



HAL
open science

HoloTrack

Frank David, Nadia Améziane, Cédric Hubas

► **To cite this version:**

Frank David, Nadia Améziane, Cédric Hubas. HoloTrack : Méthode permettant de confirmer l'origine sauvage/élevage de l'holothurie noire *Holothuria forskali*. Museum national d'histoire naturelle (MNHN PARIS). 2023, pp.26. hal-04193786

HAL Id: hal-04193786

<https://hal.science/hal-04193786>

Submitted on 1 Sep 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

RAPPORT TECHNIQUE



STATION MARINE
CONCARNEAU

HoloTrack

Méthode permettant de confirmer l'origine sauvage/élevage
de l'holothurie noire *Holothuria forskali*

Auteur du rapport :
Frank DAVID

Supervision scientifique :
Nadia AMEZIANE
Cédric HUBAS

DATE DE DÉBUT DU PROJET :
09/2019

DATE DE FIN DU PROJET :
05/2023

projet financé par la mesure 62.1b « Mise en œuvre des stratégies DLAL »
du programme opérationnel FEAMP 2014-2020

UNION EUROPÉENNE
UNANIEZH EUROPA



**L'Europe s'engage
en Bretagne** / Avec le Fonds européen
pour les affaires maritimes et la pêche



Table des matières


| | |
|------------------------------------------|-----------|
| Résumé | 2 |
| 1 Contexte et objectifs | 3 |
| 1.1 Contexte | 3 |
| 1.2 Objectifs | 4 |
| 2 Methodologie | 4 |
| 2.1 Echantillons | 4 |
| 2.2 Prétraitement | 4 |
| 2.3 Analyses | 6 |
| 2.3.1 Acides gras | 6 |
| 2.3.2 Acides aminés | 7 |
| 2.3.3 Stérols | 7 |
| 2.3.4 Isotopes stables C et N | 8 |
| 2.4 Interprétation des données | 8 |
| 3 Résultats | 9 |
| 3.1 Acides gras | 9 |
| 3.2 Acides aminés | 10 |
| 3.3 Stérols | 11 |
| 3.4 Isotopie | 11 |
| 4 Discussion | 12 |
| 4.1 Nutrition | 12 |
| 4.2 Qualité | 12 |
| 4.3 Authentification | 13 |
| 5 Conclusion | 14 |
| Liste des communications | 15 |
| Références | 16 |
| Annexes | |

Résumé général

Le projet HoloTrack s'inscrit dans un contexte de diversification des productions marines à l'échelle européenne, notamment pour des espèces de bas niveau trophique où le concombre de mer (holothurie - échinoderme) tient une place de choix. Cependant, cet attrait pour l'aquaculture risque de mettre en lumière certaines espèces et/ou populations naturelles d'holothuries qui n'étaient pas jusqu'alors exploitées, avec des conséquences désastreuses pour les populations naturelles.

L'objectif du projet était de développer des outils de traçabilité permettant de différencier les holothuries issues du milieu naturel (sauvage) de celles produites en aquaculture (élevage). Ceci afin d'une part de garantir au consommateur une ressource durable et de bonne qualité nutritionnelle, et, d'autre part, d'augmenter la visibilité des holothuries d'aquaculture lors de leur phase de commercialisation et leur attribuer ainsi un critère distinctif sur leur origine et leur mode de production. Le projet s'est appuyé sur le large déploiement d'essais de production conduits afin d'améliorer l'itinéraire technique de la production d'holothuries noires *Holothuria forskali*. La banque d'échantillons constituée inclue huit sites d'élevage et six sites de collecte en milieu naturel, ainsi que des modes d'alimentation différents au sein des sites et des suivis saisonniers en milieu naturel.

Suite à l'analyse d'un large éventail de composés sur la partie comestible des holothuries, la composition en stérols s'est révélée être l'outil le plus fiable pour distinguer les holothuries nées en milieu naturel de celles nées en captivité. Avec une moindre fiabilité il est aussi possible d'utiliser la composition en acides aminés et la composition en acides gras.

| | Sauvage | Elevage |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|  Stérols $\frac{\text{Cholest-3,5-diene}}{\text{Stérol } C_{29}H_{46}}$ | ≥ 4.13 | < 4.13 |
| Acides aminés $\frac{Gly}{Asx}$ | ≥ 3.48 | < 3.48 |
| Acides gras $\frac{\Sigma(20:1\omega9 + 22:1\omega9 + 24:1\omega9)}{18:1\omega9}$ | < 2.69 ou ≥ 0.66 | ≥ 2.69 et ≥ 0.66 |
| $\frac{\Sigma(20:1\omega9 + 22:1\omega9 + 24:1\omega9)}{20:4\omega6}$ | < 0.66 | ≥ 0.66 |

1 Contexte et objectifs

1.1 Contexte

Dans un contexte de recherche de valeur ajoutée et de diversification au sein de la filière conchylicole, l'élevage de nouvelles espèces apparaît comme un levier à fort potentiel afin de pérenniser l'aquaculture du Pays de Cornouaille, et plus largement l'aquaculture bretonne. Le secteur conchylicole est confronté depuis des décennies à des épizooties (épidémies animales) successives poussant la profession à s'interroger sur son modèle de production. L'élevage de nouvelles espèces et la diversification permettent aux entreprises aquacoles d'élargir leur offre et ainsi d'augmenter leur résilience face aux perturbations futures telles que la pression foncière sur le littoral, les problèmes de qualité d'eau ou le changement climatique [1, 2]. Cette diversification est l'une des attentes des professionnels de la filière aquacole en Ouest Cornouaille [3].

La production d'holothuries (concombres de mer - échinodermes) est considérée par certains auteurs comme la "poule aux œufs d'or" de l'aquaculture écologique en Europe et un grand nombre de projets visant à élever des holothuries ont récemment émergé autour de l'Atlantique Nord-Est [4, 5, 6, 7] et du bassin méditerranéen [8, 9, 10, 11, 12, 13]. L'élevage du concombre de mer peut potentiellement diversifier les revenus des aquaculteurs et de réduire les impacts environnementaux des productions grâce à des systèmes d'aquaculture multi trophique intégrée [2, 11, 12, 13]. Cependant, il existe un risque que le développement de l'aquaculture mette en lumière certaines espèces et/ou populations naturelles d'holothuries qui n'étaient pas jusqu'alors exploités. Les informations permettant de gérer durablement les stocks en mer (âge de première reproduction, pyramide des âges, dynamique de recrutement) sont très mal connues chez les holothuries. De plus, ces animaux ont très peu de prédateurs en milieu naturel [14], ce qui laisse penser que les holothuries n'ont pas mis en place de dynamique de renouvellement des populations capable de faire face à ce type de prélèvement. En conséquence, l'effondrement des stocks d'holothuries a suivi de près le développement des pêcheries dans la plupart des régions du monde où ces organismes sont exploités [15, 16, 17].

L'élevage de l'holothurie noire *Holothuria forskali* est en cours de développement en Cornouaille et la phase allant de l'induction de la ponte jusqu'au grossissement d'individus en mer est maîtrisée, bien qu'optimisable. Il est donc indispensable de mettre en place, en parallèle du développement d'itinéraires techniques de production, une méthode de traçabilité permettant de différencier les holothuries issues du milieu naturel (sauvage) de celles produites en aquaculture (élevage). Cette méthode permettra d'une part de garantir au consommateur une ressource durable et de bonne qualité nutritionnelle, et, d'autre part, d'augmenter la visibilité des holothuries d'aquaculture lors de leur phase de commercialisation et leur attribuer ainsi un critère distinctif sur leur origine et leur mode de production. C'est dans ce cadre que le projet HoloTrack a vu le jour au sein de la station marine de Concarneau du Muséum National d'Histoire Naturelle, financé par la mesure 62.1b " Mise en œuvre des stratégies DLAL " du programme opérationnel FEAMP 2014-2020. Ce sujet d'authentification et de lutte contre les adultérations est particulièrement important en Asie comme en témoignent l'abondance des travaux sur le sujet ces dernières années de la part d'équipes russes [18, 19, 20] et chinoises [21, 22, 23, 24, 25] sur l'espèce la plus consommée et élevée : *Apostichopus japonicus*.

Les résultats du projet permettront par ailleurs de faire avancer les connaissances zootechniques concernant l'élevage de *Holothuria forskali* en pays de Cornouaille, et plus largement en Bretagne.

1.2 Objectifs

Le déploiement d'essais de production très divers, notamment à l'initiative de l'Institut Agro de Concarneau, de la station marine de Concarneau, de l'entreprise AquaB de Lesconil, du CAPENA d'Oléron et de l'entreprise Provence Aquaculture de Marseille ont permis la constitution d'une large collection d'individus élevés dans des conditions contrastées, tandis que divers suivis de populations en milieu naturel, là aussi initiés pour améliorer les connaissances sur la biologie de l'espèce *Holothuria forskali*, ont contribué à constituer une banque d'échantillons d'origine sauvage (Figure 1). Diverses classes de composés ayant déjà fait leurs preuves en terme de capacité à authentifier des produits alimentaires ont ensuite été analysées sur ces échantillons, de sorte à effectuer un criblage et identifier les méthodes d'analyse les plus discriminantes concernant l'origine de l'holothurie noire *Holothuria forskali*.

L'objectif de la mise en place d'indicateurs de traçabilité basés sur la composition nutritionnelle est de fournir aux professionnels des outils discriminants sur l'origine et le mode de production des holothuries et de poser les bases d'une démarche de qualité (cahier des charges à définir et démarche à engager par et pour les professionnels) permettant d'identifier ce produit parmi d'autres et de lui permettre de trouver sa place à la fois localement et internationalement.

2 Methodologie

2.1 Echantillons

La banque d'échantillons constituée dans le cadre du projet HoloTrack inclue huit sites d'élevage et six sites de collecte en milieu naturel, ainsi que des modes d'alimentation différents au sein des sites et des suivis saisonniers en milieu naturel (Tableau 1 et Figure 1).

2.2 Prétraitement

La méthode développée dans le cadre du projet HoloTrack est vouée à être appliquée sur la partie des holothuries destinée à la consommation humaine. Il existe une consommation des bandes musculaires (cinq bandes longitudinales fixées sur la paroi intérieure du tégument), des gonades et des entrailles de certaines espèces d'holothuries [26, 17] mais c'est essentiellement le tégument qui est consommé, représentant 40 à 60% du poids vif des individus. C'est donc une fraction de tégument qui a été échantillonnée et étudiée.

