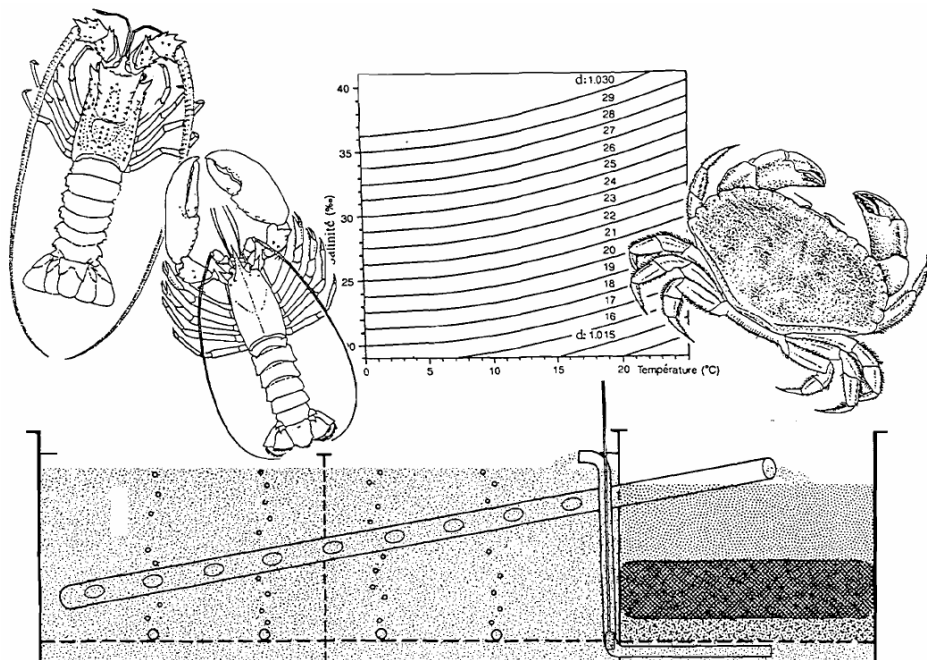


CHARTOIS H., LATROUITE D., LE CARRE P.
RI DRV 94 - 09 RA - RH / Brest

**Rapports Internes de la Direction
des Ressources Vivantes de l'Ifremer**

Stockage et transport des crustacés vivants



INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

IFREMER
Centre de Brest
Station Pêche-Aquaculture
B.P. 70
29280 PLOUZANE

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

AUTEUR (S) : CHARTOIS H., LATROUITE D., LE CARRE P.	CODE: RI-DRV 94-09 RH/RA/BREST
TITRE: Stockage et transport des crustacés vivants.	Date : mai 1994 Tirage nb : 100 +
	Nb pages : 66 Nb figures : Nb photos :
CONTRAT: (intitulé) N*	DIFFUSION : Libre X Restreinte Confidentielle

RESUME:

Cette étude, qui repose sur des analyses bibliographiques et des enquêtes auprès des mareyeurs, expose les pratiques et les contraintes du stockage des crustacés vivants. Elle traite successivement des conditions d'approvisionnement en crabes, homards et langoustes, des circuits commerciaux, des caractéristiques biologiques et écologiques de ces espèces, de certains aspects de leur physiologie, des installations de stockage et de leur principe de fonctionnement, puis des facteurs qui affectent la survie des crustacés lors du stockage et du transport.

ABSTRACT:

Based upon a literature review and fishmongers interviews, this study describes the current practices and problems associated to live crabs and lobsters storage. Supply conditions of live crustaceans, marketing networks, and biological, ecological and physiological characteristics of crustaceans were discussed. Moreover, storage facilities, their operating rules and factors affecting the survival rate under storage and transportation conditions were reviewed.

mots clés : stockage, transport, crustacés, crabes, homards, langoustes

key words : storage, transport, shellfish, crabs, lobsters



AVERTISSEMENT

Ce document est le résultat d'un travail effectué en 1989 qui, par manque de temps, n'avait pu être finalisé et diffusé à l'époque.

L'étude des pratiques et contraintes du stockage des crustacés vivants, faite par analyse bibliographique et par enquêtes sur le terrain, nous avait alors été dictée par les fréquentes demandes de renseignements de mareyeurs et d'importateurs. La situation étant inchangée quelques années plus tard, il nous a paru nécessaire d'assurer la diffusion du document.

L'alternative se présentait alors de réactualiser les données statistiques et de compléter les observations, ou de produire le travail en l'état. Le risque de nouveau retard contenu dans la première option nous a conduit à préférer la seconde. Le lecteur ne s'étonnera donc pas que quelques données de production ou de commerce extérieur se rapportent à 1988.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
1 PRODUCTION ET COMMERCE.....	3
1.1 PRODUCTION NATIONALE.....	3
1.2 COMMERCE EXTERIEUR.....	3
1.3 CONSOMMATION DES CRUSTACES.....	6
1.4 CIRCUITS DE COMMERCIALISATION.....	8
1.5 MORTALITES.....	8
2 PRINCIPAUX CRUSTACES CONCERNES.....	11
2.1 TOURTEAU (Cancer pagurus).....	11
2.2 ARAIGNEE (Maja squinado).....	11
2.3 ETRILLE (Macropipus puber).....	13
2.4 HOMARD EUROPEEN (Homarus gammarus).....	13
2.5 HOMARD AMERICAIN (Homarus americanus).....	15
2.6 LANGOUSTE ROUGE (Palinurus elephas).....	15
2.7 LANGOUSTE ROSE (Palinurus mauritanicus).....	15
2.8 LANGOUSTE VERTE (Palinurus regius).....	17
3 GRANDS TRAITES DE LA PHYSIOLOGIE DES CRUSTACES.....	19
3.1 CROISSANCE ET MUE.....	19
3.2 REPRODUCTION.....	19
3.3 SYSTEME CIRCULATOIRE.....	20
3.4 EXCRETION.....	20
3.5 RESPIRATION EN EAU.....	20
3.6 RESPIRATION AERIENNE.....	22
3.7 AUTOTOMIE.....	23
4 LES INSTALLATIONS DE STOCKAGE DE CRUSTACES.....	25
4.1 STOCKAGE A BORD DES BATEAUX.....	25
4.1.1 Les Bacs.....	25
4.1.2 Les Viviers de pont.....	25
4.1.3 Les Viviers de coque.....	25
4.1.4 Les Cales avec brumisation.....	26
4.2 STOCKAGE INTERMEDIAIRE.....	26
4.2.1 Les nasses, paniers, caisses.....	26
4.2.2 Les viviers flottants.....	27
4.2.3 Les viviers de pleine eau.....	27
4.3 STOCKAGE A TERRE.....	27
4.3.1 Les parcs à marée.....	27
4.3.2 Les viviers en eau renouvelée.....	28
4.3.3 Les viviers en circuit fermé.....	30
4.3.4 Les viviers-cuves.....	30
5 LES MOYENS DE TRANSPORT.....	33
5.1 LE TRANSPORT EN EAU : CAMION-VIVIER.....	33
5.2 LE TRANSPORT HORS-D'EAU.....	34
5.2.1 Le camion-douche.....	35
5.2.2 Le véhicule isotherme.....	35
5.2.3 Le transport aérien.....	36

6 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE UNITE DE STOCKAGE	37
6.1 POMPAGE.....	37
6.2 CONTROLE DES MATIERES EN SUSPENSION.....	37
6.2.1 La décantation.....	38
6.2.2 La filtration.....	38
6.3 EPURATION BIOLOGIQUE.....	38
6.4 OXYGENATION.....	40
6.5 THERMOREGULATION.....	41
6.6 NETTOYAGE.....	41
7 FACTEURS AFFECTANT LA SURVIE DES CRUSTACES	43
7.1 FACTEURS MECANQUES ET BIOTIQUES.....	43
7.2 FACTEURS AFFECTANT LA SURVIE EN EAU.....	44
7.2.1 Température.....	44
7.2.2 Salinité.....	44
7.2.3 Oxygène dissous.....	45
7.2.4 Azote ammoniacal.....	46
7.2.5 Nitrites.....	47
7.2.6 Métaux.....	48
7.2.7 Hydrocarbures.....	48
7.2.8 Autres produits toxiques.....	49
7.3 LES FACTEURS AFFECTANT LA SURVIE HORS D'EAU.....	49
7.4 LES MALADIES.....	49
7.4.1 Maladie fongique de la carapace.....	49
7.4.2 Maladie bactérienne de la carapace.....	50
7.4.3 Gaffkémie du homard.....	50
7.4.4 Hematodinium du tourteau et de l'étrille.....	50
7.5 OPTIMISATION DU STOCKAGE.....	51
7.5.1 Tourteau.....	51
7.5.2 Araignée.....	51
7.5.3 Etrille.....	52
7.5.4 Homard européen.....	52
7.5.5 Homard américain.....	53
7.5.6 Langouste rouge.....	53
7.5.7 Langouste rose.....	53
7.5.8 Langouste verte.....	53
CONCLUSION	55
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	57

ANNEXE

L'EAU DE MER : RAPPEL SOMMAIRE DES CARACTERISTIQUES ET DES METHODES DE MESURE	59
A1 LA TEMPERATURE	59
A 2 LA SALINITE	59
A 2.1 Mesure de la densité de l'eau de mer.....	59
A 2.2 Mesure de l'indice de réfraction.....	60
A 2.3 Reconstitution d'eau de mer.....	61
A3 LEpH	61
A 4 LES GAZ DISSOUS	61
A 5 LES SUBSTANCES DISSOUTES	62
A 5.1 L'azote ammoniacal.....	62
A 5.2 L'azote nitreux.....	65

INTRODUCTION

La pêche et le commerce des crustacés vivants sont des secteurs particulièrement actifs en France où 25 000 tonnes de crabes, homards et langoustes, produits locaux ou importés, sont traitées annuellement. On peut évaluer entre 500 et 600 millions de francs (1989) leur valeur en première vente.

Le cheminement des crustacés, de l'engin de capture à l'assiette du consommateur, est souvent long et jalonné d'adversités : passages hors-d'eau, blessures, manipulations, chocs, confinement en surdensité, conditions physico-chimiques hostiles. Ce "parcours du combattant" se traduit par des mortalités dont le taux, variable selon l'espèce, l'époque et le savoir-faire du professionnel, est toujours élevé et génère des pertes importantes. Dans le même temps, le négoce tend à s'ouvrir à de nouvelles zones de distribution et à de nouvelles espèces d'importation.

Le stockage et le transport des crustacés vivants n'ont fait l'objet, jusqu'à présent, que d'une attention très limitée de la part des scientifiques et les acquis en la matière s'appuient, pour l'essentiel, sur le savoir-faire empirique des professionnels (pêcheurs, mareyeurs, poissonniers).

Cette étude en dresse un bilan, analyse la littérature scientifique, intègre des résultats d'expériences ponctuelles sur les paramètres de milieu et fournit des recommandations pour améliorer les conditions du stockage et du transport.

Dans une première partie, le contexte est posé en examinant successivement les conditions d'approvisionnement au plan national et à l'importation, les circuits de commercialisation et les niveaux de mortalité aux différents stades. Dans les deux parties suivantes, les caractéristiques biologiques et écologiques des espèces concernées sont présentées, ainsi que les principaux aspects de la physiologie qui entrent en compte dans le stockage et le transport ; une attention particulière est accordée aux mécanismes respiratoires dans l'eau et hors d'eau. Les trois parties suivantes dressent une typologie des installations de stockage et de transport sous leurs diverses formes et exposent le principe de fonctionnement des systèmes de pompage, de contrôle des matières en suspension, de l'épuration biologique, oxygénation et thermorégulation. La septième partie analyse les facteurs affectant la survie des crustacés en distinguant les aspects mécaniques et biotiques, les paramètres du milieu, les conditions de transport hors d'eau et les principales pathologies observables en vivier. Les valeurs létales, les concentrations de sécurité et les normes optimales sont proposées pour les principaux paramètres. En annexe, les techniques et les appareils "de terrain" permettant de suivre la qualité de l'eau de mer dans les installations sont présentés accompagnés des abaques nécessaires à l'interprétation des mesures.

1 PRODUCTION ET COMMERCE

1.1 PRODUCTION NATIONALE

Le bulletin "Statistiques des Pêches Françaises" fait état, pour l'année 1987, de 7 512 tonnes de tourteau, 1 829 tonnes d'araignée et 538 tonnes d'étrillé, 376 tonnes de homard, 208 tonnes de langouste rouge et 500 tonnes de langouste rose vivante. Compte tenu de la sous-évaluation d'une partie des données, on peut estimer entre 12 000 et 14 000 tonnes la production réelle de crabes et de l'ordre de 1 300 tonnes celle de langouste et homard.

Les zones de pêche, diversifiées, se répartissent dans la Manche et le golfe de Gascogne pour les crabes et le homard, la Méditerranée et l'Iroise pour la langouste rouge, et la côte africaine, au large de la Mauritanie, pour la langouste rose (fig. 1). Les principaux pôles de production sont les quartiers maritimes de Morlaix, Brest, Cherbourg, Noirmoutier et Les Sables d'Olonne pour le tourteau; Saint-Malo et Paimpol pour l'araignée; Vannes, Auray et Caen pour l'étrille; Cherbourg, Paimpol, Morlaix, Brest et Noirmoutier pour le homard; la Corse, Audieme, Brest et Morlaix pour la langouste rouge, Camaret et Douarnenez pour la langouste rose.

La production est très marquée par un rythme saisonnier avec un maximum de juin à octobre pour le tourteau, de janvier à juin pour l'araignée, de juillet à septembre pour l'étrille, de mai à août pour le homard, de mai à octobre pour la langouste rouge et de décembre à mai pour la langouste rose. Cette saisonnalité s'accompagne d'une périodicité dans les débarquements issus de Manche et d'Iroise où, en raison des forts courants de marée, les bateaux ne travaillent qu'en période de mortes-eaux. Il en résulte une concentration des apports à la fin de chacune de ces périodes, ce qui nécessite d'importants besoins de stockage.

1.2 COMMERCE EXTERIEUR

La demande en crustacés vivants étant très supérieure aux apports nationaux, l'importation complète et diversifie notre production. Elle intervient à hauteur de 10 000 tonnes environ. Dans la plupart des cas, les produits importés sont "retrempés" en vivier avant distribution et viennent accroître les volumes à stocker.

Les importations de crabes vivants, stables autour de 4 000 tonnes jusqu'en 1986, atteignaient 6 750 tonnes en 1988. Elles sont essentiellement constituées de tourteaux en provenance du Royaume-Uni, et à un moindre degré d'Irlande, et présentent la même saisonnalité que les apports nationaux (fig. 2).

L'importation de homards vivants, comprise entre 2 000 et 3 000 tonnes, porte sur les espèces européenne et américaine (tableau 1) ; 30% des importations se font en décembre (fig. 2).

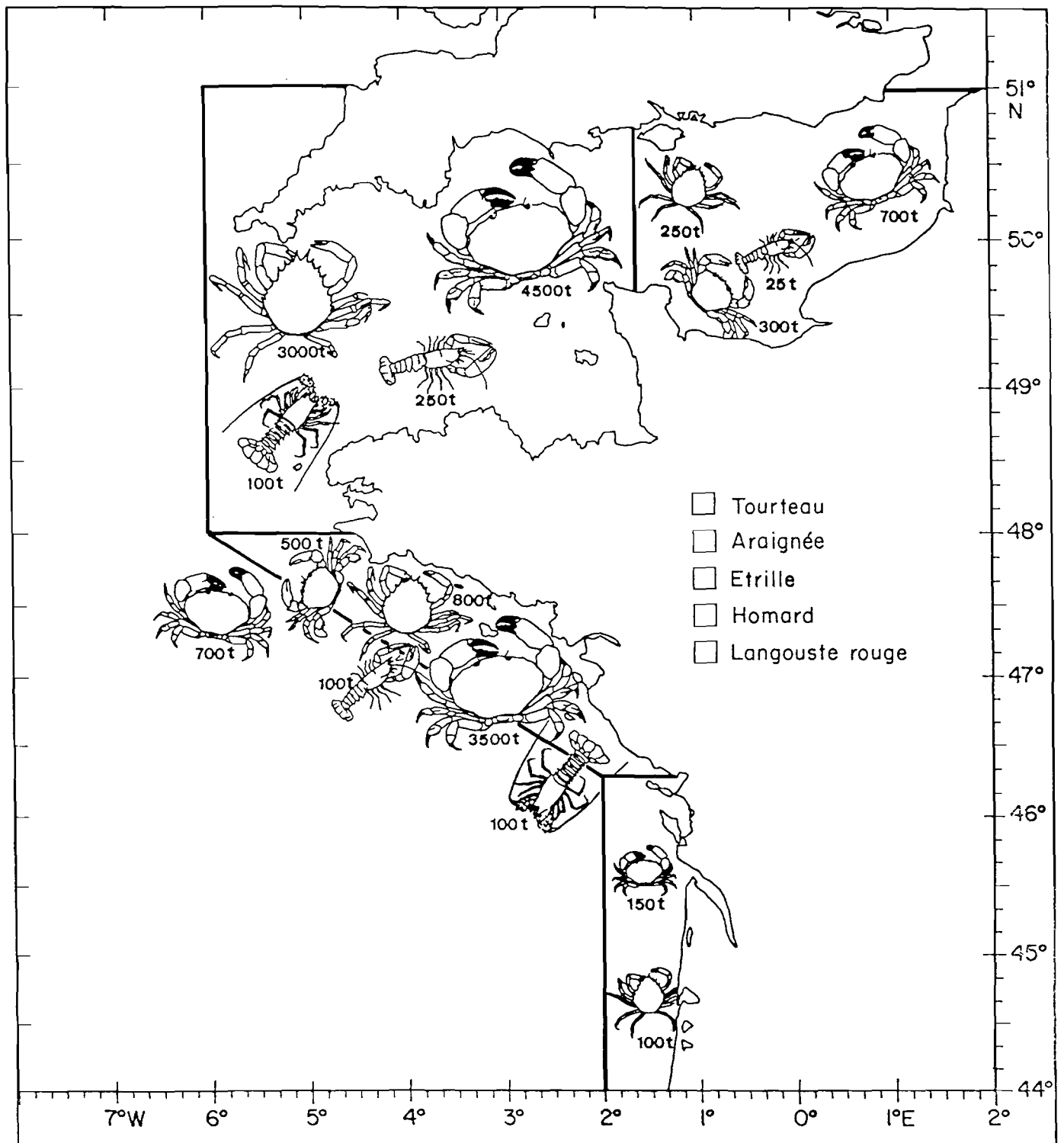


Figure 1 - Ventilation par zone de pêche de la production nationale en tourteau, araignée, homard et langouste rouge (estimations pour la période 1985-1989).

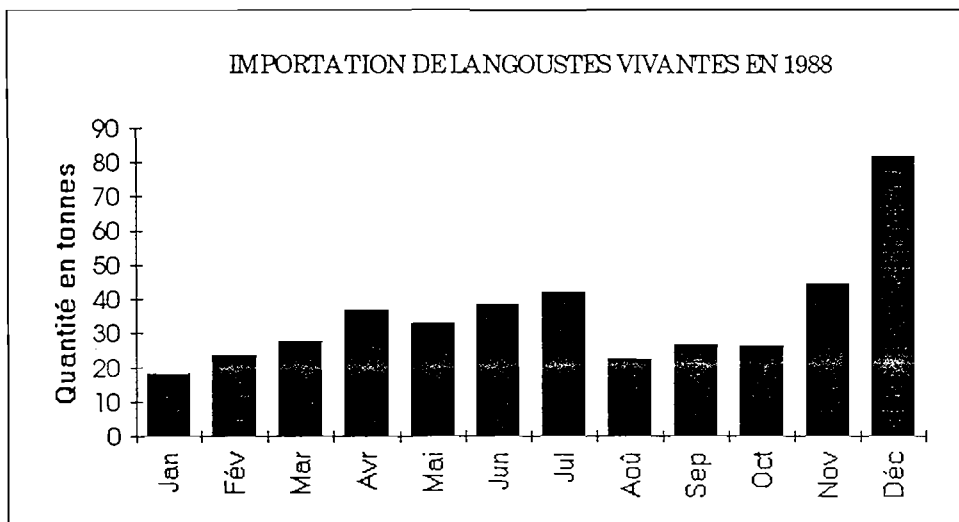
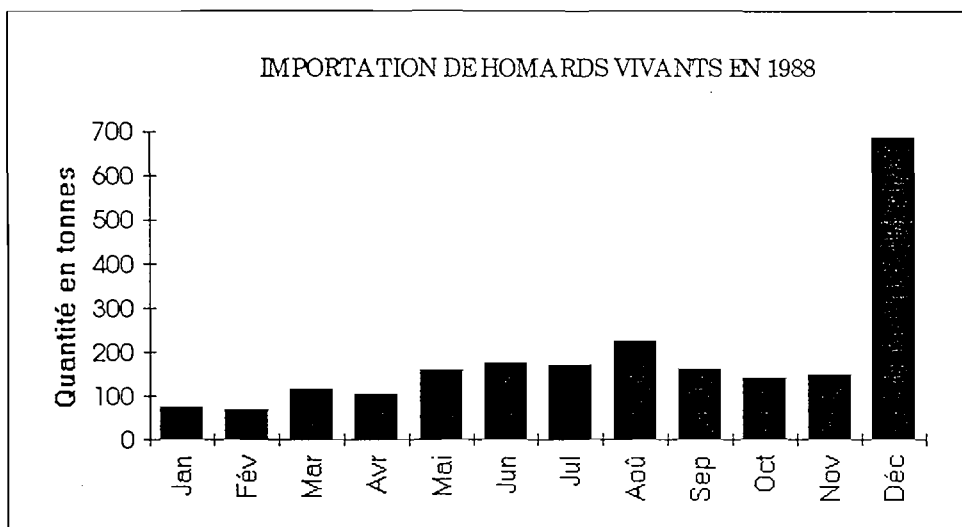
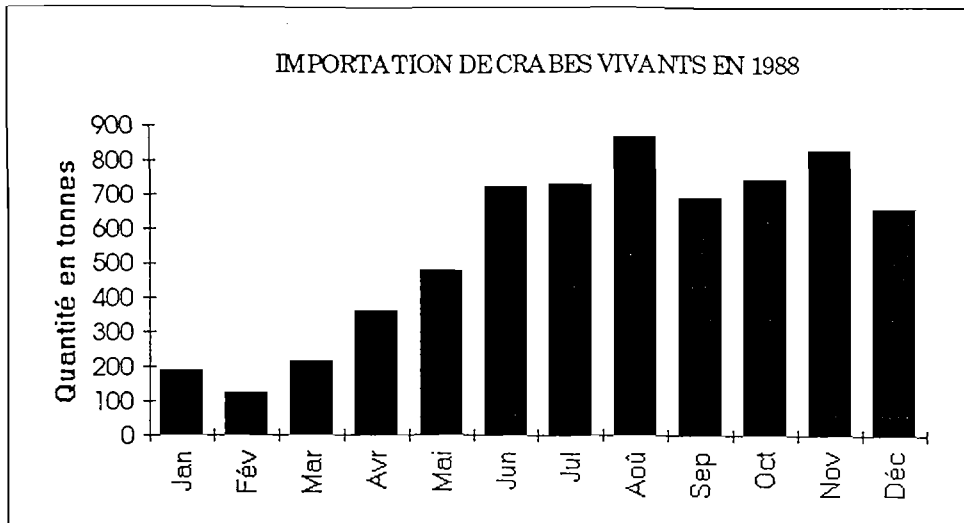


Figure 2 - Saisonnalité des importations en crabes, homards et langoustes vivants (données de 1988).

Origine	Tonnes	Milliers de F	
Royaume-Uni	731	78 638	H.européen, <i>Homarus gammarus</i>
Canada	661	44 034	H. américain, <i>Homarus americanus</i>
Etats-Unis	532	34 720	H. américain, <i>Homarus americanus</i>
Irlande	247	23 195	H. européen, <i>Homarus gammarus</i>
Pays-Bas	40	2 867	H. américain, (réexportation)
Maroc	17	1 845	H. européen, <i>Homarus gammarus</i>
total	2 236	186 215	

Tableau 1 - Origine, tonnage et valeur des homards importés en 1988.

L'importation de langoustes vivantes, comprise entre 600 et 800 tonnes par an, porte sur des espèces de provenances très diversifiées (fig. 3) et dont le tableau 2 indique les principales. Il s'y s'ajoute désormais le Mozambique, Madagascar, le Togo, le Gabon, le Ghana, le Chili,L'étalement dans le temps des importations est mieux réalisé que sur les autres espèces en dépit d'un pic au mois de décembre (fig. 2).

Origine	Tonnes	Milliers de F	
Afrique du Sud	180	15 577	L. du Cap, <i>Jasus lalandii</i>
Mauritanie	106	8 171	L. rose, <i>Palinurus mauritanicus</i>
Portugal	78	8 845	L. rose, <i>Palinurus mauritanicus</i>
Sénégal	50	5 237	L. verte, <i>Palinurus regius</i>
Royaume-Uni	46	4 755	L. rouge, <i>Palinurus elephas</i>
Irlande	41	4 950	L. rouge, <i>Palinurus elephas</i>
total	2 236	186 215	

Tableau 2 - Origine, tonnage et valeur des langoustes importées en 1988.

Les exportations de crabes, 3 844 tonnes en 1988, sont relativement stables et destinées aux marchés du sud de l'Europe : Espagne, Portugal, Italie. Pour le homard elles sont de 70 tonnes à destination de l'Italie et de la Suisse. En ce qui concerne les langoustes, elles sont de 160 tonnes à destination de l'Italie, de la RFA et de l'UEBL.

1.3 CONSOMMATION DES CRUSTACES

Le cumul de la production nationale et de l'importation est de l'ordre de 25 000 tonnes. Après déduction de l'exportation et des pertes au stockage, on peut estimer à 18 000 tonnes environ la quantité de crustacés vivants commercialisés.

En 1987, le tourteau représentait 75% du marché des crabes en France. Par ailleurs, le marché français absorberait 70% de la production européenne de homard et 90% de celle des langoustes. La consommation de ces produits est étroitement liée au tourisme estival et aux fêtes de fin d'année.

