

EFFETS DE LA PRESSION
BAROMETRIQUE
SUR LA CREPIDULE
(*CREPIDULA FORNICATA*)

MICHEL BLANCHARD
IFREMER-BREST
JUN 1994

RAPPORT DEL 94.11

AVANT-PROPOS

L'élimination de la crépidule est une préoccupation majeure de la part de nombreux ostréiculteurs. Que leurs concessions soient sous 10 mètres d'eau, comme à Cancale, ou sur l'estran, elles sont de plus en plus envahies par ce gastéropode proliférant. Les professionnels sont obligés de procéder à de fréquents nettoyages. Le problème qui se pose alors est le devenir du produit ainsi débarqué. Très peu de solutions intéressantes sont actuellement proposées, en dehors de l'écrasement et de l'enfouissement dans les terrains agricoles, pour la culture des primeurs comme cela se pratique au Vivier-sur-Mer.

Le rejet au large, par grande profondeur, est une solution qui fut proposée par des ostréiculteurs charentais. Les crépidules immergées par des fonds de 2000 mètres subiraient une pression barométrique élevée, qui leur serait fatale. Il serait ainsi possible de procéder à la destruction d'importants tonnages sur le littoral.

Cette proposition de solution méritait de la part de la Direction de l'Environnement Littoral de l'Ifremer une réflexion et une réponse, sur la résistance de cette espèce aux pressions subies par de telles profondeurs.

Ce rapport fait le bilan des essais de surpressions, réalisés à cette occasion au centre Ifremer de Brest.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie le Service de Qualification et Essais (DITI.GO.QE) pour la réalisation de ces essais, et notamment MM. Y. Le Guen, C. Siméant et E. Person.

SOMMAIRE

I - PROBLEMATIQUE

- I-1 Présentation de l'espèce
- I-2 Prolifération
- I-3 Impact en conchyliculture
- I-4 Lutte
- I-5 Elimination par immersion
 - I-5.1 Répartition bathymétrique de l'espèce
 - I-5.2 Quelques données bathymétriques

II - EXPERIMENTATIONS

- II-1 Principe
- II-2 Matériels et méthodes
 - II-2.1 Caissons hyperbares
 - II-2.2 Origine des animaux
 - II-2.3 Mesure de la respiration
 - II-2.4 Surpressions

III - RESULTATS

- III-1 Effet de la pression en milieu clos
 - III-1.1 Tests de quelques minutes
 - III-1.2 Tests de quelques heures
- III-2 Effet de la pression avec circulation d'eau
 - III-2.1 50 bars/4 jours
 - III-2.2 100 bars/8 jours
- III-3 Effet de la pression sur des lots sans support

IV - DISCUSSION

V - CONCLUSIONS

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

I - PROBLEMATIQUE

I-1 Présentation de l'espèce

La crépidule (*Crepidula fornicata*) est un gastéropode marin, de 5 à 6 cm de longueur, introduit accidentellement depuis une cinquantaine d'années sur notre littoral. Sa coquille calcaire est convexe et fine. A l'intérieur, une cloison horizontale (septum), calcaire elle aussi, sépare les viscères et le pied. Celui-ci est en contact avec le substrat et assure son adhésion.

Les individus de cette espèce présentent plusieurs particularités, dont la plus apparente est liée à son comportement unique dans le règne animal. En effet, ces animaux se superposent les uns les autres, plus ou moins verticalement, et restent ainsi immobiles durant toute leur vie, formant une chaîne (fig.1). En position fermée, le bord de la coquille de chaque individu épouse étroitement la courbure de celle qui est en dessous. Ils ne se soulèvent légèrement, de 2 à 3 mm, que pour aspirer l'eau dans laquelle ils puisent oxygène et nourriture phytoplanctonique, puisque ce sont des mollusques filtreurs.

I-2 Prolifération

Le problème posé par cette espèce vient de sa prolifération. Depuis cinquante ans, elle prolifère sur nos côtes, et s'étend dans les zones qu'elle a colonisées, d'abord lentement, puis de façon plus rapide si le milieu lui est favorable. Plusieurs raisons expliquent cette prolifération:

a) Si son terrain de prédilection correspond à un fond de baie abrité, la crépidule se caractérise par une très grande tolérance vis à vis des variations de facteurs de son environnement, ce qui lui permet de s'adapter parfaitement dans la quasi totalité des biotopes où elle est importée. Ainsi, elle tolère des salinités de 20‰ à plus de 35 ‰, des substrats variés, qu'ils soient vaseux, de sables fins propres jusqu'aux plus grossiers, des profondeurs de 0 à 30 mètres le plus souvent, une alimentation non sélective, des taux d'oxygène pouvant descendre très bas (Damerval 1985, fig.2). De plus, elle est eurytherme, puisqu'on la trouve répartie sur une grande échelle de latitude, du Danemark au Sénégal.

b) Plusieurs caractères biologiques favorisent directement sa prolifération. Cette espèce est hermaphrodite, et un même individu présente donc des caractères des deux sexes au cours de sa vie. Ceci permet de trouver à l'intérieur d'une même chaîne et simultanément, des individus mâles et femelles. La fécondation est directe entre partenaires et les gamètes ne sont donc pas émis dans le milieu, comme c'est le cas dans la plupart des autres espèces de coquillages marins, d'où une potentialité de reproduction accrue. Les individus juvéniles libérés, le sont sous forme de larves nageuses qui sélectionnent leur substrat, pour une meilleure métamorphose.

Ces deux caractères d'ubiquité et de potentialité de reproduction, joints à l'absence de prédateurs spécifiques connus, lui permettent de proliférer au détriment des espèces en place, qu'elles soient sauvages ou cultivées.

I-3 Problèmes engendrés en conchyliculture

Depuis son arrivée sur nos côtes, la crépidule est un parasite des milieux conchylicoles, surtout ostréicoles, puisqu'elle colonise les mêmes milieux que ceux utilisés pour la culture des huîtres, à savoir, des estrans à faibles pentes, ou des fonds de quelques mètres, à salinité variable, à forte teneur en matière organique, et au substrat plus ou moins envasé. Elle occupe également des secteurs infralittoraux dans des baies ou des estuaires abrités.

