le talus s'est coupé en deux longitudinalement au niveau de la gorge de l'articulation tibiale (fig. 4). Pendant les 41 cycles suivants, une cassure s'est développée sur le fragment latéral depuis l'articulation calcanéenne jusqu'à la partie supérieure de la trochlée tibiale. Sur le fragment médial, une fente s'allonge de la trochlée plantaire à la partie inférieure de la trochlée tibiale (fig. 4). Au 355e cycle, l'échantillon a été réduit en de nombreux fragments. Au 596e cycle, quelques morceaux (4 ou 5) sont encore identifiables, les autres n'étant que des bouts d'os spongieux. Les dimensions des plus gros fragments figurent au tableau 4.

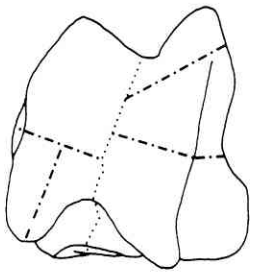

Fig. 4 — Échantillon n° 9 : talus (astragale) gauche de cheval fossile (*Equus caballus gallicus*). Position des cassures aux 63e et 355e cycles de gel.

Longueur (mm)	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)
50,0	40,0	20,0
33,0	27,0	11,0
29,0	26,0	20,0
26,0	19,0	14,0
23,5	22,0	23,0

Tabl. 4

Échantillon n° 10

En 63 cycles, il ne s'est produit qu'une fine fente longitudinale à la partie inférieure de l'arc neural. Au 104e cycle, nous n'avons observé que peu de modifications. En plus de la fissure évoquée précédemment, nous ne constatons que la présence d'une petite fente transversale à la partie supérieure du disque articulaire rostral. Au cours des 251 cycles suivants, nous n'observons que peu de modifications, si ce n'est un esquillage de la partie inférieure (crâniale et caudale) du corps vertébral, une fissuration du disque articulaire crânial et à un moindre degré du disque articulaire caudal. Les fragments obtenus ne mesurent pas plus 1,0 mm de long sur 0,2 à 0,5 mm de large. 241 cycles après, toute la partie inférieure crâniale de la vertèbre est grignotée, l'os spongieux étant mis au jour. La partie caudale de la base du corps vertébral est fendue et de minuscules esquilles s'en sont détachées.

Échantillon n° 11

Au 63e cycle, la fente principale n'a pas évolué. À la surface externe, s'est formée une esquille plate (70 mm × 20 mm) à partir de la fente principale. Plusieurs esquilles allongées se sont détachées de la surface interne. Les dimensions des cinq plus grandes esquilles sont 33,0 mm × 10 mm; 27,0 mm × 3,0 mm; 25,0 mm × 5,0 mm; 21,0 mm × 4,0 mm; 16,0 mm × 3,0 mm. 41 cycles plus tard, on note l'apparition de fentes longitudinales de la dimension de l'échantillon qui aboutissent à la formation d'esquilles allongées épaisses de 3 à 4,0 mm. Toutefois on constate également l'apparition d'esquilles beaucoup plus plates (2 à 3 mm d'épaisseur). Le fragment qui s'était détaché dès le 63e cycle est maintenant parcouru d'une fente longitudinale. Au 355e cycle, l'échantillon est réduit en un monceau d'esquilles (n = 339) allongées, étroites, extrêmement minces pour la plupart (fig. 5).