Selon une étude déjà ancienne sur le marché du crabe en France (CCPM/COFREMCA, 1982), la consommation de ce produit est marquée par un double déséquilibre, géographique et saisonnier. Elle est concentrée dans les régions productrices (85% dans le "Grand Ouest") et dans la région parisienne. Elle présente une forte saisonnalité reflétant le calendrier de production, et une irrégularité hebdomadaire avec un maximum en fin de semaine. La coïncidence entre les fortes productions et l'affluence de touristes provoque une importante consommation sur le littoral durant l'été (20% du total

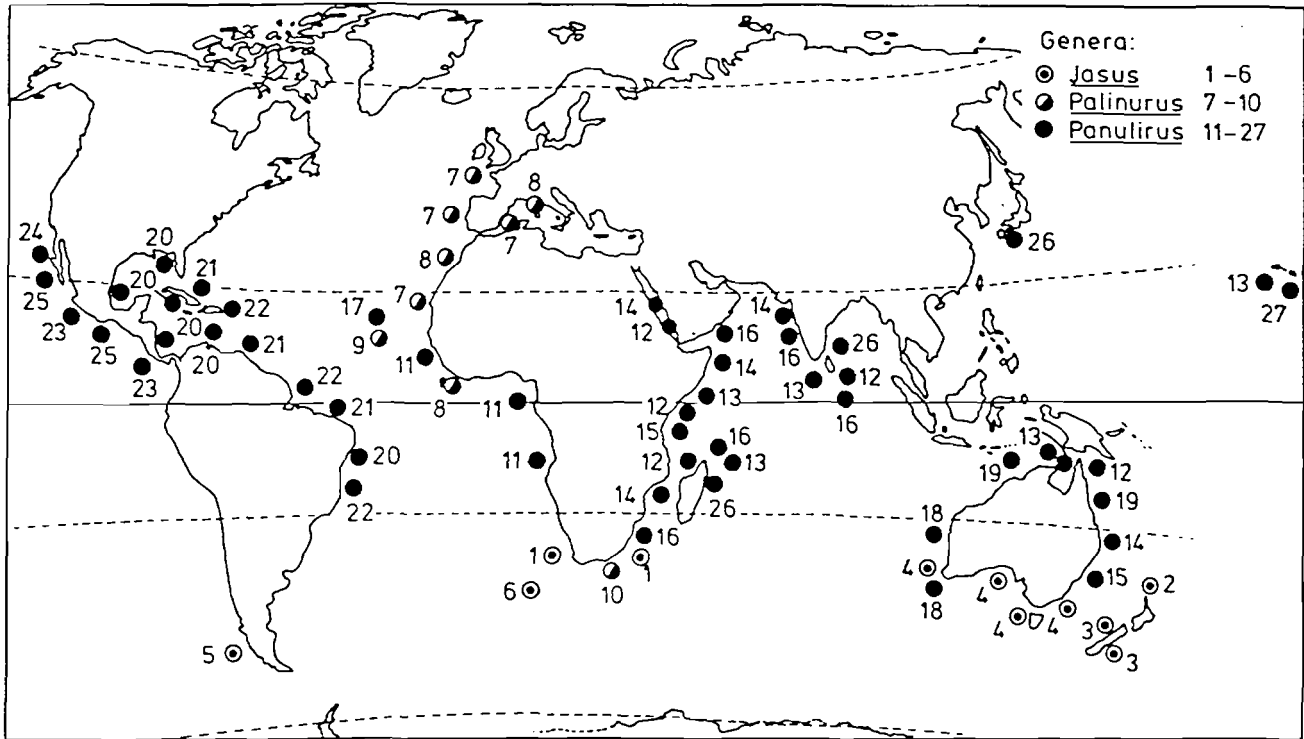


Figure 3 - Origine géographique des principales espèces de langoustes commercialisées dans le monde (d'après Cobb et Phillips, 1980).

Genre *Jasus* : (1) *J. Lalandii* (2) *J. verreauxi* (3) *J. edwardsii* (4) *J. novaehollandiae* (5) *J. frontalis* (6) *J. tristani*.

Genre *Palinurus* : (7) *P. elephas* (8) *P. mauritanicus* (9) *P. charlestoni* (10) *P. gilchristi*.

Genre *Panulirus* : (11) *P. regius* (12) *P. ornatus* (13) *P. penicillatus* (14) *P. versicolor* (15) *P. longipes* (16) *P. homarus homarus* (17) *P. echinatus* (18) *P. cygnus* (19) *P. polyphagus* (20) *P. argus* (21) *P. laevicauda* (22) *P. guttatus* (23) *P. gracilis* (24) *P. interruptus* (25) *P. inflatus* (26) *P. japonicus* (27) *P. marginatus*.

annuel). Par contre, la demande élevée en fin d'années, due au caractère festif de ces produits, correspond à une période de faible production.

1.4 CIRCUITS DE COMMERCIALISATION

Le mareyage réalise l'essentiel des achats à la production et à l'importation, mais la commercialisation finale fait intervenir d'autres acteurs : 40% des achats sont réalisés auprès des poissonniers ambulants ou sédentaires, 20% le sont dans les grandes et moyennes surfaces, 30% se consomment dans les restaurants et 10% sont commercialisés à différents stades de la filière (Poirel, 1985). Dans le cas particulier des homards et langoustes, la restauration absorberait 70% à 80% du marché (Hottlett, 1986).

Les entreprises de mareyage sont très hétérogènes en importance et traitent, selon les cas, des volumes allant de quelques tonnes à plus de 2 000 tonnes. La profession est très concentrée ; quinze entreprises détiennent environ 80% du volume commercialisé. C'est dans le mareyage que se trouvent les plus grandes capacités de stockage et la plus grande diversité des procédés.

La majeure partie des volumes est distribuée par les mandataires et par les grossistes dans les Marchés d'Intérêt National (MIN). Les grossistes achètent en prix fermes aux mareyeurs, alors que les mandataires vendent pour le compte de ces derniers. Ces agents disposent de petits viviers de stockage pour ajuster l'offre à la demande.

Les détaillants traditionnels, ambulants et sédentaires, assurent une partie de la distribution mais, depuis quelques années, les ventes de crustacés en supermarché ont largement progressé. Pour réduire les pertes d'invendus, les détaillants se sont progressivement équipés de petits viviers-cuves, en particulier dans les grandes surfaces, non autorisées à transformer leurs produits.

1.5 MORTALITES

L'évaluation des mortalités a été faite à partir d'enquêtes auprès de toutes les catégories professionnelles qui interviennent dans la chaîne de production et de commercialisation. Les valeurs obtenues varient fortement en fonction de l'espèce, du savoir-faire et du soin apporté lors des manipulations (fig. 4 et 5).

Les causes de mortalité relèvent globalement de la qualité initiale du produit, de facteurs mécaniques, d'un respect insuffisant des exigences physiologiques des espèces, de maladies, ou de problèmes techniques. Le plus souvent il y a conjonction de plusieurs facteurs pour provoquer l'affaiblissement. La mortalité peut résulter de l'accumulation de conditions défavorables dont aucune, prise isolément, n'est suffisante pour provoquer la mort. Cette synergie et le décalage entre causes et effets rendent les diagnostics difficiles.

La mortalité à bord des bateaux qui travaillent à la journée ou par morte-eau est en général de l'ordre de 2% à 3% . Elle excède largement ces valeurs en cas de panne ou de problèmes ponctuels comme un arrêt accidentel du système de pompage, et se répercute ultérieurement dans les viviers de stockage à terre. Il existe, entre bateaux, des différences notables liées à la qualité du tri, aux précautions de manipulation et aux équipements. La mortalité à bord des langoustiers mauritaniens est nettement plus élevée en raison de la durée prolongée des campagnes.

C'est chez les mareyeurs qu'interviennent les plus grosses pertes en raison d'approvisionnements massifs et ponctuels qui engendrent une surcharge des installations et à cause de durées de stockage qui peuvent atteindre deux semaines pour les crabes et plusieurs mois pour les langoustes. On observe des disparités marquées d'une entreprise à l'autre, liées à la qualité des apports, aux conditions techniques de stockage et au savoir-faire.

La mortalité lors du transport en camion-vivier n'excède en général pas 3% à 5%, sauf incident sur le circuit d'oxygénation (dans ce dernier cas, les problèmes qui en découlent se répercutent dans les phases ultérieures de stockage). Des mortalités occasionnelles, lors de fortes chaleurs par exemple, interviennent dans les véhicules de ramassage ou de distribution ; elles concernent plus particulièrement les espèces fragiles comme l'étrille et l'araignée. Le transport aérien du homard américain et de la langouste du Cap se solde normalement par des pertes de 2% à 3% . Par contre, l'importation des langoustes tropicales ou équatoriales présente une forte variabilité et les mortalités atteignent de 30% à 50% .

Chez les détaillants et dans les grandes surfaces, les mortalités en viviers-cuves sont faibles en raison de la brièveté du stockage. Lorsqu'elles interviennent, elles ont souvent pour origine la dégradation de la qualité de l'eau du bassin de stockage, généralement en circuit fermé.

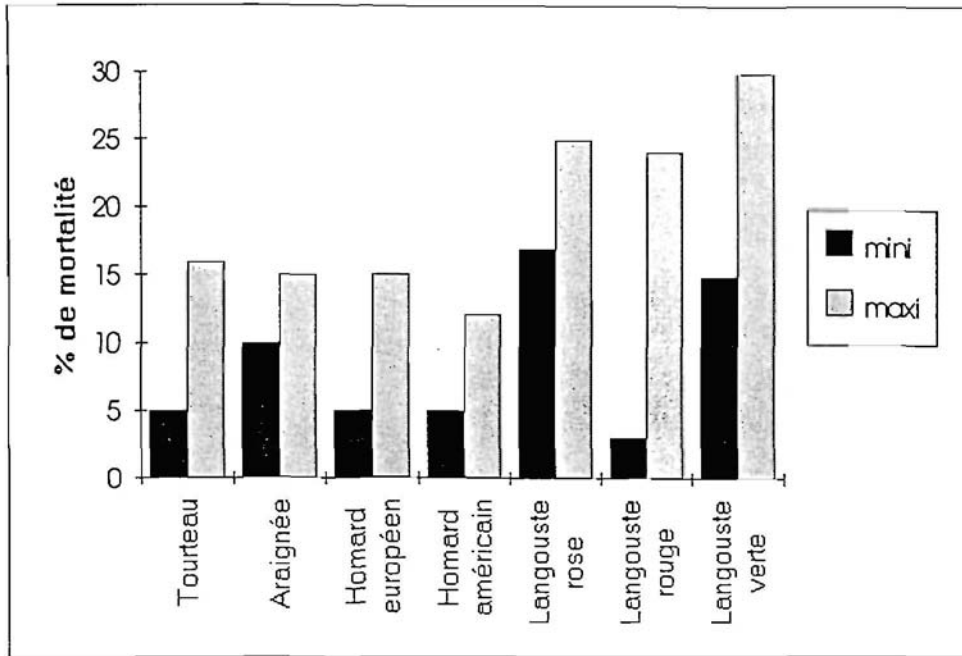


Figure 4 - Taux de mortalité minimum et maximum observés dans les viviers des mareyeurs pour différentes espèces de crustacés.

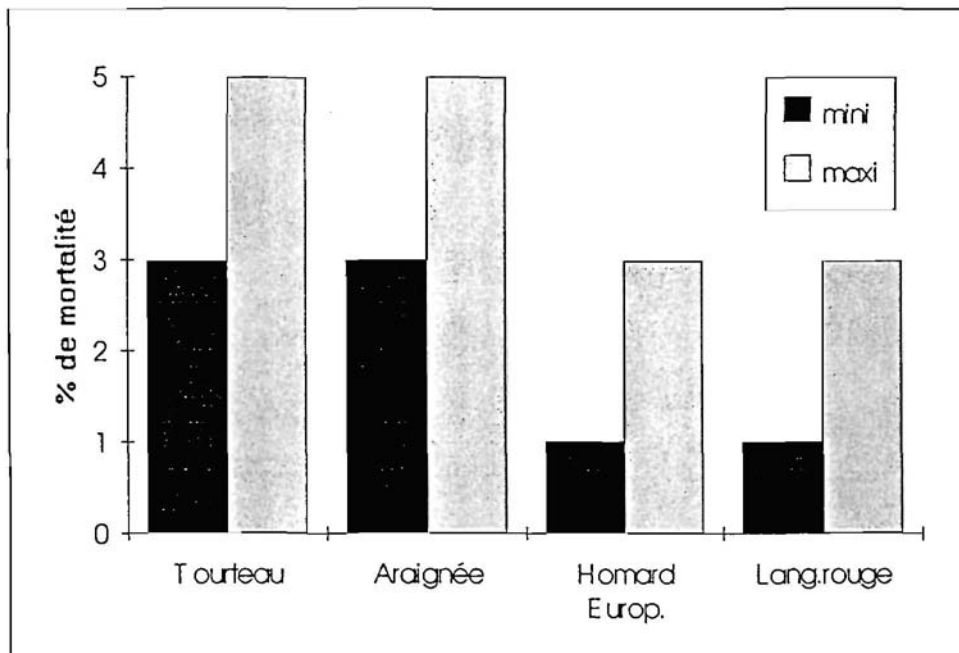


Figure 5 - Taux de mortalité minimum et maximum observés dans les camions viviers pour différentes espèces de crustacés.

2 PRINCIPAUX CRUSTACES CONCERNES

2.1 TOURTEAU (*CANCER PAGURUS*)

L'aire de répartition couvre l'Atlantique nord-est de la Scandinavie au Maroc. Le tourteau est exploité en Norvège, autour des îles Britanniques, en Irlande et sur les côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique. Sa présence est également signalée en Méditerranée où il est rare (fig. 6).

Il vit sur différents types de fonds, rocheux, sableux et sablo-vaseux à des profondeurs comprises entre 0 et 300 mètres, mais il n'est suffisamment abondant pour être exploité qu'entre 20 et 200 mètres. Dans son habitat naturel, les températures sont comprises entre 8° et 16°C selon la saison et l'origine géographique (fig. 9).

En automne, les femelles développent des produits génitaux (masse rouge dans la carapace) qui leur confèrent un intérêt organoleptique accru. Elles pondent à partir du mois de novembre et ne sont plus capturables aux casiers pendant les six à sept mois d'incubation des oeufs. Ce comportement est responsable de la chute saisonnière des rendements et des apports. L'éclosion intervient vers le mois de mai et la reprise d'activité des femelles marque le véritable début de la saison de pêche.

Après la mue, le crabe doté d'une nouvelle carapace est particulièrement fragile aux chocs et demeure de faible intérêt pour le consommateur ; il est dit "clair" et la réglementation en interdit le débarquement. La période de mue ne présente pas de synchronisme, on peut donc capturer des crabes "clairs" pendant tous les mois de l'année en proportion variable.

Le tourteau est pêché au casier par des bateaux côtiers qui travaillent à la journée et par des caseyeurs hauturiers qui effectuent des marées de 6 à 10 jours. Les prises des fileyeurs et des chalutiers sont faibles.

Aussitôt après la capture, les pêcheurs sectionnent un des tendons actionnant le dactyle des pinces pour éviter l'effet destructeur de ces dernières pendant le stockage ; selon les régions, les crabes sont "piqués" (section du tendon supérieur) ou "coupés"(section du tendon entre les dactyles).

Par la production nationale de 9 000 tonnes et l'importation de 6 000 tonnes, le tourteau représente plus de la moitié du tonnage de crustacés vivants qui transite dans les installations de stockage.

2.2 ARAIGNEE (*MAJA SQUINADO*)

L'aire de distribution couvre l'Atlantique nord-est du sud de l'Irlande à la Guinée ainsi qu'une grande partie de la Méditerranée (fig.6).

L'araignée adulte se déplace selon un rythme saisonnier entre le niveau des basses mers et les sondes de 100 mètres : en automne les adultes migrent vers des zones

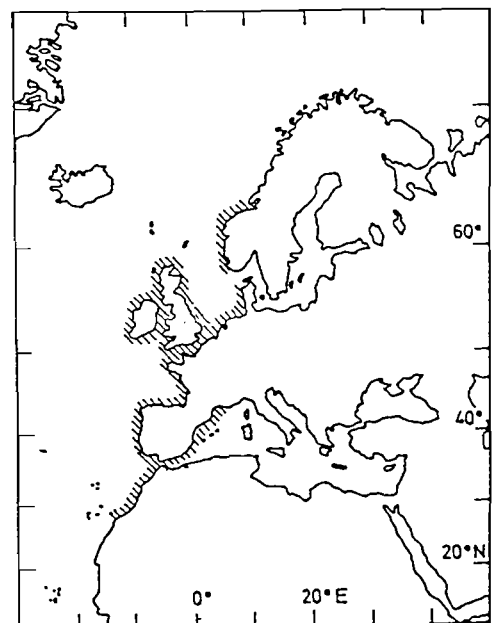
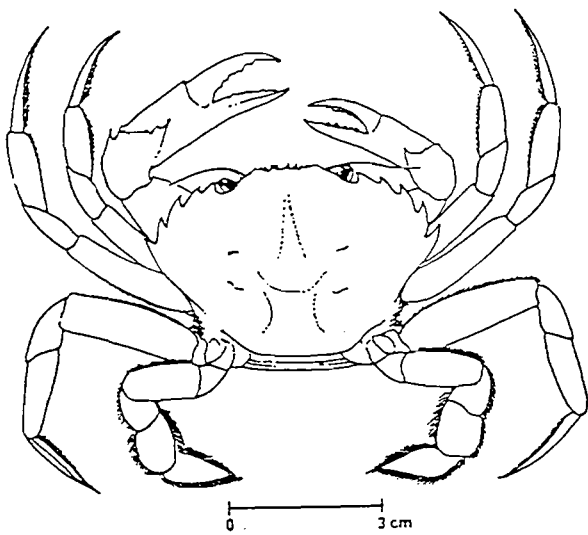
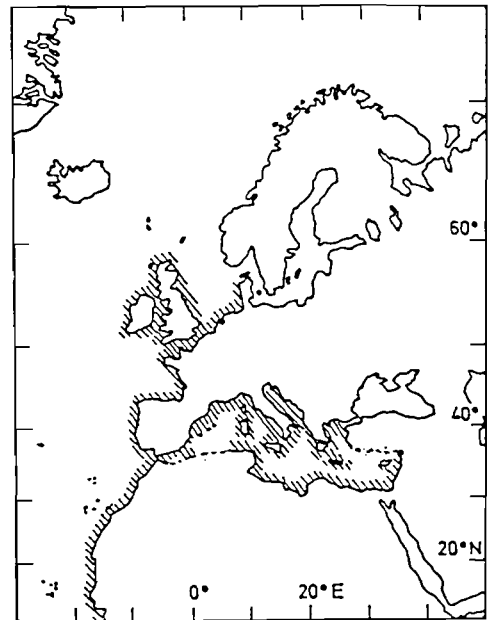
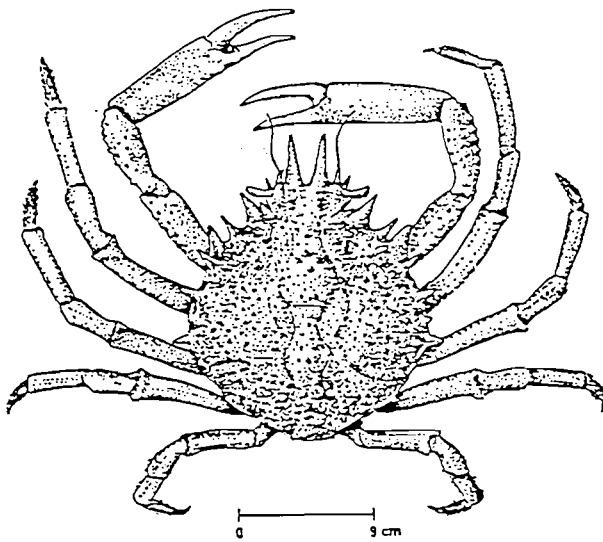
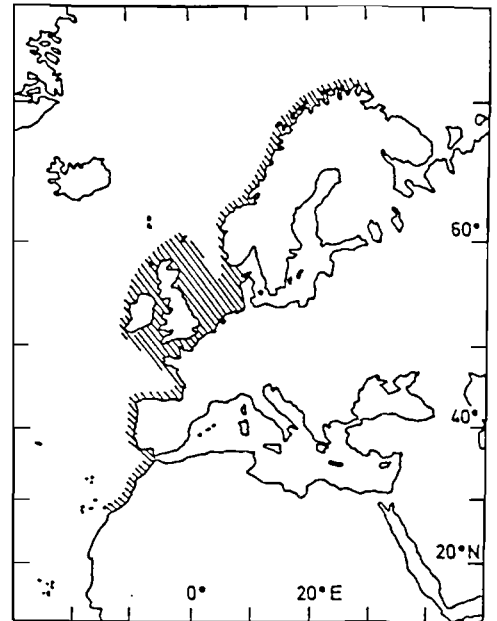
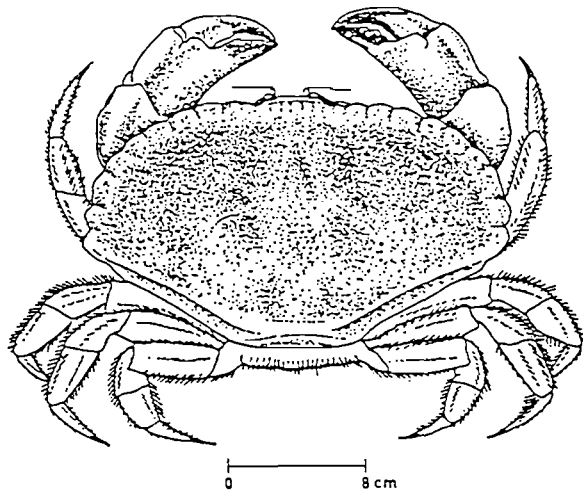


Figure 6 - Aires de répartition du tourteau (en haut), de l'araignée (milieu) et de l'étrille (bas).

d'hivernage situées au large et se rapprochent de la côte au début du printemps. Les températures dans le milieu naturel évoluent saisonnièrement entre 8° et 19°C.

Les juvéniles appelés "moussettes" ou "crabes-mousse", se développent à proximité des côtes, dans les baies et les estuaires. A l'âge de deux ans, après une dernière mue, ils atteignent la taille définitive et deviennent adultes. Pendant les 3 ou 4 mois qui suivent cette mue terminale, l'araignée "claire" est fragile et de peu d'intérêt commercial ; cette période s'étend de juillet à décembre. Sur les pêcheries où le taux d'exploitation est élevé, la proportion de ces nouveaux adultes représente l'essentiel de la population exploitable.

La principale zone d'exploitation en France est le golfe normand-breton où la pêche est pratiquée au filet et au casier par des unités qui travaillent à la journée ou par marées de 2 à 3 jours. L'araignée apparaît également dans les captures accessoires des chalutiers.

En cumulant production nationale et importation, le tonnage annuellement traité est de l'ordre de 4 000 à 8 000 tonnes.

2.3 ETRILLE (*MACROPIPUS PUBER*)

L'aire de répartition de l'étrille s'étend par enclaves de la Norvège au Sahara espagnol et couvre la côte occidentale de la Méditerranée (fig. 6). On la trouve du niveau des basses mers jusqu'aux sondes de 80 mètres, mais elle n'est abondante qu'en zone très côtière. Elle affectionne les fonds rocheux entrecoupés de bandes sableuses ou sablo-vaseuses. Elle n'est pas sujette à des migrations amples mais semble toutefois rechercher des zones plus profondes en hiver.

Malgré sa petite taille, l'étrille est recherchée pour la finesse de sa chair. Elle est pêchée surtout au casier mais les captures des chalutiers sont localement importantes. Les principales zones de production en France vont du Havre à Saint-Vaast-la-Hougue et d'Auray à Saint-Nazaire.

2.4 HOMARD EUROPEEN (*HOMARUS GAMMARUS*)

Le homard européen occupe la partie orientale de l'Atlantique Nord alors que l'espèce américaine en occupe la partie occidentale sans recouvrement des zones. Son aire de répartition s'étend de la Norvège au Maroc ; le homard est également présent, mais rare, en Méditerranée (fig. 7). Il fréquente les fonds de 0 à 200 mètres mais son abondance est réduite au-delà de 100 mètres. Il affectionne les fonds rocheux et accidentés susceptibles de lui procurer alimentation et abri, mais il colonise également les épaves et les enrochements artificiels.

Les températures de son milieu naturel évoluent selon un gradient géographique et saisonnier qui, sur nos côtes, s'échelonne de 7° à 19°C.

Le homard est pêché au casier, essentiellement par les bateaux côtiers qui travaillent à la journée. Dès la capture, les pinces sont immobilisées par des élastiques ou un fil de fer. La pratique qui consiste à couper les tendons est progressivement abandonnée et doit disparaître car elle provoque un affaiblissement immédiat et offre une voie de pénétration à la bactérie, *Aerococcus viridans*, responsable d'importantes mortalités.

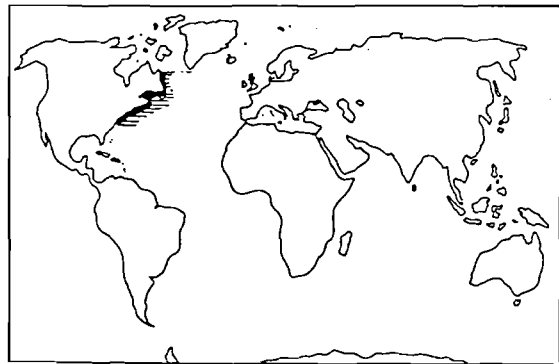
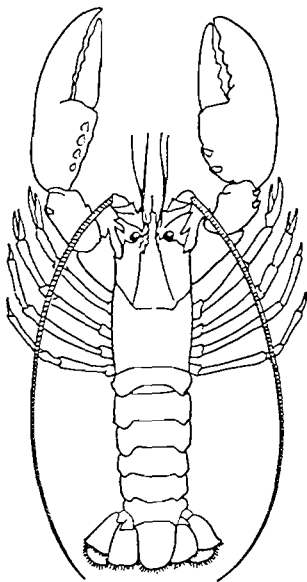
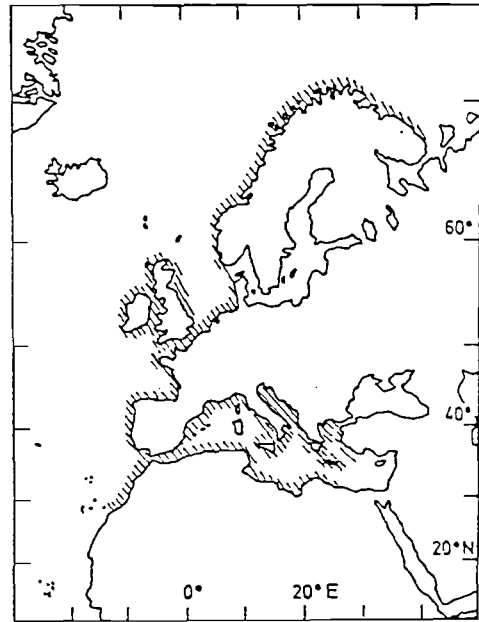
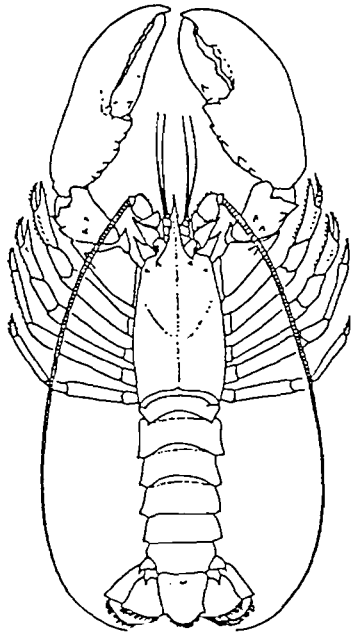


Figure 7 - Aires de répartition du homard européen (en haut) et du homard américain (bas).