Pour chaque lot collecté, quatre à huit analyses ont été menées sur des individus différents afin d'avoir une bonne représentativité des données. Un morceau de tégument d'environ 4x4 cm a été découpé au scalpel, les bandes musculaires ont été enlevées afin d'éviter une variabilité induite par le mélange de plusieurs tissus, et le morceau a été lyophilisé avant d'être stocké au congélateur pour analyses ultérieures. Des coupes fines ont ensuite été réalisées au couteau (<2 mm) afin

TABLE 1 – Liste des lots d'échantillons analysés dans le cadre du projet HoloTrack

| N° de lot | Origine | Mode de production | Détails additionnels | Analyses réalisées | | | |
|-----------|-----------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------|---------------|---------|---------------------------------------------------------|
| | | | | Acides gras | Acides aminés | Stérols | Isotopie $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ |
| 1 | Iles Glénan, Fouesnant | Sauvage | Inclue variabilité saisonnière | X | X | X | X |
| 2 | Station marine MNHN, Concarneau | Elevage nés en milieu naturel | Inclue alimentations diverses | X | X | X | X |
| 3 | Pointe de Brezelec, Cléden-Cap-Sizun | Sauvage | Inclue variabilité saisonnière | X | | | |
| 4 | Institut Agro, Beg Meil | Elevage nés en captivité | Juveniles <2g | X | X | | |
| 5 | Les viviers de Keraliou, Rade de Brest | Elevage nés en captivité | Co-culture sous des huitres plates | X | X | X | X |
| 6 | AquaB, Lesconil | Elevage nés en captivité | Nourris avec algues vertes décomposées | X | X | X | X |
| 7 | France Haliotis, Plouguerneau | Elevage nés en captivité | Co-culture avec des ormeaux | X | X | X | X |
| 8 | Les parcs Saint Kerber, Baie de Cancale | Elevage nés en captivité | Co-culture sous des huitres creuses | X | X | X | X |
| 9 | Baie de Morlaix | Sauvage | | X | | X | |
| 10 | CAPENA, le Chateau d'Oleron | Elevage nés en milieu naturel | En liberté dans des claires à huitres | X | X | X | |
| 11 | Estuaire de Vigo, Espagne | Sauvage | | X | | X | |
| 12 | Rade de Villefranche-sur-mer | Sauvage | | X | | X | |
| 13 | Iles Frioul, Marseille | Sauvage | Inclue variabilité saisonnière | X | | X | X |
| 14 | Provence Aquaculture, Marseille | Elevage nés en milieu naturel | Co-culture sous des bars | X | | X | X |

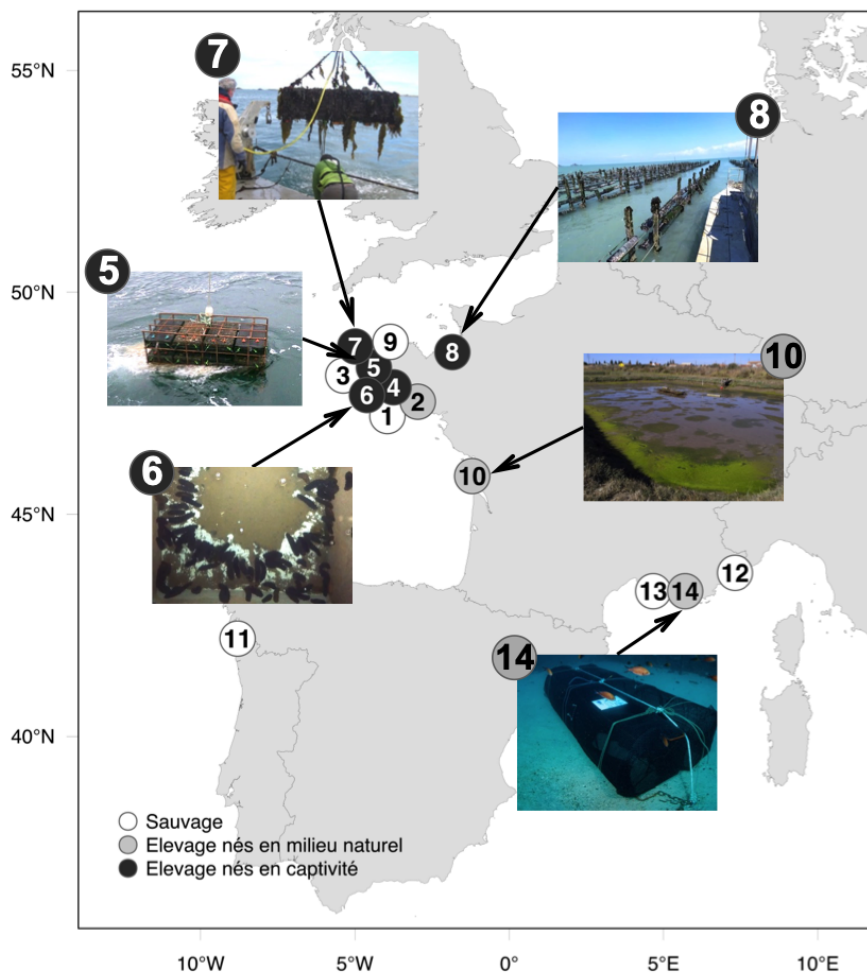


FIGURE 1 – Carte de localisation des lots d'échantillons collectés dans le cadre du projet HoloTrack

d'obtenir des prises d'essai par analyse comprises entre 0.2 mg (analyses isotopiques) et 110 mg (analyses de stérols).

2.3 Analyses

2.3.1 Acides gras

Les acides gras constituent les unités de base des lipides. Ils sont fixés dans les consommateurs avec suffisamment peu de modifications pour que leur étude nous renseigne sur le régime alimentaire des organismes étudiés. Cette faible capacité à modifier les acides gras ingérés est par ailleurs à l'origine de la nécessité de consommer des oméga 3 essentiels pour maintenir un bon fonctionnement de l'organisme. Ainsi, l'alimentation des produits de la mer d'élevage étant généralement différente de celle de leurs équivalents sauvages, les acides gras permettent de différencier les deux. Cela a été démontré chez les poissons [27, 28, 29, 30], les crevettes [31] et les holothuries de l'espèce *Apostichopus japonicus* [18, 19, 20].

Les analyses ont été réalisées à partir de prises d'essais de 60 à 80 mg. Une extraction

des lipides totaux (neutres et polaires) a été effectuée selon une adaptation du protocole de Bligh and Dyer ([32]). Les lipides ont ensuite été saponifiés avec une solution de soude 2N et MeOH (90 min, 90°C) puis dérivatisés par méthylation à l'aide d'une solution de BF₃-MeOH 14% (10 min, 90°C). Les extraits ont ensuite été injectés en chromatographie en phase gazeuse sur une colonne Agilent VF-WAXms (30 m longueur × 0.25 mm diamètre interne × 0.25 μm épaisseur du film de phase stationnaire). La quantification a été effectuée en référence à un standard interne (23:0) dont 30 μg ont été ajoutés au début de l'extraction.

2.3.2 Acides aminés

Les acides aminés constituent les unités de base des protéines. Certains sont essentiels et doivent être apportés par l'alimentation pour permettre une croissance des tissus. Bien que cet outil n'ait pas historiquement été utilisé afin de retracer les chaînes alimentaires marines, des études ont montré que la composition en protéines de l'holothurie *Apostichopus japonicus* pouvait permettre de discriminer des provenances géographiques et des méthodes de production [23, 25]. Les protéines constituent 20 à 50% du poids sec des holothuries et l'étude de leurs constituants est donc essentielle pour mieux comprendre le métabolisme de l'espèce *Holothuria forskali*.

Les analyses ont été réalisées à partir de prises d'essais de 8 à 12 mg. Une hydrolyse des protéines a été effectuée sous vide avec une solution de HCl 6N (24 h, 110°C). Les acides aminés ont ensuite été repris dans du diluent de Pickering et injectés en chromatographie en phase liquide sur une colonne au sodium LCTech (150 mm longueur × 4 mm diamètre interne) disposant d'un module de dérivatisation post colonne PCX 5200 utilisant de la nihydrine. La quantification a été effectuée par comparaison avec des injections répétées de standards en concentration connues.

2.3.3 Stérols

Les stérols constituent une autre classe de lipides constituée d'un noyau à quatre cycles (stérane) portant un groupe hydroxyle. Ils sont les précurseurs de certaines vitamines et hormones et des constituants des membranes cellulaires. En ce sens, ils sont nécessaires au maintien de l'intégrité structurale et fonctionnelle des cellules. Les stérols sont utilisés par les services des fraudes afin d'authentifier les huiles végétales [33, 34] et ont été utilisés comme marqueurs de sources alimentaires dans les organismes marins [35, 36]. Les chaînes de biosynthèse des stérols sont cependant différentes chez les échinodermes comparées à la plupart des animaux et encore très peu connues [37].

Les analyses ont été réalisées à partir de prises d'essais de 90 à 110 mg. Une extraction des lipides totaux (neutres et polaires) a été effectuée selon une adaptation du protocole de Bligh and Dyer [32]. Les lipides ont ensuite été saponifiés avec une solution de soude 2N et MeOH (90 min, 90°C) puis la fraction insaponifiable a été isolée à l'aide d'hexane et dérivatisée par silylation à l'aide d'une solution de BSTFA (1% TMCS; 30 min, 70°C). Les extraits ont ensuite été injectés en chromatographie en phase gazeuse sur une colonne Agilent HP-5ms (30 m longueur × 0.25 mm diamètre interne × 0.25 μm épaisseur du film de phase stationnaire). La quantification a été effectuée en référence à un standard interne (stigmastérol) dont 10 μg ont été ajoutés au début de l'extraction.

2.3.4 Isotopes stables C et N

Le carbone et l'azote sont deux constituants de base des molécules organiques. Ils existent tous deux sous deux formes stables aux masses atomiques différentes (^{12}C et ^{13}C ; ^{14}N et ^{15}N). Le rapport entre chacune des formes isotopiques est constant dans l'atmosphère mais le transfert de ces éléments dans les chaînes alimentaires induit un fractionnement isotopique dont l'étude nous renseigne sur le régime alimentaire des organismes. Les isotopes stables du carbone et de l'azote ont tout d'abord été utilisés pour révéler l'ajout de sucre dans les vins [38] puis pour authentifier divers produits incluant les poissons [29], les crevettes [39] et les holothuries de l'espèce *Apostichopus japonicus* [21, 22, 23]. Ils sont aussi utilisés de longue date pour la reconstitution des réseaux trophiques marins [40, 41].

Les analyses ont été réalisées à partir de prises d'essais de 0.2 à 3 mg placées dans des capsules d'étain puis analysées par un spectromètre de masse Isoprime Precision (Elementar, UK). Les rapports isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ sont exprimés relativement à la bélemnite de Pee Dee et à l'azote atmosphérique, respectivement.

2.4 Interprétation des données

Les données ont été traitées sous forme de composition relative (%) et après transformation par racine carrée pour améliorer l'homogénéité des variances. Les trois modalités possibles, "sauvage", "élevage nés en captivité" et "élevage nés en milieu naturel" ont été renseignées dans des analyses discriminantes par moindres carrés partiels (PLSDA). L'écart entre les groupes peut ainsi être maximisé et visualisé sur une représentation graphique en deux dimensions. Les individus d'élevage nés en milieu naturel sont des holothuries qui ont été placées dans des conditions d'élevage depuis au minimum quatre mois.