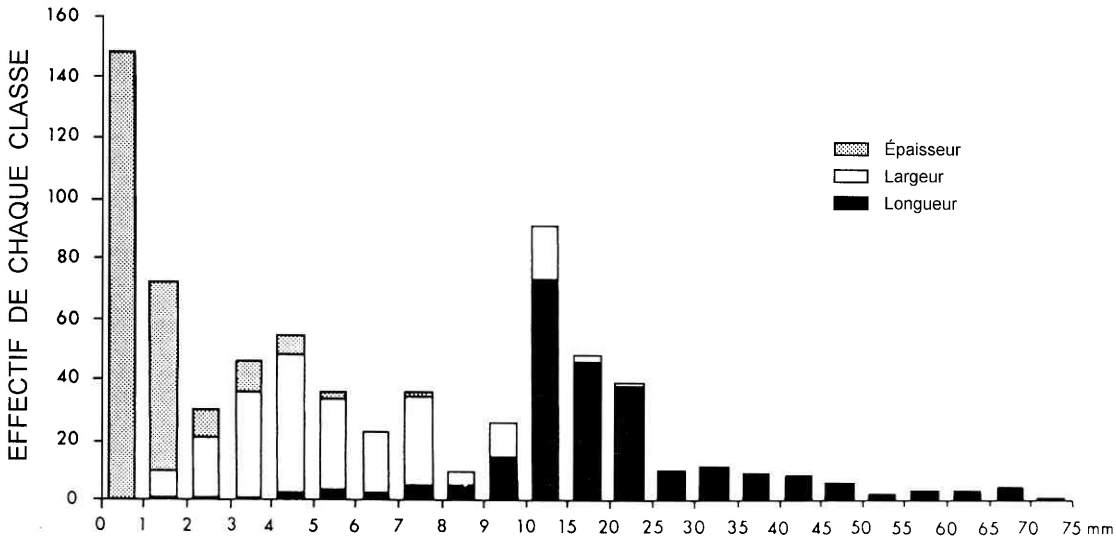

Fig. 5 — Échantillon n° 11 : portion de diaphyse dos long fossile (grand ongulé). Répartition par classes de taille des longueur, largeur et épaisseur des gélifracts au 355e cycle de gel.

Échantillon n° 12

La dent a très rapidement (63 cycles) explosé en 10 fragments dont le plus gros mesure 51,5 mm de long et 25,0 mm de large. Au cours des 292 cycles suivants, la fragmentation se poursuit, le nombre de fragments encore identifiables (et mesurables) est de 72 (fig. 6, 7 et 8).

Échantillon n° 13

Les deux fentes longitudinales présentes sur le flanc vestibulaire de la dent n'ont pas évolué pendant les 63 premiers cycles. Il existe une petite fissure longitudinale sur le flanc mésial de la molaire. Au 104e cycle, l'émail de la face linguale de la dent s'est détaché en emportant un peu d'ivoire. Au 355e cycle, après