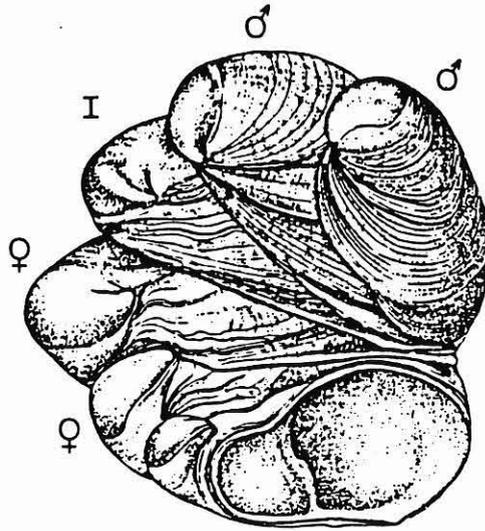


fig.1 Chaine de crépidules

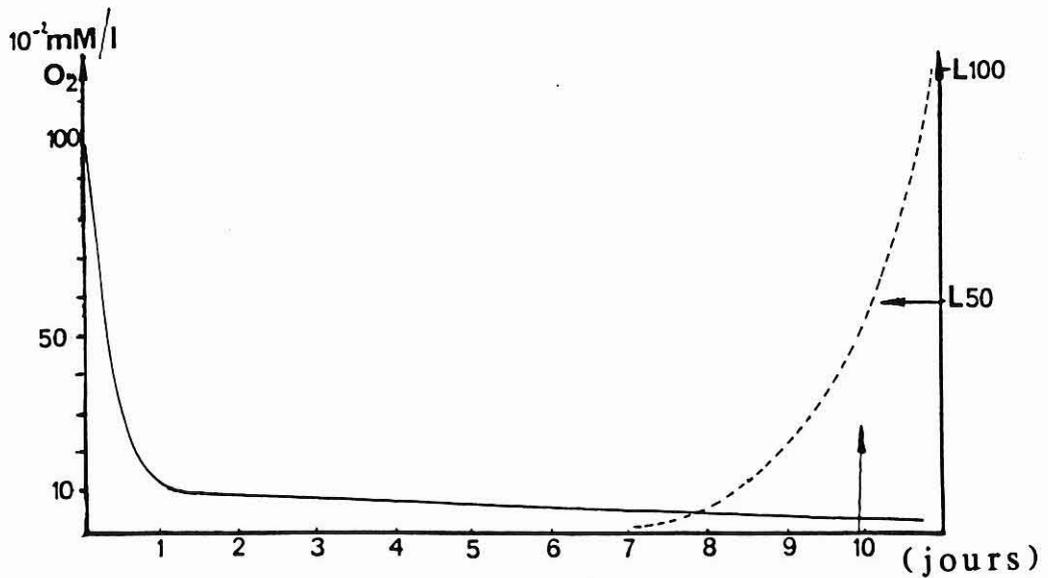


fig.2 : Mortalité et O₂ à 6°C pour la Crépidule.

(DAMERVAL 1985)

Dans les secteurs conchylicoles où elle prolifère, la crépidule pose différents problèmes aux professionnels:

- occupation d'espaces rendus inexploitable, stérilisés par des populations denses,
- exhaussement des fonds du fait des densités présentes,
- compétition trophique au détriment des élevages,
- obligation de tri pour des volumes de plus en plus importants lors des dragages,
- apport de biodépôts supplémentaires, qui augmentent le taux de matière organique,
- détrocages des bivalves commerciaux sur lesquels ce coquillage parasite s'est fixé,
- etc.

I-4 Lutte contre cet envahisseur

Confrontés, plus que toute autre profession, à des obligations de nettoyage de leurs concessions, les ostréiculteurs éliminent les crépidules récoltées conformément au décret du 30/12/1932, qui les oblige à mettre à terre ce parasite et à le détruire. Un nettoyage de trois heures dans les parcs en eau profonde de Cancale suffit pour ramener à terre 15 tonnes de crépidules! Devant la nécessité de procéder à des nettoyages de plus en plus fréquents, et portant sur de gros volumes, pour éliminer cette espèce indésirable, la mise en décharge ne suffit plus et différentes solutions sont proposées pour utiliser ce produit récolté, (comblement de carrière, enfouissement dans les champs après broyage, "empierrement" de chemin etc...). Si de plus en plus d'espoirs sont mis dans la valorisation par l'utilisation de la coquille comme amendement calcaire, et l'utilisation de la chair dans l'alimentation animale, la phase d'exploitation industrielle de ces procédés est encore trop éloignée pour résoudre les problèmes immédiats.

I-5 Proposition d'élimination par immersion

Parmi différentes solutions d'élimination, le rejet au large par grande profondeur (1000 voire 2000 m) fut proposé au cours d'une réunion, par des ostréiculteurs de La Rochelle. Il s'agissait de ramasser de grosses quantités par suceuse, puis de les immerger aussitôt dans les grands fonds relativement proches. Ces animaux habitués à vivre sur le littoral, ne devraient pas résister pas à la pression s'exerçant au fond. Cette solution d'élimination, a priori intéressante, méritait de notre part, quelques études préliminaires pour s'assurer de l'efficacité de cette solution, et en étudier les conséquences, car le risque de dissémination supplémentaire d'une espèce proliférante comme celle-ci, est en effet trop grand pour ne pas prendre le maximum de précautions.

I-5.1 Répartition bathymétrique de la crépidule

En Manche, divers travaux donnent des indications sur la répartition bathymétrique naturelle de cette espèce. Elle est récoltée généralement à la côte, et le plus souvent dans des profondeurs inférieures à 20 mètres. Ainsi, sur près de 400 stations, nous avons pu observer une différence de densité moyenne selon la profondeur devant Granville: 100 individus m⁻² entre 0 et 10 mètres, et 56 au delà de 10 mètres (Blanchard et al.1986). De Kergariou et al. (1979), sur les gisements coquilliers de Manche orientale, notent des densités relativement importantes, par 60 mètres de fond, dans l'ouest-sud-ouest de Newhaven. Cette observation est la seule, à notre connaissance, qui donne une telle profondeur, bien que les pêcheurs nous disent en récolter au milieu de la Manche dans des secteurs plus profonds.

I-5.2 Quelques données bathymétriques

En Atlantique, le plateau continental qui longe les côtes de France est de plus en plus étroit au fur et à mesure que l'on se rapproche des Pyrénées. Devant St Jean de Luz, les fonds de 2000 mètres sont à 80 km.

L'isobathe des 200 m, marquant le début des accores est au minimum à 170 km de La Rochelle, et celui de 1000 m à environ 200 km (fig.3). La pente est ensuite très raide, jusqu'à un plateau à -4000 m. C'est au début de cette pente, aux alentours de 1000-2000 m. de profondeur, que l'immersion était envisagée, puisque la durée du transit devait être minimale, pour un moindre coût. Une suceuse naviguant à dix noeuds mettrait, au minimum, 11 heures pour se rendre sur le site de rejet; il faudrait donc prévoir au départ de La Rochelle un transit sur 24 heures, d'une pleine mer à une autre.

Si cette solution d'immersion est envisageable en Atlantique où les fonds de 1000 m sont à moins de 200 km du continent, elle ne l'est pas en Manche où les fonds ne dépassent pas 100 m sauf dans la fosse des Casquets, au large du Cotentin.

II- EXPERIMENTATIONS

II-1 Principe

Avant de mettre en pratique cette solution d'élimination, par rejet au large, il avait été convenu que l'Ifremer procéderait à des essais pour connaître le comportement de la crépidule par 1000 ou 2000 mètres de profondeur, et vérifier ainsi sa mortalité. Il s'agissait donc, par quelques expérimentations de laboratoire, de soumettre les animaux à une pression équivalente à celle subie à ces profondeurs, et d'en observer la réaction, soit comportementale (mortalité, mobilité, déformation...) soit physiologique (excrétion, respiration...). De ces premiers résultats dépendait la poursuite des travaux de nettoyage dans les parcs charentais.

II-2 Matériels et méthodes

II-2.1 Caissons hyperbares

L'Ifremer dispose dans son centre de Brest, d'un laboratoire spécialisé dans les essais hyperbares, pour tester divers matériels destinés aux grandes profondeurs. Ce laboratoire appartenant à la Direction de l'Ingénierie de la Technologie et de l'Informatique (DITI) est doté de plusieurs caissons, dont les pressions d'utilisation varient de 50 à 2400 bars (cf annexes). Des essais de pression de 100 à 500 bars furent programmés, ce qui correspond à des profondeurs de 1000 à 5000 mètres. (Une variation de pression de 1 bar, ou 1 atmosphère, correspond à la variation d'une hauteur d'eau de 10 mètres).