Les modalités "sauvage" et "élevage nés en milieu naturel" n'étant généralement pas discernables elles ont toutes deux été regroupées sous le terme "nés en milieu naturel", et les deux modalités "nés en captivité" et "nés en milieu naturel" ont fait l'objet d'un partitionnement récursif afin de construire des arbres de décision pour l'authentification des holothuries. Ces arbres récursifs ont été construits à partir de rapports d'abondance de composés, permettant ainsi pour une utilisation routinière de n'analyser que les composés entrant dans le calcul et non l'ensemble des composés d'une catégorie donnée.

Toutes les analyses statistiques et les représentations graphiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R 4.1.2 [42].

3 Résultats

3.1 Acides gras

Les résultats d'analyses d'acides gras sont synthétisés en Annexe 1. L'analyse multivariée montre une séparation assez nette des individus nés en captivité comparés à ceux nés en milieu naturel (Figure 2).

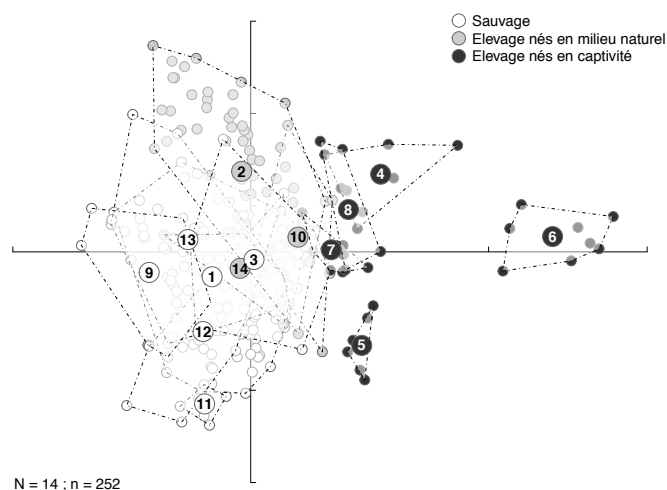


FIGURE 2 – PLSDA des résultats d'analyses d'acides gras (%) des holothuries collectées dans le cadre du projet HoloTrack (N = nombre de lots analysés ; n = nombre d'individus analysés)

Les meilleurs critères de séparation des groupes font appel aux acides gras $\omega 9$ et à l'acide arachidonique ($20:4\omega 6$). La quantification de cinq acides gras permet d'authentifier avec plus de 87% de certitude l'origine des holothuries (Figure 3). Cependant, d'un point de vue métabolique l'état actuel des connaissances ne permet pas de comprendre l'origine de ces différences. Cet indicateur risque donc d'être influencé par l'évolution des pratiques d'élevage et/ou l'utilisation de nouvelles sources alimentaires. La fiabilité de cet indicateur reste par ailleurs insuffisante.

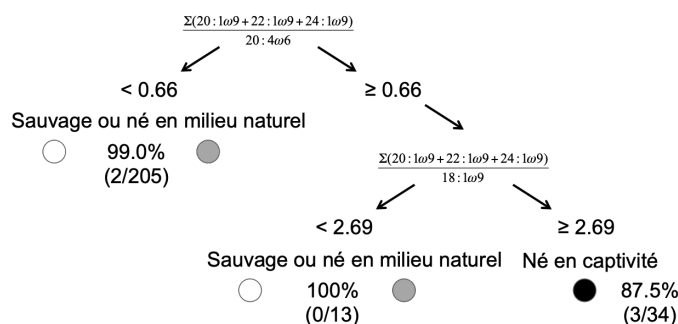


FIGURE 3 – Arbre de décision basé sur la composition en acides gras permettant d'authentifier l'origine de l'holothurie noire *Holothuria forskali*. Les valeurs entre parenthèses correspondent au nombre d'individus mal classés par rapport au nombre total d'individus de la catégorie

3.2 Acides aminés

Les résultats d'analyses d'acides aminés sont synthétisés en Annexe 2. L'analyse multivariée montre une séparation nette des individus nés en captivité comparés à ceux nés en milieu naturel (Figure 4).

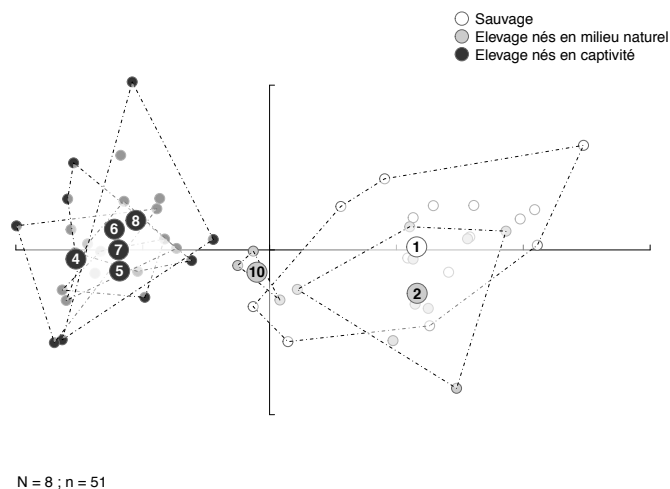


FIGURE 4 – PLSDA des résultats d'analyses d'acides aminés (%) des holothuries collectées dans le cadre du projet HoloTrack (N = nombre de lots analysés ; n = nombre d'individus analysés)

Le meilleur critère de séparation des groupes fait appel à la glycine (Gly) et à l'acide aspartique (Asx). La quantification de ces deux acides aminés permet d'authentifier avec plus de 96% de certitude l'origine des holothuries (Figure 5). La glycine est l'un des composants du collagène, qui est lui-même la principale protéine composant le tégument des concombres de mer, et responsable de leur texture unique [43, 44]. Il a par ailleurs été remarqué que les holothuries nées en captivité étaient plus friables après lyophilisation des tissus que celles nées en milieu naturel. Ces changements méritent des études plus approfondies afin de connaître leur fondement métabolique, leur lien avec la croissance des holothuries et leur influence sur l'attrait du produit pour les consommateurs. La fiabilité de cet indicateur reste néanmoins très satisfaisante.

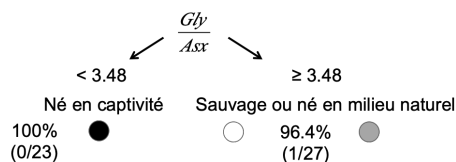


FIGURE 5 – Arbre de décision basé sur la composition en acides aminés permettant d'authentifier l'origine de l'holothurie noire *Holothuria forskali*. Les valeurs entre parenthèses correspondent au nombre d'individus mal classés par rapport au nombre total d'individus de la catégorie

3.3 Stérols

Les résultats d'analyses de stérols sont synthétisés en Annexe 3. L'analyse multivariée montre une séparation très nette des individus nés en captivité comparés à ceux nés en milieu naturel (Figure 6).

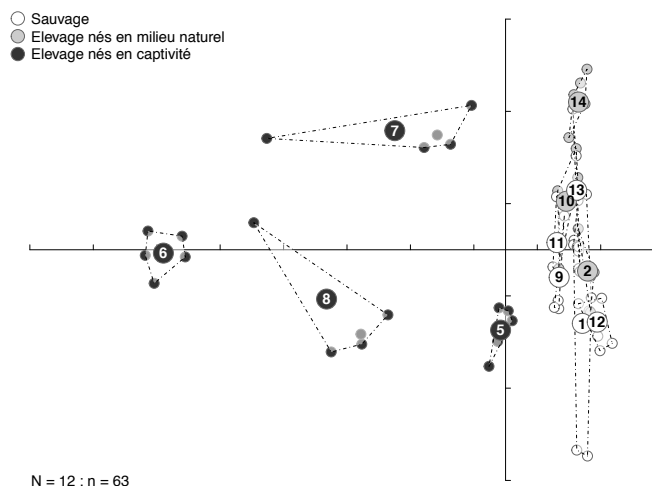


FIGURE 6 – PLSDA des résultats d'analyses de stérols (%) des holothuries collectées dans le cadre du projet HoloTrack (N = nombre de lots analysés ; n = nombre d'individus analysés)

Le meilleur critère de séparation des groupes fait appel au cholest-3,5-diene, un stérol classiquement identifié chez les holothuries [37, 45], et à un composé encore identifié de façon incertaine et de formule chimique $C_{29}H_{46}$ (ou $C_{28}H_{42}O$). La quantification de ces deux stérols permet d'authentifier avec 100% de certitude l'origine des holothuries (Figure 7). La différence est essentiellement due au stérol $C_{29}H_{46}$ (ou $C_{28}H_{42}O$) qui est bien plus abondant chez les individus nés en captivité que chez ceux nés en milieu naturel, tandis que le cholest-3,5-diene est généralement sous-exprimé chez les individus nés en captivité. Cet indicateur est le plus fiable qui a pu être mis en évidence et celui recommandé dans un contexte de contrôle et d'authentification.

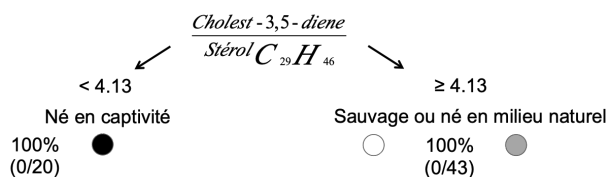


FIGURE 7 – Arbre de décision basé sur la composition en stérols permettant d'authentifier l'origine de l'holothurie noire *Holothuria forskali*. Les valeurs entre parenthèses correspondent au nombre d'individus mal classés par rapport au nombre total d'individus de la catégorie.

3.4 Isotopie

Les rapports isotopiques $\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ sont synthétisés sur la Figure 8. Les valeurs mesurées dans les différents lots d'individus nés en captivité sont très variables et englobent celles des individus nés en milieu naturel. L'isotopie du carbone et de l'azote ne sont donc pas des outils permettant de discriminer l'origine de l'holothurie noire *Holothuria forskali*.