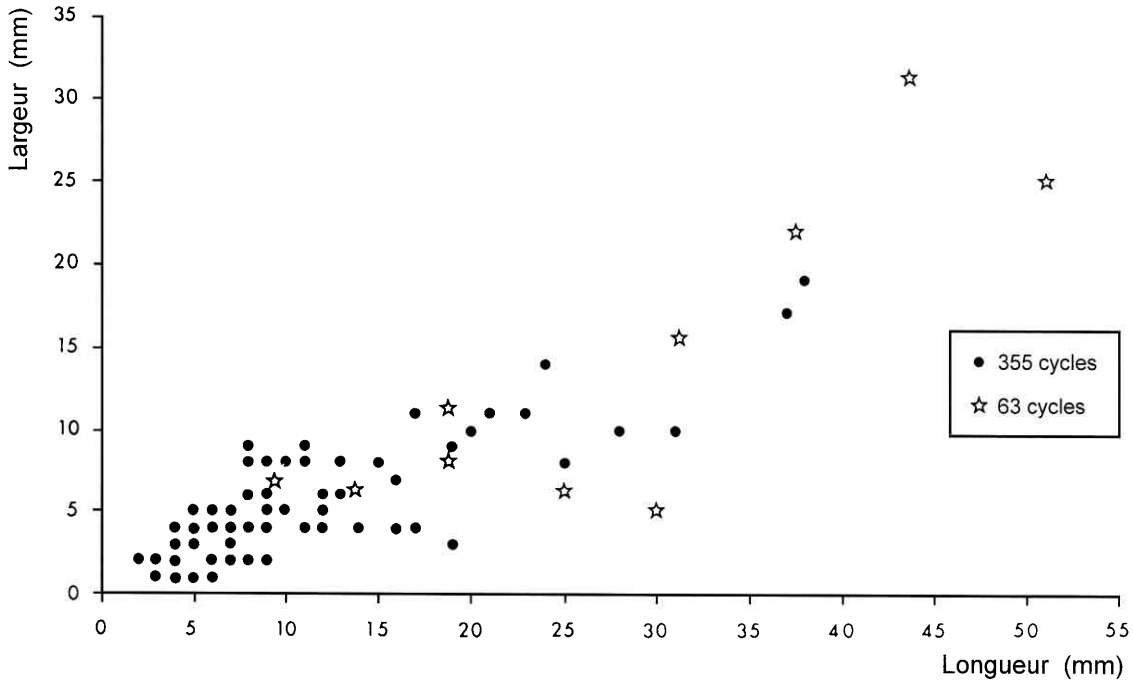

Fig. 6 — Échantillon n° 12. D^4 gauche de *Bovinae* fossile. Dimensions des gélifracts aux 63e et 355e cycles de gel.

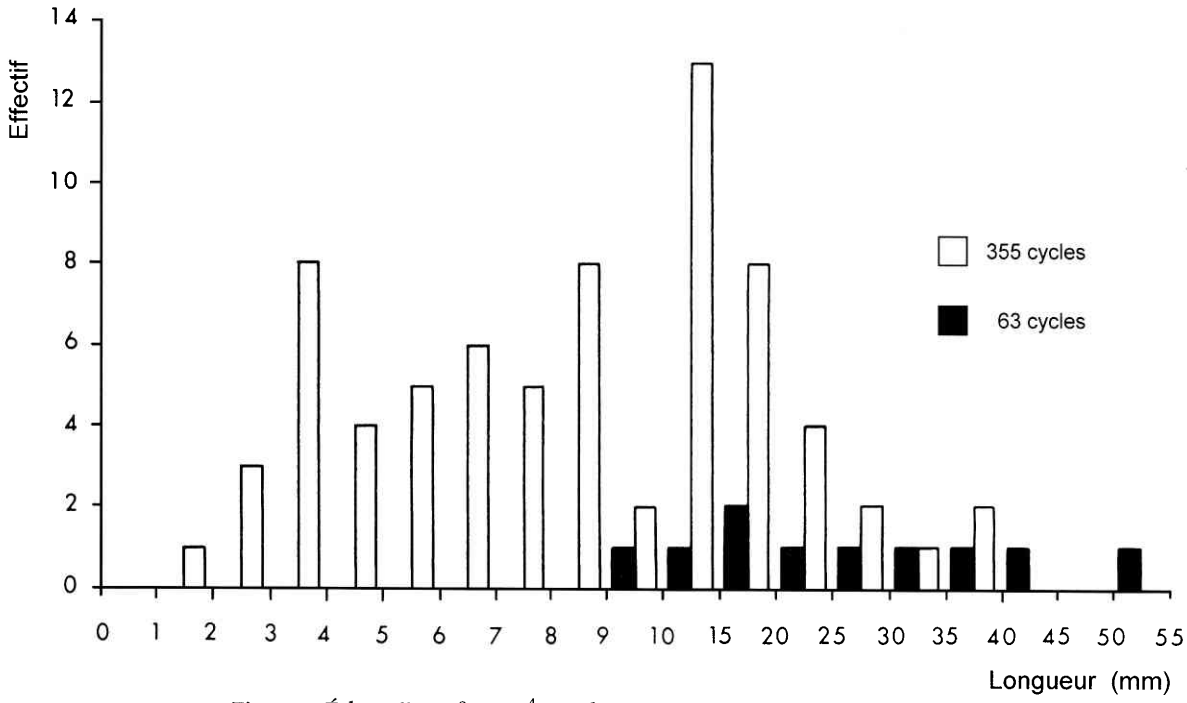

Fig. 7 — Échantillon n° 12. D^4 gauche de *Bovinae* fossile. Répartition par classes de taille des longueurs des gélifracts aux 63e et 355e cycles de gel.