2.5 HOMARD AMERICAIN (*HOMARUS AMERICANUS*)

L'aire de répartition s'étend sur le littoral américain, du Labrador à la Caroline du Nord. Ce homard abonde particulièrement sur la côte de l'Etat du Maine, au sud de la Nouvelle-Ecosse et dans le golfe du Saint-Laurent, du niveau des basses mers jusqu'à 500 mètres de profondeur (fig.7).

Il est pêché au casier et au chalut. La production annuelle est de l'ordre de 30 000 tonnes pour le Canada et de 20 000 tonnes pour les Etats-Unis. Les tonnages importés annuellement en France sont de 4 à 5 fois supérieurs à la production nationale de homard européen.

Dans son aire de répartition, la température varie pendant l'année de -1°C en février-mars à 24°C en août. L'effet de forts vents peut la modifier très rapidement de plusieurs degrés et abaisser la salinité à des valeurs inférieures à 30 pour mille sans provoquer de mortalité. La variabilité des conditions hydrologiques de son milieu naturel en zone côtière explique l'aptitude du homard américain à mieux supporter les contraintes du stockage que son homologue européen.

2.6 LANGOUSTE ROUGE (*PALINURUS ELEPHAS*)

L'aire de répartition s'étend, en Atlantique nord-est des îles Hébrides au cap Bojador (y compris les Açores), en Méditerranée occidentale et dans l'Adriatique (fig.8). Elle n'est localement abondante que dans l'ouest et le sud de l'Irlande, au sud de l'Angleterre, en Bretagne, et autour de la Corse. Elle vit entre la côte et 200 mètres de profondeur mais elle est plus commune entre 50 et 100 mètres. Elle recherche les substrats durs avec une prédilection pour les faciès coralligènes. Elle est réputée grégaire.

Elle est pêchée surtout au filet maillant ou au trémail et accessoirement au casier ou au chalut. Elle ne fait l'objet de débarquements significatifs qu'en Corse et en Bretagne.

2.7 LANGOUSTE ROSE (*PALINURUS MAURITANICUS*)

En Atlantique, l'aire de répartition s'étend de l'ouest Irlande au Sénégal et en Méditerranée où elle est présente sur les côtes d'Algérie, de Tunisie et de Corse (fig.8). Son abondance est maximale au large du Rio de Oro et de la Mauritanie.

Elle vit en bordure du plateau continental et en particulier dans les fosses qui l'entaillent. Les étendues de vase qui voisinent avec des zones de roches et de coraux lui conviennent particulièrement, par des fonds de 40 à 600 mètres. Les mâles sont plus abondants entre 150 et 250 mètres, alors que les grosses femelles et les immatures prédominent au-delà de 300 mètres.

La température dans son milieu naturel varie au cours de l'année entre 12,5° et 16,5°C avec une moyenne de 14°C entre octobre et juin et de 16°C en août-septembre (fig. 9). La salinité y est de 35,5 à 36 pour mille. La teneur en oxygène de ces eaux est faible, comprise entre 1,1 et 1,9 mg/L (Maigret, 1978).

La pêche française se pratique au casier pour la langouste vivante et au chalut pour la vente en queues congelées. Les Portugais ont récemment entrepris l'exploitation de cette espèce au filet maillant. L'important accroissement de l'effort de pêche constitue une grave menace pour le maintien du stock mauritanien.

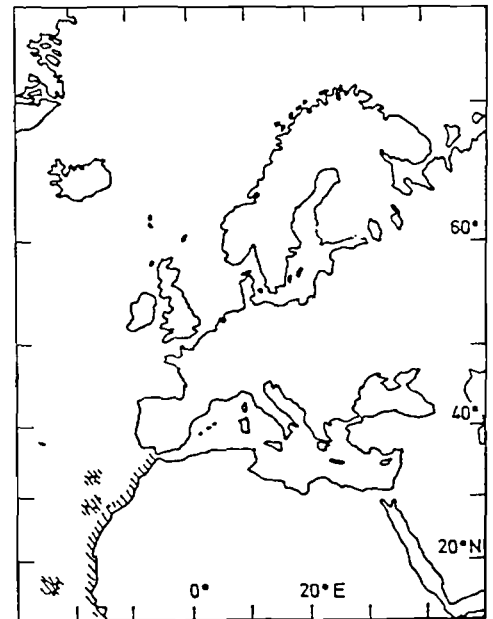
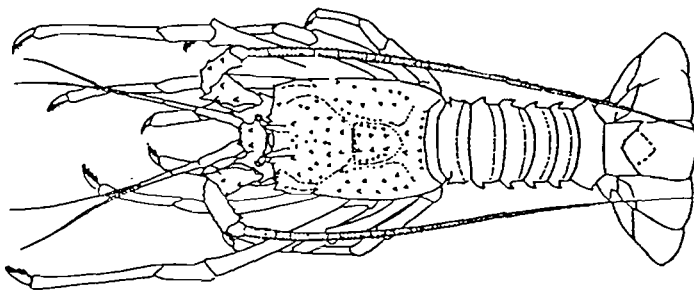
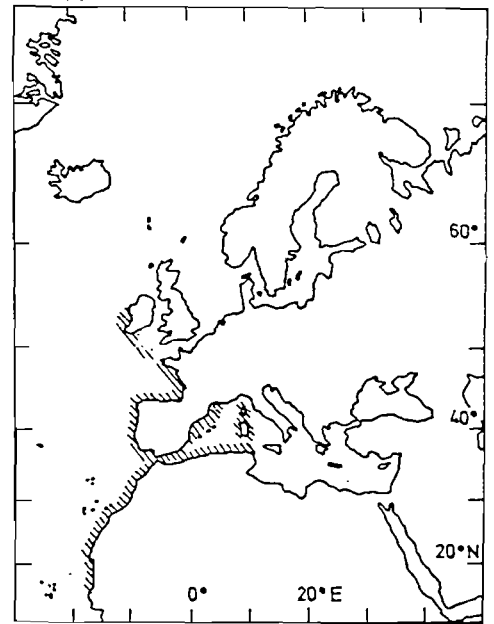
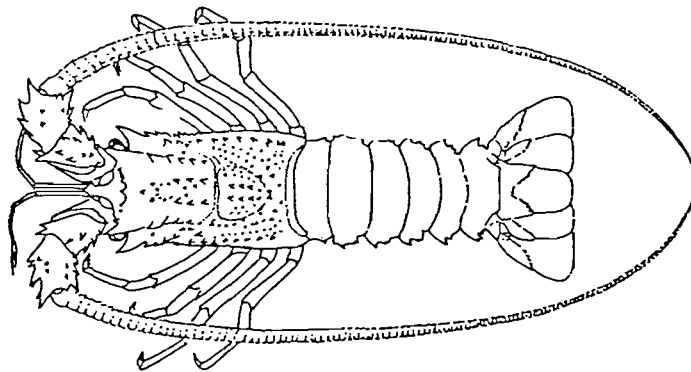
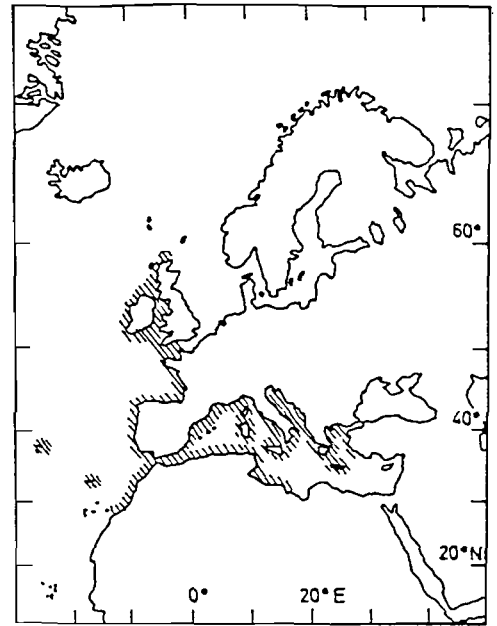
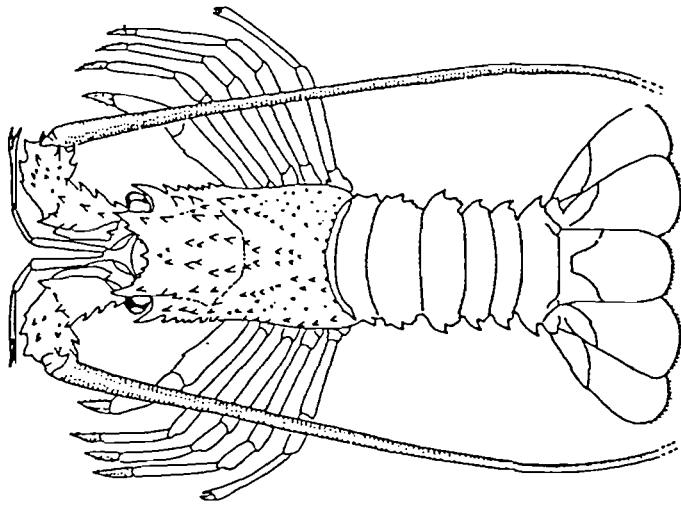


Figure 8 - Aires de répartition de la langouste rouge (en haut), de la langouste rose (milieu) et de la langouste verte (bas).

2.8 LANGOUSTE VERTE (*PALINURUS REGIUS*)

Son aire de répartition couvre la côte africaine atlantique de Villa Cisneros au sud de l'Angola, et inclut l'archipel du Cap-Vert. Elle est rare en Méditerranée (fig. 8). On la pêche de 0 à 50 mètres de profondeur et plus particulièrement entre 5 et 15 mètres, sur des zones rocheuses mêlées de sable dans des eaux agitées.

Les conditions hydrologiques de son milieu naturel semblent varier largement selon l'origine géographique. En Mauritanie, au nord du banc d'Arguin (du cap Blanc au Rio de Oro), elle vit dans des eaux relativement fraîches dont la température est comprise entre 14 et 21 °C (fig. 9) et de salinité 35,8 à 36,5 pour mille. Au sud de ce banc, les températures influencées par l'avancée des eaux guinéennes atteignent 28 à 29°C en septembre. Au Sénégal et en Gambie, elle recherche les eaux de température voisine de 25°C et ne semble pas être gênée par des eaux à 28-29°C. Au Togo et au Bénin, on la retrouve dans des lagunes dont la salinité descend jusqu'à 28 pour mille (Giudicelli, 1971).

Pêchée depuis le début du siècle, l'exploitation de la langouste verte par les bateaux français a cessé en 1970. Elle retrouve depuis 1989 un regain d'intérêt sur la côte marocaine. La pêche se pratique au filet droit à proximité de la côte dans des eaux continuellement brassées. La saison de pêche s'étend d'avril à décembre. Elle est peu fructueuse de novembre à mai, période pendant laquelle la langouste verte mène une vie ralentie et s'alimente moins.

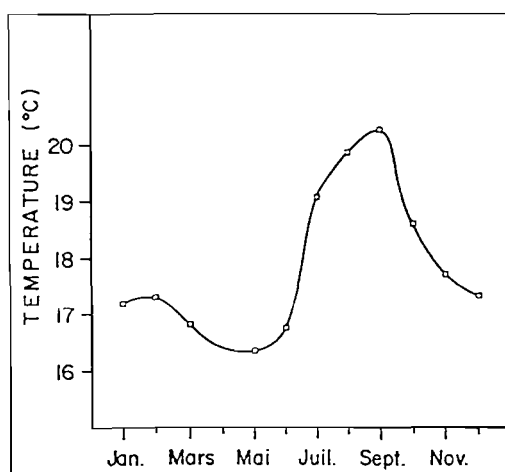
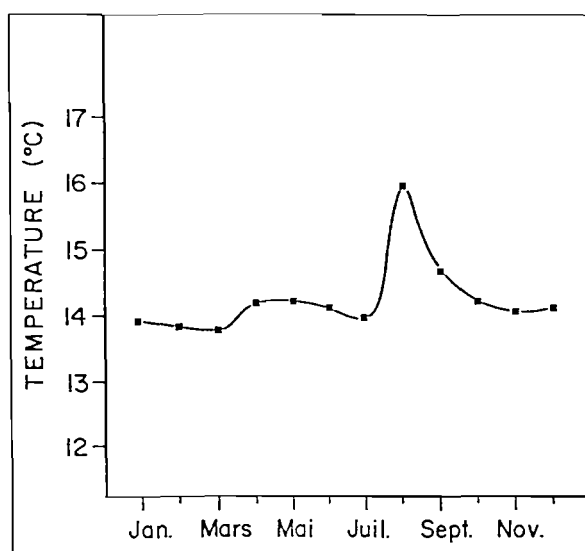
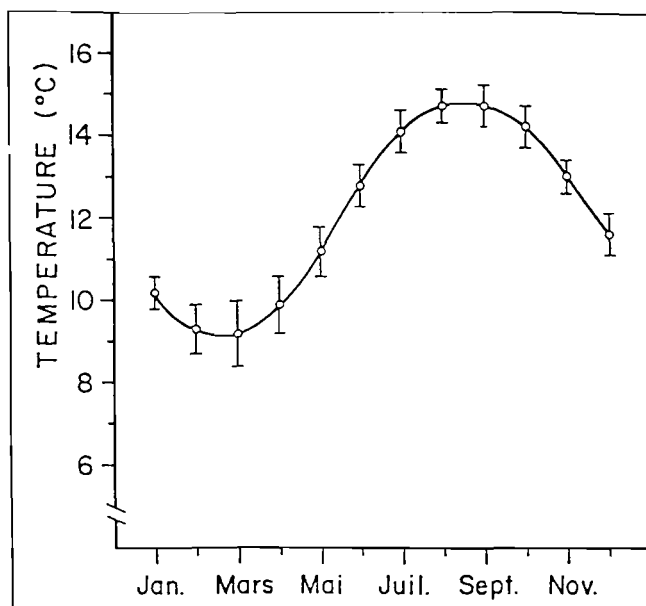


Figure 9 - Température mensuelle moyenne de l'eau au niveau du fond.
 haut : par 60 mètres, entrée de la Manche (Latrouite et Raguénés, 1985)
 milieu : par 200 mètres, large de la Mauritanie, fonds à langouste rose (Maigret, 1978)
 bas : par 20 mètres, côte de Mauritanie, fonds à langouste verte (Maigret, 1978)

3 GRANDS TRAITES DE LA PHYSIOLOGIE DES CRUSTACES

La connaissance, même succincte, des caractéristiques biologiques et des principales fonctions physiologiques des crustacés permet de mieux appréhender leur rôle dans la survie lors du stockage et du transport. Cette section examine les grands traits de la croissance, de la reproduction, du système circulatoire, de l'excrétion, de la respiration dans l'eau et dans l'air et enfin de l'autotomie.

3.1 CROISSANCE ET MUE

La présence d'un squelette tégumentaire externe, calcifié et rigide, impose aux crustacés des contraintes dans leur mode de croissance. L'augmentation de taille s'effectue par des mues successives au cours desquelles l'animal rejette sa carapace et toutes les pièces internes calcifiées. La fréquence de ce phénomène, sous contrôle nerveux et hormonal, varie avec l'espèce, l'âge, le sexe et les conditions d'environnement.

L'accroissement en taille et en poids immédiatement après la mue résulte, d'une absorption d'eau par les tissus qui, par exemple chez le tourteau, peut atteindre 60 % du poids total. Cette eau est progressivement remplacée par des réserves organiques. Le durcissement de la carapace et la synthèse de nouveaux tissus constituent pour le crustacé de nouvelles "priorités physiologiques" qui le fragilisent et influencent considérablement sa capacité de survie pendant le stockage et le transport : la carapace est particulièrement vulnérable aux chocs, les besoins métaboliques sont élevés et la sensibilité aux substances toxiques est accrue. Les animaux qui viennent de muer, dits "clairs", sont d'un intérêt réduit pour le consommateur en raison de la forte teneur en eau, et pour le négociant à cause de la faible probabilité de survie avant la vente. Ces raisons ont conduit l'Administration à en interdire le débarquement. Ainsi l'application de cette mesure entraînerait une baisse des mortalités.

Les espèces stockées plusieurs semaines ou plusieurs mois peuvent muer en vivier ; c'est fréquent chez les langoustes et, à un moindre degré, chez les homards. On peut, en pressant sur la carapace au niveau du céphalothorax, identifier les individus prêts à muer, caractérisés par le ramollissement des flancs. La mue survenant la nuit, les animaux sont en général dévorés par leurs congénères. L'impact du cannibalisme peut être réduit en isolant les individus prêts à muer ou en les vendant en priorité.

3.2 REPRODUCTION

Le cycle de reproduction passe par les phases successives de maturation des produits génitaux, d'accouplement, de ponte au cours de laquelle les ovules sont fécondés, d'incubation des oeufs (femelles "grainées") et d'éclosion ou libération des larves. Les interférences entre ce cycle et le stockage sont réduites, mais des problèmes conjoncturels peuvent se poser, en particulier dans les viviers en circuit fermé.

Lorsque la ponte intervient dans des viviers, il est fréquent que les oeufs ne se fixent pas sous la femelle. Ils flottent entre deux eaux ou tombent au fond ; ils s'y décomposent en consommant de l'oxygène et accroissent la teneur du bassin en ammoniac. Dans ce cas, le renouvellement partiel ou total de l'eau est nécessaire.

Il n'est pas rare d'observer des homards femelles dont la chair est de teinte bleu-vert. Cette coloration résulte de la résorption des produits génitaux et n'exprime aucun caractère pathologique. Elle disparaît naturellement en quelques jours. Les animaux, même colorés, sont parfaitement consommables.

3.3 SYSTEME CIRCULATOIRE

Il est de type semi-lacunaire ; la cavité thoracique des crustacés contient l'hémolymphe (le sang), dans laquelle baignent les organes internes. L'hémolymphe assure la fonction de transport des gaz dissous au sein de l'organisme grâce à l'hémocyanine, pigment respiratoire des crustacés brachyours (type crabe) et macroures (type langouste).

L'hémocyanine représente 75% à 100% des protéines de l'hémolymphe. Elle constitue une réserve de protéines alimentaires utilisables en l'absence prolongée de nourriture et, à ce titre, joue un rôle dans la capacité des crustacés à supporter le jeûne ; chez le tourteau, on observe après 20 jours de jeûne, une diminution de 20% du taux de protéines totales dans le sang et de 25% de l'hémocyanine.

Près d'un tiers du poids du crabe peut être constitué par l'hémolymphe. Si, durant la commercialisation, le crabe est blessé ou amputé, il se vide d'une partie de ce sang et perd partiellement sa capacité à lutter contre le jeûne.

3.4 EXCRETION

Les Crustacés Décapodes disposent d'une paire de glandes dites "antennaires", qui s'ouvrent à la base des antennes et ont une fonction excrétrice. Toutefois, l'essentiel de l'excrétion est assuré par les branchies qui éliminent l'ammoniaque et les composés uriques. L'excrétion azotée ne s'effectue que pour une faible part au niveau des intestins.

L'azote ammoniacal constitue le principal produit d'excrétion chez la plupart des crustacés : 43% de l'excrétion totale chez le tourteau, jusqu'à 72% chez la langouste du Cap (Cobb et Philipps, 1980), seulement 9% pour l'araignée (tableau 3). Ce catabolite est fortement toxique pour les êtres vivants aquatiques et, quand sa concentration est élevée, il compromet la survie en vivier.

Espèce	Excrétion azotée mq N.Kg ⁻¹ h ⁻¹	Source
Tourteau	1,6 à 2,8	(1)
Araignée	1,8 à 3,2	(1)
Homard européen	2,2 à 3,8	(1)
Homard européen	4	(2)
Langouste de Cap	1,1 à 2,9	(1)

Tableau 3 - Valeur de l'excrétion azotée chez diverses espèces, d'après (1) Carrière et Justin 1978, (2) Richards et Wickins 1979.

3.5 RESPIRATION EN EAU

Comme tous les organismes aquatiques à respiration aérobie, les crustacés prélèvent l'oxygène dissous dans l'eau. La respiration est assurée par un système de

branchies de nature chitineuse contenues dans des cavités ouvertes sur l'extérieur à la base des pattes locomotrices par une fente munie de cils. La circulation de l'eau sur les branchies s'effectue par des lamelles en perpétuel mouvement, les scaphognatites, situées de part et d'autre de la bouche.

Peu de données existent sur le volume d'eau filtré par les crustacés : 30 litres par kilogramme et par heure, à 15°C pour le homard européen (Wolvekamp et Waterman, 1960). Les faibles pressions partielles d'oxygène et les températures élevées augmentent ce volume.

Les besoins en oxygène des crustacés sont variables en fonction de facteurs biotiques ou abiotiques comme la température, l'alimentation ou le jeûne, le stress. Leurs interactions sont fortes et le rôle de chacun est difficilement quantifiable. Des valeurs indicatives, dans le cas d'un métabolisme basai, sont portées au tableau 4.

Espèce	Température en C°	Consommation d'oxygène en ml.kg ⁻¹ .h ⁻¹	Source
Tourteau	15	17 à 28	(1)
	16	107	(2)
	16	42	(3)
L. rouge	15	44	(2)
L. verte	20	50 à 60	(4)
H.européen	12-15	24	(5)
	15	40 à 77	(2)
H. américain	12-15	30	(5)
	15	68	
	15	20	(2)
	22	37 à 39	(2)

Tableau 4 - Consommation en oxygène de quelques espèces de crustacés d'après (1) Carrière et Justin 1978, (2) Uglow et al. 1986, (3) Wolvekamp et Waterman 1960, (4) Le Floch 1982, (5) Giudicelli 1971.

Les crustacés sont des invertébrés, animaux dont la température interne est variable et s'ajuste à celle du milieu ambiant. Les fonctions biologiques, dont la respiration, sont directement dépendantes de la température extérieure: quand elle croît, le métabolisme est plus actif et inversement. Le tableau 5 indique quelques coefficients multiplicateurs en fonction d'un accroissement de la température.

Espèce	Variation de T°	Multiplicateur de la consommation d'O ₂	Source
Tourteau	8°C ->12°C	X1.3	(1)
Homard européen	10°C -> 20°C	X2	(2)
Homard américain	4°C ->16°C	X2	(3)

Tableau 5 - Relation entre la température de l'eau et la consommation en oxygène, d'après divers auteurs : (1) Uglow et al, 1986, (2) Ayres et Wood, 1977, (3) Mac Leese et Wilder, 1967.

L'alimentation, en générant les réactions métaboliques de la digestion et de l'assimilation, consomme de l'énergie ainsi que de l'oxygène. Chez le homard, il y a doublement de la consommation d'oxygène après ingestion et le niveau reste élevé pendant 2 à 3 jours. Chez des tourteaux "privés" de nourriture, la consommation d'oxygène diminue plus rapidement que chez des tourteaux nourris. Le jeûne génère un ralentissement du métabolisme et de l'activité et il est donc préférable de ne pas nourrir les animaux stockés. Cette situation, même prolongée plusieurs semaines, ou plusieurs mois pour les langoustes, est peu préjudiciable à la survie. Dans le milieu naturel, les femelles "grainées" de tourteau restent bien plusieurs mois sans s'alimenter.

Les manipulations "stressent" les animaux et favorisent leur activité, donc leur métabolisme. Des tourteaux manipulés ont une consommation d'oxygène supérieure à celle de leurs congénères inactifs.

Pour une espèce donnée, la taille influence également la consommation : les petits individus, plus actifs que les gros, consomment plus d'oxygène par unité de poids.

3.6 RESPIRATION AERIENNE

La cavité branchiale, faiblement ouverte, limite l'évaporation et assure une protection efficace des branchies contre la dessiccation. Cette particularité permet aux crustacés de survivre un certain temps hors d'eau, mais au-delà d'un délai variable, l'asphyxie survient du fait d'une moindre absorption de l'oxygène et d'une accumulation de gaz carbonique.

En l'absence d'eau pour les soutenir, les lamelles des branchies s'affaissent et s'accolent les unes aux autres, réduisant considérablement la surface d'échange entre l'eau et le sang. La diffusion de l'oxygène est jusqu'à 30 fois moins performante lorsque la chitine des branchies est sèche (Edney, 1960) et, pour ces mêmes raisons, l'élimination du gaz carbonique s'effectue difficilement.

Lors de l'exposition à l'air ou lorsque le niveau d'oxygène dissous dans l'eau est faible, les crustacés produisent leur énergie par des voies métaboliques anaérobies. L'une d'entre elles, la glycolyse, produit une substance toxique, le lactate, dont l'accumulation dans l'hémolymphe conduit à la mort de l'animal. Le mécanisme de cette toxicité est mal connu chez les crustacés. Le lactate et le gaz carbonique provoquent une acidose du sang qui, en diminuant l'affinité de l'hémocyanine pour l'oxygène, affecte les échanges respiratoires (Vermeer, 1987). Cependant, contrairement aux salmonidés, les crustacés montrent une relative tolérance à ce phénomène. Pour une même durée d'émersion, le taux de lactate dans l'hémolymphe diffère selon l'espèce, illustrant la capacité à supporter l'exposition à l'air. Le taux de lactate après 24 heures d'émersion est 6 fois plus élevé chez le tourteau et 10 fois chez l'étrille que chez le crabe vert (tableau 6).