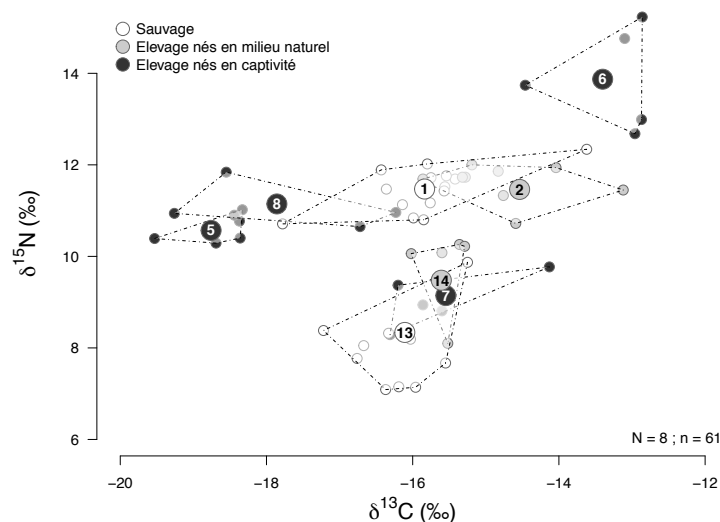


FIGURE 8 – Rapports isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des holothuries collectées dans le cadre du projet HoloTrack (N = nombre de lots analysés ; n = nombre d’individus analysés)

4 Discussion

4.1 Nutrition

L’outil le plus prometteur au vu des études réalisées pour l’authentification de l’origine des poissons [27, 28, 29, 30], crevettes [31] et holothuries de l’espèce *Apostichopus japonicus* [18, 19, 20] était l’analyse de la composition en acides gras du tégument. Cet outil s’est révélé décevant dans le cas présent et pouvant être supplanté par l’analyse de la composition en acides aminés ou en stérols. Ce manque de fiabilité est très probablement dû au fait que contrairement aux poissons, aux crustacés et à un certain nombre d’essais sur les concombres de mer conduits en Asie, le mode d’élevage de *H. forskali* vise à ne pas apporter de nourriture externe aux individus placés en mer. Il se nourrissent des rejets et déjections des espèces avec lesquelles ils sont placés, dans des systèmes d’aquaculture multitrophique, et/ou des organismes qui se fixent sur les parois des cages qui les contiennent. Les acides gras, qui sont des marqueurs trophiques largement utilisés et dont la composition dans un consommateur reflète généralement celle de ses sources alimentaires, ne permettent donc pas de tracer un aliment d’origine connue, comme cela peut-être le cas pour les formes classiques de l’aquaculture.

Cependant, une analyse plus fine des données d’acides gras et des isotopes du carbone et de l’azote a permis de montrer que les sources alimentaires des holothuries nées en captivité pouvaient varier grandement d’un site et d’un système de conduite à l’autre, montrant ainsi son adaptabilité et des perspectives de diversification intéressantes aussi bien pour les ostéiculteurs que pour des productions plus anecdotiques comme celle de l’ormeau. Cette analyse allant au delà du présent rapport, elle fera l’objet d’une publication scientifique spécifique.

4.2 Qualité

Les holothuries sont caractérisées par un tégument riche en collagène qui leur confère une texture très particulière, entre l’escargot, le champignon et le calamar. Les différences de compo-

sitions en acides aminés révélées entre les individus nés en milieu naturel et ceux nés en captivité ont probablement des implications sur la texture des produits finis. La commercialisation de *H. forskali* étant dans un premier temps envisagée essentiellement pour la consommation humaine, les particularités de cette texture devront être étudiées plus finement afin de cibler des acheteurs potentiels de ce produit nouveau :

- (1) Chefs cuisiniers attirés par des nouvelles espèces produites localement de manière durable
- (2) Entreprises agroalimentaires en recherche d'ingrédients aux propriétés fonctionnelles spécifiques (collagène)
- (3) Exportateurs d'individus séchés vers un marché international à destination de l'Asie
- (4) Autres acteurs à inventorier

Cette texture particulière a été étudiée chez diverses espèces d'holothuries [43, 44] mais aucune étude n'a encore été menée chez *Holothuria forskali*. Par ailleurs, les attentes sont probablement différentes entre gastronomes français, entreprises en recherche d'ingrédients et populations asiatiques d'initiés. Des études préliminaires ont permis de mettre en évidence que les consommateurs initiés, asiatiques, ne recherchaient pas une espèce particulière mais une qualité de produit [46]. Les procédés de transformation permettant d'arriver à un produit haut de gamme, en revanche, sont propres à chaque espèce et aux conditions d'élevage. Il sera donc indispensable de bien caractériser l'éventail des produits finis possibles, en lien avec les attentes des consommateurs, afin de valoriser au mieux l'holothurie noire de la Cornouaille.

4.3 Authentification

Le critère de différenciation le plus fiable afin de discerner les holothuries nées en captivité de celles nées en milieu naturel est l'analyse de leur composition en stérols, et dans une moindre mesure celle de leur composition en acides aminés. L'analyse des stérols sera cependant préférée pour des contrôles routiniers à l'analyse d'acides aminés, cette dernière étant plus chronophage. Le protocole employé dans le cadre du projet HoloTrack nécessite environ 1,5 jours de travail pour l'analyse de 16 échantillons et devra certainement être amélioré et optimisé pour en faire baisser le coût si il existe un besoin récurrent en analyses. Le principal obstacle à la fiabilité de cette méthode est le fait que des individus matures et de grande taille (150-250 g) aient été comparés à des individus nés en captivité plus petits (30-40 g). Il n'est pratiquement jamais observé en milieu naturel des individus inférieurs à 70 g de poids vif, tandis que l'obtention d'individus d'élevage de 150 g nécessite au minimum quatre ans dans les conditions actuelles de maîtrise de l'itinéraire zootechnique, ce qui dépasse la durée du présent projet. Il n'y a pas de raison de penser que cette composition en stérols variera grandement avec la croissance des individus, mais c'est un élément qui sera néanmoins vérifié lorsque des individus nés en captivité ayant atteint une taille équivalente aux individus nés en milieu naturel seront disponibles pour analyse.

L'origine biologique de ces différences de composition en stérols reste néanmoins à éclaircir. Il est probable qu'une voie métabolique soit particulièrement exprimée chez les individus nés en

captivité, conduisant à cette sur-expression du stérol $C_{29}H_{46}$ (ou $C_{28}H_{42}O$). Les stérols sont des précurseurs de toxines, notamment les saponines qui sont des molécules de défense [45] mais peuvent aussi avoir un rôle antimicrobien, antitumoral, hypolipémiant ou toute autre propriété d'intérêt pour la pharmacopée humaine ou animale [47, 48, 49]. Cette voie métabolique pourrait être une réponse à un besoin particulier de l'espèce lorsque placée dans des conditions spécifiques d'élevage. Une caractérisation plus fine des stérols et de leurs fonctions métaboliques devra faire l'objet futur de recherches plus fondamentales sur l'holothurie noire de la Cornouaille.

En outre, aucune des analyses conduites n'a permis de différencier les individus sauvages des individus capturés en milieu naturel et maintenus en élevage pendant au minimum quatre mois. L'objectif de l'outil de contrôle proposé ici est de maîtriser les prélèvements en milieu naturel. Le fait que les individus issus du milieu naturel gardent cette signature "sauvage" sur le long terme est un avantage qui empêcherait d'éventuelles pratiques consistant à placer des holothuries issues de capture en conditions d'élevage pendant quelques jours/mois afin de les nettoyer (d'un point de vue métabolique) de leur signature "sauvage".

5 Conclusion

Le projet HoloTrack s'inscrit dans une stratégie globale d'innovation visant à la création d'une filière d'élevage d'holothuries permettant de diversifier la production conchylicole de la façade atlantique française. Cette stratégie s'inscrit dans un contexte européen de diversification des productions marines, notamment pour des espèces de bas niveau trophique où le concombre de mer tient une place de choix.

Les connaissances acquises dans le cadre du projet permettront de mettre en place des moyens de contrôle de l'origine des individus commercialisés dès la structuration de la filière, permettant ainsi une protection des populations sauvage dont les prélèvements en milieu naturel à des fins commerciales se révéleraient catastrophiques pour les populations de l'océan Atlantique Nord-Est. Elles permettront par ailleurs de poser les bases d'une démarche de qualité et protéger ainsi un savoir faire d'aquaculture

Liste des communications

Communications orales

- Différenciation des concombres de mer sauvage vs. élevage : la peur du gendarme. *Séminaire du projet SEATRACES*. 10 novembre 2021. Station Marine de Concarneau
- A screening of methods to differentiate wild vs. farmed European sea cucumbers. *Workshop Sea cucumber aquaculture : new challenges*. 3 octobre 2022. Station Marine de Concarneau

Ateliers de vulgarisation

- Authentifier les produits de la mer. Scolaires niveau primaire. *Fête de la science 2022*. 14 octobre 2022. Station Marine de Concarneau
- L'holothurie, un animal à découvrir! Grand public. *Fête de la science 2022*. 15 & 16 octobre 2022. Station Marine de Concarneau

Publications scientifiques

- David F, Ameziane N, Goulard C, Meziane T, Hubas C. A screening of methods to differentiate wild vs. farmed sea cucumbers in multi-trophic aquaculture systems with no artificial feed inputs. *En préparation*.
- David F, Raymond G, Grys J, Ameziane N, Sadoul B. Sea cucumber juveniles show great potential to diversify shellfish aquaculture in temperate zones. *En préparation*.
- David F, Hubas G, Lemarchand G, Bergeron A, Ameziane N. Fingerprinting of aquaculture waste in fatty acids and stable isotopes of *Holothuria forskali* and *Holothuria tubulosa* in integrated multi trophic aquaculture. *En préparation*.
- David F, Herault G, Ameziane N, Meziane T, Badou A, Hubas C. Sex-specific seasonal variations in the fatty acid and carotenoid composition of sea cucumber gonads and implications for aquaculture. *Marine Biology*, 170(4) :47, 2023.

Références

- [1] Jean-Pierre Corlay and Brice Trouillet. L'aquaculture marine sur la façade atlantique française : une activité durable ? *GeoINova*, 11 :191–226, 2005.
- [2] Pierre Eyrolles, Marie Lesueur, Hervé Le Bris, Catherine Laidin, Lars Brunner, Adam L Hughes, Ratcliff Jessica, Anna Soler, Hélène Laguerre, Remy Luthringer, et al. WP6-définir un cadre pour le développement de l'AMTI sur l'Arc Atlantique : Rapport d'action n° 3 : Diagnostic du secteur de l'AMTI sur l'arc atlantique. Technical report, Agrocampus Ouest, 2019.
- [3] Rémi Bertran and Jean François Le Clanche. Recensement des besoins et des attentes des professionnels de la filière aquacole en ouest cornouaille. Technical report, SIOCA-CRC BS-CDPMEM, 2013.
- [4] Hélène Laguerre, Grégory Raymond, Patrick Plan, Nadia Améziane, Xavier Bailly, and Patrick Le Chevalier. First description of embryonic and larval development, juvenile growth of the black sea-cucumber *Holothuria forskali* (Echinodermata : Holothuroidea), a new species for aquaculture in the north-eastern Atlantic. *Aquaculture*, 521 :734961, May 2020.
- [5] João Sousa, Pedro M Félix, Ana C Brito, Eliana Venâncio, Francisco Azevedo e Silva, Tomás Simões, Andreia Raposo, Marta Neves, Luís Narciso, Ricardo Melo, et al. The effects of stocking density on physiological traits in *Holothuria forskali* broodstock. *Aquaculture Research*, 52(4) :1548–1560, 2021.
- [6] Eliana Venâncio, Pedro M Félix, Ana C Brito, João Sousa, Francisco Azevedo, Tomás Simões, Luís Narciso, Ana Amorim, Luísa Dâmaso, Ana Pombo, et al. Do broodstock diets influence viability and larval development of *Holothuria mammata*? *Aquaculture*, 536 :736431, 2021.
- [7] AS Madruga, PM Félix, J Sousa, F Azevedo e Silva, AC Brito, S Mendes, and A Pombo. Effect of rearing temperature in the growth of hatchery reared juveniles of the sea cucumber *Holothuria arguinensis* (Koehler & Vaney, 1906). *Aquaculture*, 562 :738809, 2023.
- [8] Mustafa Tolga Tolon, Dilek Emiroglu, Deniz Gunay, and Aytac Ozgul. Sea cucumber (*Holothuria tubulosa* gmelin, 1790) culture under marine fish net cages for potential use in integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 2017.
- [9] Arnold Rakaj, Alessandra Fianchini, Paola Boncagni, Alessandro Lovatelli, Michele Scardi, and Stefano Cataudella. Spawning and rearing of *Holothuria tubulosa* : A new candidate for aquaculture in the mediterranean region. *Aquaculture Research*, 49(1) :557–568, 2018.
- [10] Nikos Neofitou, Alexios Lolas, Ioannis Ballios, Konstantinos Skordas, Lamprini Tziantziou, and Dimitris Vafidis. Contribution of sea cucumber *Holothuria tubulosa* on organic load reduction from fish farming operation. *Aquaculture*, 501 :97–103, 2019.
- [11] Karl Cutajar, Lynne Falconer, Alexia Massa-Gallucci, Rachel E Cox, Lena Schenke, Tamás Bardócz, Angus Sharman, Simeon Deguara, and Trevor C Telfer. Culturing the sea cucumber *Holothuria poli* in open-water integrated multi-trophic aquaculture at a coastal mediterranean fish farm. *Aquaculture*, 550 :737881, 2022.