Le petit caisson clos de 1000 bars, monte en pression de façon automatique. Sa température peut être réglée de 2 à 50 degrés. Le volume de la chambre de mesure est d'environ 50 litres. L'eau de mer n'y est pas renouvelée durant l'expérience.

Le caisson de 600 bars peut être monté en pression manuellement. L'eau de mer du caisson y est renouvelée automatiquement à la vitesse maximale de 5 litres par minute, et la température peut être réglée entre 2 et 50 degrés.

Ces deux caissons ont été utilisés pour nos essais, le premier du 13 au 20 septembre 1993, le deuxième du 25 février au 14 mars 1994. Un essai complémentaire fut réalisé le 1^{er} juin.



fig.3 Carte des fonds devant La Rochelle

II-2.2 Origine des animaux

Les crépidules soumises à cette expérimentation provenaient d'un même échantillon, pêché en rade de Brest le 9 septembre 1993, près de la bouée du Bindy, dans l'entrée du chenal de l'Aulne, à une profondeur de 10 mètres. Ces animaux, ramenés au laboratoire, furent stockés en eau courante et oxygénée par bullage d'air, à la température ambiante et sans addition de nourriture.

Les colonies d'animaux se présentaient normalement en chaînes de 5 à 6 individus de petite taille (L.max. 45mm). Les juvéniles, issus de la ponte de 1993, étaient nombreux et très mobiles dans le bac de stockage.

II-2.3 Mesure de la respiration et du comportement

Deux critères de caractérisation de l'état de santé des animaux ont été retenus au cours de ces essais: d'une part une modification du comportement au travers de la mobilité, et d'autre part la mesure de la respiration. La mortalité peut se traduire ici par l'immobilité prolongée des individus, la séparation des individus entre eux (manque d'adhésion du pied), ou plus simplement par l'immobilité du pied et de la tête. En effet, la tête est généralement très mobile quand l'animal est actif: les tentacules s'agitent et l'ensemble de la tête se balance continuellement de gauche à droite.

Parmi les effets physiologiques de stress, la variation de consommation d'oxygène, paraît être le critère le plus simple à analyser, et fait partie des indices généralement suivis dans les travaux de ce type. Cette analyse se fait en milieu clos, en immergeant les individus dans un récipient d'un litre où plonge une sonde de mesure de l'oxygène, munie d'un agitateur (modèle Orbisphère 2610). Un enregistrement graphique du résultat est réalisé. La durée de cette mesure est fixée à une heure selon la technique en vigueur dans le laboratoire. Les animaux ont été soumis à cette mesure à leur sortie du caisson de pression, et le résultat a été comparé à celui d'animaux témoins qui n'avaient pas subi ce stress. Les résultats sont rapportés à un gramme de chair sèche, par séchage en étuve à 60° pendant 48 heures.

La consommation d'oxygène de l'animal est mesurée en tenant compte de la consommation propre de la sonde (= "dérive"), et de celle des autres particules vivantes contenues dans l'eau de mer.

Plusieurs chaînes sont analysées à chaque test. Chaque chaîne utilisée, comprenant deux à trois animaux, est toujours supportée par une coquille vide, pour éviter d'apporter, en l'ôtant, un stress supplémentaire. Un seul essai sera réalisé en fin d'expérimentation, avec des animaux sans support.

II-2.4 Surpressions réalisées

Les pressions exercées doivent correspondre aux profondeurs d'immersion envisagées, soit au minimum 100 bars, (équivalent à 1000 m), et dans des conditions de durée variable, pour tenter de distinguer une mortalité éventuelle, due au choc de pression lui même (quelques minutes suffisent dans ce cas), et une mortalité due aux effets indirects de la pression, sur la physiologie de l'animal. Plusieurs tests ont donc été réalisés:

tests de courte durée: 10 minutes à 100, 200 et 500 bars

tests de longue durée: 24, 48 et 72 heures à 100 bars

tests de très longue durée: 4 et 8 jours à 50 et 100 bars

III- RESULTATS

Mortalité: Au cours des diverses expériences, sur environ une centaine d'individus testés, seule une dizaine de petits sont morts le 15/03, et un adulte le 1/06. Tous les autres ont survécu aux chocs, et ont présenté a posteriori, un comportement identique à celui de lots témoins.

Respiration: Les résultats de respiration sont exprimés ci-dessous en μg d'oxygène consommé, par heure et par gramme de chair sèche. Les valeurs pour les différents lots sont données en annexe. La respiration n'est mesurée que sur une partie des lots soumis à la pression.

III-1 Effets de la pression en milieu clos

III-1.1 Tests de quelques minutes

Les tests de courte durée, se sont déroulés dans un caisson où l'eau de mer n'est pas renouvelée. On considère que pendant une durée de quelques minutes de test, les paramètres du milieu, notamment l'oxygène, ne devraient pas varier de façon significative. La température y était de 18 degrés environ. La respiration (R) était mesurée avant et aussitôt après la sortie du caisson. Les durées de compression (C) et de décompression (D) étaient identiques pour les divers tests.

Lot	Durée	C	D	R ₀	+ 100 bars	+ 200 bars	+ 500 bars	+ repos 16 h
1	10'	10'	20'	0,018		0,054		0,054
2	10'	10'	20'	0,054	0,036			0
6	12'	10'	20'	0,09			0,06	---
7	12'	10'	20'	0,189			0,210	---

Respiration en μg d'oxygène consommé par heure et par gramme de chair sèche.

Après une surpression de 100 bars ou de 200 bars, les animaux présentent une consommation d'oxygène. Elle est trois fois supérieure au témoin, dans le lot 1, mais inférieure d'un tiers dans le lot 2. La surpression de 500 bars ne semble pas engendrer de différence majeure de respiration par rapport aux témoins: un des résultats est légèrement supérieur, l'autre inférieur à celui des témoins.

(Après 16 heures de repos en circuit ouvert, la consommation du lot n°2 apparaît nulle. En effet les animaux sont restés fermés pendant la mesure. Ils se sont entrouverts quelques minutes après et semblaient se comporter alors de façon tout à fait normale)

III-1.2 Tests de quelques heures

On pouvait s'attendre ici, à des effets physiologiques (métabolisme respiratoire), ou comportementaux, du fait que les paramètres de l'eau, qui se trouve dans le caisson (O_2 , température, ammoniacque issu de l'excrétion, etc) varient au cours du temps à cause de la présence prolongée des animaux et rendent progressivement ce milieu nocif, voire toxique. La température était de 14° C.

Lot	Montée	Descente	Témoin	+ 24 h.	+ 48 h.	+ 72 h.
9	10'	20'	0,045			
11	10'	20'		0,0649		
12	"	"		0,0656		
13	"	"		0,1636		
14	"	"		0,1895		
15	10'	2'			0,2897	
16	"	"			0,3765	
17	10'	10'				0,1820
18	"	"				0,2160

Respiration (en ppm/h/g) de divers lots, soumis à des chocs de durée variable

Après 24 heures, la concentration d'oxygène dans le caisson est de 4,2 ppm. La température est montée à 17° dans le caisson pendant l'expérience de 72 heures.

Les animaux des lots 17 et 18 réagissent comme les témoins (mobilité). 3 jours plus tard, leur comportement est identique.