Durée de l'émersion	Taux de lactate en mg.100 ml ⁻¹		
	Crabe vert	Tourteau	Etrille
0	7,17	3,36	5,44
4 heures	7,53	18,76	30,29
24 heures	9,29	59,83	101,07

Tableau 6 - Taux de lactate dans l'hémolymphe, en fonction de la durée d'émersion (Whyman et al., 1985).

Parallèlement au phénomène d'asphyxie, la respiration aérienne bloque l'élimination par les branchies d'un certain nombre de composés issus du métabolisme et, en particulier, l'ammoniaque. Ce produit considéré comme toxique, est présent dans l'hémolymphe des crustacés à une concentration comprise entre 4 et 25 micro grammes d'azote ammoniacal total pour 100 millilitres. Pour la langouste verte qui supporte mal l'immersion, cette valeur se situe à 7,4 (Vermeer, 1987). Néanmoins, cette toxicité, due à la forme NH_3 (ammoniac), est réduite par l'acidification de l'hémolymphe résultant de l'accumulation du lactate et du gaz carbonique (baisse du pH du milieu intérieur).

3.7 AUTOTOMIE

Les crustacés sont connus pour leur faculté à s'amputer d'une ou plusieurs pattes ou pinces. Cette capacité d'autotomie leur permet d'échapper à un prédateur en abandonnant l'appendice par lequel ils sont tenus. Ce phénomène est particulièrement fréquent chez l'étrille en raison de son comportement très combatif : la proportion d'amputés est de 15% à 30% à la capture et s'accroît pendant le stockage (Wilhelm, 1985). Lors de l'amputation, un diaphragme hémostatique se constitue et empêche toute hémorragie. Ce mécanisme préventif ne fonctionne pas efficacement en dehors de l'eau, en particulier quand la cassure est située à un autre niveau que l'articulation. Il est nécessaire dans ce cas de réimmerger rapidement l'animal pour limiter les pertes d'hémolymphe. Les crabes dont les pinces ont été arrachées et qui sont rejetés à l'eau, n'ont aucune chance de survie.

4 LES INSTALLATIONS DE STOCKAGE DE CRUSTACES

Ce chapitre passe en revue les techniques de stockage et de transport utilisées, depuis le bateau de pêche jusqu'au vendeur détaillant. Dans une seconde partie, le principe de fonctionnement d'une unité de stockage est abordé dans ses principaux aspects : le pompage, le contrôle des matières en suspension, l'épuration biologique, l'oxygénation et la thermorégulation.

4.1 STOCKAGE A BORD DES BATEAUX

Les bateaux qui pêchent les crustacés sortent pour des marées de durée variable : 1 à 3 jours pour les caseyeurs et fileyeurs côtiers, 6 à 10 jours pour les caseyeurs hauturiers, plusieurs mois pour les langoustiers opérant le long des côtes d'Afrique. Les équipements de stockage sont plus ou moins complets en fonction de la durée des sorties, de la taille et de l'âge du navire.

4.1.1 Les Bacs

Dans presque tous les cas, les petites unités côtières sont dépourvues d'installations de stockage en eau ; les crustacés sont conservés dans de simples bacs ou nasses entreposés sur le pont. Une toile ou un sac de jute mouillé d'eau de mer est disposé sur le bac plein pour protéger les crustacés. L'un des inconvénients majeurs de ce procédé concerne les animaux blessés qu'il conviendrait de remettre rapidement en eau pour réduire les pertes d'hémolymphe (tourteaux et homards après coupure du tendon d'articulation des pinces par exemple).

4.1.2 Les Viviers de pont

Ils équipent les bateaux de taille moyenne qui, pour des contraintes de place ou de forme, ne peuvent aménager un vivier de coque. Un vivier en plastique ou en bois, recouvert ou non de résine, est alimenté par la manche à eau. Les crustacés y sont placés en fin de virage de chaque filière. La durée d'émersion est brève et le renouvellement de l'eau élevé. En contrepartie, tout arrêt de l'alimentation en eau peut avoir des conséquences néfastes par réduction de la teneur en oxygène, particulièrement l'été quand les eaux sont plus chaudes, donc moins oxygénées. Selon les mareyeurs, la mortalité serait plus forte sur les crustacés provenant de certains de ces bateaux. En cas de problèmes dans l'alimentation, mieux vaut donc vider le vivier de son eau que de maintenir les animaux en eau non renouvelée.

4.1.3 Les Viviers de coque

Ils équipent tous les caseyeurs hauturiers et une partie des bateaux côtiers. Ils sont constitués d'un compartiment étanche dans la cale, accessible par une ou plusieurs ouvertures au niveau du pont. Selon le type de bateau et son ancienneté, c'est une cuve métallique ou un cloisonnement de la cale dont le volume varie de quelques mètres cubes à plus de vingt mètres cubes.

L'alimentation en eau se fait par pompage (en général deux pompes). La distribution est assurée par des tuyaux en PVC percés latéralement et répartis au fond du vivier pour améliorer la diffusion. L'évacuation s'effectue par un système de trop plein. Le renouvellement complet de l'eau est rapide, de 5 à 6 fois par heure, ce qui autorise des charges biotiques de l'ordre de 400 à 600 kilogrammes par mètre cube.

Les pompes étant asservies au moteur, le renouvellement de l'eau est réduit pendant le virage des casiers et nul en cas de panne. Dans ce cas, des conditions anoxiques très préjudiciables à la survie des animaux peuvent apparaître rapidement. Par ailleurs, le stockage des homards en mélange avec les tourteaux induit parfois une mortalité sur les plus gros individus qui restent coincés dans des positions délicates.

Sur les langoustiers travaillant au large des côtes d'Afrique pendant plusieurs mois, le vivier est en communication directe avec la mer par des fentes pratiquées dans la coque. L'intérieur est garni d'étagères à claire-voie pour permettre une meilleure répartition des langoustes. Un plongeur intervient quotidiennement pour prélever les animaux morts ou faibles. Le renouvellement d'eau dans le vivier s'effectue par le déplacement du bateau, mais ce système ne permet pas de s'affranchir des conditions du milieu extérieur (pollutions diverses, dessalures) ce qui pose parfois des problèmes de mortalité ou d'affaiblissement de (a cargaison. L'assèchement du vivier nécessite la mise à sec du bateau ou l'utilisation d'une bâche enveloppant la coque, associée à un pompage.

En 1989, des viviers réfrigérés pouvant fonctionner en circuit fermé sont apparus sur des unités côtières. Le vivier est placé dans un compartiment isolé dont l'air ambiant est thermorégulé: l'échange thermique entre l'air et l'eau en assure la réfrigération. L'oxygénation est assurée par des pompes insufflant l'air au fond du vivier dans des tuyaux diffuseurs en PVC percés de fentes d'un dixième de millimètre. Ce système permet, par exemple, de conserver les crustacés à bord dans l'attente de la vente en criée, sans pomper l'eau du port si elle est sujette à dessalure, à un réchauffement ou à une pollution.

4.1.4 Les Cales avec brumisation

Un système nouveau, visant à la conservation des langoustines vivantes, est actuellement (1989) en cours de développement et équipe un chalutier du Croisic : une partie de la cale est thermiquement isolée et un serpentin de réfrigération en cuivre y assure le maintien d'une température constante. Au plafond, un pulvérisateur vaporise de l'eau de mer filtrée, oxygénée et réfrigérée à 3°C, sur les langoustines stockées dans des bacs percés et empilés. Ce système, testé durant l'été 1989, semble donner satisfaction pour une durée de conservation de 3 à 4 jours.

4.2 STOCKAGE INTERMEDIAIRE

Il est réalisé dans des nasses ou dans des viviers flottants et concerne essentiellement les bateaux travaillant à la journée et regroupant pour la vente les captures de plusieurs jours. Certaines entreprises de mareyage y recourent également pour réduire conjoncturellement les charges des viviers à terre.

4.2.1 Les nasses, paniers, caisses

Ce sont des cylindres en plastique ajourés de nombreux trous ou des caisses en bois, de capacité 30 à 60 kilogrammes, pendus le long du bord ou mouillés en filières dans les ports. Les crustacés ainsi concentrés et maintenus sur le fond ou entre deux eaux, sont parfois soumis à de brusques modifications du milieu : dessalures (dans le Morbraz

notamment) variations de température, ou apports de gas-oil. Le tri des animaux morts n'est pas aisé et ce procédé ne peut constituer qu'un moyen de stockage temporaire.

4.2.2 Les viviers flottants

Ils sont généralement faits d'épaisses planches de bois coaltarées ou, plus rarement d'une structure métallique dont la flottabilité est assurée par des blocs de mousse rigide fixés au plancher. Leurs dimensions sont très variables et leur capacité peut atteindre 4 tonnes. Le renouvellement de l'eau est assuré par les courants de marée. Ils sont mouillés dans des endroits abrités à proximité de la côte et peuvent être remorqués au flanc du bateau ou le long d'un quai pour le déchargement des produits.

Ce procédé est couramment utilisé au Canada pour le stockage des homards pendant plusieurs semaines. Les viviers mesurent 5 à 9 mètres de longueur, 3 à 4 mètres de large et 1 à 2,5 mètres de profondeur. Ils peuvent être équipés de 6 à 10 étages de plateaux en bois ajouré de 1,80 x 1,80 x 0,12 mètres qui accroissent leur capacité et évitent l'entassement des animaux. La charge, modulée en fonction des conditions hydrologiques, varie de 45 kg.m² pour des températures de 15 à 20°C, à 110 kg/m² pour des températures de 0 à 4°C. La capacité de stockage peut atteindre 4 à 11 tonnes de homards par vivier (Mac Leese et Wilder, 1967).

4.2.3 Les viviers de pleine eau

A Cuba, les langoustes sont stockées dans des cages grillagées fixes et immergées, de petite dimension (3 x 2 x 1,5 mètres). Le tri, effectué trois fois par jour, est une opération difficile nécessitant l'immersion du personnel. Dans certains cas, un système de poulies permet le relevage mécanique. Ces structures côtières n'existent que dans les régions où l'amplitude de la marée est très faible.

Le stockage intermédiaire utilisant ces procédés offre aux crustacés des conditions de vie proches de celles du milieu naturel, si ce n'est la forte densité des individus. Cependant, ces installations restent soumises aux aléas climatiques ou hydrologiques et peuvent également subir des pollutions accidentelles.

4.3 STOCKAGE A TERRE

Il concerne les installations classiques des entreprises de mareyage et de distribution. On y distingue trois grandes catégories de viviers : les parcs à marée, les viviers à renouvellement d'eau et les viviers en circuit fermé.

4.3.1 Les parcs à marée

Ces parcs, réalisés par endiguement d'une portion de côte, forment des bassins de grande surface (jusqu'à 5000 m²). De réalisation généralement ancienne, on ne les trouve que dans de grandes entreprises de mareyage. Ils servent essentiellement au stockage des langoustes et constituent, en appoint, une réserve d'eau pour l'alimentation des viviers adjacents. Leur fonctionnement ne nécessite qu'une faible dépense énergétique.

Une enceinte de béton ceinture le bassin et des cloisons ajourées en bois tropical imputrescible le divisent en unités permettant de séparer les espèces et d'assurer une meilleure utilisation de la surface. Un plancher en bois recouvre partiellement l'ensemble,

ce qui évite l'exposition à la lumière solaire, limite le réchauffement de l'eau et empêche la prolifération d'algues. Le renouvellement d'eau est assuré deux fois par jour par le simple jeu des marées : une vanne, munie d'un clapet pour éviter la vidange totale, commande l'entrée et la sortie de l'eau. Le bassin, vidé au 9/10 èmes en début de flot se remplit progressivement jusqu'au niveau de pleine mer. En marée de faible coefficient, un pompage complémentaire est nécessaire pour atteindre le niveau maximum.

De tels bassins peuvent recevoir plusieurs tonnes ou dizaines de tonnes de langoustes. Le tri des animaux faibles ou morts et les prélèvements pour expédition sont faits une à deux fois par jour à basse mer : des barques à fond plat sont utilisées pour circuler dans les bassins et les animaux sont prélevés à l'aide d'une gaffe.

Les langoustes sont conservées pendant quelques semaines à plusieurs mois sans apport de nourriture, mais une alimentation succincte peut être trouvée naturellement (crevettes, poissons...).

Ce type de vivier présente toutefois un inconvénient majeur : lors de chaque vidange, à marée basse, les animaux présents subissent des concentrations en oxygène dissous faibles et une augmentation importante de la teneur en composés azotés de l'eau. Ces variations rapides de la qualité du milieu sont néfastes. Par ailleurs, en dépit de la stabilité thermique des eaux côtières en Manche, les viviers subissent les aléas climatiques et l'eau présente parfois des températures extrêmes (ces événements sont toutefois assez rares). Enfin, les parcs à marée n'offrent aucune protection contre les pollutions accidentelles, d'hydrocarbures par exemple.

4.3.2 Les viviers en eau renouvelée

Ils constituent les installations les plus courantes pour le stockage des crustacés. D'implantation nécessairement côtière pour assurer le renouvellement de l'eau, on les trouve dans toutes les entreprises de mareyage. Leurs capacités, les aménagements et les équipements associés de traitement de l'eau, varient selon la taille des entreprises et les techniques adoptées.

Les bassins, généralement en ciment, peuvent être recouverts d'une résine polyester pour réduire les irrégularités de la surface, dues à l'érosion du ciment, qui constituent des "pièges à salissures" difficiles à nettoyer. Un grillage plastifié peut les cloisonner pour séparer les lots et réduire l'entassement.

Dans les conditions idéales, leur forme devrait permettre une circulation de l'eau empêchant les zones de stagnation où un déficit en oxygène peut se produire. Les bassins rectangulaires généralement utilisés s'y prêtent moyennement et il est intéressant d'avoir une inclinaison du fond pour faciliter l'écoulement de l'eau lors du nettoyage. Certains viviers ont un fond en forme de "V", pour drainer les déchets vers l'évacuation. L'utilisation d'un caillebotis est également utile pour éviter la stagnation des déchets au contact des crustacés, en particulier pour des espèces comme le tourteau qui "salissent" beaucoup l'eau (fig. 10). Des caillebotis préfabriqués en résine et fibre de verre, surélevés de quelques centimètres par rapport au fond, semblent réduire la mortalité du tourteau.

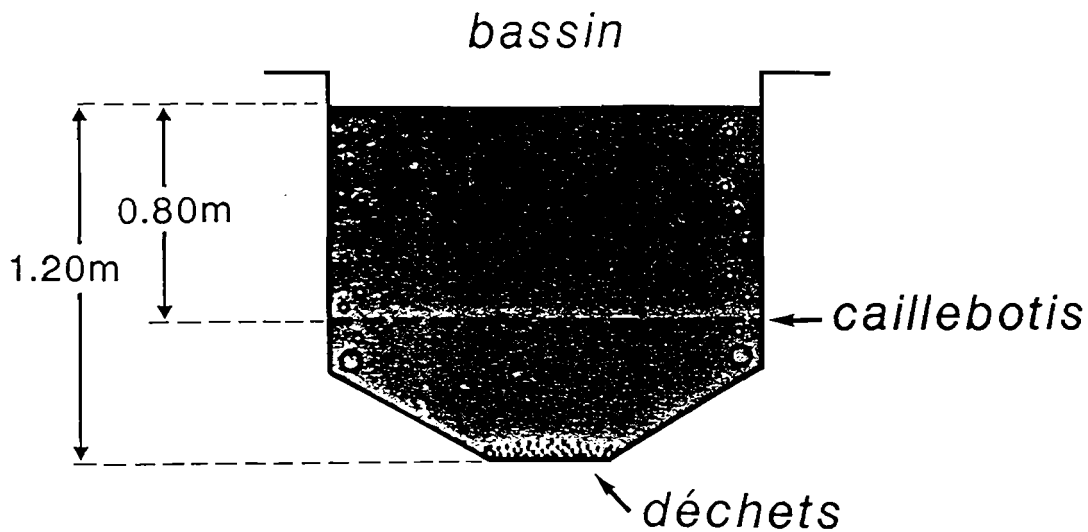


Figure 10 - Coupe d'un bassin en V avec caillebotis.

Le traitement de l'eau se réduit à une circulation permanente, une éventuelle oxygénation et parfois une filtration. L'alimentation s'effectue par pompage à la mer pendant le flot, en alternance avec une recirculation permanente. L'arrivée d'eau dans chaque bassin se fait par divers procédés assurant une dénivellée : soit un tuyau vertical de 2 à 3 mètres, débouchant au dessus de la surface, soit un tuyau horizontal surélevé d'1 mètre et percé au niveau de chaque bassin (un collier mobile fixé sur chaque trou impose le débit), soit une gouttière en ciment munie de vannes à panneaux coulissants longeant les bassins. Dans tous les cas, la pression d'eau à l'arrivée provoque des turbulences et un brassage dans le vivier.

L'évacuation, située à l'opposé de l'alimentation, se fait par un dispositif de trop-plein : bonde munie ou non d'une crépine, ou simple débordement. Des pompes de recirculation reprennent l'eau dans une réserve et la redistribue dans les différents bassins. L'évacuation vers l'extérieur se fait par un système de canalisations.

L'oxygénation, partiellement assurée par le pompage d'eau "neuve" à la mer, est complétée par le brassage et par les turbulences engendrées par les systèmes d'alimentation précités. Les tuyaux verticaux d'arrivée d'eau sont souvent percés pour créer un appel d'air. Cependant les prises d'air réalisées sur les canalisations d'arrivée d'eau peuvent provoquer par effet Venturi une importante sursaturation en gaz dissous (dont l'azote), d'où un risque comparable à "la maladie des bulles", entraînant éventuellement des mortalités. Dans les bassins fortement chargés en tourteaux et araignées, un complément d'oxygénation est apporté par insufflation d'air surpressé dans des tuyaux de PVC percés disposés sur le fond du bassin. L'air insufflé crée en outre des courants de convection qui assurent la remise en suspension des particules et les entraînent dans la circulation générale.

La filtration est en général sommaire puisque l'eau est fréquemment renouvelée : des crépines ou des paniers tamis placés à l'aspiration de la pompe, éliminent les gros éléments (algues, sables grossiers). Le procédé de décantation n'est pratiqué que lorsqu'il existe un bassin de réserve en eau.

Le débit de recirculation de l'eau résulte en général d'un compromis économique entre un renouvellement élevé et le coût du pompage. En pratique, les besoins sont évalués empiriquement, "à l'oeil" d'après le comportement des crustacés ou la teinte de l'eau. Le renouvellement est couramment d'une à deux fois le volume du bassin dans l'heure. Il est réglé par des vannes au niveau de chaque bassin.

Le nettoyage des installations est effectué à la brosse, à la raclette, ou au jet d'eau sous pression. Sa fréquence dépend de la rapidité des ventes de chaque lot.

Les charges biotiques diffèrent selon les espèces. Pour le tourteau et l'araignée, l'importance ponctuelle des apports entraîne une (sur)charge des viviers pouvant atteindre 250 kg.m^{-3} ; l'épaisseur de la "couche" d'animaux peut dépasser le demi-mètre et affleurer la surface. Dans ces conditions de stockage, la mortalité des individus faibles est inévitable. Les professionnels s'accordent à juger que 120 kg.m^{-3} est un seuil souhaitable pour les crabes. Pour les homards et les langoustes, la charge est inférieure à 100 kg.m^{-3} dans la mesure du possible. Au delà, les problèmes surgissent.

La surveillance porte sur les installations et sur les crustacés. Des systèmes placés aux points importants (pompes, circuit électrique...), donnent une alarme sonore ou téléphonique en cas de dysfonctionnement. La surveillance des animaux, purement visuelle, est quasi permanente. Les individus faibles et les morts sont retirés à chaque mise à sec, ou prélevés avec des épuisettes ou des gaffes entre deux vidanges.

4.3.3 Les viviers en circuit fermé

Ce type d'installation est indispensable dans les implantations distantes de la mer. Il s'accompagne fréquemment d'une régulation thermique. On le trouve dans la plupart des points de vente, chez les intermédiaires et chez les mareyeurs pour le stockage prolongé de homards ou de langoustes.

Comme pour les viviers en circuit ouvert, les bassins sont en ciment éventuellement recouvert de résine, ou en fibre de verre et résine polyester. Leur forme, rectangulaire ou carrée, et leur taille varient selon les installations mais les dimensions sont généralement inférieures à celles des viviers en eau renouvelée; la profondeur est en général de l'ordre de 0,5 mètre.

L'oxygénation est le plus souvent effectuée par des soufflantes qui, en outre, assurent la remise en suspension des particules et les évacuent vers les filtres. Elles présentent toutefois l'inconvénient de légèrement réchauffer l'eau ce qui, pour les viviers réfrigérés, implique de placer la prise d'air dans un endroit climatisé ou naturellement frais.

Le refroidissement éventuel de l'eau est assuré par un groupe frigorifique comprenant un compresseur et des échangeurs à plaques. On peut les monter en parallèle avec le système de recyclage pour le traitement de plusieurs bassins.

La filtration qu'impose l'impossibilité de renouveler fréquemment l'eau (ou par son inopportunité dans le cas des viviers thermorégulés), est assurée par filtre à sable sous pression ou par lit filtrant. Il s'agit simplement d'une filtration mécanique : la plupart des particules en suspension sont retenues, mais les composés azotés dissous issus de l'excrétion des animaux, et en particulier l'ammoniac, ne sont pas éliminés. Cette situation, plus aiguë en cas de réchauffement que de refroidissement, impose un renouvellement régulier de l'eau. Pour éviter aux crustacés des chocs thermiques préjudiciables, cet échange doit être progressif ; un thermomètre fixe permet de contrôler aisément l'opération.

La charge dans ces viviers varie de 80 à 120 kg.m^{-3} pour les homards. Cette dernière valeur, inévitable commercialement à certaines périodes, est considérée comme excessive et s'accompagne d'une hausse de la mortalité

4.3.4 Les viviers-cuves

Ils sont surtout adaptés au stockage des homards et des langoustes et s'utilisent

pour de courtes périodes sur les points de vente (magasins de marée, poissonneries supermarchés) ou chez les intermédiaires des sociétés de mareyage (acheteurs sur les lieux de débarquement, vendeurs sur les MIN). Certains mareyeurs traitant des volumes importants stockent les crustacés en vivier-cuve durant 1 à 2 semaines. Ces viviers fonctionnent en circuit fermé, pour une charge biotique conseillée de 40 kg voire 75 kg.^{m⁻³} selon les constructeurs.

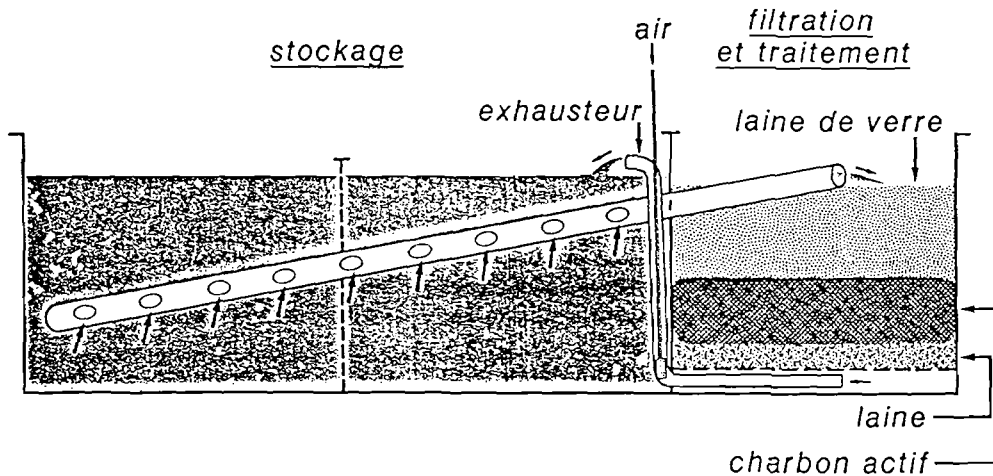


Figure 11 - Schéma de principe d'un vivier-cuve.

Un compartiment latéral contient le média filtrant dans lequel l'eau percole par gravité avant d'être chassée dans le bac par un exhausteur (tuyau dans lequel l'air insufflé assure la circulation de l'eau). La filtration comprend plusieurs étapes : préfiltration sur une épaisseur de mousse synthétique ou sur un fin tamis, filtration sur un lit de sable ou sur de la laine de verre (ou de perlon) et absorption des matières dissoutes par un lit de charbon actif. L'adjonction de charbon n'est pas systématique mais améliore la propreté de l'eau. L'efficacité de celui-ci reste limitée dans le temps mais il peut servir de support à un filtre biologique de médiocre qualité. Le charbon actif peut avantageusement être remplacé par d'autres matériaux tels que le Biogrog (argile expansée) ou, mieux encore, par les zéolithes naturelles (roches d'origine volcanique) ou de synthèse. Ces filtres présentent l'inconvénient de se colmater rapidement lors du stockage d'espèces comme le tourteau et l'araignée. Un remplacement des couches supérieures du filtre s'impose (laine de verre ou de perlon).

L'oxygénation est assurée par des diffuseurs, alimentés en air par des compresseurs, placés dans le fond du bassin et protégés par une crépine (tuyau PVC perforé).

En cas de régulation thermique, l'échangeur est constitué par un serpentin de réfrigération immergé dans le bac ou dans le compartiment de filtration et raccordé à un groupe de production de froid. Ce système permet le maintien d'une température de l'ordre de 15°C.

Ces viviers sont généralement utilisés avec des charges biotiques supérieures à leur capacité de filtration. Néanmoins des résultats corrects (mortalité de 5% sur le tourteau) sont obtenus lorsqu'un fréquent renouvellement de l'eau est pratiqué (environ 2 fois par mois). Le mélange de différentes espèces telles que les homards et les langoustes avec des crustacés dégorgeant beaucoup après la capture (tourteaux et araignées) est à proscrire.

5 LES MOYENS DE TRANSPORT

Le transport intervient à plusieurs reprises dans le circuit d'approvisionnement et d'expédition. Il se pratique par route ou par voie aérienne et fait appel aux techniques de transport en eau ou hors d'eau.