- [12] Bastien Sadoul, Jean-Philippe Caprioli, Chloé Barrier-Loiseau, Nicolas Cimiterra, Thierry Laugier, Franck Lagarde, Killian Chary, Myriam D Callier, Marine-Océane Guillermand, and Emmanuelle Roque d’Orbcastel. Is *Holothuria tubulosa* the golden goose of ecological aquaculture in the mediterranean sea? *Aquaculture*, 554 :738149, 2022.
- [13] Luca Grosso, Massimo Rampacci, Davide Pensa, Alessandra Fianchini, Esin Batır, İlhan Aydın, Laura Ciriminna, Pedro M Felix, Ana Pombo, Alessandro Lovatelli, et al. Evaluating sea cucumbers as extractive species for benthic bioremediation in mussel farms. *Scientific Reports*, 13(1) :1457, 2023.
- [14] Patrice Francour. Predation on holothurians : a literature review. *Invertebrate Biology*, pages 52–60, 1997.
- [15] Steven W Purcell, Annie Mercier, Chantal Conand, Jean-François Hamel, M Verónica Toral-Granda, Alessandro Lovatelli, and Sven Uthicke. Sea cucumber fisheries : global analysis of stocks, management measures and drivers of overfishing. *Fish and fisheries*, 14(1) :34–59, 2013.
- [16] Hampus Eriksson, Henrik Österblom, Beatrice Crona, Max Troell, Neil Andrew, James Wilen, and Carl Folke. Contagious exploitation of marine resources. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(8) :435–440, 2015.
- [17] Mercedes González-Wangüemert, Jorge A Domínguez-Godino, and Fernando Cánovas. The fast development of sea cucumber fisheries in the mediterranean and NE Atlantic waters : from a new marine resource to its over-exploitation. *Ocean & Coastal Management*, 151 :165–177, 2018.
- [18] PA Zadorozhnyj, TN Pivnenko, and NN Kovalev. Development of fatty acid biomarkers for the identification of wild and aquacultured sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). *Journal of Ocean University of China*, 15 :177–183, 2016.
- [19] Andrey B Imbs, Vasily I Svetashev, and Svetlana A Rodkina. Differences in lipid class and fatty acid composition between wild and cultured sea cucumbers, *Apostichopus japonicus*, explain modification and deposition of lipids. *Aquaculture Research*, 53(3) :810–819, 2022.
- [20] Ekaterina V Ermolenko, Tatyana V Sikorskaya, and Valeria P Grigorchuk. The phospholipid molecular species profile of *Apostichopus japonicus* tissues modifies through exposure to n-3 polyunsaturated fatty acid-deficient diet. *Marine Drugs*, 20(9) :578, 2022.
- [21] Yu Liu, Xufeng Zhang, Ying Li, and Haixia Wang. The application of compound-specific isotope analysis of fatty acids for traceability of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) in the coastal areas of china. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(14) :4912–4921, 2017.
- [22] Xufeng Zhang, Yu Liu, Ying Li, and Xinda Zhao. Identification of the geographical origins of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) in northern china by using stable isotope ratios and fatty acid profiles. *Food Chemistry*, 218 :269–276, 2017.
- [23] Xinda Zhao, Yu Liu, Ying Li, Xufeng Zhang, and Haoran Qi. Authentication of the sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) using amino acids carbon stable isotope fingerprinting. *Food Control*, 91 :128–137, 2018.

- [24] Xufeng Zhang, Jinping Cheng, Deming Han, Xiaojia Chen, Xinda Zhao, and Yu Liu. Regional differences in fatty acid composition of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) and scallop (*Patinopecten yessoensis*) in the coastal areas of china. *Regional Studies in Marine Science*, 31 :100782, 2019.
- [25] Bingxue Jiang, Xiaomei Zhang, Mao Ding, Hongwei Zhang, Lipin Chen, Zhaojie Li, Changhu Xue, Xiaoming Jiang, and Yanchao Wang. Biological mass spectrometry analysis for traceability of production method and harvesting seasons of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). *Food Control*, 143 :109297, 2023.
- [26] Takamasa KASAI. Lipid contents and fatty acid composition of total lipid of sea cucumber *Stichopus japonicus* and konowata (salted sea cucumber entrails). *Food Science and Technology Research*, 9(1) :45–48, 2003.
- [27] Michel Linder, Nabila Belhaj, Pascale Sautot, and Elmira Arab Tehrany. From krill to whale : an overview of marine fatty acids and lipid compositions. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17(4) :194–204, 2010.
- [28] Isela Lavilla, Marta Costas-Rodríguez, and Carlos Bendicho. Authentication of fishery products. In *Comprehensive Analytical Chemistry*, volume 60, pages 657–717. Elsevier, 2013.
- [29] Joachim Molkentin, Ines Lehmann, Ute Ostermeyer, and Hartmut Rehbein. Traceability of organic fish—authenticating the production origin of salmonids by chemical and isotopic analyses. *Food Control*, 53 :55–66, 2015.
- [30] Liliana Grazina, PJ Rodrigues, Getúlio Igrejas, Maria A Nunes, Isabel Mafra, Marco Arlorio, M Beatriz PP Oliveira, and Joana S Amaral. Machine learning approaches applied to gc-fid fatty acid profiles to discriminate wild from farmed salmon. *Foods*, 9(11) :1622, 2020.
- [31] Frank David. A worldwide reliable indicator to differentiate wild vs. farmed penaeid shrimps based on 207 fatty acid profiles. *Food chemistry*, 292 :247–252, 2019.
- [32] E Graham Bligh and W Justin Dyer. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37(8) :911–917, 1959.
- [33] Ramón Aparicio and Ramón Aparicio-Ruíz. Authentication of vegetable oils by chromatographic techniques. *Journal of Chromatography A*, 881(1-2) :93–104, 2000.
- [34] Kacper Przykaza, Hanna Nikolaichuk, Anna Kozub, Jolanta Tomaszewska-Gras, Željka Peršurić, Sandra Kraljević Pavelić, and Emilia Fornal. Newly marketed seed oils. what we can learn from the current status of authentication of edible oils. *Food Control*, 130 :108349, 2021.
- [35] Romain Lavaud, Sébastien Artigaud, Fabienne Le Grand, Anne Donval, Philippe Soudant, Jonathan Flye-Sainte-Marie, Tore Strohmeier, Øivind Strand, Aude Leynaert, Beatriz Becker, et al. New insights into the seasonal feeding ecology of *Pecten maximus* using pigments, fatty acids and sterols analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 590 :109–129, 2018.
- [36] Margaux Mathieu-Resuge, Edouard Kraffe, Fabienne Le Grand, Andy Boens, Antoine Bideau, Salvador E Lluch-Cota, Ilie S Racotta, and Gauthier Schaal. Trophic ecology of suspension-feeding bivalves inhabiting a north-eastern pacific coastal lagoon : Comparison of different biomarkers. *Marine environmental research*, 145 :155–163, 2019.

- [37] Emily JS Claereboudt, Guillaume Caulier, Corentin Decroo, Emmanuel Colson, Pascal Gerbaux, Michel R Claereboudt, Hubert Schaller, Patrick Flammang, Magali Deleu, and Igor Eeckhaut. Triterpenoids in echinoderms : fundamental differences in diversity and biosynthetic pathways. *Marine drugs*, 17(6) :352, 2019.
- [38] Giovanni Calderone, Claude Guillou, and Norbert Naulet. Utilisation réglementaire des analyses isotopiques des aliments. *L'actualité chimique*, page 20, 2003.
- [39] Liu Zhi, Zhang Zihong, Hao Yudi, Chen Piao, Gao Xianmei, Li Bin, Tang Chao, Xie Shuan-nan, Zhang Wenjing, Hu Wenjing, et al. Origin and farming pattern authentication of wild-caught, coast-pond and freshwater farming white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in chinese market using multi-stable isotope analysis of tail shell. *Food Control*, page 109646, 2023.
- [40] R Adin and P Riera. Preferential food source utilization among stranded macroalgae by *Talitrus saltator* (Amphipod, Talitridae) : a stable isotopes study in the northern coast of Brittany (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(1) :91–98, 2003.
- [41] Brian Fry. *Stable isotope ecology*, volume 521. Springer, 2006.
- [42] R Core Team. *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021.
- [43] M Saito, N Kunisaki, N Urano, and S Kimura. Collagen as the major edible component of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *Journal of food science*, 67(4) :1319–1322, 2002.
- [44] Jingran Bi, Yong Li, Shasha Cheng, Xiuping Dong, Tariq Kamal, Dayong Zhou, Dongmei Li, Pengfei Jiang, Bei-Wei Zhu, and Mingqian Tan. Changes in body wall of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) during a two-step heating process assessed by rheology, LF-NMR, and texture profile analysis. *Food biophysics*, 11 :257–265, 2016.
- [45] Ramesha Thimmappa, Shi Wang, Minyan Zheng, Rajesh Chandra Misra, Ancheng C Huang, Gerhard Saalbach, Yaqing Chang, Zunchun Zhou, Veronica Hinman, Zhenmin Bao, et al. Biosynthesis of saponin defensive compounds in sea cucumbers. *Nature chemical biology*, 18(7) :774–781, 2022.
- [46] Alexane Goulet de Rugy. Le marché de l’holothurie en France : état des lieux et pistes de développement. Master’s thesis, Agrocampus Ouest, 65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes, September 2020.
- [47] Sara Bordbar, Farooq Anwar, and Nazamid Saari. High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods—a review. *Marine drugs*, 9(10) :1761–1805, 2011.
- [48] Evi Amelia Siahaan, Ratih Pangestuti, Hendra Munandar, and Se-Kwon Kim. Cosmeceuticals properties of sea cucumbers : Prospects and trends. *Cosmetics*, 4(3), 2017.
- [49] Ying-Cai Zhao, Chang-Hu Xue, Tian-Tian Zhang, and Yu-Ming Wang. Saponins from sea cucumber and their biological activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(28) :7222–7237, 2018.