Le tableau ci-dessus montre une différence notable, entre la valeur du témoin et celle des animaux stressés qui montrent dans l'ensemble une respiration plus élevée, sans qu'il y ait, pour autant de relation entre la durée du stress et la variation de consommation d'oxygène. Cette respiration plus élevée peut être due aux variations des paramètres du milieu, à l'intérieur du caisson. Ainsi la baisse de concentration d'oxygène, jusqu'à une valeur quasi nulle, au bout des 72 heures, explique la consommation élevée dans un milieu saturé, aussitôt la sortie du caisson.

Afin de vérifier l'effet du milieu clos sur la respiration, les essais suivants se sont déroulés dans un caisson où circule l'eau de mer mise sous pression.

III-2 Surpression avec circulation d'eau

Cet essai s'est déroulé en deux parties: la première, du 25 février au 2 mars 1994 et la deuxième, du 2 au 14 mars.

III-2.1 Première partie: Surpression de 50 bars / 4 jours

La surpression de 50 bars, oscille en réalité entre 47 et 53 bars de façon très régulière, du fait de la régulation automatique.

Les plus petits animaux, inférieurs à 2 cm de longueur, et que l'on peut considérer tous mâles, et très mobiles à cette taille, sont mis dans un récipient séparé. Pour cela, ils sont évidemment détachés de leur support. Le but est de vérifier séparément la résistance de chacun des sexes, en séparant les tailles.

Durant cet essai, les animaux auront subi en réalité, par suite de nombreuses coupures d'électricité involontaires, plusieurs chutes de température, de 17° jusqu'à 2°C, et cinq cycles de surpression à 50 bars, de durées variables. A chaque fois, la remontée en pression de 0 à 50 bars est plus rapide que la chute.

Malgré cette succession de stressés thermiques et hyperbares, les animaux sont ressortis du caisson dans un état apparemment normal (mouvement des individus qui s'écartent les uns des autres, pour tous les lots). Les petits animaux, que l'on avait isolés dans un récipient, étaient fixés sur sa paroi, ce qui prouve que leur motilité était intacte. Aucune mortalité n'a été enregistrée à la suite de cet essai. Il n'y a pas de différence de comportement suivant le sexe, face à la pression.

Les résultats figurant en annexe, montrent les taux respiratoires de six lots d'animaux témoin, analysés le 2/03, et de six lots d'animaux stressés, analysés le 3/03, c'est à dire avec un minimum de 18 heures de repos, après leur sortie du caisson, à la température ambiante (12-13°).

Parmi les lots témoin, le n°1 montre une consommation nulle lors de la mesure. Les autres valeurs sont très proches l'une de l'autre. La moyenne de la consommation d'oxygène pour les six lots témoin est égale à **0,1325 µg/h/g**.

Dans les lots d'animaux stressés, le n° 9 affiche une consommation anormale pour un individu seul (1,1546 µg/h/g). Ce résultat mis à part, la moyenne des cinq autres est de **0,2734 µg/h/g**, soit une consommation moyenne double de celle des animaux témoin.

18 heures après l'expérimentation il y a donc une consommation d'oxygène deux fois supérieure, chez les animaux stressés, sans que l'on puisse dire si celle-ci résulte du stress de pression, ou du stress thermique, voire de leur synergie.

III-2.2 Choc de pression 100 bars pendant 8 jours, à la température de 15°

La mise en pression fut faite le 2/03 à 16h00; mais le 3/03 à 13 h., la pression a diminué lentement, jusqu'à 0, par suite d'une panne électrique. Après réparation et durant 7 jours consécutifs (du 7/03 8h.00 au 14/03 9h.00), une vingtaine de chaînes de plusieurs individus chacune, a été soumise sans interruption à une pression de 100 bars, à la température de 15°.

Bilan de respiration (cf. annexes):

Mis à part le lot B, dont la consommation au moment de l'analyse a été nulle, tous les autres ont montré une consommation d'oxygène le 15/03, c'est à dire au minimum 24 heures après la sortie du caisson.

Si l'on compare les résultats de ces six lots (A à F), aux résultats des témoins précédents (1 à 6), leur moyenne de **0,2562 µg/h/g** est presque deux fois supérieure aux témoins. Il y a, là encore, une **surconsommation d'oxygène, que l'on peut cette fois attribuer au choc de pression.**

Mortalité:

Lors de cette expérimentation, on a observé une mortalité totale des petits individus, qui avaient été isolés dans un flacon de verre (ouvert). En comparant les deux essais de surpression en circulation d'eau, et la méthode identique de préparation de ces lots de juvéniles, cette mortalité ne trouve pas d'explication particulière, si ce n'est le fait de la différence entre les pressions maxima.

III -3 Effet de la présence de la coquille

Deux lots: a) cinq animaux âgés sur leur coquille-support
 b) cinq animaux âgés sans support (où la chair apparaît)

Surpression d'une heure à 100 bars (montée 10', descente 10')

Avant le stress de pression, la consommation d'O₂ est de 0,0819 µg/h/g pour les animaux avec leur support. Sans support, cette consommation varie de 0,0728 à 0,1001 µg/h/g; elle est donc identique.

Aussitôt après le stress de pression, ces animaux sans support montrent un comportement normal de mobilité céphalique. Leur pied est contracté. L'un des animaux s'était même fixé sur d'autres congénères pendant le test. Leur respiration est mesurée après cinq minutes. Elle est comprise entre 0,0728 et 0,0819 µg/h/g, soit du même ordre qu'avant le choc de pression. Les animaux ainsi stressés sont non seulement vivants, mais leur respiration est identique. Après 16 heures de repos, cette consommation d'O₂ est de 0,0091 à 0,0637 ppm donc inférieure aux valeurs précédentes. Mis en stabulation, l'un des animaux stressés, sans coquille-support, meurt au bout de huit jours (celui qui s'était collé sur d'autres congénères). Les autres, avec ou sans coquille-support, montrent un comportement normal.

A une exception près, il ne semble pas y avoir d'effet, même à long terme sur ces lots. Il ne semble pas exister de différence, ni dans le comportement, ni dans le métabolisme respiratoire, entre les animaux munis de leur support, et ceux qui en sont dépourvus.

Un choc de pression d'une heure à 100 bars (soit 1000 m. d'eau) n'a aucun effet apparent sur la crépidule, qu'elle soit fixée ou non sur un substrat.

IV-DISCUSSION

L'effet de la pression sur les animaux intertidaux a fait l'objet de nombreux travaux. Les remarques qui suivent s'appuient sur la synthèse faite par Flügel (1972). Diverses espèces intertidales ont été utilisées lors d'expérimentations *in vitro* ou *in situ*: des polychètes, des crustacés, des échinodermes, des mollusques, des poissons. Alors que de nombreuses espèces supportent mal la moindre variation de pression (tels les poissons plats), il apparaît que les étoiles de mer, les échinides et les mollusques bivalves tolèrent facilement de fortes pressions; On parle alors d'eurybarie ou de barotolérance.

Résistance des mollusques.

Les travaux en laboratoire de Naroska (in Flügel 1972), montrent que les pressions maxima supportées par des espèces littorales durant une heure, le sont par des mytilidés : 800 atmosphères (800 bars) pour *Mytilus edulis*, 750 pour *Modiolus modiolus*. La mye (*Mya arenaria*) tolère 750 atmosphères tout comme le gastéropode *Littorina littorina*; le bivalve *Cyprina islandica* tolère au maximum 730 atmosphères, dans les mêmes conditions (10°C et 15‰).