5.1 LE TRANSPORT EN EAU : CAMION-VIVIER

Les camions-viviers permettent de transporter des tonnages importants (6 à 12 tonnes) sur de grandes distances. Ils sont utilisés pour les importations de tourteau, araignée, homard, langouste rouge du Royaume-Uni et d'Irlande, pour les exportations vers l'Espagne (araignée), le Portugal (tourteau), et pour certains circuits de distribution en France. Les entreprises de mareyage qui traitent de grosses quantités, possèdent leurs propres camions-viviers mais, en général, ce travail est assuré par des transporteurs spécialisés. La gamme des véhicules va du camion porteur intermédiaire à la semi-remorque de 15 à 38 tonnes.

La durée moyenne des trajets est de 48 heures de l'Irlande ou de l'Ecosse en Bretagne, de 24 heures de la Bretagne à l'Espagne et supérieur à 50 heures de la Bretagne au Portugal.

L'isolation thermique du caisson est assurée par des mousses rigides vinyliques "klegecell", ou par des mousses rigides de polyuréthane qui constituent l'âme des parois. Un équipement de réfrigération (compresseur, condenseur, évaporateur) permet le réglage et le maintien de la température dans le caisson. Des cuves rectangulaires de 2 à 3 mètres cubes d'eau, constituent les unités de stockage. Des planches ou des longerons métalliques, placés entre chaque cuve, les maintiennent en place et évitent qu'elles ne bougent lors du transport. Ce système est entièrement démontable ; après enlèvement des bacs, le camion est utilisé pour les transports isothermes classiques.

Les parois du bac de stockage sont en acier inoxydable ou en résine armée de fibre de verre. Le bac lui-même est formé d'un compartiment principal destiné à recevoir l'eau de mer, les crustacés et les rampes d'oxygénation, et d'un compartiment latéral de "filtration" (parfois absent). Un couvercle de bois ferme parfois la cuve mais, en limitant les échanges thermiques avec l'air ambiant, il diminue l'efficacité de la réfrigération de l'eau. De simples rebords antiroulis sur la face intérieure des parois peuvent lui être préférés pour maintenir l'eau dans la cuve (fig. 12).

La forte charge biotique des bacs, 50% de crustacés et 50% d'eau, impose une aération vigoureuse et ininterrompue. L'air prélevé dans l'enceinte réfrigérée du camion est insufflé par une soufflante ou un surpresseur dans un circuit aboutissant dans le fond de chaque bac par une rampe d'oxygénation. Celle-ci est constituée de trois tuyaux rigides en PVC percés tous les 10 cm de trous de diamètre 1 mm. Des robinets de réglage permettent d'ajuster de façon précise les débits d'air injectés dans les bacs. Ce système assure en permanence, par bullage, la dispersion de l'air dans l'eau des cuves. Son arrêt, même momentanément, a des conséquences désastreuses sur la survie des crustacés.

Un groupe électrogène alimente les pompes à air. Ce système (moteur et pompe à air) est doublé pour assurer un relais en cas de panne. Les pompes à air peuvent être branchées sur un groupe électrogène extérieur (dans les car-ferries par exemple) ou sur secteur. Ces ensembles sont reliés à une armoire de contrôle visuel et sonore, située dans la cabine du chauffeur. A bord du ferry, un contrôle visuel du fonctionnement est assuré toutes les heures pour prévenir une panne éventuelle du groupe électrogène.

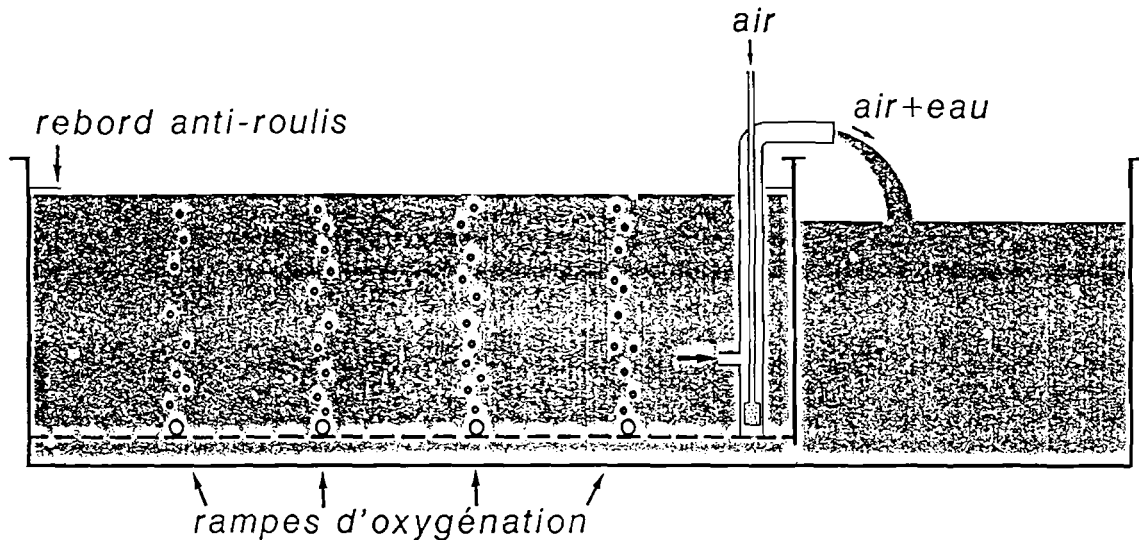


Figure 12 - Schéma de principe d'un bac de transport en camion vivier.

La filtration, lorsqu'elle existe, se fait dans le compartiment latéral de la cuve où l'eau est amenée par un exhausteur. Son passage par gravité à travers une masse filtrante assure le piégeage d'une partie des salissures. Le filtre est composé d'un bloc de mousse de polyuréthane, de type mousse à matelas, maintenu à quelques centimètres du fond par une plaque perforée. Cette filtration mécanique, simple et grossière, maintient les particules dans le compartiment latéral et améliore sensiblement la qualité de l'eau au contact des crustacés.

Les échanges thermiques entre l'air et l'eau sont limités du fait de la formation d'une épaisse couche d'écume à la surface de l'eau, due à la production de matières organiques colloïdales. L'addition d'un produit à base de silicium, utilisé dans l'industrie sucrière, évite ce phénomène. Le réchauffement de l'eau provoqué par la compression des gaz dans la pompe d'aération, peut également être réduit en plaçant la prise d'air à l'intérieur du camion réfrigéré. Cette solution présente toutefois l'inconvénient d'utiliser le volume d'air limité disponible dans cette enceinte close, entraînant un appauvrissement progressif de celui-ci en oxygène et une augmentation de la teneur en gaz carbonique. Une solution serait d'adjoindre un petit groupe frigorifique au niveau de la prise d'air de la soufflante.

Les mortalités observées régulièrement durant le transport sont de 3% à 5% pour le tourteau ; elles sont presque nulles pour le homard et la langouste. Il arrive toutefois qu'elles dépassent largement ces valeurs, atteignant jusqu'à 30% pour le tourteau. Les animaux déjà fatigués par un stockage prolongé ou une mauvaise condition physiologique ont une aptitude moins grande à supporter l'épreuve du transport ; les crabes "clairs" ou blessés constituent l'essentiel de la mortalité. Celle-ci augmente également lorsque la durée du voyage approche ou dépasse 50 heures.

5.2 LE TRANSPORT HORS-D'EAU

Le transport hors-d'eau s'appuie sur la capacité des crustacés à survivre un certain temps en respiration aérienne dans des conditions particulières de température et d'humidité. Il se pratique par camion-douche, par camion isotherme ou par voie aérienne.

5.2.1 Le camion-douche

Comme le camion-vivier, il permet le transport des crustacés sur de longues distances (importation de homards d'Ecosse ou d'Irlande par exemple). C'est toutefois un procédé peu utilisé actuellement et les éléments suivants se rapportent à l'une des rares unités en exploitation.

Le camion porteur permet de transporter environ 5 tonnes de crustacés dans un caisson monté sur coussin d'air. L'isolation thermique et le système de réfrigération y maintiennent une température de 6° à 8°C. Une brumisation périodique par de l'eau refroidie maintient les crustacés en atmosphère humide. Le rythme de brumisation est de l'ordre d'une heure toutes les quatre heures.

Une cuve de 1 200 litres, située à l'intérieur de l'enceinte thermostatée, stocke l'eau d'alimentation de la rampe d'arrosage en PVC fixée au plafond. L'eau, prise par une pompe, est pulvérisée sur les crustacés dans le caisson par des buses de type "buse de serre horticole". Elle s'écoule par gravité dans un bac de 1 500 litres situé sous le camion où une pompe de reprise la fait passer sur un filtre avant de la rediriger dans la cuve de stockage. Le groupe électrogène pilotant le système peut être branché sur un groupe extérieur ou sur secteur. Le chauffeur peut régler la durée de la brumisation par un interrupteur en cabine.

Le conditionnement s'effectue en caisses ouvertes de 20 kg empilées les unes sur les autres. Le fond des caisses est garni d'une couche de mousse à cellules ouvertes de type "hotte aspirante", qui assure la triple fonction d'amortir les chocs, d'empêcher les pattes de passer dans les trous (évite les blessures) et de maintenir une humidité à proximité des crustacés (chaque plaque de mousse absorbe 3 litres d'eau). Une couche de mousse recouvre l'étage supérieur des caisses.

Le camion-douche est un mode de transport efficace pour les homards. Un voyage de 60 heures n'occasionne que 1% environ de pertes, mais cette durée semble être la limite pour conserver son efficacité maximale au système. Des tentatives d'importation de tourteaux d'Ecosse se sont soldées jusqu'à présent par de fortes mortalités (jusqu'à 30% sur certains lots).

5.2.2 Le véhicule isotherme

Ce mode de transport est utilisé, en général, pour des parcours réduits en distance et en temps. Il fait appel à des camions isothermes sans source de froid, ou réfrigérants équipés d'accumulateurs de froid, ou frigorifiques avec une source de froid mécanique. On y trouve les véhicules utilitaires légers destinés à la distribution locale (isothermes), les camions porteurs qui assurent le ramassage et la distribution des produits de la marée (réfrigérants ou frigorifiques) et les semi-remorques de grande capacité conçues pour le transport sur de grandes distances (frigorifiques).

Les camions et véhicules utilitaires servent pour le ramassage des crustacés sur les lieux de pêche et la desserte des détaillants ; ils appartiennent aux entreprises de mareyage. Le conditionnement lors du ramassage se fait sommairement dans des bacs de plastique ajourés empilés dans les camions. Des sacs en toile de jute imbibés d'eau de mer recouvrent l'étage supérieur des caisses. Ce mode de conditionnement impose aux crustacés une phase de respiration aérienne qui peut atteindre 2 à 3 heures. Des taux élevés de mortalité sont observés ponctuellement sur certains lots, particulièrement en période de fortes chaleurs. •

La distribution vers les MIN et les centres de consommation s'effectue en camions ou semi-remorques frigorifiques ; elle est assurée par des sociétés de transport qui

prennent en charge les crustacés auprès des mareyeurs. Les crustacés, transportés avec les produits frais de la marée pour assurer la distribution de petites quantités à une clientèle dispersée, sont parfois soumis à des températures de 2 à 3°C, nécessaires aux poissons glacés mais trop froides pour eux.

Le conditionnement est effectué en caisses de polystyrène percées, ou occasionnellement en cagettes de bois pour les crabes. Il doit répondre aux impératifs de protection contre les chocs, à l'immobilisation des animaux et au maintien de l'humidité et de la température. Divers matériaux placés dans la caisse sont utilisés à cette fin : fibre de bois humidifiée ou non à l'eau de mer, journal imbibé d'eau de mer et, éventuellement selon l'espèce, glace pilée séparée des animaux par un film de plastique ou sachets de glace congelée enveloppés dans du journal pour ne pas "brûler" les crustacés. Le mode d'emballage varie selon l'espèce et l'appréciation des professionnels : pas de glace pour l'araignée, glace abondante pour le homard, conditionnement serré pour les homards et les langoustes, que l'on immobilise queue repliée sous l'abdomen avec la membrane du céphalothorax visible et distendue.

Des contrôles de l'évolution de la température à l'intérieur de caisses en polystyrène d'épaisseur 20 millimètres, montrent que la mise à l'équilibre avec la température extérieure se fait rapidement, souvent en moins de 2 heures. Il est donc impératif lors des transports à basse température, de maintenir les caisses de crustacés le plus loin possible du ventilateur d'air froid, en particulier pour les langoustes tropicales.

5.2.3 Le transport aérien

Il concerne les homards et les langoustes, espèces à forte valeur marchande. Il s'effectue par les services réguliers des lignes commerciales, avions de passagers ou avions-cargos, dans des soutes thermorégulées. La rapidité et la fréquence des vols internationaux en font un mode d'approvisionnement important pour les sociétés de mareyage. Certaines entreprises importent de cette façon plus de la moitié du volume traité.

Les normes de transport interdisent l'écoulement de tout produit liquide au travers des emballages, aussi les compagnies préconisent l'emploi de matériaux absorbants ou d'emballages étanches. Pour le homard américain, c'est une caisse de polystyrène placée dans un carton, ou un carton à double paroi, plastifié à l'intérieur. Les homards sont placés dans de la sciure de bois ou enveloppés dans des plaques de mousses ou de journaux imbibés d'eau de mer. Le transport en soutes thermorégulées à 4 à 6°C s'accompagne d'une mortalité de 3% à 4%. Les langoustes expédiées du Sénégal, du Cap-Vert ou de Madagascar, sont emballées dans des cartons remplis de fibre de bois sèche. Cet emballage sommaire explique les variations de qualité à l'arrivage et les fortes pertes occasionnelles qui en découlent en cas d'exposition, même brève, à des fortes températures.

Les entreprises françaises qui exportent des langoustes par voie aérienne utilisent en général des caisses de polystyrène du même type que pour le transport routier, mais sans trou. La perméabilité de ces emballages aux échanges thermiques impose le maintien d'une température de transport stable. Cela n'étant pas toujours réalisé, certains mareyeurs commandent aux constructeurs des caisses de polystyrène à double épaisseur.

6 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE UNITE DE STOCKAGE

L'eau constitue le milieu vital des animaux stockés et joue le rôle de vecteur d'oxygène, de thermies et de déchets. Un renouvellement et éventuellement un traitement s'imposent pour maintenir une qualité compatible avec les besoins physiologiques de base. Ce chapitre a pour but de présenter les différentes fonctions du traitement de l'eau dans les unités de stockage : pompage, filtration, épuration biologique, oxygénation, thermorégulation.

6.1 POMPAGE

Le pompage constitue le "coeur" du système de stockage puisqu'il assure l'alimentation en eau et sa circulation dans les différentes installations de traitement. Les débits nécessaires varient de quelques dizaines à plusieurs milliers de mètres cubes par heure dans les grands viviers ouverts.

Il existe une large gamme de pompes adaptées aux différentes situations de pression et de débit. Le choix peut se faire en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et du débit souhaité, en se référant aux courbes de caractéristiques données par les constructeurs. Pour une hauteur manométrique supérieure à 10 mètres, les pompes immergées sont préférées aux pompes de surface en dépit de leur rendement 2 à 3 fois plus faible et des problèmes de maintenance qu'elles posent sur les sites d'accès difficile. Pour des raisons évidentes de sécurité, le système de pompage est généralement doublé et raccordé à un groupe électrogène.

La prise d'eau s'effectue au moyen d'une crépine (tube de PVC perforé ou grille en acier inoxydable) qui assure une filtration grossière. Son installation est déconseillée dans les ports, les estuaires ou sur l'estran.

La distribution dans les installations est assurée par des tuyaux en polyéthylène haute densité ou en polychlorure de vinyle rigide (PVC) qui, en raison de leurs faibles coefficients de rugosité, limitent le développement du fouling dans les canalisations. Les tuyaux passant à l'extérieur peuvent être protégés des températures extrêmes par une gaine isolante.

L'évacuation de l'eau des bassins se fait généralement par gravité dans un système de "trop-plein" muni d'une crépine pour éviter l'échappement des animaux, ou par simple débordement. En fonction des besoins, l'eau est reprise pour un recyclage, ou bien directement évacuée à la mer.

6.2 CONTROLE DES MATIERES EN SUSPENSION

Au pompage, l'eau contient des matières en suspension d'origines diverses. Dans les bassins de stockage, elle se charge en matières minérales ou organiques rejetées par les crustacés (particulièrement abondantes pour le tourteau) qui, dans certains cas, lui donnent une coloration brunâtre. L'élimination d'une grande partie de ces particules est souhaitable pour différentes raisons :

* l'activité bactérienne sur la matière organique dissoute est un processus très consommateur d'oxygène.

* l'encrassement des installations nuit à leur fonctionnement et provoque des pannes. Dans les viviers thermorégulés, l'accumulation de déchets au niveau des échangeurs de chaleur à plaques diminue considérablement leur efficacité.

6.2.1 La décantation

La décantation est le dépôt des particules en suspension par l'effet de la pesanteur. Le temps de sédimentation dépend de la hauteur d'eau, de la nature des particules, de la température (qui modifie la viscosité de l'eau) et de la turbulence dans le bassin de décantation. Elle ne nécessite aucune énergie mais demande de grandes surfaces. Ce procédé est peu utilisé, sauf dans les entreprises disposant d'un parc à marée ou de bassins à usage ostréicole attenants aux viviers.

6.2.2 La filtration

Ce procédé mécanique consiste à faire percoler l'eau à travers une matière poreuse, généralement du sable, sur lequel les particules sont en partie retenues. Plusieurs systèmes sont utilisés :

* la filtration gravitaire (ou lente) qui opère uniquement par gravité et s'emploie pour les viviers-cuves de capacité inférieure à 5 m³. L'eau traverse des couches successives de matériaux divers tels les mousses à cellules ouvertes, la laine de verre ou de perlon, ou bien le sable siliceux calibré. La couche supérieure est renouvelée chaque fois que nécessaire.

* la filtration inverse est utilisée pour des viviers de plus grande capacité (jusqu'à 30 m³). Un lit de sable, dont l'importance est déterminée par le volume d'eau à filtrer, constitue la masse filtrante (3/5 à 4/5 de sable). L'eau injectée par une pompe au fond de la cuve, percole vers le haut à travers le lit filtrant. L'inconvénient de ce système réside dans la possibilité pour l'eau d'emprunter des chemins préférentiels. Le volume du filtre n'étant pas complètement utilisé, il se crée des "parties mortes" compactes et faiblement oxygénées, où se développent des processus bactériens anaérobies provoquant une réduction des matières organiques piégées par le support filtrant. Ce phénomène peut entraîner la formation de composés sulfureux extrêmement toxiques. Il est nécessaire, pour les éviter, de couvrir au maximum la surface basale du filtre par les buses d'arrivée d'eau et de composer la couche inférieure du lit filtrant avec un matériau de granulométrie assez forte (pierres et graviers).

* la filtration rapide sous pression est couramment utilisée dans les viviers en circuit fermé. La filtration se fait sur un lit de silice calibrée en fonction de la taille des particules à arrêter, généralement 0,4 à 0,6 millimètre. Les vitesses de passage communément admises se situent entre 40 et 55 mètres cube d'eau par heure et par mètre carré de surface filtrante. En fonction du volume d'eau à filtrer, l'utilisation de plusieurs filtres en parallèle peut s'avérer indispensable. Le nettoyage du filtre s'effectue une à deux fois par jour en inversant la circulation de l'eau.

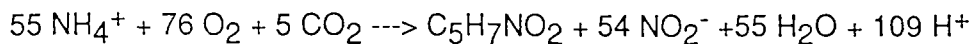
6.3 EPURATION BIOLOGIQUE

Les procédés de filtration énumérés ci-dessus sont essentiellement mécaniques et n'interviennent pas dans l'élimination des composés azotés issus de l'excrétion des

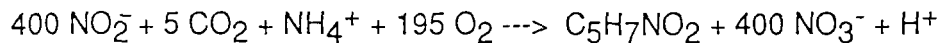
animaux. Cependant la réduction de la quantité de ces composés dissous, plus ou moins toxiques selon les conditions, est l'une des principales contraintes du stockage en milieu faiblement ou pas renouvelé. En l'absence d'un traitement approprié, l'eau du vivier devient incompatible avec la survie des crustacés à plus ou moins long terme.

L'épuration biologique consiste en une oxydation de l'azote ammoniacal N-NH₃ en azote nitreux N-NO₂ puis en azote nitrique N-NO₃, beaucoup moins toxique pour les crustacés, par des micro-organismes aérobies essentiellement autotrophes (populations bactériennes fixées sur un support). Ce processus biologique comporte deux étapes :

* la nitrification ou nitrosation est l'oxydation de l'azote ammoniacal dissous en azote nitreux. Elle est réalisée par des bactéries du genre *Nitrosomonas* ou *Nitrosococcus*. Si on considère que la composition chimique de la biomasse produite est C₅H₇NO₂, l'équation de cette nitrification peut s'exprimer par :



* la nitrification est l'étape par laquelle l'azote nitreux produit par les précédentes populations bactériennes est lui même oxydé en azote nitrique grâce à des bactéries du genre *Nitrobacter*. Ceci peut être décrit de la façon suivante :



Le bilan global de ces deux réactions montre que l'oxydation **d'un gramme d'azote ammoniacal** produit 0.1425 grammes d'ions H⁺, **mais que cette oxydation nécessite 4.25 grammes d'oxygène**. Ce processus de **nitrification biologique** est donc une opération très **consommatrice en oxygène**, ce qui implique une très bonne aération de l'eau traversant le filtre biologique.

Les deux phases de la nitrification se mettent en place après un temps de latence variant de 2 à 10 jours selon les matériaux utilisés comme support du lit bactérien ainsi que de la température. L'apparition du pic de nitrite lors de la mise en service d'un nouveau bassin est critique du fait de la toxicité de ce composé. La deuxième phase, la nitrification, débute vers le quinzième ou le vingtième jour et le pic de nitrites disparaît entre le vingtième et le trentième jour (Blancheton in IFREMER, 1987).

L'activation spontanée du lit bactérien et la mise en place du processus de biodégradation nécessitent un délai lié aux paramètres physico-chimiques du milieu; le pH optimal est proche de 8,4 et l'optimum de température se situe vers 30°C (dans la gamme 5°-30°C, la vitesse de la nitrification croît avec la température). La nitrification entraîne une acidification du milieu que l'on compense par l'incorporation dans le filtre d'un matériau calcaire de type maërl.

Trois à six semaines sont nécessaires pour obtenir un développement correct des colonies bactériennes effectuant la nitrification et ce processus dépend intimement de la température du milieu. Son optimum (30°C) est peu compatible avec la température de stockage habituelle des crustacés en circuit fermé (inférieure à 10°C pour les homards par exemple). Une solution pour contourner cet inconvénient majeur peut être l'utilisation de deux filtres biologiques: pendant que l'un est employé à épurer l'eau du ou des viviers, le second estensemencé et fonctionne indépendamment du circuit fermé de stockage, à une température satisfaisant les conditions de développement du lit bactérien.

La garniture du filtre biologique sera constituée de préférence par des matériaux permettant au lit bactérien de se développer sur une surface aussi importante que possible ; l'emploi de matières micro poreuses telles l'argile expansée du type Biogrog ou des roches d'origine volcanique comme les Zéolithes broyées, permet de répondre de manière satisfaisante à cette exigence. Pour mémoire, un centimètre cube de zéolithe offre une surface colonisable de l'ordre de quatre cents mètres carrés, sous forme d'un réseau

très dense de micro-canaux.

Le système de filtration sous pression est applicable avec, comme média filtrant, des zéolithes au lieu de sable. Un réacteur de forme allongée et de faible section améliore nettement le rendement de la filtration biologique en accroissant le temps de contact.

6.4 OXYGENATION

Les systèmes d'oxygénation jouent plusieurs rôles dans les structures de stockage : ils apportent l'oxygène nécessaire à la respiration des crustacés, ils forcent par convection la circulation de l'eau au niveau des animaux en cas de forte densité, ils remettent en suspension les particules et favorisent leur entrainement vers le filtre et ils apportent l'oxygène nécessaire au fonctionnement du filtre biologique quand il existe.

Le transfert de l'oxygène de l'air vers l'eau résulte d'une migration par diffusion ou par convection jusqu'à l'interface gaz-eau, de la diffusion à travers le film de cet interface (phénomène lent limitant le processus) et du transfert de l'interface vers le liquide, réalisé essentiellement par convection. Il dépend de la surface de contact disponible entre les deux phases, du coefficient de transfert lui-même lié aux propriétés physico-chimiques et à la pureté de l'eau, et de la différence entre concentration de saturation et concentration instantanée en oxygène de l'eau (plus elle est faible et plus l'aération est lente et onéreuse). Les turbulences, en provoquant des mouvements dans la masse d'eau, augmentent le temps de transfert, diminuent l'épaisseur du film de l'interface et surtout renouvellent sans cesse la masse liquide exposée à l'air.

L'oxygénation s'effectue soit par la dispersion des bulles de gaz dans la phase liquide, soit par la dispersion des gouttelettes d'eau dans la phase gazeuse.

* Injection d'air dans l'eau. L'efficacité du système est conditionnée par la taille des bulles : plus elles sont petites, plus la surface de transfert est élevée et plus la vitesse d'ascension est faible (tableaux 7 et 8).

Diamètre des bulles	Oxygène absorbé
5 mm	0,05 ml O ₂ .100 ml ⁻¹ d'air
1 mm	0,34

Tableau 7 - Relation entre le diamètre des bulles et la quantité d'oxygène absorbé (source : Wheaton, 1977)

Diamètre des bulles	Vitesse d'ascension
1 mm	0,3 mètre.seconde ⁻¹
8 mm	1,0 mètre.seconde ⁻¹

Tableau 8 - Relation entre la vitesse d'ascension des bulles et leur diamètre (source : Bouhierde L'Ecluse et de Varax, 1980)

Le temps de transit peut être augmenté par l'immersion profonde du diffuseur, par l'injection à l'horizontale du flux d'air, (ce qui permet un gain d'environ 70% du temps de contact), et par la réalisation d'un courant traversier.

Les appareils utilisés sont soit des pompes insufflant l'air surpressé au fond des

bassins sous forme de bulles moyennes (tubes PVC percés) ou de fines bulles (tubes poreux, dont l'inconvénient est le colmatage des pores par les salissures), soit des Venturi. Un Venturi est un élément de conduite d'eau présentant une section rétrécie ouverte à l'air qui crée une dépression ; le mélange est éjecté dans le bassin grâce à un hydro-éjecteur.