| Acides gras (%) | Sauvages | | | | | |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| | Lot 1 Iles Glenan (n = 91) | Lot 3 Pte Brézélec (n = 23) | Lot 9 Baie Morlaix (n = 8) | Lot 11 Vigo (Espagne) (n = 6) | Lot 12 Villefranche/Mer (n = 6) | Lot 13 Iles Frioul (n = 23) |
| Saturés | | | | | | |
| 14:0 | 2.6 ± 0.7 | 1.8 ± 0.7 | 2.2 ± 0.6 | 6.9 ± 0.7 | 4.3 ± 1.7 | 3.0 ± 0.8 |
| 15:0 | 0.8 ± 0.2 | 0.6 ± 0.2 | 0.7 ± 0.2 | 1.5 ± 0.2 | 1.0 ± 0.4 | 0.8 ± 0.2 |
| 16:0 | 6.6 ± 1.6 | 5.4 ± 0.2 | 6.9 ± 1.7 | 12.0 ± 1.8 | 12.9 ± 5.6 | 10.6 ± 3.2 |
| 18:0 | 5.5 ± 0.9 | 5.2 ± 1.6 | 5.5 ± 0.7 | 6.0 ± 0.4 | 7.5 ± 1.1 | 6.7 ± 1.4 |
| 19:0 | 1.2 ± 0.2 | 1.3 ± 0.1 | 1.5 ± 0.2 | 1.0 ± 0.1 | 1.2 ± 0.1 | 1.3 ± 0.2 |
| 20:0 | 2.8 ± 0.3 | 3.0 ± 0.3 | 2.5 ± 0.5 | 1.8 ± 0.2 | 1.9 ± 0.4 | 2.4 ± 0.3 |
| 21:0 | 1.6 ± 0.4 | 1.9 ± 0.3 | 2.2 ± 0.3 | 0.9 ± 0.1 | 1.2 ± 0.3 | 1.6 ± 0.4 |
| 22:0 | 1.7 ± 0.6 | 1.9 ± 0.7 | 1.7 ± 0.3 | 1.1 ± 0.3 | 0.7 ± 0.2 | 0.9 ± 0.4 |
| ∑SFA | 22.7 ± 2.6 | 1.0 ± 3.7 | 23.3 ± 1.6 | 31.3 ± 2.4 | 0.5 ± 5.8 | 27.2 ± 3.6 |
| Monoinsaturés | | | | | | |
| 16:1ω7 | 4.6 ± 1.8 | 2.8 ± 1.2 | 4.2 ± 1.5 | 9.4 ± 0.7 | 8.3 ± 0.4 | 4.4 ± 0.2 |
| 18:1ω9 | 3.7 ± 2.2 | 2.9 ± 1.7 | 5.1 ± 0.2 | 4.3 ± 0.6 | 4.3 ± 1.8 | 5.5 ± 1.8 |
| 18:1ω7 | 4.5 ± 0.8 | 4.0 ± 0.8 | 4.9 ± 0.6 | 5.6 ± 0.3 | 4.3 ± 0.7 | 4.0 ± 0.7 |
| 20:1ω9 | 7.6 ± 1.1 | 8.2 ± 1.7 | 7.4 ± 1.9 | 4.3 ± 0.5 | 5.9 ± 2.6 | 8.9 ± 1.2 |
| 20:1ω7 | 0.6 ± 0.1 | 0.6 ± 0.1 | 0.6 ± 0.2 | 0.4 ± 0.0 | 0.6 ± 0.5 | 0.4 ± 0.1 |
| 22:1ω11 | 0.7 ± 0.5 | 0.6 ± 0.1 | 3.5 ± 0.4 | 0.2 ± 0.0 | 0.3 ± 0.3 | 0.5 ± 0.2 |
| 22:1ω9 | 1.4 ± 0.6 | 1.8 ± 0.4 | 0.4 ± 0.2 | 1.1 ± 0.2 | 1.7 ± 0.6 | 1.2 ± 0.5 |
| 23:1ω9 | 5.5 ± 1.3 | 6.1 ± 1.3 | 4.5 ± 0.3 | 2.0 ± 0.3 | 4.0 ± 3.2 | 4.5 ± 1.3 |
| 24:1ω9 | 2.1 ± 0.5 | 2.2 ± 0.6 | 1.8 ± 0.5 | 0.8 ± 0.2 | 1.3 ± 1.2 | 1.4 ± 0.3 |
| ∑LC-MUFA | 30.7 ± 1.8 | 29.4 ± 2.2 | 32.3 ± 1.7 | 27.9 ± 1.1 | 30.8 ± 3.4 | 30.9 ± 2.6 |
| ∑MUFA | 17.9 ± 0.3 | 19.6 ± 2.8 | 18.2 ± 2.4 | 8.7 ± 0.1 | 13.8 ± 8.4 | 17.0 ± 2.2 |
| Polyinsaturés | | | | | | |
| 18:3ω3 | 0.6 ± 0.3 | 0.5 ± 0.3 | 0.4 ± 0.3 | 1.1 ± 0.1 | 0.8 ± 0.0 | 0.8 ± 0.4 |
| 18:4ω3 | 1.1 ± 0.5 | 0.6 ± 0.4 | 0.7 ± 0.2 | 1.5 ± 0.2 | 1.7 ± 0.5 | 1.3 ± 0.7 |
| 20:5ω3 | 13.4 ± 1.7 | 13.6 ± 1.3 | 11.1 ± 0.9 | 10.8 ± 1.4 | 12.0 ± 1.5 | 11.7 ± 2.6 |
| 22:6ω3 | 2.1 ± 0.5 | 2.1 ± 0.5 | 1.6 ± 0.4 | 0.9 ± 0.1 | 1.1 ± 0.2 | 0.8 ± 0.3 |
| ∑ω3 | 17.3 ± 2.2 | 16.9 ± 1.5 | 13.8 ± 1.4 | 14.4 ± 1.5 | 15.6 ± 1.6 | 14.6 ± 3.3 |
| 18:2ω6 | 1.3 ± 0.5 | 1.3 ± 0.6 | 1.3 ± 0.3 | 2.0 ± 0.3 | 1.4 ± 0.3 | 1.7 ± 0.4 |
| 20:2ω6 | 1.4 ± 0.2 | 1.6 ± 0.2 | 1.3 ± 0.1 | 1.1 ± 0.1 | 1.2 ± 0.4 | 1.3 ± 0.3 |
| 20:4ω6 | 21.4 ± 3.4 | 24.7 ± 3.4 | 21.8 ± 2.2 | 14.4 ± 1.6 | 14.8 ± 3.2 | 20.8 ± 2.7 |
| 22:5ω6 | 1.4 ± 0.4 | 1.9 ± 0.4 | 1.7 ± 0.3 | 0.8 ± 0.1 | 1.5 ± 0.4 | 1.0 ± 0.3 |
| ∑ω6 | 25.5 ± 3.6 | 29.5 ± 3.6 | 26.0 ± 2.5 | 18.2 ± 1.6 | 19.0 ± 3.8 | 24.9 ± 2.7 |
| ∑HUFA | 38.3 ± 0.4 | 42.3 ± 4.5 | 36.2 ± 2.6 | 26.9 ± 2.3 | 29.5 ± 4.7 | 34.3 ± 3.5 |
| ∑PUFA | 42.8 ± 3.6 | 46.4 ± 4.1 | 39.8 ± 2.6 | 32.6 ± 2.1 | 34.6 ± 4.6 | 39.5 ± 3.4 |
| Ramifiés | | | | | | |
| 15:0iso | 1.9 ± 0.6 | 1.6 ± 0.6 | 2.0 ± 0.9 | 4.1 ± 0.4 | 2.2 ± 0.1 | 1.3 ± 0.4 |
| 15:0anteiso | 0.8 ± 0.3 | 0.6 ± 0.2 | 0.9 ± 0.3 | 1.6 ± 0.2 | 0.9 ± 0.5 | 0.5 ± 0.2 |
| 16:0iso | 1.1 ± 0.3 | 1.0 ± 0.3 | 1.7 ± 0.6 | 2.3 ± 0.2 | 1.0 ± 0.4 | 0.6 ± 0.2 |
| ∑BrFA | 3.8 ± 1.1 | 3.2 ± 1.1 | 4.6 ± 1.8 | 8.1 ± 0.8 | 4.1 ± 1.9 | 2.3 ± 0.8 |
| ∑FA (mg g ⁻¹) | 6.6 ± 2.6 | 5.7 ± 1.2 | 4.4 ± 2.2 | 18.2 ± 1.9 | 9.8 ± 0.2 | 7.4 ± 2.8 |

SFA = Saturated Fatty Acids ; MUFA = Monounsaturated FA ; LC-MUFA = long-chain MUFA (≥ 20 C) ; HUFA = Highly Unsaturated FA (≥ 20 C et 3 doubles liaisons) ; BrFA = Branched FA