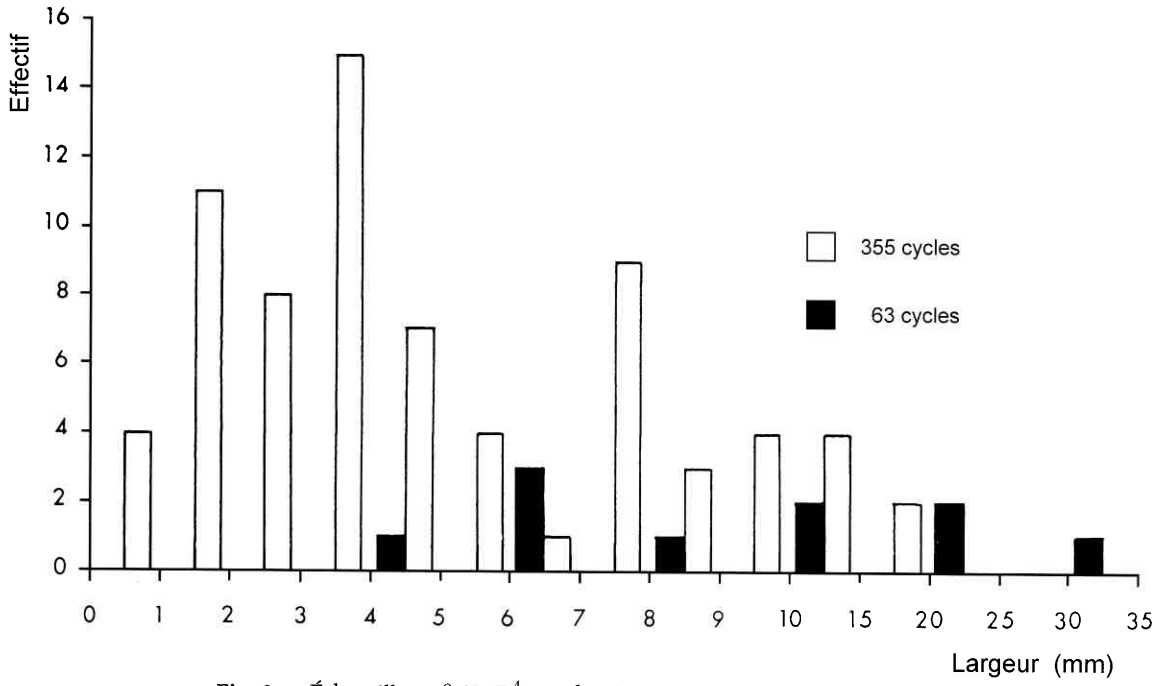

Fig. 8 — Échantillon n° 12. D^4 gauche de *Bovinae* fossile. Répartition par classes de taille des largeurs des gélifracts aux 63e et 355e cycles de gel.

le détachement de la face linguale, le reste de la dent s'est fracturé : la face vestibulaire s'est détachée, puis cassée longitudinalement. Les deux fossettes se sont séparées, celle antérieure emportant toute la face mésiale de la dent. Au 596e cycle, on compte 23 fragments, dont les deux fossettes intactes. Les dimensions figurent au tableau 5.