* Dispersion d'eau dans l'air. L'augmentation de la surface de contact entre air et eau est obtenue en créant des turbulences de surface ou en dispersant des gouttelettes dans l'air. Les systèmes utilisés sont soit l'oxygénation par cascade, système simple et efficace quand il est fractionné par deux niveaux, soit les aérateurs de surface qui aspirent l'eau par un rotor immergé et la redistribuent en pluie (la répartition de l'oxygène dans le bassin est toutefois imparfaite).

* Oxygénation par "Tube en U" serait la plus efficace en matière de consommation d'énergie par unité d'oxygène transféré (Divanach in IFREMER, 1987) mais elle présente l'inconvénient de pouvoir provoquer des sursaturations en azote dissous très néfastes pour les animaux. Cette technique n'est que peu utilisée pour les crustacés.

6.5 THERMOREGULATION

La nécessité de maintenir certaines espèces dans une eau plus chaude ou plus froide que l'eau disponible sur le lieu de stockage impose parfois cette thermorégulation.

Le système de refroidissement de l'eau comprend un compresseur et son évaporateur, un circuit d'eau douce véhiculant les frigories et un échangeur au niveau duquel se fait l'échange thermique avec l'eau de mer. Son fonctionnement est automatique car piloté par un thermostat. La puissance du compresseur et la nature de l'échangeur varient selon le volume du vivier : pour de petits volumes, un serpentin de réfrigération est placé dans le bassin ou dans un compartiment annexe de filtration. Dans des volumes plus importants, des échangeurs à plaques en titane sont utilisés. En eau turbide, un nettoyage fréquent des plaques s'impose tous les trois mois pour conserver son efficacité au système.

Un autre procédé consiste à refroidir l'air ambiant plutôt que l'eau ; l'échange thermique avec l'eau du vivier s'effectue alors par convection. Cette méthode impose une isolation thermique de l'enceinte peu compatible avec la nécessité d'accès aux viviers. Les pertes de frigories, difficiles à éviter, limitent l'efficacité du système en période de fortes chaleurs.

La technique de réchauffement la plus simple et la plus utilisée pour de petits volumes est la résistance chauffante électrique. Dans de grands bassins, l'emploi d'une chaudière ou d'une pompe à chaleur est nécessaire.

6.6 NETTOYAGE

Le nettoyage régulier des bassins est nécessaire pour éviter l'accumulation de salissures favorable au développement de "nids bactériens". Il peut être effectué entre deux rotations par lavage du fond et des parois à l'eau de mer sous pression, pulvérisation d'eau de Javel diluée, nouveau lavage sous pression et rinçage abondant.

7 FACTEURS AFFECTANT LA SURVIE DES CRUSTACES

Les mortalités intervenant au long de la chaîne, plus ou moins importantes selon l'espèce et le circuit commercial, ont des causes variées que l'on peut rapporter à des facteurs mécaniques et biotiques, aux besoins physiologiques en eau, aux besoins physiologiques hors d'eau et à des maladies.

7.1 FACTEURS MECANIQUES ET BIOTIQUES

La pêche, le stockage et le transport des crustacés imposent de fréquentes manipulations : sortie de l'engin de pêche, coupure éventuelle des tendons, mise en vivier ou en bac à bord du bateau, sortie des viviers au débarquement, tri, pesée et chargement en camion, transport, déchargement dans le vivier du mareyeur, tri journalier pour recherche des morts, tri, pesée et mise en caisse pour l'expédition, transport(s), pesée(s) et retrempage(s) éventuel(s) par le(s) client(s). Tout au long de cette chaîne, il existe un antagonisme entre l'impératif de travailler rapidement des quantités souvent importantes et la nécessité de les manipuler avec précaution.

En dépit de l'apparence robuste que leur confèrent carapace et appendices durs, les crustacés sont fragiles et les chocs qu'ils subissent ont des conséquences sur leur survie ultérieure. Les mareyeurs ont remarqué qu'il était plus difficile de conserver des langoustes roses en vivier lorsque le bateau avait subi un coup de vent au retour de Mauritanie. Une expérience menée en Floride sur le crabe bleu *Callinectes sapidus* stocké hors d'eau, confirme ce phénomène : une absence de manipulations se traduit, après deux jours, par une réduction de 50% de la mortalité par rapport à un lot manipulé (Otwell et Webb, 1977).

Les chocs ont des effets directs évidents et visibles tels les blessures, les appendices cassés, les pertes d'hémolymphe ("sang"), et contribuent à affaiblir vis à vis d'autres facteurs. Les blessures constituent des voies d'entrée pour les germes pathogènes. Les pertes d'hémolymphe, dont le rôle dans la respiration et la constitution de réserves nutritives est important, limitent la capacité de réponse aux agressions extérieures (chocs thermiques, exposition aérienne, ...). Le "stress" consécutif à la manipulation provoque une augmentation de la consommation en oxygène qui nécessite un accroissement de l'aération juste après le débarquement, en particulier pour le tourteau et l'araignée.

L'effet des chocs affecte tous les crustacés, mais les individus ayant mué peu de temps avant la capture y sont particulièrement sensibles. La carapace peu épaisse se brise au moindre choc ou à la moindre pression excessive. Les crabes dit "clairs" constituent, avec les crabes blessés, l'essentiel de la mortalité. Leur pourrissement contribue à dégrader le milieu, donc à accroître la mortalité globale. La probabilité de survie de ces animaux, au demeurant sans intérêt pour le consommateur, est faible et une réduction de la mortalité pourrait être aisément obtenue en respectant des critères de qualité avant le débarquement.

Les homards et les langoustes ont en vivier un comportement cannibale dont les victimes sont leurs congénères faibles ou à carapace molle. L'immobilisation des pinces en limite les effets sans les annuler. De manière générale, le cannibalisme est activé par des températures élevées et les fortes charges biotiques (Giudicelli, 1971). Le problème est particulièrement aigu pour les langoustes vertes puisqu'il provoque plus de la moitié des mortalités. Cette espèce ne s'alimentant que la nuit, le maintien permanent de lumière au

dessus des bassins semble apporter une amélioration.

L'alimentation des crustacés stockés en vivier, bien que rarement pratiquée, pose plus de problèmes qu'elle n'en résout. Elle provoque une augmentation de l'activité métabolique, génère une importante excrétion de produits azotés, augmente la consommation d'oxygène et favorise éventuellement un développement bactérien.

7.2 FACTEURS AFFECTANT LA SURVIE EN EAU

A défaut de recréer des conditions analogues à celles du milieu d'origine, il est souhaitable que la température, l'oxygénation et la salinité s'en rapprochent. Néanmoins, si l'adaptation est progressive, les crustacés peuvent s'acclimater à un nouveau milieu dans les limites de leur tolérance. Des substances toxiques comme l'azote ammoniacal et nitreux ou les métaux et hydrocarbures provenant de pollutions peuvent également atteindre des concentrations incompatibles avec la survie des animaux.

7.2.1 Température

Les températures que peuvent supporter les crustacés dépendent des conditions auxquelles ils sont accoutumés dans leur milieu naturel. Des homards américains vivant dans des eaux de 4 à 21 °C tolèrent, suivant la saison, une température de stockage allant de 0 à 25°C. Par contre des valeurs excédant de 1 à 4°C ces limites, entraînent la mort en 48h (Mac Leese et Wilder, 1967). De manière générale, les crustacés supportent mieux les températures basses que les températures élevées, mais les seuils varient d'une espèce à l'autre. Des baisses de salinité et d'oxygène dissous diminuent la tolérance des homards aux fortes températures.

Dans le milieu naturel, l'inertie thermique de la masse d'eau de mer est telle que les crustacés ne subissent pas de fortes variations. Par contre, lors du stockage, des modifications brutales peuvent survenir. Chez ces animaux ectothermes, la température interne suit de très près la température extérieure et les chocs thermiques ont des conséquences catastrophiques sur le métabolisme. Trois semaines sont nécessaires pour l'adaptation d'un homard américain à une augmentation de température de 7°C (Mac Leese et Wilder, 1967). Les chocs thermiques sont d'autant moins bien supportés que l'on est proche des limites de tolérance. Ils contribuent pour une forte part aux mortalités au cours des différentes phases de la commercialisation.

7.2.2 Salinité

Exception faite des quelques espèces amphibies ou inféodées aux estuaires, les crustacés ne contrôlent pas leur pression osmotique interne. L'ajustement entre pression osmotique interne et pression osmotique externe s'effectue en moins de 24 heures chez le homard américain (Mac Leese et Wilder, 1967). La baisse de salinité se traduit par une absorption d'eau ; elle provoque une turgescence des cellules pouvant aboutir à l'éclatement. Cette situation se traduit par des phénomènes externes visibles : affaiblissement des animaux et gonflement de la membrane de liaison entre le céphalothorax et l'abdomen chez les langoustes et les homards. Ces animaux remis en eau de salinité normale ne survivent pas.

Les limites inférieures de tolérance à la salinité de l'eau sont, en moyenne, de 30 pour mille pour le tourteau, de 27 à 30 pour mille chez le homard européen, 25 pour mille pour le homard américain, 28 pour mille pour la langouste rouge (Wood et Ayres, 1977) et 28 pour mille pour la langouste rose. Toutefois ces valeurs moyennes dépendent d'autres

facteurs de milieu, dont la température. Ainsi à 4°C le homard américain supporte 10 pour mille, alors qu'une salinité de 26 pour mille est létale à 21 °C.

7.2.3 Oxygène dissous

La consommation en oxygène, indispensable au métabolisme, est sujette à des variations liées aux facteurs externes comme la température (fig. 13) ou bien le "stress". Le comportement des animaux peut être révélateur d'un problème d'anoxie : dans cette situation, ils évitent les parties "mortes" du vivier où le renouvellement d'eau se fait mal, deviennent "paresseux" et se tiennent sur le bout des pattes (homards et langoustes) puis s'affaiblissent et meurent. Le homard enfle comme dans le cas d'une eau dessalée.

Les valeurs de consommation établies pour quelques espèces, se rapportent à expérimentations effectuées en laboratoire, donc dans des conditions bien différentes de celles prévalant lors du stockage des crustacés, et sont de ce fait difficilement extrapolables. La température joue, de plus, un rôle primordial car elle affecte directement le métabolisme des animaux et elle intervient dans la solubilité de l'oxygène.

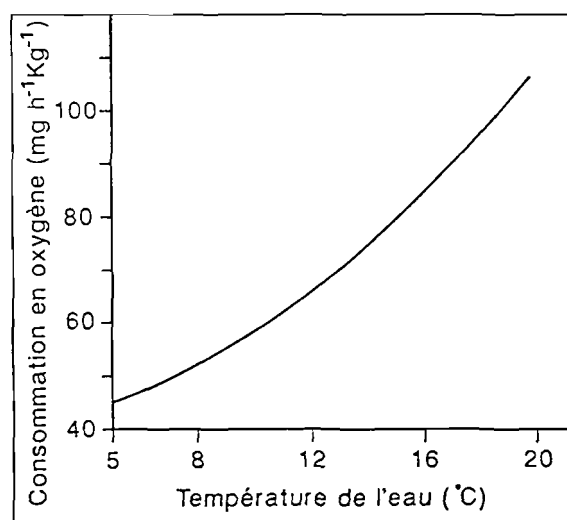


Figure 13 - Effet de la température de l'eau sur la consommation d'oxygène des homards (Beard and McGregor, 1991).

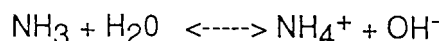
Des dispositifs assurant une ré-oxygénation de l'eau, tel le procédé du "tube en U", peuvent dans certains cas provoquer une sursaturation du milieu en gaz dissous. La sursaturation en oxygène est sans conséquence directe pour les animaux, mais la présence d'azote dissous (plus de 103 % de saturation) a pour conséquence l'apparition des symptômes de la "bubble disease". Cette "maladie de la bulle" peut induire une mortalité massive liée aux gaz non dissous dans l'hémolymphe des crustacés. Il peut également y avoir fixation de bulles microscopiques sur les branchies des animaux, ce qui perturbe considérablement les échanges gazeux. Ce phénomène est à l'origine d'un problème (rare) rencontré dans les viviers de certains bateaux de pêche quand une prise d'air à l'entrée de la pompe d'alimentation en eau provoque la perte rapide et quasi totale des crustacés stockés.

Des mortalités anormalement élevées apparaissent parfois dans les viviers durant les orages d'été, en relation apparente avec une variation rapide de la concentration en gaz dissous. Une aération accrue peut masquer éventuellement ce phénomène, ce qui explique l'avis partagé des mareyeurs sur le sujet, certains ne remarquant pas de hausse de la mortalité durant les orages.

7.2.4 Azote ammoniacal

L'ammoniaque est un métabolite très toxique pour l'ensemble des organismes aquatiques. Il représente 40% à 90% de l'excrétion azotée des crustacés et provient, pour l'essentiel, du catabolisme des protéines. Lors du stockage, la dégradation bactérienne des déchets organiques en produit également.

En milieu aqueux, il existe un équilibre entre deux formes de l'azote ammoniacal : l'ion NH_4^+ et la forme non ionisée NH_3 dite ammoniac libre qui est la seule forme toxique pour les êtres vivants



Cette toxicité de l'ammoniac NH_3 provient du fait que seule cette forme traverse les membranes cellulaires en raison de sa solubilité vis-à-vis des lipides. Son impact est important sur la physiologie respiratoire car elle affecte plus particulièrement le transport de l'oxygène.

Les mécanismes de cette toxicité ont pour l'essentiel été acquis au cours d'études chez les poissons et plus spécifiquement sur les salmonidés. Quand la concentration en azote ammoniacal augmente dans le milieu (où vivent les animaux), il apparaît une accumulation de ce métabolite dans les fluides biologiques et les tissus (Coït et Armstrong, 1981). Cette augmentation de la concentration sanguine en ammoniac altère la capacité de l'hémoglobine à transporter l'oxygène des branchies vers les tissus (Spotte, 1979).

L'exposition prolongée du saumon Coho à l'azote ammoniacal provoque également une acidémie sanguine (Souza et Meade in Spotte, 1979). Cette modification de l'équilibre acido-basique interne est à l'origine d'une libération précoce de l'oxygène par l'hémoglobine (effet Bohr). Cependant la transposition de ce processus aux crustacés et à leur pigment respiratoire, l'hémocyanine, n'est pas démontrée.

Des concentrations élevées d'azote ammoniacal provoquent des lésions de l'épithélium branchial ainsi que des dommages histologiques plus ou moins irréversibles aux cellules sanguines et aux tissus hématopoïétiques (Coït et Armstrong, 1981). Cette toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques est accrue par de faibles concentrations en oxygène dissous et par une augmentation de la teneur de l'eau en gaz carbonique. Cependant tous les mécanismes entrant en jeu ne sont pas explicités. Des expérimentations menées dans le cadre de cette étude sur diverses espèces de crustacés fournissent des valeurs de concentrations létales dans des conditions de faibles biomasses, d'oxygénation optimale et d'animaux non stressés (tableau 9).

Espèce	Concentration létale initiale en $\text{mg N-NH}_3 \cdot \text{l}^{-1}$
Tourteau	1,8
Araignée	1,8
Homard	1
Langouste rose	0,75

Tableau 9 - Concentrations en $\text{N-NH}_3 \text{ l}^{-1}$ létales sur diverses espèces de crustacés.

Ces valeurs, proches de celles obtenues par d'autres auteurs, indiquent que pour l'ensemble des crustacés une concentration en N-NH_3 de 0,4 à 2,3 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ selon les espèces, est létale en 96 heures pour la moitié des individus (Coït et Armstrong, 1981). Aussi pour des raisons de sécurité, une concentration de l'ordre de 0,1 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$

doit pas être dépassée pendant le stockage pour assurer une survie prolongée satisfaisante (Carrière et Justin, 1978). Pour le homard, cette valeur doit être considérée comme étant le maximum acceptable (Richards et Wickins, 1979).

Dans les viviers en circuit ouvert dont l'eau est renouvelée une fois ou deux par jour, la concentration en azote ammoniacal est le plus souvent relativement peu élevée et ne constitue pas, à elle seule, un facteur limitant pour la survie des animaux. Des valeurs de 0,3 à 2 mg par litre d'azote ammoniacal total ($\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4^+$) ont été mesurées dans des viviers à langoustes. Cependant des accidents peuvent survenir dans des viviers fortement chargés en tourteaux récemment débarqués, lorsque les crabes "dégorgent". Cet apport massif d'ammoniac cumulé à un éventuel déficit brutal en oxygène ou à d'autres facteurs limitants, peut avoir un effet catastrophique sur le stockage.

Lorsqu'il s'agit de viviers avec recyclage (circuits fermés), l'ammoniac produit par l'excrétion des crustacés vivants et par la dégradation bactérienne de la matière organique (rejets et animaux morts) pose de très sérieux problèmes. L'élimination des cadavres, aussi rapidement que possible, est une nécessité absolue. La situation est moins cruciale pour les viviers réfrigérés où les températures peu élevées (6 à 9°C) réduisent le métabolisme des crustacés cependant que le pH peu élevé (7,2 à 7,8) dû à la présence de gaz carbonique limite la toxicité. En effet, une diminution de la température et du pH déplace l'équilibre de l'azote ammoniacal vers la forme ion ammonium NH_4^+ , de moindre toxicité : dans une eau de pH 7,5 et de salinité 35 pour mille, une baisse de la température de 12 à 4°C provoque une diminution de moitié de la quantité d'ammoniac présente dans le milieu.

Lors du transport en camion vivier, la température peu élevée et le pH relativement faible donnent des conditions de stockage proches du cas précédent mais les charges élevées, le métabolisme encore très actif (pêche récente) et les diverses manipulations successives favorisent une forte excrétion azotée créant un environnement très préjudiciable à la survie ultérieure des animaux.

Il n'existe pas actuellement de procédé autre que le filtre biologique pour éliminer l'azote ammoniacal en milieu marin. Son utilisation ne pose pas de problème particulier en vivier à terre mais elle est difficilement applicable pour le transport en camion-vivier. Il est préférable dans ce cas de limiter l'augmentation de la concentration en ammoniac en faisant préalablement dégorgier les crustacés dans un vivier et en renouvelant si possible l'eau des cuves au cours du transport.

7.2.5 Nitrites

Ils apparaissent essentiellement dans les viviers en circuit fermé lors d'un mauvais fonctionnement du filtre d'épuration biologique ; c'est le cas de la plupart des filtres gravitaires sur lit de sable. Chez les poissons, l'effet majeur des nitrites est d'oxyder le fer Fe^{2+} de l'hémoglobine, en ferrihémoglobine Fe^{3+} incapable de transporter l'oxygène dans l'organisme, ce qui entraîne hypoxie et cyanose. Il est vraisemblable que la même réaction se produit avec le cuivre de l'hémocyanine des crustacés (Coit et Armstrong, 1981). Une diminution du pH accroît le pourcentage de la forme non ionisée toxique (acide nitreux) qui traverse les membranes biologiques plus rapidement. Une augmentation de la salinité s'accompagne d'une baisse de la mortalité, due certainement à l'effet protecteur des ions Ca^{++} et Cl^- qui se combinent aux nitrites, ou à une compétition entre les ions nitrites et les ions chlorures pour les mêmes sites de fixation (Spotte, 1979).

Des expériences menées sur des tourteaux, homards et langoustes ont permis d'établir des concentrations tolérées de 10 mg $\text{N-NO}_2\text{J}^{-1}$ pour le tourteau, 8 mg.l⁻¹ pour le homard, 15 mg.l⁻¹ pour la langouste. Elles sont sensiblement différentes de celles avancées par d'autres auteurs : des mortalités massives de homards américains en circuit fermé sont constatées pour des concentrations en nitrites de 8 à 10 mg.l⁻¹ d'azote nitreux

N-NO₂. Une valeur maximum tolérable de 1 mg.l⁻¹ pour le homard (Richards et Wickins, 1979) se rapporte à des conditions d'élevage et non de stockage à court terme. Chez le crabe bleu, la sensibilité à la toxicité des nitrites serait beaucoup plus forte en période de mue : des mortalités apparaissent pour une concentration en azote nitreux de 2 mg.l⁻¹ contre 20 mg.l⁻¹ en inter mue (Manthe et Malone, 1987). La disparité des données reflète une variabilité réelle de la sensibilité des animaux, liée à leur condition physiologique et aux paramètres physico-chimiques du milieu environnant.

7.2.6 Métaux

Des métaux contenus à l'état de traces dans l'eau de mer sont toxiques à des concentrations très faiblement supérieures à celles du milieu naturel. C'est le cas du manganèse Mn, du cuivre Cu, du fer Fe et du zinc Zn qui interviennent dans différents processus métaboliques comme la respiration ou les réactions enzymatiques (Spotte, 1979). Certains organes ont la capacité de concentrer ces éléments traces, ce qui favorise leur toxicité ; c'est le cas de l'hépatopancréas pour le cuivre et le fer. L'absorption s'effectue principalement par les branchies ; elle est maximale en période de mue et de post mue où elle correspond à un besoin physiologique.

Les métaux utilisés dans la construction ou les équipements des viviers peuvent diffuser ultérieurement. Leur accumulation est particulièrement préjudiciable dans les viviers en circuit fermé. Le cuivre et ses alliages (laiton et bronze), le zinc, le plomb et certains aciers inoxydables sont connus pour leur toxicité vis à vis des crustacés (Mac Leese et Wilder, 1967 ; Ayres et Wood, 1977), de même que le mercure et le cadmium (Johnson et Gentile, 1979). Des mortalités de homards américains ont été observées, en 24 heures avec le cuivre, en 6 jours avec un alliage à base de cuivre, en 9 jours avec le zinc et en 20 jours avec le plomb (Mac Leese et Wilder, 1967). Pour cette même espèce, les concentrations provoquant la mort de la moitié des individus en 96 heures sont présentées au tableau 10.

Métal	µg.l ⁻¹	Source
Mercure (Hg)	33	(1)
Cuivre (Cu)	48	(2)
Cuivre (Cu)	60	(1)
Cadmium (Cd)	180	(1)
Chrome (Cr)	700	(1)
Cobalt (Co)	810	(1)
Plomb (Pb)	1000	(1)
Zinc (Zn)	1700	(1)

Tableau 10 - Concentrations létales en 96 heures pour la moitié d'un effectif de homards américains, selon (1) Van Olst et al. 1980 et (2) Mac Leese in Johnson et Gentile 1979.

7.2.7 Hydrocarbures

Le pétrole, le fuel et les huiles diesel, sont toxiques pour bon nombre d'organismes marins. Le homard américain semble offrir cependant une résistance remarquable à l'exposition au fuel puisque, selon Mac Leese et Wilder, 1967, 50% survivent pendant 5 jours dans un mélange à 1 pour mille de fuel et d'eau de mer et 100% survivent pendant 8 jours à 1 pour dix mille. Une exposition à des solutions de pétrole brut (1 à 10ppm) se traduit par des problèmes de posture et une non alimentation mais n'entraîne pas de mortalité ; toutefois les animaux "prennent un goût" qui les rend impropres à la consommation. En cas de forte pollution, la survie des crustacés est impossible.

7.2.8 Autres produits toxiques

Le chlore utilisé pour le nettoyage ou la désinfection des bassins, est toxique à faible concentration. Celle-ci doit rester inférieure à 0,01 g.l⁻¹ (Van Olst et al, 1980) et un rinçage abondant est indispensable.

Les insecticides, même à concentration extrêmement faible (moins de 1ppm), sont très toxiques (Mac Leese et Wilder, 1967).

7.3 LES FACTEURS AFFECTANT LA SURVIE HORS D'EAU

Dans les conditions naturelles, les gros crustacés d'intérêt commercial ne sont qu'exceptionnellement soumis à des émergences ; ils peuvent toutefois survivre en respiration aérienne pour des durées variables selon l'espèce, l'état physiologique et les conditions de température et d'humidité.

Les températures élevées provoquent une dessiccation des branchies et l'asphyxie de l'animal. Certains débarquements impliquent une phase de respiration aérienne de 2 à 3 heures qui s'avère catastrophique en été. Inversement, les températures basses entraînent la "brûlure" des branchies et la mort des crustacés dès leur remise en eau. Ce phénomène est observé en hiver sur les bateaux de pêche, en particulier pour l'araignée.

L'humidité relative doit être maintenue le plus près possible de la saturation pour éviter le dessèchement des branchies conduisant à l'asphyxie des crustacés. Les emballages utilisés pour le transport semblent conserver une humidité suffisante, par contre le conditionnement sommaire effectué lors du débarquement (sac de jute humidifié sur le sommet des caisses) peut se révéler insuffisant en cas de durée prolongée.

Les crustacés maintenus dans une atmosphère confinée (emballage totalement hermétique) meurent rapidement. L'épuisement de l'oxygène disponible et l'augmentation du gaz carbonique provoquent des conditions létales. Le rôle respectif de l'un et l'autre de ces facteurs n'est pas explicitement déterminé. Le manque d'oxygène ne serait pas la cause principale de la mortalité, puisque le maintien d'un taux élevé dans l'emballage n'entraîne pas une meilleure survie.

7.4 LES MALADIES

Comme tous les organismes vivants, les crustacés sont sujets à des maladies. Certaines, comme les maladies de la carapace, présentent peu d'inconvénients pour le stockage à court terme. D'autres, comme la gaffkemie du homard ou la maladie du crabe rose, provoquent des mortalités élevées.

7.4.1 Maladie fongique de la carapace

Elle est provoquée par des champignons inférieurs, *Fusarium sp.* et *Ramularia homari*, et affecte la plupart des espèces de crustacés, le homard européen, le homard américain et la langouste rouge en particulier. Elle se traduit par une prolifération sur la carapace de lésions de couleur brun foncé à noir, qui peuvent pénétrer jusqu'aux tissus sous-jacents et affecter le tégument externe de l'appareil digestif (Alderman, 1987).

7.4.2 Maladie bactérienne de la carapace

Les espèces hôtes sont le tourteau, le homard européen et la langouste rouge. Des lésions de couleur brun foncé à noir, souvent peu profondes, apparaissent sur la carapace. Elles peuvent éroder l'exosquelette jusqu'aux organes internes. Les agents responsables sont des bactéries chitinivores appartenant aux genres *Pseudomonas* et *Vibrio*. Cette maladie est fortement contagieuse mais peu évolutive (Austin et Alderman, 1987).