| Acides gras (%) | Elevage nées en milieu naturel | | | Elevage nées en captivité | | | | |
|---------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | Lot 2 MNHN Concarneau (n = 53) | Lot 10 CAPENA Oléron (n = 4) | Lot 14 Provaqua Marseille (n = 6) | Lot 4 Institut Agro Beg Meil (n = 5) | Lot 5 Keraliou Brest (n = 6) | Lot 6 AquaB Lesconil (n = 8) | Lot 7 F. Haliotis Plouguerneau (n = 7) | Lot 8 Parcs St Kerber Cancalle (n = 7) |
| 14:0 | 1.1 ± 0.5 | 2.2 ± 1.1 | 3.4 ± 0.7 | 1.6 ± 0.1 | 3.6 ± 0.6 | 1.4 ± 0.3 | 3.4 ± 0.6 | 1.4 ± 0.5 |
| 15:0 | 0.4 ± 0.3 | 1.2 ± 0.7 | 1.0 ± 0.3 | 0.3 ± 0.1 | 1.7 ± 0.2 | 1.6 ± 0.4 | 0.9 ± 0.1 | 0.8 ± 0.3 |
| 16:0 | 4.0 ± 1.4 | 7.3 ± 2.9 | 11.2 ± 2.5 | 2.6 ± 0.8 | 8.0 ± 0.6 | 4.7 ± 0.9 | 6.9 ± 0.8 | 5.1 ± 1.1 |
| 18:0 | 4.2 ± 0.9 | 5.1 ± 1.5 | 7.0 ± 2.2 | 3.8 ± 0.4 | 6.1 ± 0.1 | 4.5 ± 0.6 | 5.3 ± 0.6 | 4.6 ± 0.7 |
| 19:0 | 1.4 ± 0.3 | 1.5 ± 0.2 | 1.3 ± 0.1 | 1.1 ± 0.1 | 1.5 ± 0.1 | 1.5 ± 0.1 | 1.1 ± 0.1 | 1.3 ± 0.1 |
| 20:0 | 3.0 ± 0.6 | 2.2 ± 0.2 | 2.0 ± 0.1 | 2.5 ± 0.0 | 2.4 ± 0.1 | 1.6 ± 0.1 | 3.2 ± 0.3 | 2.4 ± 0.2 |
| 21:0 | 2.3 ± 0.4 | 2.2 ± 0.4 | 1.1 ± 0.2 | 3.7 ± 0.4 | 1.9 ± 0.3 | 1.8 ± 0.2 | 1.2 ± 0.2 | 2.1 ± 0.2 |
| 22:0 | 1.7 ± 0.6 | 1.6 ± 0.1 | 0.5 ± 0.1 | 2.5 ± 0.4 | 1.3 ± 0.1 | 1.4 ± 0.0 | 1.4 ± 0.1 | 1.7 ± 0.2 |
| ∑SFA | 18.0 ± 2.8 | 23.4 ± 5.5 | 27.4 ± 3.8 | 18.1 ± 1.8 | 26.5 ± 0.2 | 18.5 ± 2.2 | 23.3 ± 1.9 | 19.3 ± 2.3 |
| Monoinsaturés | | | | | | | | |
| 16:1ω7 | 1.7 ± 0.1 | 4.0 ± 1.9 | 5.1 ± 1.3 | 1.7 ± 1.6 | 6.1 ± 0.1 | 2.8 ± 0.5 | 4.2 ± 0.2 | 2.1 ± 0.7 |
| 18:1ω9 | 4.0 ± 2.2 | 5 ± 2 | 6.1 ± 2.2 | 2.1 ± 1.2 | 2.8 ± 0.4 | 2.8 ± 0.5 | 4.4 ± 0.7 | 2.9 ± 0.8 |
| 18:1ω7 | 3.2 ± 0.8 | 5.4 ± 1.3 | 5.9 ± 1.4 | 3.1 ± 0.7 | 5.5 ± 0.3 | 7.5 ± 0.6 | 6.3 ± 0.3 | 3.9 ± 0.5 |
| 20:1ω9 | 9.9 ± 0.9 | 9.1 ± 2.3 | 8.4 ± 0.7 | 11.6 ± 0.1 | 7.3 ± 0.6 | 11.3 ± 0.8 | 9.8 ± 0.4 | 11.0 ± 0.9 |
| 20:1ω7 | 0.5 ± 0.1 | 0.7 ± 0.1 | 0.6 ± 0.2 | 0.5 ± 0.1 | 1.0 ± 0.0 | 0.6 ± 0.0 | 0.8 ± 0.0 | 0.6 ± 0.1 |
| 22:1ω11 | 0.5 ± 0.1 | 0.6 ± 0.1 | 0.6 ± 0.1 | 0.9 ± 0.3 | 0.3 ± 0.0 | 0.5 ± 0.1 | 0.4 ± 0.0 | 0.4 ± 0.1 |
| 22:1ω9 | 1.7 ± 0.2 | 2.0 ± 0.5 | 1.4 ± 0.3 | 3.0 ± 0.5 | 2.4 ± 0.4 | 3.4 ± 0.5 | 2.1 ± 0.2 | 2.8 ± 0.2 |
| 23:1ω9 | 8.8 ± 1.3 | 6.5 ± 2.1 | 3.6 ± 0.4 | 6.2 ± 0.1 | 3.2 ± 0.3 | 5.5 ± 0.6 | 4.4 ± 0.9 | 6.3 ± 0.9 |
| 24:1ω9 | 2.5 ± 0.5 | 2.0 ± 0.7 | 1.2 ± 0.2 | 3.5 ± 0.6 | 1.9 ± 0.4 | 2.5 ± 0.2 | 3.4 ± 0.5 | 2.5 ± 0.4 |
| ∑LC-MUFA | 33.0 ± 0.2 | 35.4 ± 0.4 | 32.9 ± 3.7 | 32.7 ± 1.3 | 30.5 ± 0.5 | 37.0 ± 1.7 | 35.6 ± 1.1 | 32.4 ± 1.9 |
| ∑MUFA | 24.0 ± 2.3 | 20.9 ± 5.2 | 15.8 ± 1.2 | 25.7 ± 2.6 | 16.1 ± 1.5 | 23.9 ± 1.5 | 20.8 ± 1.2 | 23.5 ± 2.3 |
| Polyinsaturés | | | | | | | | |
| 18:3ω3 | 0.5 ± 0.2 | 0.9 ± 0.3 | 1.0 ± 0.2 | 0.4 ± 0.2 | 0.7 ± 0.1 | 3.8 ± 0.8 | 1.0 ± 0.1 | 0.7 ± 0.2 |
| 18:4ω3 | 0.3 ± 0.3 | 0.8 ± 0.4 | 0.8 ± 0.3 | 0.5 ± 0.3 | 1.2 ± 0.4 | 1.0 ± 0.2 | 0.9 ± 0.1 | 0.4 ± 0.2 |
| 20:5ω3 | 13.0 ± 0.2 | 10.8 ± 1.5 | 10.2 ± 1.1 | 17.6 ± 2.3 | 14.9 ± 0.9 | 14.3 ± 0.2 | 11.4 ± 0.5 | 14.7 ± 0.1 |
| 22:6ω3 | 1.0 ± 0.5 | 1.4 ± 0.5 | 1.2 ± 0.5 | 1.6 ± 0.5 | 4.0 ± 0.5 | 0.9 ± 0.1 | 1.3 ± 0.1 | 1.9 ± 0.6 |
| ∑ω3 | 14.7 ± 2.4 | 14.0 ± 2.1 | 13.2 ± 1.9 | 20.2 ± 2.5 | 20.8 ± 1.3 | 19.9 ± 2.4 | 14.6 ± 0.6 | 17.7 ± 1.6 |
| 18:2ω6 | 1.3 ± 0.6 | 2.1 ± 0.6 | 2.8 ± 0.5 | 0.6 ± 0.6 | 1.1 ± 0.1 | 1.8 ± 0.3 | 1.5 ± 0.2 | 1.2 ± 0.3 |
| 20:2ω6 | 1.6 ± 0.2 | 1.6 ± 0.3 | 1.9 ± 0.2 | 2.5 ± 0.2 | 1.2 ± 0.2 | 2.0 ± 0.2 | 1.4 ± 0.1 | 1.7 ± 0.1 |
| 20:4ω6 | 28.7 ± 3.6 | 18.9 ± 4.8 | 15.7 ± 3.6 | 23.1 ± 3.7 | 13.7 ± 2.5 | 13.8 ± 2.4 | 18.7 ± 2.2 | 23.8 ± 2.4 |
| 22:5ω6 | 1.4 ± 0.3 | 1.1 ± 0.2 | 0.7 ± 0.1 | 1.9 ± 0.2 | 1.1 ± 0.1 | 0.5 ± 0.1 | 0.6 ± 0.1 | 1.1 ± 0.1 |
| ∑ω6 | 32.9 ± 3.6 | 23.7 ± 5.4 | 21.1 ± 3.4 | 28.1 ± 3.2 | 17.1 ± 2.7 | 18.2 ± 2.2 | 22.2 ± 2.2 | 27.9 ± 2.6 |
| ∑HUFA | 43.9 ± 3.6 | 32.3 ± 4.9 | 27.8 ± 2.6 | 44.2 ± 3.5 | 33.7 ± 2.4 | 29.4 ± 2.6 | 32.1 ± 2.2 | 41.5 ± 1.8 |
| ∑PUFA | 47.6 ± 3.4 | 37.7 ± 4.6 | 34.3 ± 0.2 | 48.3 ± 2.6 | 37.9 ± 2.2 | 38.1 ± 2.1 | 36.9 ± 0.2 | 45.5 ± 1.6 |
| Ramifiés | | | | | | | | |
| 15:0iso | 0.7 ± 0.5 | 2.1 ± 1.1 | 3.2 ± 1.3 | 0.7 ± 0.3 | 3.0 ± 0.5 | 4.3 ± 0.6 | 2.3 ± 0.5 | 1.5 ± 0.5 |
| 15:0anteiso | 0.3 ± 0.2 | 0.8 ± 0.4 | 1.1 ± 0.2 | 0.1 ± 0.1 | 0.8 ± 0.1 | 1.3 ± 0.2 | 0.9 ± 0.3 | 0.7 ± 0.2 |
| 16:0iso | 0.5 ± 0.3 | 0.8 ± 0.4 | 1.1 ± 0.4 | 0.1 ± 0.1 | 1.3 ± 0.2 | 0.8 ± 0.1 | 1.0 ± 0.2 | 0.5 ± 0.2 |
| ∑BrFA | 1.5 ± 0.9 | 3.6 ± 1.9 | 5.4 ± 1.8 | 0.9 ± 0.4 | 5.1 ± 0.9 | 6.4 ± 0.9 | 4.2 ± 0.1 | 2.7 ± 0.9 |
| ∑FA (mg g ⁻¹) | 5.0 ± 1.6 | 8.0 ± 2.8 | 15.0 ± 5.5 | 9.3 ± 2.2 | 10.7 ± 2.7 | 9.5 ± 1.2 | 11.8 ± 1.5 | 7.8 ± 2.6 |