Menzies et Wilson (in Flügel 1972), lors de travaux *in situ*, exposent *Mytilus edulis diegensis* à une profondeur de 2227 mètres (222 atmosphères), sans dommages. Ce n'est qu'à 357 atmosphères que les spécimens meurent.

Des travaux de surpressions réalisés sur des tissus branchiaux isolés montrent là aussi, la résistance relative des mollusques. En conditions normales un tel tissu isolé peut vivre huit jours à la pression atmosphérique, et montre une activité ciliaire élevée. Cette activité se poursuit en conditions hyperbares. Une surpression de 6 heures à 600 atmosphères est suivie d'une activité cellulaire normale chez *Mytilus edulis*. Chez *Cyprina islandica*, on note 100% d'activité après un passage à 300 atmosphères, mais 10% à 500.

Plusieurs travaux dont ceux de Régnard ou de Fontaine (cf. *opus cit.*), signalent qu'à partir de 400 atmosphères, certains mollusques tels *Mytilus edulis*, *Buccinum undatum*, et *Cardium edule* montrent une phase de léthargie. Cette observation est à rapprocher de celle que nous avons faite sur le lot n°2 pour une pression plus faible.

La tolérance de *Crepidula fornicata* à la pression barométrique, confirme donc celle qui est généralement observée chez les mollusques.

Protection coquillière

La possibilité pour des animaux à coquille calcaire (bivalves ou gastéropodes operculés) de se protéger des surpressions en fermant hermétiquement leurs valves, pourrait expliquer leur plus grande résistance aux pressions. Ce pourrait être le cas de la crépidule qui paraît hermétiquement close grâce à sa position, et à sa forme qui épouse parfaitement l'autre coquille servant de support. En fait la crépidule, possède une coquille fine, qui s'écraserait aux fortes pressions si elle était étanche. Comme cette coquille est intacte après les surpressions, il est évident qu'il y a équipression entre l'animal et le milieu ambiant, et que dans ce cas, les organes subissent la pression ambiante. Cette remarque est confirmée par l'expérience faite le 1/06, consistant à séparer l'animal de son support, durant laquelle les viscères ont donc été soumis à la pression de 100 bars sans effets apparents. Les quelques rares individus qui sont morts à la suite des chocs ne présentaient pas de détériorations apparentes. Par contre les juvéniles qui avaient été séparés volontairement de leur support, le 15/03 et qui sont tous morts, pourraient avoir été endommagés par des effets indirects de pression. Cette observation signifie que la crépidule ne se ferme pas hermétiquement durant les différentes expérimentations hyperbares, quelque soit la pression supportée, mais qu'elle se déplace même, comme nous l'avons remarqué sur un animal le 1/06.

Les effets de surpression sur les tissus montrent une inhibition des réactions biochimiques au niveau de l'ADN, dès 300 atmosphères chez certaines espèces (ZoBell 1970, in Flügel 1972). La pression joue sur tous les niveaux enzymatiques et moléculaires, sur le protoplasme et les vacuoles cellulaires. La division cellulaire est soit retardée, soit bloquée. Chez la plupart des espèces (littorales), une pression de 200 à 400 atmosphères est nécessaire pour bloquer la division cellulaire des oeufs: 230 à 330 atmosphères pour des mollusques cités par Pease et Marsland (in Flügel 1972). La pression joue également sur le rythme cardiaque, en l'abaissant au fur et à mesure qu'elle augmente, d'ou les observations de léthargie.

Influence de divers facteurs:

Cette tolérance aux variations de pression dépend de plusieurs facteurs du milieu (température, salinité ou composition ionique, pH...); Elle dépend aussi de l'état de santé des animaux (niveau d'alimentation, stade de développement, période de reproduction...). Durant les expérimentations, cette tolérance varie également avec la durée et la vitesse de compression ou de décompression.

a) Vitesse et durée des mises en pression

La vitesse de compression ou de décompression que nous avons utilisée lors de nos expérimentations était de 5 bars/minute, qui est la valeur couramment utilisée, car elle correspond à la vitesse de chute dans l'eau. Cette vitesse a été dépassée lors des essais à 50 bars, puisque plusieurs passages de 0 à 50 bars ont été immédiats. Malgré cela les animaux n'ont pas été stressés.

Les durées de surpression ont été au maximum de huit jours, sans effets apparents. Des essais plus longs sont obligatoirement nécessaires pour connaître le comportement à long terme des crépidules sous pression. Il ne semble pas y avoir dans la littérature, de travaux qui mentionnent des résultats obtenus lors de longues surpressions sur des espèces littorales.

b) Influence de la température

Une température basse amplifie les effets négatifs de pression, tandis qu'une élévation de quelques degrés permet de supporter des pressions plus fortes (Flügel 1972). Ainsi, à 10° le tissu branchial de *Mytilus edulis* supporte 300 atmosphères, à 20°, il en supporte 400. "La combinaison de fortes pressions et des basses températures dans les grands fonds, est un handicap aux immigrants potentiels" (sous-entendu venant du littoral) (Schlieper 1968, in Flügel 1972). Les effets combinés de la pression et de la température sont encore mal connus.

La crépidule est une espèce eurytherme, qui survit à des basses températures voisines de 5° quand les conditions climatiques sont défavorables aux autres espèces intertidales (Walne 1956). Les chocs de variations de température supportées lors des essais à 50 bars confirment cette tolérance. Dans les fonds bathyaux (1000-4000 m.), où les températures sont souvent inférieures à 4°C il est probable que les crépidules immergées survivraient, si elles y supportent la pression ambiante.

c) Influence de la salinité, de la turbidité, et de la nourriture

La salinité au niveau des fonds de 2000 mètres est à peu près la même qu'en surface. De toutes façons, sa variation n'a que peu d'effet sur la crépidule, tout comme la turbidité dont les niveaux sont souvent élevés dans son biotope. La nourriture sestonique est beaucoup plus rare à ces profondeurs qu'en surface, et il y a là un facteur limitant à l'importation d'espèces littorales. De plus, pour la crépidule, (comme pour beaucoup de filtreurs du littoral), le taux de filtration présente un optimum aux alentours de 15° et diminue aux températures extrêmes (Newell 1979).

d) Influence de la concentration d'oxygène

La pression partielle d'oxygène en profondeur, est la même qu'en surface. La concentration d'O₂ à 1000m. est toujours de 8 ppm environ, mais sa solubilité change. Les concentrations moyennes sont variables selon les fonds, de 29 à 79% de la valeur de saturation (Flügel 1972).

La consommation d'oxygène par la crépidule a fait l'objet de travaux (Damerval 1985) qui montrent que cette espèce survit 8 jours à 6°C en anoxie quasi totale (0,1 mM/l), grâce à la modification des cytosomes et des gliosomes cellulaires, responsables des transports gazeux. Nos résultats, lors des essais sur 72 heures en milieu clos, confirment cette résistance à l'hypoxie, (déjà plus que 4,2 ppm disponibles au bout de 24 heures). Newell (1979) montre chez la crépidule, une régulation de la consommation d'oxygène, en fonction de la pression partielle de ce gaz dans le milieu environnant. Les deux facteurs sont positivement corrélés, pour une température proche de celle de son acclimatation. Par contre, pour des températures extrêmes, cette régulation pourrait être supprimée.