Pour des raisons prophylactiques, il est nécessaire d'éviter autant que possible de blesser les animaux, de retirer ceux qui présentent des lésions apparentes sérieuses et de maintenir des conditions d'hygiène optimales.

7.4.3 Gaffkémie du homard

La Gaffkémie est une maladie bactérienne spécifique des deux espèces de homards. Connue en milieu naturel, elle est périodiquement la cause de fortes mortalités en vivier. Elle n'est pas pathogène pour l'homme et la consommation d'un homard malade ne présente aucun danger pour le consommateur. L'agent responsable est la bactérie *Aerococcus viridans* variété *homari*, anciennement appelée *Gaffkya homari*.

Le homard atteint ne présente pas de symptômes externes particulièrement visibles. Toutefois, les individus parasités deviennent généralement faibles, alanguis et restent couchés sur le côté ou sur le dos, pattes tétanisées. La partie ventrale de leur abdomen peut prendre une coloration rouge ou rose qui vaut à cette maladie sa dénomination anglo-saxonne de "red tailed disease".

La bactérie pénètre par les blessures du tégument et se développe rapidement dans l'hémolymph. La destruction des hémocytes (cellules sanguines) entraîne un défaut ou une absence de coagulation conduisant à la mort dans un court délai. Aux basses températures, le homard n'est que peu affecté par la bactérie mais reste incapable de s'en débarrasser. La virulence de la bactérie croît avec la température du milieu extérieur et les mortalités s'observent à partir du printemps lorsque l'eau des viviers dépasse 10°C. En eau réfrigérée à moins de 9°C, les individus infectés survivent mais supportent assez mal l'expédition.

La mise en évidence de la Gaffkémie nécessite la réalisation d'une coloration Gram+ sur un frottis sanguin. L'observation au microscope montre des tétrades encapsulées colorées en violet, formes caractéristiques de la bactérie *Aerococcus viridans*.

La transmission de la maladie s'effectue uniquement par les blessures, le puissant effet bactéricide du fluide gastrique acide empêchant toute infection par voie orale (Stewart et Rabin, 1970). Les fortes densités et les blessures causées par des combats ou les coupures des tendons sont les causes principales de la transmission et de la mortalité occasionnelle en vivier. Les animaux présentant des signes de faiblesse doivent être retirés des bassins pour éviter la contamination et il est prudent de vendre rapidement le stock. Les viviers doivent être nettoyés au chlore puis rincés. Il n'existe pas de traitement préventif de l'eau qui soit efficace.

7.4.4 *Hematodinium* du tourteau et de l'étrille

Depuis quelques années, des mortalités hivernales anormalement élevées du tourteau et de l'étrille sont constatées en milieu naturel et dans les viviers commerciaux. Elles sont dues à un dinoflagellé parasite du genre *Hematodinium* (Latrouite et al., 1988 ; Wilhelm et Boulo, 1988).

Le parasite se multiplie dans la cavité générale par divisions binaires ou plasmodiales, provoquant des lésions tissulaires importantes (tubules de l'hépatopancréas, fibres musculaires). Les animaux les plus atteints donnent des signes de léthargie et meurent rapidement en vivier, voire dans les casiers. Chez le tourteau, les individus les plus parasités présentent une coloration rosâtre, qui vaut à cette maladie l'appellation de "maladie du crabe rose". Bien que ne présentant aucun caractère toxique, les crabes parasités ont un goût amer très désagréable leur valant localement l'appellation de "crabes coués" (Cherbourg). Le mode de transmission de cette maladie n'est pas connu et il est recommandé de détruire, sans les remettre à l'eau, les individus qui en présentent les signes.

7.5 OPTIMISATION DU STOCKAGE

L'ensemble des éléments détaillés dans cette partie de l'étude permet de dégager des recommandations élémentaires pour améliorer les conditions de stockage et réduire les mortalités. Les plus évidentes sont de ne pas débarquer les animaux en mauvaise condition physiologique (crabes "clairs" par exemple), de réduire les chocs, "stress" et blessures, de maintenir des conditions satisfaisantes de charge biotique et de qualité physico-chimique de l'eau.

7.5.1 Tourteau

Dans son habitat naturel, les températures sont comprises entre 8 et 16°C selon la saison et l'origine géographique. Pour le stockage en eau, des températures situées dans cette plage conviennent parfaitement et les valeurs supérieures à 18°C sont à proscrire. Dans cette gamme de température, la consommation d'oxygène est généralement comprise entre 20 et 50 ml par kg et par heure. Le maintien d'un taux d'oxygène supérieur à 60% est souhaitable. Le tourteau étant peu habitué aux variations de salinité, il est nécessaire de le maintenir dans une eau proche de 35 pour mille et de ne pas descendre sous 30 pour mille (tableau 11).

La charge des viviers à bord des bateaux atteint fréquemment 400 à 600 kg par mètre cube (renouvellement de l'eau, 5 à 6 fois par heure). Dans les viviers à terre, elle est parfois de 250 kg par mètre cube sur de courtes périodes, mais un seuil de 120 kg est recommandé.

Lors du stockage hors d'eau la température optimale se situe entre 6 et 8°C et l'humidité doit toujours être à saturation. Les températures inférieures à 4°C et supérieures à 12°C sont fortement déconseillées.

7.5.2 Araignée

La température dans son milieu naturel évolue saisonnièrement entre 8 et 19°C. Les normes de stockage sont semblables à celles exposées précédemment pour le tourteau. L'araignée est toutefois plus fragile ; elle supporte mal les charges excessives et les séjours hors d'eau (tableau 11).

Facteur	Optimum	Limite	
		inf.	sup.
T°	9 à 14° (*) 8 à 12° (**)		17 à 18°
Salinité	35 pour mille	30 pour mille	
Oxygène	saturation	30 pour cent	sursaturation
N-NH3	<0.2 mg.l ⁻¹		
Charge biotique	100 à 120 kg.m ⁻³		250 kg.m ⁻³

Tableau 11 - Caractéristiques requises pour le stockage en eau du **tourteau** et de **l'araignée**. (*) en milieu naturel (**) en camion vivier

7.5.3 Etrille

Les taux de mortalité pendant le stockage et le transport sont fréquemment élevés ; en outre, une grande partie des survivants s'autotomise d'une ou plusieurs pattes. Une température inférieure à 15°C et un fort renouvellement de l'eau pour assurer un niveau d'oxygénation élevé sont recommandés.

7.5.4 Homard européen

Le stockage de cette espèce en viviers réfrigérés tend à se développer et constitue un procédé efficace pour une stabulation de longue durée. La température optimale est comprise entre 6 et 8°C. Des valeurs supérieures à 16°C, fréquentes l'été dans les installations non thermorégulées, favorisent le développement de la bactérie *Aerococcus viridans* et peuvent conduire à des mortalités (gaffkémie).

La charge biotique recommandée est de l'ordre de 80 kg par mètre cube et ne doit pas excéder 120 kg. La consommation d'oxygène évolue entre 25 et 70 ml par kg et par heure pour des températures comprises entre 12 et 15°C. Le homard est relativement tolérant à la dessalure si elle est progressive, toutefois les valeurs inférieures à 30 pour mille s'accompagnent de mortalités (tableau 12).

Facteur	Optimum	Limite	
		inf.	sup.
T°	6 à 7° (*) 8 à 12° (**)		17 à 18°
Salinité	35 pour mille	27 à 30 pour mille	
Oxygène	saturation	2 mg.l ⁻¹	sursaturation
N-NH3	<0.1 mg.l ⁻¹		
N-NO2	< 1 mg.l ⁻¹		
Charge biotique	80 à 90 kg.m ⁻³		120 kg.m ⁻³

Tableau 12 - Caractéristiques requises pour le stockage en eau du **homard européen**. (*) en milieu naturel (**) en camion vivier

7.5.5 Homard américain

Les charges biotiques recommandables sont comprises entre 80 et 120 kg par mètre cube et la température souhaitable pour un stockage prolongé est de 4° à 6°. Ses besoins en oxygène sont du même ordre que ceux du homard européen. Une salinité de 25 pour mille, même atteinte progressivement, est un seuil létal (tableau 13).

Facteur	Optimum	Limite	
		inf.	sup.
T°	4 à 6° (*)	0°	25°
Salinité	35 pour mille	25 pour mille	
Oxygène	saturation	30 pour cent	sursaturation
pH	8	7.5	
Charge biotique	80 à 90 Kg.m ⁻³		120 Kg.m ⁻³

Tableau 13 - Caractéristiques requises pour le stockage en eau du **homard américain** (*) en milieu naturel

7.5.6 Langouste rouge

Elle supporte bien le stockage de longue durée (sauf en cas de blessure) pour une température de 5 à 8°C et des charges de 80 à 90 kg par mètre cube. Les températures de transport en camion vivier sont comprises entre 8 et 12°C. Les salinités inférieures à 32 pour mille s'accompagnent de mortalités (tableau 14).

7.5.7 Langouste rose

La température dans son milieu naturel au large de la Mauritanie varie de 12,5 à 16,5°C et la salinité de 35,5 à 36 pour mille. En moyenne, la température oscille autour de 14°C d'octobre à juin et autour de 16°C en août-septembre. La teneur en oxygène de ces eaux serait faible (tableau 14).

Au transport et au stockage, la langouste rose supporte mal les fortes températures et meurt au-dessus de 23°C ; elle résiste à des températures de l'ordre de 4 à 5°C. La mortalité pendant le stockage touche plus particulièrement les petites langoustes ("puces").

7.5.8 Langouste verte

Les conditions hydrologiques dans son milieu naturel varient largement selon l'origine géographique. En Mauritanie, au nord du banc d'Arguin, elle vit dans des eaux relativement fraîches de température comprise entre 14 et 21 °C et de salinité 35,8 à 36,5 pour mille ; au sud de ce banc, les températures influencées par l'avancée des eaux guinéennes atteignent 28 à 29°C en septembre. Au Sénégal et en Gambie, elle recherche les eaux de température voisine de 25°C et ne semble pas être gênée par des eaux à 28-29°C. Au Togo et au Bénin, on la trouve dans des lagunes dont la salinité descend jusqu'à 28 pour mille.

Les charges habituelles dans les viviers à terre sont de 80 à 90 kg par mètre cube. Le cannibalisme en vivier, particulièrement fort chez cette espèce, occasionne des pertes élevées ; on peut le réduire en maintenant un éclairage sur les bassins. La température

optimale de stockage en eau est de l'ordre de 18°C; au-dessous de 12°C les mortalités deviennent très importantes. La consommation d'oxygène est de l'ordre de 50 à 60 ml par kg et par heure à 26°C. Bien qu'elle puisse vivre dans des milieux de salinité faible, elle ne résiste pas à des variations brutales de ce paramètre. Lorsqu'elle est hors d'eau, une température comprise entre 15 et 20°C provoque un état plus ou moins léthargique favorable au transport (tableau 14).

Facteur	Optimum	Limite	
		inf.	sup.
T°	9 à 12° (a)	5°	17 à 18°
T°	8 à 12° (b)		
T°	13 à 15° (c)	4°	20°
T°	17 à 18° (d)	15°	
Salinité	35 pour mille	28 pour mille	
Oxygène	saturation	30%	sursaturation
N-NH3	<0.1 mg ⁻¹ l		
Charge biotique	80 à 90 Kg.m ⁻³		120Kg.m ⁻³

Tableau 14 - Caractéristiques requises pour le stockage en eau des langoustes.

(a) langouste rouge en milieu naturel, (b) langouste rouge en camion vivier

(c) langouste verte en milieu naturel, (d) langouste rose en milieu naturel

CONCLUSION

Bien que le marché du crustacé congelé ou ensaché sous vide se développe, la tradition en France fait que les crabes, les homards et les langoustes doivent le plus souvent parvenir vivants au consommateur ou au restaurateur, qui assure lui-même la cuisson. On évalue à 25 000 tonnes et plus de 500 millions de francs en première vente, le marché des crustacés vivants. La mortalité intervenant sur ces produits entre la pêche et le consommateur, est de 5% à plus de 25% selon l'espèce et les conditions de stockage et de transport.

Comme pour toute autre production animale vivante, le négoce des crustacés pose des problèmes spécifiques : le passage brutal d'un milieu aquatique et stable, à des conditions d'environnement fluctuantes, s'accompagne inévitablement de mortalités. Vouloir les annuler serait peu réaliste, mais l'analyse des conditions biotechniques de la pêche, du stockage et du transport montre que la perte peut être réduite moyennant le respect de précautions et de dispositifs énumérés au fil des pages précédentes.

Les mortalités qui se rapportent à des causes directes sont aisément évitables. C'est le cas pour celles liées à la "qualité" initiale du produit ; le problème se pose en particulier pour les crabes "clairs" dont l'espérance de vie hors du milieu naturel est particulièrement réduite. Les phénomènes liés à la croissance ont également des effets négatifs sur les homards et les langoustes dont le cannibalisme en vivier s'exerce en priorité sur leurs congénères en mue. Un tri rigoureux lors de la pêche permettrait d'éviter le premier point et un suivi du cheptel en bassin limiterait le second. Une réduction des chocs, des blessures et, si possible, du nombre des manipulations aurait également un effet positif immédiat sur la survie de tous les animaux commercialisés. Les aménagements permettant d'y parvenir seraient à rechercher et définir dans les conditions réelles d'exploitation des entreprises, en mer et à terre. L'exposition à des variations thermiques, en particulier lors du transport hors d'eau, peut être rangée dans cette catégorie de facteurs de mortalité et des mesures techniques, telles que l'utilisation ou la fabrication d'emballages isolants plus performants sont parmi les moyens de les éviter.

Plus complexes sont les mortalités résultant d'une synergie entre facteurs dont aucun, pris isolément, n'est suffisant pour provoquer la mort. C'est le cas de la concentration en produits ammoniacaux résultant du catabolisme et de l'excrétion, du déficit en oxygène, des fluctuations de salinité et de l'accumulation de substances potentiellement toxiques. Leur action est d'autant plus néfaste que les charges biotiques sont élevées et le stockage prolongé. Les solutions permettant de réduire ces facteurs de mortalité sont diverses et souvent complémentaires entre elles. D'une façon générale, une meilleure planification des apports, en réduisant les densités dans les viviers et la durée du stockage, résoudrait une bonne partie des problèmes ; ce point passe par des accords entre producteurs et négociants. Des aménagements techniques tels que les caillebotis dans le fond des bassins et les systèmes d'épuration biologique dans les viviers en circuit fermé gagneraient à être généralisés. Enfin, un suivi des principaux paramètres physico-chimiques de l'eau permettrait de répondre rapidement à toute dégradation avant que les effets sur le cheptel n'aient eu des conséquences néfastes en terme de fragilisation ou de mortalité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alderman D.J., 1987. Maladie fongique de la carapace chez les crustacés. CIEM Fiche d'identification des maladies et des parasites des poissons, crustacés et mollusques, n°32.
- Aminot A. et M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, BNDO/Documentation, BP 70, 29280 Plouzané, 400pp
- Anonyme, 1987. Statistiques des Pêches Maritimes années 1986-1987. Direction des Pêches Maritimes et des cultures Marines.
- Austin B., Alderman D.J., 1987. Maladie bactérienne de la carapace chez les crustacés. CIEM Fiche d'identification des maladies et des parasites des poissons, crustacés et mollusques, n°31.
- Ayres P.A., Wood P.C., 1977. The live storage of lobsters. *Laboratory Leaflet*, 37, 1-10.
- Beard T. W. and McGregor D., 1991. Storage and care of live lobsters. Lab. Leaflet., MAFF Direct. Fish. Res., Lowestoft (66) : 33pp.
- Benschneider K. and R. Robinson, 1952. New spectrophotometric method for the détermination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, 11:87-96.
- Bouhier de l'Ecluse Y., Varax P. de, 1980. Oxygénation de l'eau en pisciculture. Mémoire de fin d'études I.S.A.R.A., 85pp et annexes.
- Carrière C, Justin H., 1978. Traitements et recyclage des eaux aquacoles : Application à un avant-projet de vivier en eau de mer. Mémoire de l'Institut Supérieur d'Agriculture de Lille, 152pp.
- Cobb S., Philipps B., 1980. The biology and management of lobsters. Académie Press, Vol 1, Physiology and Behavior, 463p., Vol. 2, Ecology and Management, 340pp.
- Coït J.E., Armstrong D.A., 1981. Nitrogen toxicity to crustaceans fish, and molluscs. In : Proceeding of the Bio engineering Symp. for the Fish Culture, Bethesda, 34-47.
- Comité Central des Pêches Maritimes, 1982. Le Marché Français du Crabe (Etude COFREMCA), 100pp.
- Cuillandre J.P., Latrouite D., Le Foll A., 1984. Le tourteau, biologie et exploitation. *La Pêche Maritime*, Sept. 1984, 502-520.
- Edney E.B., 1960. Terrestrial Adaptation. In : The physiology of Crustacea, T.H. Waterman Ed., Académie Press, London, 1,11, 367-393.
- Guidicelli M., 1971. La langouste, sa biologie et sa pêche, le stockage de la langouste tropicale vivante, son conditionnement et son exportation. Thèse Doct. Univ. Bordeaux, 2 vol., 225pp.
- Hottlett P., 1986. The European lobster market. In : 8th. Ann. Int. Seafood Conf., 8, 44-47.
- IFREMER, 1987. Le traitement de l'eau de mer en aquaculture. Rapport du Groupe de travail, vol 2, 150pp.
- Johnson M.W., Gentile J.H., 1979. Acute toxicity of cadmium, copper ad mercury to larval American lobster *Homarus americanus*. *Bull. Environm. Contam. Toxicoi*, 22, 258-264.
- Kergariou G. de., 1984. L'araignée de mer, *Maia squinado*, biologie et exploitation. *La Pêche Maritime*, 63, 1279, 575-583.
- Latrouite D., Morizur Y., Noël P., Chagot D., Wilhem G., 1988. Mortalité du tourteau *Cancer pagurus* provoquée par le dinoflagellé parasite *Hematodinium sp.* CIEM, CM. 1988/K:32, Réf E., 10pp.
- Latrouite D., Raguenes G., 1985. Température et salinité de l'eau de mer au large de Roscoff de 1971 à 1982 (Sud de la Manche Ouest). *Cah. Biol. Mar.*, 26, 223-237.
- Le Floch.J., 1982. Mieux conserver pour mieux valoriser le crabe Français. Rapport de stage BTS, Lycée agricole de Morlaix, 82pp.
- Mac Mullen P.H., 1986. An assessment of damage and mortality of the brown crab during vivier transport. *Sea Fish Industry Authority, Technical Report n°294*, December 1986,25pp.

- MacLeese D.W., Wiider D.G., 1967. Le homard : entreposage et expédition. *Bulletin de l'Office des Recherches sur les Pêcheries au Canada*, **147**, 75pp.
- Maigret J., 1978. Contribution à l'étude des langoustes de la côte occidentale d'Afrique, *Panulirus regius*, *Panulirus mauritanicus*. Thèse Doct. Sciences Naturelles, Univ. Aix-Marseille, 337 pp.
- Manthe D.P., Malone R.F., 1987. Chemical addition for accelerated biological filter acclimation in closed blue crab shedding Systems. *Aquacultural Engineering*, **6**, 227-236.
- Otwell W.S., Webb N.B., 1977. Investigation of containerization for transportation of live bleu crabs, *Calinectes sapidus*. *Chesapeake Science*, **18**, 4, 340-346.
- Poirel F., 1985. Organisation de la mise en marché des gros crustacés en Bretagne Nord. Rapport d'Etude FIOM, **12**, 71 pp.
- Richards P.R., Wickins J.F., 1979. Lobster culture research. *Laboratory Leaflet*, **39**, 1-33.
- Spotte S., 1979. Seawater aquariums. The captive environment. J. Wiley and Sons, New-York.
- Stewart J.E., Rabin H., 1970. Gaffkemia, a bacterial disease of lobsters (*Genus Homarus*). In : A symposium on Diseases of Fishes and Shellfishes, Spécial Publication , **5**, 431-439.
- Uglow R., Hosie S., MacMullen P.H., 1986. Live handling and transport of crustacean shellfish. An investigation of mortalities. *Sea Fish Industry Authority, Technical Report*, **280**, 1-40.
- Van Olst J.C., Carlbeg J.M., Hughes J.T., 1980. Aquaculture. In : The biology and management of lobsters, J.S. Cobb and B.F. Phillips Eds., Académie Press, London, 333-383.
- Vermeer G.K., 1987. Effect of air exposure on desiccation rate, hemolymph chemistry and escape behavior of the spiny lobster, *Panulirus argus*. *Fishery Bulletin*, **85**, **1**, 45-51.
- Wheaton F.W., 1977. Aquacultural engineering, M.E. McCormick Ed., Wiley, New-York, 708pp.
- Whyman S., Uglow R., MacMullen P., 1985. A study of mortality rates of the velvet crab during holding and transport. *Sea Fish Industry Authority, Technical Report*, **259**, 1-23.
- Wilhem G., 1985. L'étrille dans le Mor-Braz. Mémoire de fin d'études ENSA Rennes, 110 pp.
- Wilhem G., Boulo V., 1988. Infection de l'étrille *Liocarcinus puber* (L.) par un dinoflagellé parasite de type *Hematodinium* sp., CIEM, CM 1988 K/41, Sess. O, 9 pp.
- Wolvekamp P., Waterman T.H., 1960. Respiration. In : The physiology of Crustaceans, T.H. Waterman Ed., Académie Press, London, **1**, 35-100.
- Wood P.C., Ayres P.A., 1977. Artificial sea water for shellfish tanks. *Laboratory Leaflet*, **39**, 1-12.

ANNEXE

L'EAU DE MER : RAPPEL SOMMAIRE DES CARACTERISTIQUES ET DES METHODES DE MESURE

L'eau de mer est l'environnement naturel des crustacés. La connaissance de ses principales caractéristiques et la capacité de les mesurer sont nécessaires pour recréer et maintenir des conditions compatibles avec le stockage. Les paramètres importants en sont : la température, la salinité, le pH, les gaz dissous et les substances dissoutes.

A1 LA TEMPERATURE

L'importance de ce paramètre est évidente et sa mesure ne pose pas de problème particulier. Des thermomètres à affichage numérique, moins fragiles que les thermomètres classiques à mercure, sont bien adaptés à ce type d'utilisation. Son contrôle fait appel à des méthodes de thermorégulation classiques.

A 2 LA SALINITE

Par définition, la salinité représente la masse (g) des substances solides séchées à 480°C contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iodure ont été remplacés par leur équivalent de chlorures, les carbonates convertis en oxydes et quand toute la matière organique a été oxydée.

En dehors des zones estuariennes, la salinité est le plus souvent voisine de 35 pour mille, ce qui signifie que l'évaporation d'un kilogramme d'eau de mer, dans les conditions définies ci-dessus, produit 35g de sels.

Hors laboratoire spécialisé, la salinité est estimée par des techniques basées sur des principes physiques assurant une mesure rapide avec une précision voisine de plus ou moins 0,5 à 1,0 pour mille, largement suffisante pour les besoins courants du stockage. Les plus faciles à mettre en oeuvre pratiquement sur le terrain sont la mesure de la densité et la mesure de l'indice de réfraction.

A 2.1 Mesure de la densité de l'eau de mer

Elle nécessite l'emploi d'un densimètre de précision spécialement étalonné pour l'eau de mer et d'un thermomètre gradué au degré. Une table de correspondance à double entrée ou un graphique permet d'obtenir la valeur de la salinité à partir de la mesure de ces deux paramètres (fig. A).

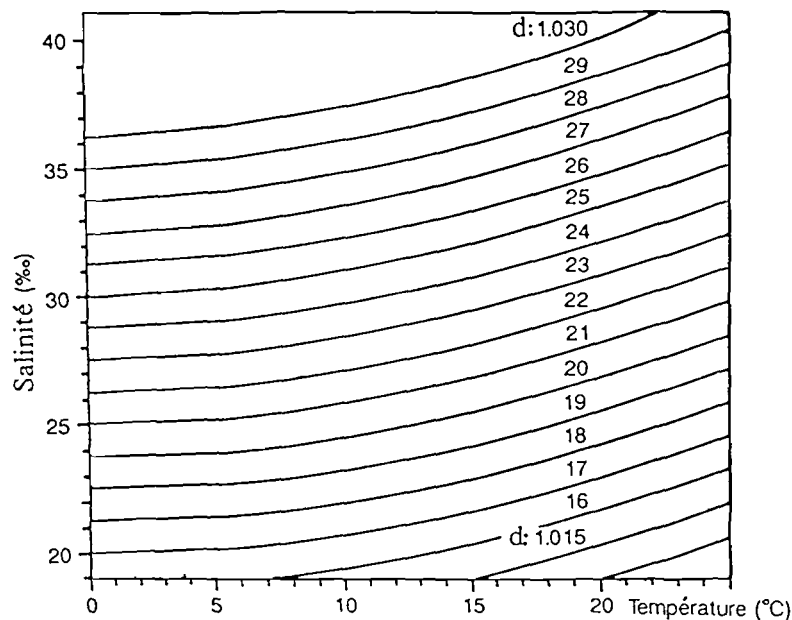


Figure A - Courbes de salinité en fonction de la densité et de la température de l'eau de mer.

A 2.2 Mesure de l'indice de réfraction

Lorsqu'un faisceau de lumière passe d'un milieu transparent dans un autre, par exemple de l'air vers l'eau, il est plus ou moins dévié. L'indice de réfraction est le rapport trigonométrique entre l'angle d'incidence et l'angle de réfraction situés de part et d'autre de l'interface. Cet indice est constant pour un milieu déterminé et une température donnée. Lorsque le second milieu est de l'eau salée, l'indice de réfraction varie en fonction de la température de l'eau et de la concentration en matières dissoutes, donc de la salinité.

Il se mesure à l'aide d'un réfractomètre dont les modèles à main sont d'un emploi courant pour les travaux "de terrain". Une table donne la valeur de l'indice de réfraction en fonction de la température et de la salinité (tableau A).