Longueur (mm)	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Nature du fragment
20,0	5,5	2,5	ivoire
15,0	4,0	2,5	émail
14,0	3,0	2,0	cément
14,0	3,0	2,0	émail
12,0	5,0	1,3	émail
9,0	6,5	1,0	ivoire
9,0	3,6	1,6	ivoire
8,0	3,0	1,0	cément
6,5	4,0	0,5	cément
6,0	4,5	0,5	ivoire
5,0	6,0	0,5	cément
4,5	2,0	0,5	ivoire
4,0	4,0	0,5	cément

Tabl. 5

3. Conclusions

Cette première expérience démontre tout d'abord que le gel est efficace. Ainsi l'hypothèse initiale de travail trouve, à des degrés divers, une réponse positive.

Nous avons pu constater que des gélifracts expérimentaux ont des morphologies identiques à celles de fragments archéologiques. Par exemple la faune du gisement de Baume-Vallée en Haute-Loire (fouilles Jean-Paul Raynal) que l'un de nous étudie (J.-L. Guadelli) renferme des fragments dentaires en tous points semblables à ceux obtenus dans la chambre froide du Centre de Géomorphologie.

Il faut toutefois insister sur le fait que ces résultats ne sont que *préliminaires* et qu'il faut poursuivre nos expériences. Tous les échantillons n'ont pas réagi de la même façon; il va falloir, entre autres, expliquer pourquoi les ossements de jeune mouton se sont dégradés sans produire le moindre fragment, ou pourquoi le corps vertébral n'a été sujet qu'à un simple esquillage alors que le talus (astragale) ou la deuxième phalange ont été réduits en un monceau de petits fragments d'os.

Les expériences futures rendues nécessaires par nos premiers résultats viseront à résoudre certains problèmes plus spécifiques. Parmi les trois paramètres du protocole initial, nous ne ferons pas varier la vitesse de descente des températures car nous avons adopté celle qui se rapproche le plus des conditions naturelles. En revanche pour caractériser le rôle des deux autres paramètres, nous soumettrons aussi des échantillons à des cycles gel / dégel entre − 12 °C

et +12 °C et nos essais se feront avec des teneurs en eau différentes. Il nous faudra également déterminer les caractéristiques physiques, essentiellement la porosité, de nos échantillons. Il s'agit, *grosso modo*, de mettre en évidence si, pour un même type d'os ou de dent, la porosité augmente avec la fossilisation.

Enfin avant de chercher à comparer directement les gélifracts obtenus dans la chambre froide du Centre de Géomorphologie à ceux fossiles, nous allons préparer une expérience en milieu naturel en contexte aussi proche que possible des conditions périglaciaires.

Bibliographie

LETAVERNIER G. & OZOUF J.-Cl., 1980. *Définition des normes d analyses physiques de roches. II. Définition de normes d'analyses de roches pour les géographes*. Rapports multigraphiés. Caen, Centre de Géomorphologie du CNRS : 22 p.

LETAVERNIER G. & OZOUF J.-Cl., 1982. Experimental frost shattering. 15 years of research at the Centre de Géomorphologie du CNRS. *Progress in Physical Geography*, **6** (2) : 215–232.

LETAVERNIER G. & OZOUF J.-Cl., 1987a. La gélifraction des roches et des parois calcaires. *Bull. A.F.E.Q.*, **3** : 139–145.

LETAVERNIER G. & OZOUF J.-Cl., 1987b. Résultats des recherches récentes sur la gélifraction des calcaires. *Inter-Nord*, **18** : 53–63.

OZOUF J.-Cl., 1983. *Comparaison de gélifracts naturel de grèzes charentaises et de gélifracts fabriqués. Étude expérimentale et traitement statistique. Application des méthodes d'analyse des données*. Thèse de Doctorat de troisième cycle, Université de Caen : 184 p.

Adresse des auteurs :

Jean-Luc GUADELLI
Institut du Quaternaire
URA CNRS
133, Avenue des Facultés
F–33405 Talence cedex (France)

Jean-Claude OZOUF
Centre de Géomorphologie du CNRS
Rue des Tilleuls
F–14000 Caen (France)