L'effet résultant du stress de pression n'apparaît être le plus souvent qu'une légère hyperventilation, dont la durée est au maximum de 24 heures. Cette hyperventilation a déjà été observée par Naroska (in opus cit.) chez des mollusques sitôt le stress, suivie par une récupération rapide.

Même si la teneur en oxygène est faible dans les fonds proposés pour une immersion de crépidules, l'oxygène ne sera donc pas forcément un facteur limitant.

Pour Flügel (1972), "il apparaît que le degré de tolérance aux variations de pression des diverses espèces, correspond au degré de tolérance à d'autres facteurs du milieu tels la température ou la salinité". Connaissant les caractères ubiquistes de la crépidule, sa résistance aux variations mêmes importantes des facteurs de son environnement tels que salinité, température, turbidité et oxygène, ceci peut expliquer la bonne tolérance à la pression rencontrée chez cette espèce lors de nos essais.

CONCLUSIONS

Ces essais de pression sur la crépidule montrent que cette espèce résiste apparemment à des pressions maxima de 500 bars, soit l'équivalent d'une profondeur de 5000 m., pendant quelques minutes. Elle résiste également à une pression de 100 bars (1000 m.) pendant une semaine. Les variations de pression, qu'elles soient brutales ou progressives, accompagnées ou non de variations de température, ne provoquent aucun effet a posteriori sur son comportement respiratoire, si ce n'est parfois une légère hyperventilation.

Ces expérimentations montrent qu'à la grande résistance déjà connue de cette espèce aux facteurs son environnement (température, salinité, oxygène, etc...), s'ajoute une grande résistance aux effets de la pression barométrique.

D'autres essais seraient bien sûr nécessaires pour observer à long terme le comportement de cette espèce, dans l'optique d'une immersion définitive par grands fonds. Les limites de durée, et de pressions léthales sont encore à trouver. La limite de survie en hypoxie serait une des mesures prioritaires.

S'il apparaît que cette espèce peut survivre durant plusieurs jours dans de telles conditions défavorables, aucune information n'existe sur l'état de fonctionnement de ses divers organes à la suite de ce stress (appareil reproducteur notamment). Pour suivre l'évolution du métabolisme, à une échelle plus fine, en vérifiant aussi les effets indirects des pressions subies, des travaux de plus longue durée s'avèrent également nécessaires.

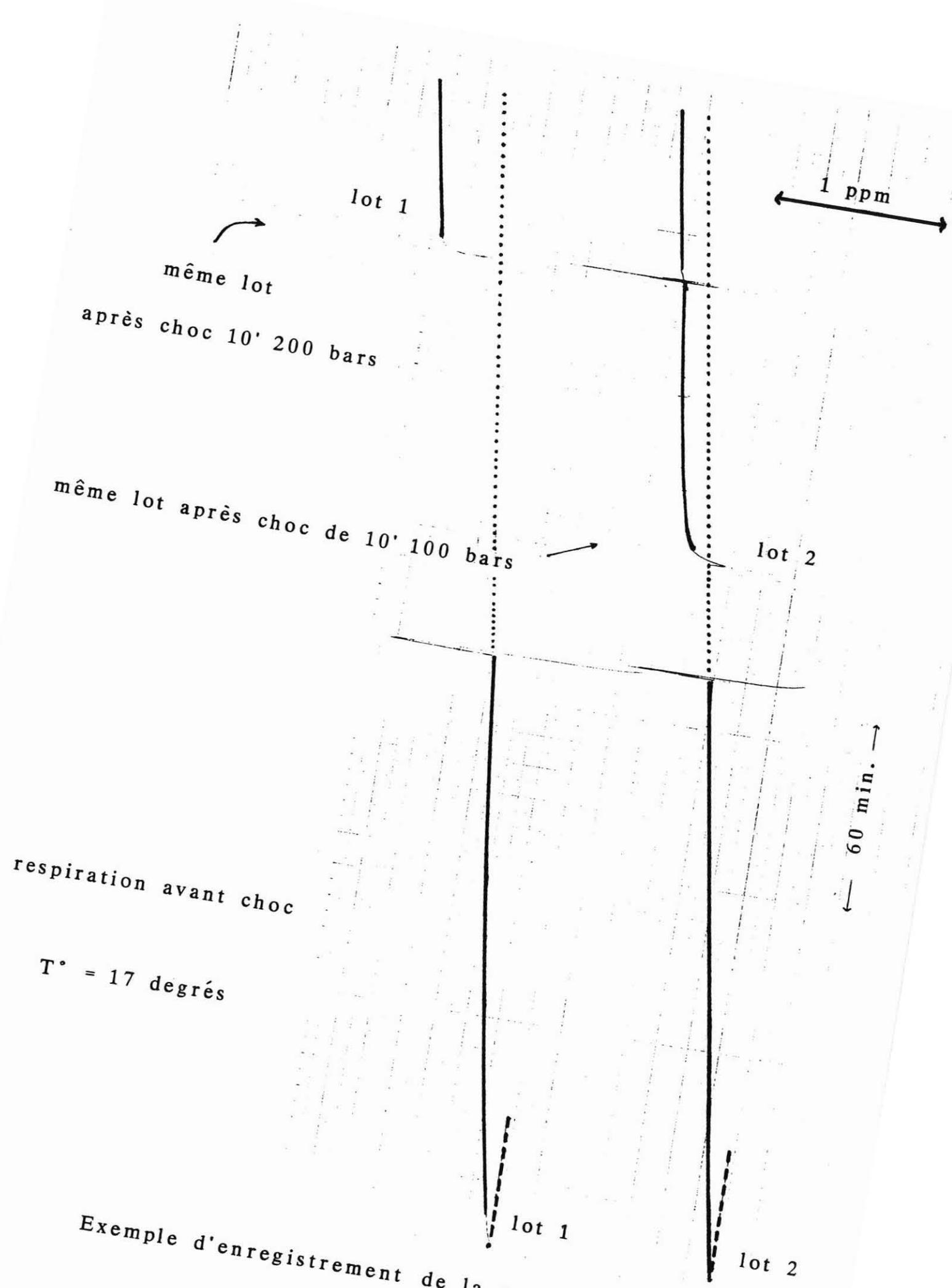
En tout état de cause, et en l'absence de résultats portant sur des périodes plus longues, l'immersion envisagée de ces animaux par des fonds de 1000 voire 2000 mètres est très risquée, car leur survie pendant plus d'une semaine devrait être possible, au vu de nos résultats. Pendant ce délai, si les fonctions de l'animal restent intactes, le danger d'essaimage existe. Si tant est que la pression n'a pas d'effet sur les organes de reproduction, les oeufs et les larves pourraient être émis. Plus simplement, un transport pourrait être provoqué par un autre animal, qu'il soit prédateur, ou hôte servant de support, et qui, au travers de migrations verticales, remonterait des spécimens dans des milieux plus favorables.

Dans l'optique d'un rejet par grande profondeurs, ce rapport n'a traité que de l'impact de la pression. Les effets sur l'environnement profond d'importantes biomasses de matière organique, et les perturbations que cela devrait engendrer inévitablement dans les peuplements en place n'ont pas été pris en compte. Cet aspect important du problème serait à développer par d'autres laboratoires, concernés par l'écologie abyssale, dans le cas où ces travaux devraient être repris.