S ‰	Température (°C)					
	0	5	10	15	20	25
0	1,3 3395	1,3 3385	1,3 3370	1,3 3340	1,3 3300	1,3 3250
5	3500	3485	3465	3435	3395	3345
10	3600	3585	3565	3530	3485	3435
15	3700	3685	3660	3625	3580	3525
20	3795	3780	3750	3715	3670	3620
25	3895	3875	3845	3805	3760	3710
30	3991	3966	3935	3898	3851	3798
31	4011	3985	3954	3916	3869	3816
32	4030	4004	3973	3934	3886	3834
33	4049	4023	3992	3953	3904	3851
34	4068	4042	4011	3971	3922	3868
35	4088	4061	4030	3990	3940	3886
36	4107	4080	4049	4008	3958	3904
37	4127	4099	4068	4026	3976	3922
38	4146	4118	4086	4044	3994	3940
39	4166	4139	4105	4062	4012	3958
40	(4185)	(4157)	(4124)	(4080)	(4031)	(3976)
41	(4204)	(4176)	(4143)	(4098)	(4049)	(3944)

Tableau A - Indice de réfraction de l'eau de mer en fonction de la température et de la salinité (Utterback et al., 1934). Les interpolations entre valeurs sont linéaires.

A 2.3 Reconstitution d'eau de mer

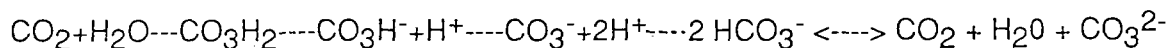
Quand l'approvisionnement en eau de mer d'installations éloignées de la côte pose des problèmes techniques ou économiques, on peut reconstituer de l'eau artificielle en diluant des sels appropriés dans de l'eau douce de bonne qualité. Les quantités nécessaires pour 100 litres sont données au tableau B. La solubilisation se fait à température ambiante ou, si on veut l'accélérer, par chauffage d'une partie de l'eau. La teneur en chlore des eaux domestiques, souvent forte et toxique pour les crustacés, peut être réduite en laissant reposer l'eau plusieurs heures avant usage ou en la soumettant à un bullage vigoureux (Mac Leese et Wilder, 1967).

Chlorure de sodium	NaCl	2 325 g
Sulfate de magnésium	MgSO ₄ , 7H ₂ O	608 g
Chlorure de magnésium	MgCl ₂ , 6H ₂ O	492 g
Chlorure de calcium	CaCl ₂ , 2H ₂ O	156 g
Chlorure de potassium	KCl	82 g

Tableau B - Quantités de sels à dissoudre dans 100 litres d'eau douce, pour reconstituer de l'eau salée.

A3LEPH

L'eau de mer est légèrement basique, avec un pH en milieu naturel de 8,2 environ. La stabilité du pH est due au pouvoir tampon du milieu marin, lié essentiellement à la présence des carbonates, hydrogénocarbonates, d'acide et de gaz carbonique.



Une augmentation du gaz carbonique dissous peut induire une acidification de l'eau, donc une baisse du pH ; une telle situation est envisageable durant les périodes de transport et de stockage, surtout en présence d'une aération insuffisante.

La méthode électrochimique avec emploi d'une électrode de verre s'avère être la plus facile à mettre en oeuvre pour la mesure du pH. La définition pratique de celui-ci est basée sur la différence des potentiels mesurés en plongeant successivement une électrode dans une solution de pH standard connu (pH_S) et dans la solution X dont on désire mesurer le pH (pH_X) (Aminot, 1983), d'où :

$$\text{pH}_X = \text{pH}_S + (E_X - E_S)/K$$

avec

E_X = potentiel de l'électrode de verre dans la solution X

E_S = potentiel de l'électrode de verre dans la solution de pH standard S

K = constante électrochimique de valeur 57,20 mV à 15°C, 58,17 mV à 20°C et 59,16 mV à 25°C.

De petits pH-mètres portables à lecture numérique sont largement diffusés dans le commerce ; leur emploi est particulièrement aisé.

A 4 LES GAZ DISSOUS

L'ensemble des gaz composant l'air ambiant se retrouve solubilisé dans l'eau de

mer. Parmi ceux-ci, le rôle de l'oxygène est essentiel car il est indispensable aux êtres vivants.

La quantité d'oxygène susceptible d'être dissoute dans un volume d'eau de mer est appelée concentration de saturation (C_s). Elle décroît lorsque la température ou la salinité augmente, ou bien lorsque la pression atmosphérique diminue. Des tables permettent la détermination de la concentration de saturation en fonction de la température, de la salinité et de la pression atmosphérique (tableau C). La sursaturation correspond à un mélange d'oxygène et d'azote non dissout, et présent dans l'eau sous forme de microscopiques bulles libres.

Les oxymètres utilisant une électrode polarographique à membrane permettent la mesure de l'oxygène dissous et sont d'un emploi aisé. Il en existe de nombreux modèles sur le marché, dont le prix varie avec les caractéristiques du matériel.

Avant chaque série de mesures, il est absolument indispensable d'effectuer une calibration de l'appareil en fonction de la concentration de saturation en oxygène dissous, valeur dépendant de la température, de la salinité et de la pression atmosphérique. L'abaque présenté à la fig. B est destiné à fournir cette valeur de saturation.

A 5 LES SUBSTANCES DISSOUTES

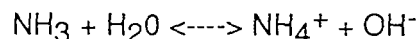
L'azote est présent dans l'eau de mer à différents niveaux d'oxydation :

- l'azote ammoniacal ($N-NH_3 + N-NH_4^+$)
- l'azote nitreux ($N-NO_2$)
- l'azote nitrique ($N-NO_3$)

Seules les deux premières formes présentent une éventuelle toxicité pour la vie aquatique.

A 5.1 L'azote ammoniacal

En milieu aqueux, il se produit l'équilibre chimique suivant, qui dépend essentiellement du pH, mais aussi de la salinité et de la température :



Le dosage de référence, seule technique utilisable en eau de mer, est une méthode colorimétrique dite "au bleu d'indophénol" qui permet le dosage de l'azote ammoniacal total, soit la somme de NH_3 ammoniac libre et de NH_4^+ ion ammonium. Les échantillons à doser, filtrés à quelques microns pour éliminer les matières en suspension, peuvent être conservés quelques heures dans des flacons en polyéthylène, au froid à 4°C mais non congelés. Cette méthode de dosage, parfaitement fiable, est utilisée par de nombreux laboratoires d'analyse auxquels il est possible de s'adresser.

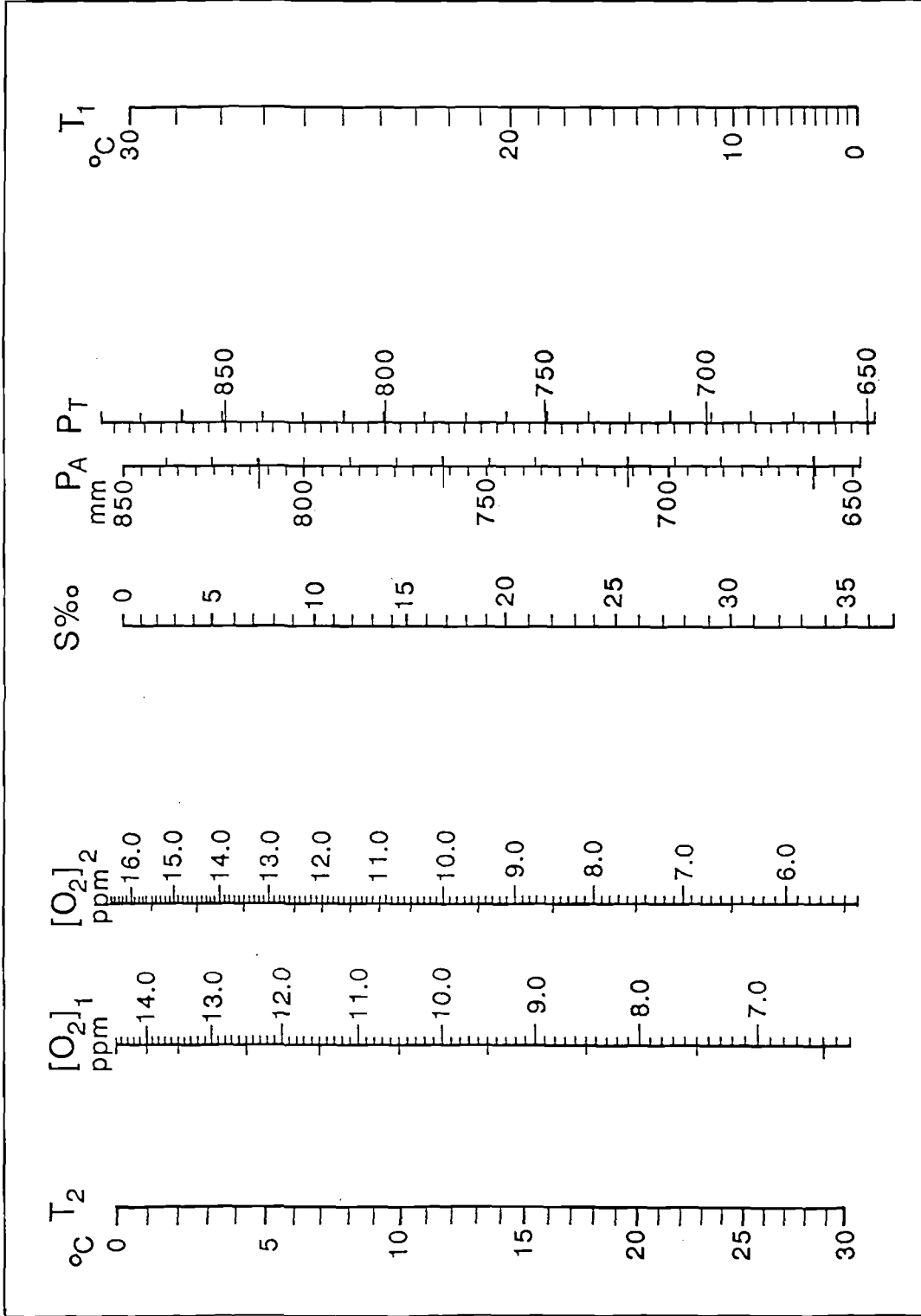
Il existe également sur le marché des coffrets d'analyse rapide, de moindre précision, mais d'une grande commodité d'emploi pour une mesure sur place. Cette technique colorimétrique permet par comparaison à une gamme étalon (échelle de couleur), de définir la concentration en ammoniac total $N-NH_4T$ (coffrets de mesures distribués par la société Merck de Nogent-sur-Marne, références 14428 et 14423). Connaissant l'azote ammoniacal total, il est possible de déterminer la concentration en ammoniac libre (seul toxique pour les animaux) à l'aide d'une table donnant le pourcentage de la forme NH_3 libre en fonction de la température, de la salinité et du pH de l'échantillon (tableau D).

SALINITÉS

TEMPÉRATURES	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
0	10,22	10,08	9,94	9,81	9,67	9,54	9,41	9,29	9,16	9,04	8,91	8,79	8,67	8,56	8,44	8,32	8,21	8,10	7,99	7,88	7,77
1	9,94	9,80	9,67	9,54	9,41	9,28	9,16	9,04	8,91	8,79	8,68	8,56	8,44	8,33	8,22	8,11	8,00	7,89	7,78	7,68	7,58
2	9,67	9,54	9,41	9,28	9,16	9,04	8,92	8,80	8,68	8,56	8,45	8,34	8,22	8,11	8,01	7,90	7,79	7,69	7,59	7,48	7,38
3	9,41	9,28	9,16	9,04	8,92	8,80	8,68	8,57	8,45	8,34	8,23	8,12	8,01	7,91	7,80	7,70	7,60	7,50	7,40	7,30	7,20
4	9,16	9,04	8,92	8,81	8,69	8,57	8,46	8,35	8,24	8,13	8,02	7,92	7,81	7,71	7,61	7,51	7,41	7,31	7,22	7,12	7,03
5	8,93	8,81	8,70	8,58	8,47	8,36	8,25	8,14	8,03	7,93	7,83	7,72	7,62	7,52	7,42	7,33	7,23	7,14	7,04	6,95	6,86
6	8,70	8,59	8,48	8,37	8,26	8,15	8,05	7,94	7,84	7,74	7,64	7,54	7,44	7,34	7,25	7,15	7,06	6,97	6,88	6,79	6,70
7	8,49	8,38	8,27	8,16	8,06	7,95	7,85	7,75	7,65	7,55	7,45	7,36	7,26	7,17	7,08	6,99	6,89	6,81	6,72	6,63	6,55
8	8,28	8,17	8,07	7,97	7,86	7,76	7,66	7,57	7,47	7,37	7,28	7,19	7,09	7,00	6,91	6,82	6,74	6,65	6,57	6,48	6,40
9	8,08	7,98	7,88	7,78	7,68	7,58	7,48	7,39	7,30	7,20	7,11	7,02	6,93	6,84	6,76	6,67	6,59	6,50	6,42	6,34	6,26
10	7,89	7,79	7,69	7,60	7,50	7,41	7,31	7,22	7,13	7,04	6,95	6,86	6,78	6,69	6,61	6,52	6,44	6,36	6,28	6,20	6,12
11	7,71	7,61	7,52	7,42	7,33	7,24	7,15	7,06	6,97	6,88	6,80	6,71	6,63	6,54	6,46	6,38	6,30	6,22	6,14	6,07	5,99
12	7,53	7,44	7,35	7,26	7,17	7,08	6,99	6,90	6,82	6,73	6,65	6,56	6,48	6,40	6,32	6,24	6,17	6,09	6,01	5,94	5,87
13	7,37	7,27	7,18	7,10	7,01	6,92	6,84	6,75	6,67	6,59	6,51	6,42	6,34	6,27	6,19	6,11	6,04	5,96	5,89	5,82	5,74
14	7,20	7,12	7,03	6,94	6,86	6,77	6,69	6,61	6,53	6,45	6,37	6,29	6,21	6,14	6,06	5,99	5,91	5,84	5,77	5,70	5,63
15	7,05	6,96	6,88	6,79	6,71	6,63	6,55	6,47	6,39	6,31	6,24	6,16	6,08	6,01	5,94	5,87	5,79	5,72	5,65	5,58	5,52
16	6,90	6,81	6,73	6,65	6,57	6,49	6,41	6,34	6,26	6,18	6,11	6,03	5,96	5,89	5,82	5,75	5,68	5,61	5,54	5,48	5,41
17	6,75	6,67	6,59	6,51	6,44	6,36	6,28	6,21	6,13	6,06	5,99	5,91	5,84	5,77	5,70	5,64	5,57	5,50	5,43	5,37	5,31
18	6,61	6,54	6,46	6,38	6,31	6,23	6,16	6,08	6,01	5,94	5,87	5,80	5,73	5,66	5,59	5,53	5,46	5,40	5,33	5,27	5,21
19	6,48	6,40	6,33	6,25	6,18	6,11	6,03	5,96	5,89	5,82	5,75	5,69	5,62	5,55	5,49	5,42	5,36	5,29	5,23	5,17	5,11
20	6,35	6,28	6,20	6,13	6,06	5,99	5,92	5,85	5,78	5,71	5,64	5,58	5,51	5,45	5,38	5,32	5,26	5,20	5,14	5,07	5,02
21	6,23	6,15	6,08	6,01	5,94	5,87	5,80	5,74	5,67	5,60	5,54	5,47	5,41	5,35	5,28	5,22	5,16	5,10	5,04	4,98	4,93
22	6,11	6,04	5,97	5,90	5,83	5,76	5,69	5,63	5,56	5,50	5,44	5,37	5,31	5,25	5,19	5,13	5,07	5,01	4,95	4,89	4,84
23	5,99	5,92	5,85	5,79	5,72	5,65	5,59	5,52	5,46	5,40	5,34	5,28	5,21	5,15	5,10	5,04	4,98	4,92	4,87	4,81	4,75
24	5,88	5,81	5,74	5,68	5,61	5,55	5,49	5,42	5,36	5,30	5,24	5,18	5,12	5,06	5,01	4,95	4,89	4,84	4,78	4,73	4,67
25	5,77	5,70	5,64	5,58	5,51	5,45	5,39	5,33	5,27	5,21	5,15	5,09	5,03	4,98	4,92	4,86	4,81	4,75	4,70	4,65	4,59
26	5,66	5,60	5,54	5,48	5,41	5,35	5,29	5,23	5,17	5,12	5,06	5,00	4,95	4,89	4,83	4,78	4,73	4,67	4,62	4,57	4,52
27	5,56	5,50	5,44	5,38	5,32	5,26	5,20	5,14	5,08	5,03	4,97	4,92	4,86	4,81	4,75	4,70	4,65	4,60	4,54	4,49	4,44
28	5,46	5,40	5,34	5,28	5,23	5,17	5,11	5,05	5,00	4,94	4,89	4,83	4,78	4,73	4,67	4,62	4,57	4,52	4,47	4,42	4,37
29	5,37	5,31	5,25	5,19	5,14	5,08	5,02	4,97	4,91	4,86	4,81	4,75	4,70	4,65	4,60	4,55	4,50	4,45	4,40	4,35	4,30
30	5,28	5,22	5,16	5,10	5,05	4,99	4,94	4,89	4,83	4,78	4,73	4,68	4,62	4,57	4,52	4,47	4,43	4,38	4,33	4,28	4,24
31	5,19	5,13	5,07	5,02	4,96	4,91	4,86	4,80	4,75	4,70	4,65	4,60	4,55	4,50	4,45	4,40	4,36	4,31	4,26	4,22	4,17
32	5,10	5,04	4,99	4,94	4,88	4,83	4,78	4,73	4,68	4,63	4,58	4,53	4,48	4,43	4,38	4,33	4,29	4,24	4,20	4,15	4,11
33	5,01	4,96	4,91	4,86	4,80	4,75	4,70	4,65	4,60	4,55	4,50	4,46	4,41	4,36	4,31	4,27	4,22	4,18	4,13	4,09	4,04
34	4,93	4,88	4,83	4,78	4,73	4,68	4,63	4,58	4,53	4,48	4,43	4,39	4,34	4,29	4,25	4,20	4,16	4,11	4,07	4,03	3,98
35	4,85	4,80	4,75	4,70	4,65	4,60	4,55	4,51	4,46	4,41	4,36	4,32	4,27	4,23	4,18	4,14	4,10	4,05	4,01	3,97	3,93

Table C - Solubilité de l'oxygène en fonction de la température et de la salinité de la mer. Les valeurs sont en ml.l⁻¹.

(pour obtenir des mg.l⁻¹, multiplier par 1.429).



- 1- Mesurer la température.
- 2- Mesurer la salinité.
- 3- Relier la température lue sur l'échelle T₂ et la salinité lue sur l'échelle S‰.
- 4- Lire sur l'échelle [O₂]₁ la concentration d'oxygène en ppm (~ mg/L) à une pression partielle de 760 mm de mercure.
- 5- Mesurer la pression atmosphérique (mm de mercure).
- 6- Relier cette pression lue sur l'échelle P_T et la température lue sur l'échelle T₁.
- 7- Lire sur l'échelle P_A la pression partielle de l'air sec en mm de Hg.
- 8- Maintenant, joindre la valeur d'oxygène lue en 4° sur [O₂]₁ et la pression P_A lue à l'étape 7.
- 9- Lire alors sur l'échelle [O₂]₂ la solubilité de l'oxygène en ppm (~ mg/L) à la pression atmosphérique ambiante.

Figure B- Abaque permettant de déterminer la concentration de la saturation de l'oxygène dans l'eau de mer.

A 5.2 L'azote nitreux

Dans le cycle de l'azote, les ions nitrites sont des intermédiaires fugaces entre l'azote ammoniacal et les nitrates (forme oxydée) ; leur concentration dans l'eau est donc généralement faible, sauf sous certaines conditions désastreuses en vivier.

Les nitrites se mesurent de la même façon que l'ammoniaque par des tests colorimétriques par exemple du coffret de terrain commercialisé par Merck (référence 14 424).

La méthode de dosage à utiliser est basée sur la réaction de Griess, adaptée à l'eau de mer par Beudscheinder et Robinson (1952). C'est une méthode très sensible et bien spécifique des ions nitrites.

S = 0 ‰							S = 10 ‰					
t °C	pH						pH					
	6,5	7	7,5	8	8,5	9	6,5	7	7,5	8	8,5	9
0	0,025	0,078	0,247	0,778	2,42	7,27	0,024	0,076	0,241	0,758	2,36	7,10
2	0,030	0,094	0,295	0,927	2,87	8,56	0,029	0,091	0,298	0,904	2,80	8,36
4	0,035	0,111	0,351	1,10	3,40	10,0	0,034	0,108	0,342	1,07	3,32	9,79
6	0,042	0,132	0,417	1,31	4,02	11,7	0,041	0,129	0,406	1,27	3,92	11,4
8	0,050	0,157	0,493	1,54	4,72	13,6	0,048	0,153	0,481	1,50	4,61	13,2
10	0,059	0,185	0,582	1,82	5,53	15,6	0,057	0,180	0,568	1,77	5,40	15,3
12	0,069	0,218	0,686	2,14	6,46	17,9	0,067	0,212	0,669	2,08	6,31	17,5
14	0,081	0,256	0,806	2,50	7,51	20,4	0,079	0,250	0,786	2,44	7,34	20,0
16	0,095	0,301	0,945	2,93	8,71	23,2	0,093	0,293	0,921	2,85	8,50	22,7
18	0,112	0,352	1,10	3,41	10,0	26,1	0,109	0,343	1,08	3,33	9,82	25,6
20	0,130	0,411	1,29	3,96	11,5	29,2	0,127	0,401	1,26	3,87	11,3	28,7
22	0,152	0,479	1,50	4,59	13,2	32,5	0,148	0,467	1,46	4,48	12,9	31,9
24	0,177	0,557	1,74	5,30	15,0	35,9	0,172	0,543	1,70	5,18	14,7	35,3
26	0,205	0,646	2,02	6,11	17,1	39,4	0,200	0,630	1,96	5,96	16,7	38,8
28	0,238	0,748	2,33	7,01	19,3	43,0	0,232	0,729	2,27	6,84	18,8	42,3
30	0,275	0,865	2,68	8,02	21,6	46,6	0,268	0,843	2,62	7,83	21,2	45,9
S = 20 ‰							S = 30 ‰					
t °C	pH						pH					
	6,5	7	7,5	8	8,5	9	6,5	7	7,5	8	8,5	9
0	0,024	0,074	0,235	0,739	2,30	6,93	0,023	0,072	0,229	0,720	2,24	6,76
2	0,028	0,089	0,280	0,881	2,73	8,16	0,027	0,086	0,273	0,858	2,66	7,97
4	0,033	0,106	0,333	1,05	3,24	9,57	0,033	0,103	0,325	1,02	3,16	9,34
6	0,040	0,125	0,396	1,24	3,82	11,2	0,039	0,122	0,386	1,21	3,73	10,9
8	0,047	0,149	0,468	1,47	4,49	12,9	0,046	0,145	0,456	1,43	4,38	12,7
10	0,056	0,176	0,553	1,73	5,27	15,0	0,054	0,171	0,539	1,68	5,14	14,6
12	0,066	0,207	0,651	2,03	6,15	17,2	0,064	0,202	0,635	1,98	6,01	16,8
14	0,077	0,243	0,766	2,38	7,16	19,6	0,075	0,237	0,746	2,32	6,99	19,2
16	0,090	0,286	0,897	2,78	8,30	22,3	0,088	0,278	0,874	2,71	8,11	21,8
18	0,106	0,334	1,05	3,24	9,50	25,1	0,103	0,326	1,02	3,16	9,36	24,6
20	0,124	0,390	1,22	3,77	11,0	28,2	0,121	0,380	1,19	3,68	10,8	27,6
22	0,144	0,455	1,42	4,37	12,6	31,4	0,141	0,443	1,39	4,26	12,3	30,8
24	0,168	0,529	1,65	5,05	14,4	34,7	0,164	0,515	1,61	4,93	14,1	34,1
26	0,195	0,614	1,92	5,82	16,3	38,2	0,190	0,598	1,87	5,68	16,0	37,6
28	0,226	0,711	2,21	6,68	18,5	41,7	0,220	0,693	2,16	6,52	18,1	41,1
30	0,261	0,821	2,55	7,65	20,7	45,3	0,254	0,800	2,49	7,47	20,3	44,7
S = 35 ‰							S = 40 ‰					
t °C	pH						pH					
	6,5	7	7,5	8	8,5	9	6,5	7	7,5	8	8,5	9
0	0,023	0,072	0,226	0,711	2,21	6,68	0,022	0,071	0,223	0,702	2,19	6,60
2	0,027	0,085	0,269	0,847	2,63	7,87	0,027	0,084	0,266	0,836	2,60	7,78
4	0,032	0,102	0,321	1,01	3,12	9,22	0,032	0,100	0,317	0,994	3,08	9,12
6	0,038	0,121	0,381	1,19	3,68	10,8	0,038	0,119	0,376	1,18	3,63	10,7
8	0,045	0,143	0,451	1,41	4,33	12,5	0,045	0,141	0,445	1,39	4,28	12,4
10	0,053	0,169	0,532	1,66	5,08	14,5	0,053	0,167	0,525	1,64	5,01	14,3
12	0,063	0,199	0,627	1,95	5,93	16,6	0,062	0,196	0,619	1,93	5,86	16,4
14	0,074	0,234	0,736	2,29	6,91	19,0	0,073	0,231	0,727	2,26	6,82	18,8
16	0,087	0,275	0,863	2,68	8,01	21,6	0,086	0,271	0,852	2,65	7,91	21,4
18	0,102	0,321	1,01	3,12	9,25	24,4	0,101	0,317	0,997	3,08	9,14	24,1
20	0,119	0,375	1,18	3,63	10,6	27,4	0,117	0,371	1,16	3,59	10,5	27,1
22	0,139	0,438	1,37	4,21	12,2	30,5	0,137	0,432	1,35	4,16	12,1	30,3
24	0,161	0,509	1,59	4,86	13,9	33,8	0,159	0,502	1,57	4,81	13,8	33,5
26	0,187	0,590	1,84	5,61	15,8	37,3	0,185	0,583	1,82	5,54	15,6	37,0
28	0,217	0,684	2,13	6,44	17,9	40,8	0,214	0,675	2,10	6,36	17,7	40,5
30	0,251	0,790	2,46	7,38	20,1	44,3	0,248	0,780	2,43	7,29	19,9	44,0

Table D - Pourcentage d'ammoniac non ionisé NH₃ en fonction de la température, de la salinité et du pH (Aminot, 1983).