BIBLIOGRAPHIE

- BLANCHARD M., F.QUINIOU, G.YOUENOU, et D.COIC, -1986 - Etat actuel de la prolifération de la crépidule (*Crepidula fornicata*) dans le golfe normano-breton. in "Etude intégrée du golfe normano-breton. T3 Benthos subtidal. Rapport Ifremer dero.el /86.27: 76-96.
- DAMERVAL M., 1985 - Identification et rôle physiologique des inclusions contenues dans le système nerveux central de la moule et de la crépidule. Thèse 3° cycle Caen. 145 p.
- DE KERGARIOU G., LATROUITE D., CLAUDE S., et D. PERODOU 1979 - Extension de la crépidule (*Crepidula fornicata*) en Manche orientale. Rapport CIEM/CM1979/K15 ,5p.
- FLUGEL H., 1972 - Pressure on animals. in Marine Ecology Vol.1 - Part.3- Chap.8 Wiley-Interscience. O.Kinne editeur. 1407-1450.
- NEWELL R.C., 1979 - Biology of intertidal animals. Marine Ecological Surveys 3° ed., 781 p.
- SMITH A.M., KIER W.M., et S.JOHNSEN, - 1993 - The effects of depth on the attachment force of limpets. Biol. Bull. 184: 338-341.
- WALNE P.R. 1956, - The biology and distribution of the slipper limpet (*Crepidula fornicata*) in Essex rivers. Fishery Investigation, serie II, vol. XX: 1-50.

ANNEXES



respiration avant choc

T° = 17 degrés

Exemple d'enregistrement de la consommation d'oxygène, avant et après le choc de pression.

RESULTATS DE LA PREMIERE SERIE D'EXPERIENCES

DATES	LOT	Nb	LONGUEUR (mm)	O ₂ (ppm/h)	O ₂ (ppm/h/g)	W SEC (g)
mardi 14/09	6	5	37-36-34-33-25	0.090	0.060	1,50
mardi 14/09	7	4	36-33-26-10	0.126	0.210	0,60
mercr.15/09	9	2	37-37	0.036	0.045	0,80
mercr.15/09	10	1	46	0	0	0,70
mercr.15/09	11	4	35-33-31-27	0.063	0.065	0,97
mercr.15/09	12	3	37-36-30	0.063	0.066	0,96
mercr.15/09	13	2	37-34	0.126	0.163	0,77
mercr.15/09	14	2	44-38	0.216	0.189	1,14
vendr.17/09	15	3	37-34-26	0.252	0.289	0,87
vendr.17/09	16	5	36-34-23-15-9	0.288	0.376	0,765

RESULTATS DE LA DEUXIEME SERIE D'EXPERIENCES

DATES	N°	NB	LONGUEUR	WCHAIR (g)	O ₂ (ppm)	CONSOMMATION (ppm/g/h)
2/03	1	2	43-36	0.4137	0	0
2/03	2	2	37-38	0.4558	0.0637	0.1398
2/03	3	2	36-34	0.2810	0.0548	0.1950
2/03	4	2	32-32	0.3201	0.0546	0.1706
2/03	5	1	38	0.2280	0.0366	0.1605
2/03	6	3	35-36-37	0.7056	0.0910	0.1290
3/03	7	2	32-36	0.2459	0.1001	0.4071
3/03	8	3	38-35-28	0.2736	0.0728	0.2661
3/03	9	1	33	0.1417	0.1636 (!)	1.1546 (!)
3/03	10	3	34-36-37	0.4454	0.1092	0.2452
3/03	11	2	36-39	0.4156	0.1092	0.2628
3/03	12	3	33-31-30	0.3921	0.0728	0.1857
14/03	A	2	35-40	0.4522	0.0910	0.2012
14/03	B	2	35-36	0.3214	0	0
15/03	C	1	47	0.3666	0.1092	0.2979
15/03	D	2	36-37	0.4042	0.1092	0.2702
15/03	E	3	29-41-35	0.6359	0.1820	0.2862
15/03	F	2	35-28	0.2455	0.1183	0.4819

ENVIRONNEMENT PROFOND/DEEP MARINE ENVIRONMENT**CAISSONS HYPERBARES, SIMULATION
D'IMMERSION**

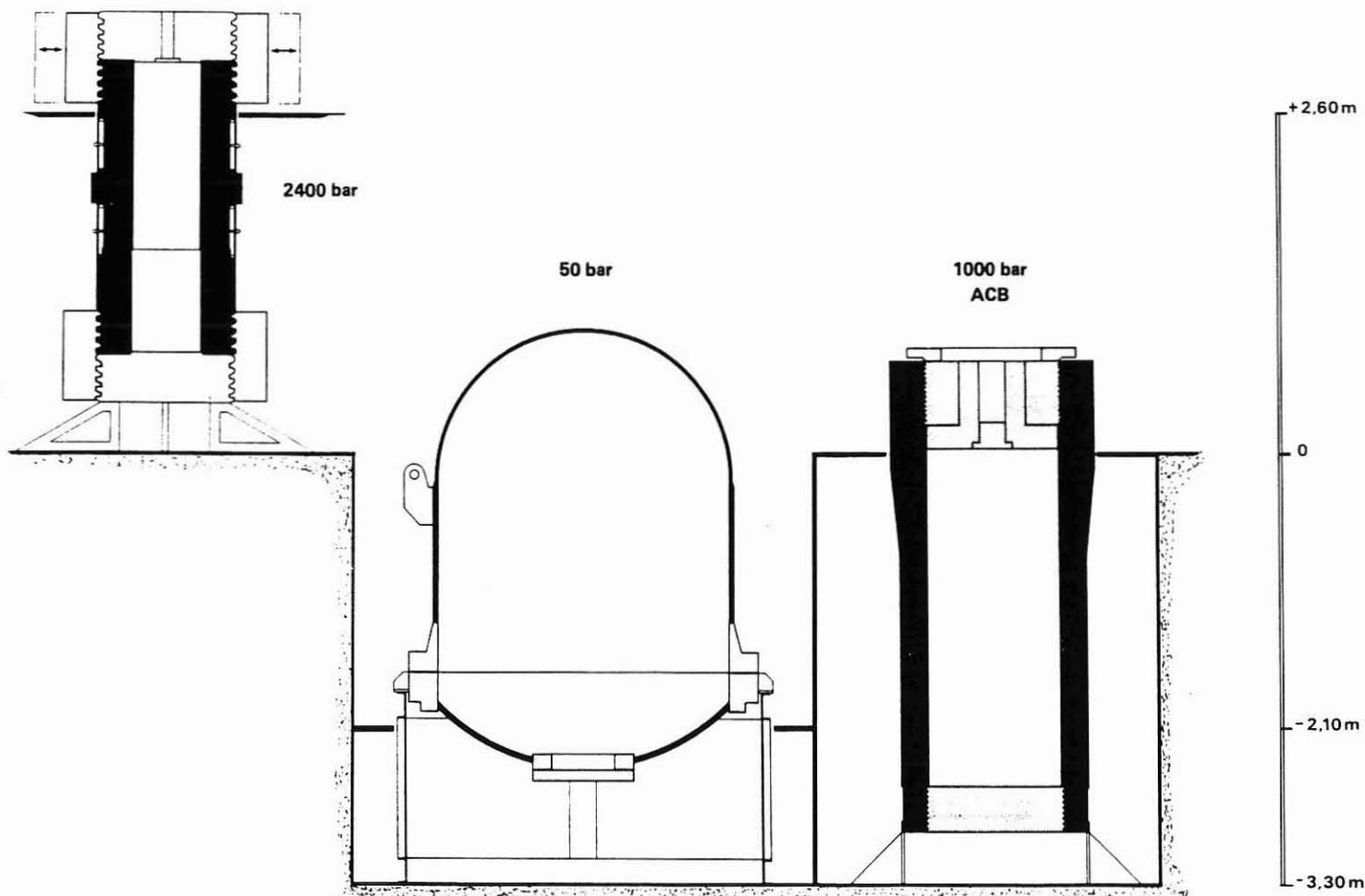
La simulation d'immersion est réalisée par la génération de la pression hydrostatique dans des enceintes dont l'eau douce ou l'eau de mer peut être dans certains cas thermostatée et contrôlée en gaz dissous.

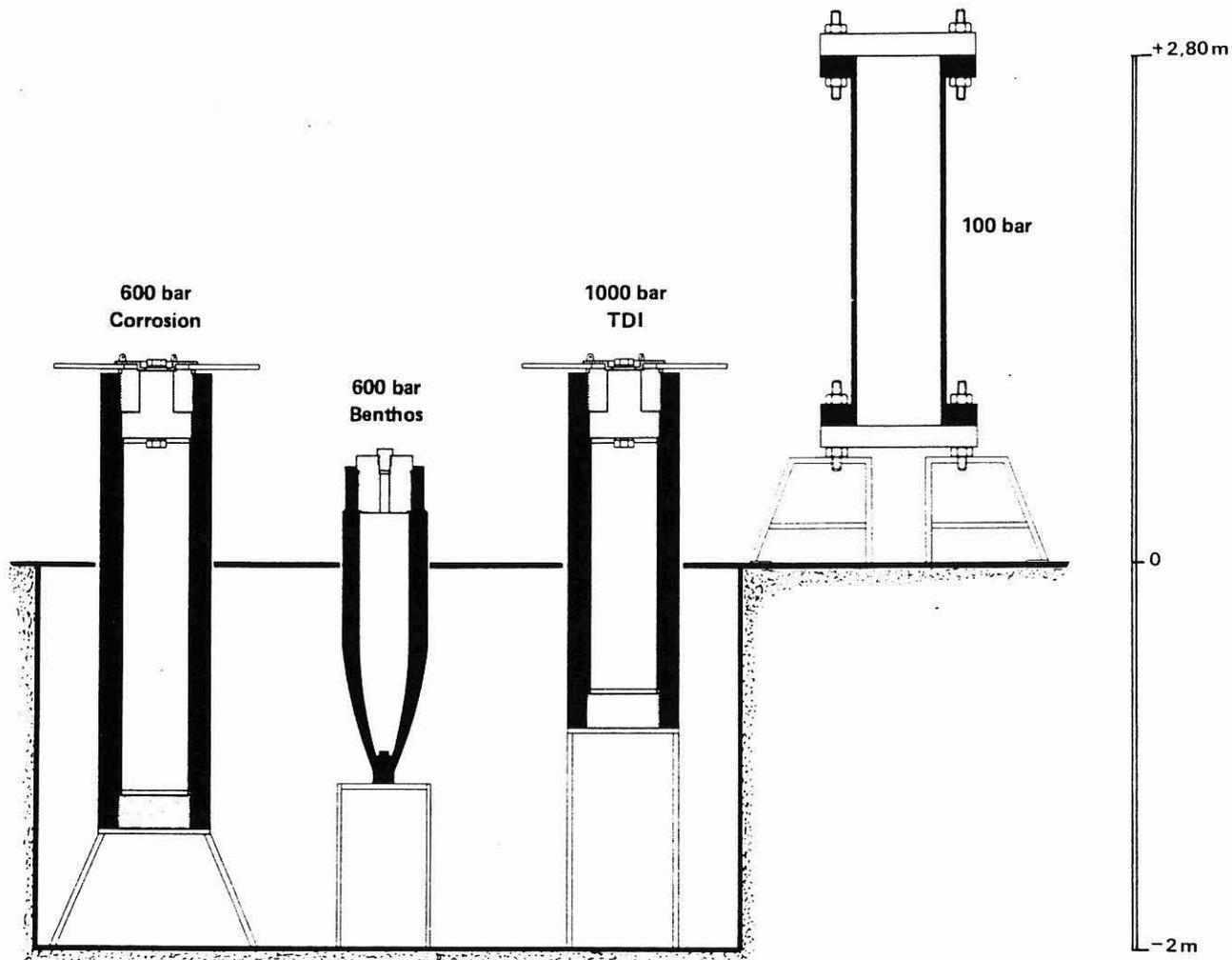
Toutes les conditions hydrologiques à toutes profondeurs peuvent être simulées. Des moyens de mesure, d'extensométrie et de visualisation adaptés aux hautes pressions sont disponibles pour des essais combinant plusieurs sollicitations, des tests de longue durée, des essais de fatigue...

**HIGH PRESSURE VESSELS, IMMERSION
SIMULATION**

The immersion simulation is realized by the hydrostatic pressure generation in tanks in which fresh or sea water can be in some cases thermostated and solute gas controlled.

All hydrologic conditions at any depth can be simulated. Testing measurement, extensometers, display units adapted to high pressures are available for tests combining several stresses (endurance, reliability tests...).





Désignation Characteristics	1000 bar ACB	50 bar	2400 bar	600 bar corrosion X	600 bar Benthos	1000 bar TDI X	100 bar
Pression maxi Maximum pressure	1000 bar	50 bar	2400 bar	600 bar	600 bar	1000 bar	100 bar
Hauteur utile Useful height	2 m	3,2 m	2,3 m	1,7 m	1 m	1,2 m	2 m
Diamètre utile Useful diameter	1 m	2,32 m	0,55 m	0,3 m	0,25 m	0,3 m	0,418 m
Cyclage en pression Pressure cycle	Oui Yes	Oui Yes	Oui Yes	Oui Yes	Non No	Oui Yes	Oui Yes
Régulation de température Temperature regulation	Ambiante à 2°C Ambiant to 2°C	Non No	Ambiante à 40°C Ambiant to 40°C	de 2°C à 40°C From 2°C to 40°C	Non No	de 2°C à 40°C From 2°C to 40°C	Non No
Traversées/Connectors - électrique/electric - hydraulique/hydraulic	Oui/Yes Oui/Yes	Oui/Yes Oui/Yes	Oui/Yes Oui/Yes	Oui/Yes Oui/Yes	Oui/Yes Non/No	Oui/Yes Oui/Yes	Oui/Yes Oui/Yes
Fluide de compression Compression liquid	Eau douce Fresh water	Eau douce ou eau de mer Fresh or sea water	Eau douce Fresh water	Eau de mer Sea water	Eau douce Fresh water	Eau douce Fresh water	Eau de mer Sea water

Pour tous renseignements, contacter/For further information, please contact :
J.M. VERCELLI DIT/IFREMER BREST FRANCE - Tél. : (33) 98.22.41.64

DREC/BOC/87/136/F-A



Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
Siège social - 66, avenue d'Iena - 75116 PARIS
Tél. (1) 47 23 55 28 - Télex 610775

Bureau des Opérations Commercial
BP 337 - 29273 BREST Cedex
Tél. 98 45 35 46 - Télex 941 403 F