SFA = Saturated Fatty Acids ; MUFA = Monounsaturated FA ; LC-MUFA = long-chain MUFA (≥ 20 C) ; HUFA = Highly Unsaturated FA (≥ 20 C et 3 doubles liaisons) ; BrFA = Branched FA

| Acides aminés (%) | Sauvage | | | Elevage nées en captivité | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|--|-------|--|-------|--|
| | Elevage nées en milieu naturel | | | Lot 4 | | Lot 5 | | Lot 6 | | Lot 7 | | Lot 8 | |
| | Lot 1 Iles Glenan (n = 15) | Lot 2 MNHN Concarneau (n = 9) | Lot 10 CAPENA Oléron (n = 3) | Lot 4 Institut Agro Beg Meil (n = 4) | Lot 5 Keraliou Brest (n = 5) | Lot 6 AquaB Lesconil (n = 5) | Lot 7 F. Haliotis Plouguerneau (n = 5) | Lot 8 Parcs St Kerber Cancale (n = 5) | | | | | |
| Alanine (Ala) | 16.4 ± 1.3 | 16.7 ± 1.1 | 13.8 ± 0.5 | 11.7 ± 1.1 | 12.0 ± 0.5 | 11.7 ± 1.2 | 12.2 ± 0.7 | 12.5 ± 0.7 | | | | | |
| Arginine (Arg) | 2.1 ± 0.4 | 1.9 ± 0.3 | 2.1 ± 0.3 | 2.2 ± 0.3 | 2.2 ± 0.3 | 1.9 ± 0.5 | 2.1 ± 0.4 | 1.9 ± 0.3 | | | | | |
| Aspartic acid (Asx) | 7.6 ± 0.7 | 7.7 ± 0.6 | 8.2 ± 0.9 | 9.9 ± 0.5 | 9.5 ± 0.2 | 9.8 ± 0.6 | 9.8 ± 0.7 | 9.7 ± 0.6 | | | | | |
| Glutamic acid (Glx) | 12.3 ± 0.9 | 12.7 ± 0.7 | 14.0 ± 0.4 | 16.1 ± 1.3 | 15.5 ± 0.7 | 14.3 ± 0.7 | 14.8 ± 0.5 | 14.5 ± 1.4 | | | | | |
| Glycine (Gly) | 36.6 ± 3.4 | 37.7 ± 3.1 | 32.5 ± 0.3 | 28.5 ± 1.7 | 29.8 ± 2.5 | 29.2 ± 2.4 | 29.3 ± 1.6 | 30.7 ± 2.3 | | | | | |
| Histidine (His) | 0.2 ± 0.1 | 0.2 ± 0.1 | 0.3 ± 0.1 | 0.5 ± 0.1 | 0.5 ± 0.2 | 0.5 ± 0.1 | 0.4 ± 0.2 | 0.5 ± 0.1 | | | | | |
| Isoleucine (Ile) | 0.9 ± 0.2 | 1.0 ± 0.1 | 1.4 ± 0.0 | 1.9 ± 0.3 | 1.6 ± 0.2 | 1.7 ± 0.1 | 1.7 ± 0.1 | 1.8 ± 0.4 | | | | | |
| Leucine (Leu) | 1.8 ± 0.3 | 1.8 ± 0.2 | 2.4 ± 0.1 | 3.0 ± 0.4 | 2.7 ± 0.3 | 2.8 ± 0.2 | 2.8 ± 0.2 | 2.6 ± 0.4 | | | | | |
| Lysine (Lys) | 0.7 ± 0.2 | 0.7 ± 0.2 | 1.1 ± 0.0 | 1.4 ± 0.3 | 1.5 ± 0.2 | 1.5 ± 0.2 | 1.5 ± 0.1 | 1.3 ± 0.3 | | | | | |
| Methionine (Met) | 0.5 ± 0.1 | 0.5 ± 0.1 | 0.7 ± 0.1 | 1.0 ± 0.1 | 0.9 ± 0.1 | 0.8 ± 0.1 | 0.8 ± 0.1 | 1.0 ± 0.3 | | | | | |
| Phenylalanine (Phe) | 0.7 ± 0.2 | 0.8 ± 0.2 | 0.9 ± 0.1 | 1.2 ± 0.3 | 1.1 ± 0.3 | 1.4 ± 0.3 | 1.4 ± 0.1 | 1.3 ± 0.3 | | | | | |
| Proline (Pro) | 10.5 ± 2.8 | 8.8 ± 2.5 | 11.0 ± 2.2 | 10.4 ± 0.2 | 10.2 ± 1.8 | 11.6 ± 1.6 | 11.0 ± 1.8 | 10.5 ± 1.2 | | | | | |
| Serine (Ser) | 3.4 ± 0.5 | 3.4 ± 0.4 | 3.9 ± 0.5 | 3.7 ± 0.4 | 3.8 ± 0.4 | 3.8 ± 0.5 | 3.8 ± 0.4 | 3.4 ± 0.8 | | | | | |
| Threonine (Thr) | 3.8 ± 0.4 | 3.8 ± 0.3 | 4.6 ± 0.1 | 4.5 ± 0.2 | 4.7 ± 0.4 | 4.8 ± 0.2 | 4.6 ± 0.4 | 4.3 ± 0.4 | | | | | |
| Tyrosine (Tyr) | 0.6 ± 0.1 | 0.6 ± 0.2 | 0.7 ± 0.2 | 1.0 ± 0.6 | 1.0 ± 0.1 | 1.2 ± 0.3 | 1.1 ± 0.4 | 1.3 ± 0.3 | | | | | |
| Valine (Val) | 1.9 ± 0.4 | 1.8 ± 0.4 | 2.5 ± 0.1 | 3.1 ± 0.2 | 2.9 ± 0.3 | 2.9 ± 0.2 | 2.9 ± 0.3 | 3.0 ± 0.5 | | | | | |
| ∑EAA (%) | 10.6 ± 1.4 | 10.5 ± 0.9 | 13.8 ± 0.3 | 16.5 ± 0.1 | 16.0 ± 1.1 | 16.4 ± 0.1 | 16.1 ± 0.9 | 15.6 ± 1.9 | | | | | |
| ∑AA (mg g ⁻¹) | 45.5 ± 7.1 | 43.4 ± 8.9 | 36.8 ± 9.6 | 18.1 ± 6.1 | 24.8 ± 4.2 | 24.6 ± 7.3 | 24.9 ± 7.1 | 16.5 ± 0.8 | | | | | |

EAA = Essential Amino Acids (His + Ile + Lys + Met + Phe + Thr + Val)

| Stérols (%) | Temps de rétention (min) | Masse caractéristique (m/z) | Sauvages | | | | |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| | | | Lot 1 Iles Glenan (n = 10) | Lot 9 Baie Morlaix (n = 5) | Lot 11 Vigo (Espagne) (n = 5) | Lot 12 Villefranche/Mer (n = 5) | Lot 13 Iles Frioul (n = 5) |
| Squalene | 18.706 | 410.0 | 1.8 ± 1.5 | 2.2 ± 0.7 | 1.7 ± 1.1 | 4.3 ± 2.5 | 6.4 ± 7.8 |
| Inconnu1 | 18.973 | 363.3 | 3.0 ± 0.3 | 2.7 ± 0.6 | 2.0 ± 0.2 | 3.4 ± 0.6 | 2.0 ± 0.8 |
| Cholest-2-ene | 19.392 | 370.4 | 10.2 ± 1.2 | 10.0 ± 0.7 | 8.4 ± 0.8 | 7.7 ± 1.3 | 7.4 ± 2.4 |
| Inconnu2 | 19.568 | 366.3 | 10.3 ± 1.6 | 10.6 ± 0.1 | 9.2 ± 2.4 | 6.7 ± 0.1 | 5.0 ± 3.7 |
| Cholest-3,5-diene | 20.006 | 368.4 | 19.9 ± 2.6 | 16.7 ± 1.8 | 18.1 ± 2.9 | 12.9 ± 1.8 | 18.9 ± 4.2 |
| Ergosta-5,22-dien-3-ol | 20.551 | 380.4 | 13.1 ± 1.6 | 10.1 ± 0.7 | 9.5 ± 1.8 | 11.8 ± 0.1 | 11.6 ± 3.8 |
| Inconnu3 | 21.290 | 380.4 | 7.0 ± 2.7 | 5.3 ± 0.9 | 7.7 ± 0.4 | 3.5 ± 1.6 | 3.9 ± 0.8 |
| Stigmasta-3,5-diene | 22.658 | 396.4 | 9.6 ± 4.7 | 10.8 ± 1.7 | 13.9 ± 0.2 | 13.4 ± 1.6 | 16.1 ± 3.6 |
| Sterol $C_{29}H_{46}$ ou $C_{28}H_{42}O$ | 22.923 | 394.4 | 1.7 ± 0.8 | 3.0 ± 0.2 | 2.8 ± 0.5 | 1.4 ± 0.8 | 2.3 ± 0.5 |
| Cholesterol | 23.432 | 458.4 | 1.6 ± 0.8 | 3.0 ± 0.9 | 1.7 ± 0.5 | 2.3 ± 0.6 | 2.4 ± 1.5 |
| Cholestanol | 23.624 | 460.4 | 1.6 ± 1.6 | 2.7 ± 0.1 | 1.6 ± 0.7 | 5.9 ± 0.1 | 2.7 ± 0.1 |
| Inconnu4 | 23.803 | 456.4 | 2.5 ± 1.6 | 3.5 ± 0.7 | 3.1 ± 1.9 | 5.3 ± 0.6 | 3.6 ± 0.6 |
| 14 α -methylcholest-9(11)-en-3 β -ol | 24.270 | 472.4 | 1.8 ± 1.1 | 1.3 ± 0.5 | 2.3 ± 1.3 | 1.8 ± 0.5 | 1.4 ± 0.5 |
| Lathosterol | 24.500 | 458.4 | 6.5 ± 3.3 | 7.1 ± 0.9 | 8.0 ± 4.7 | 5.9 ± 1.1 | 7.9 ± 0.1 |
| Episterol | 25.318 | 470.4 | 3.1 ± 1.8 | 3.8 ± 0.6 | 2.7 ± 1.3 | 6.0 ± 1.5 | 3.4 ± 0.3 |
| 4 α ,14 α -dimethylcholest-9(11)-en-3 β -ol | 26.464 | 470.4 | 1.6 ± 1.3 | 3.6 ± 1.1 | 1.8 ± 0.9 | 0.9 ± 0.3 | 1.4 ± 1.1 |
| Dihydroparkeol | 27.224 | 500.5 | 1.1 ± 1.2 | 0.2 ± 0.1 | 0.9 ± 0.7 | 2.0 ± 1.7 | 0.2 ± 0.2 |
| Avenesterol | 28.476 | 486.5 | 3.3 ± 1.6 | 3.0 ± 0.6 | 4.2 ± 0.2 | 4.2 ± 1.1 | 3.2 ± 0.5 |
| Inconnu5 | 28.731 | 386.3 | 0.4 ± 0.2 | 0.7 ± 0.2 | 0.5 ± 0.3 | 0.5 ± 0.2 | 0.3 ± 0.1 |
| Σ Stérols (mg g ⁻¹) | | | 0.7 ± 0.6 | 0.5 ± 0.2 | 0.8 ± 0.5 | 0.4 ± 0.2 | 0.4 ± 0.2 |

| Stérols (%) | Temps de rétention (min) | Masse caractéristique (m/z) | Elevage nées en milieu naturel | | | | Elevage nées en captivité | | | |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--|
| | | | Lot 2 MNHN Concarneau (n = 4) | Lot 10 CAPENA Oléron (n = 4) | Lot 14 Provaqua Marseille (n = 5) | Lot 5 Keraliou Brest (n = 5) | Lot 6 AquaB Lesconil (n = 5) | Lot 7 F. Haliotis Plouguerneau (n = 5) | Lot 8 Pares St Kerber Cancalle (n = 5) | |
| Squalene | 18.706 | 410.0 | 3.9 ± 3.7 | 4.6 ± 7.5 | 2.6 ± 1.5 | 2.2 ± 1.3 | 3.7 ± 3.3 | 2.2 ± 1.6 | 2.2 ± 1.1 | |
| Inconnu1 | 18.973 | 363.3 | 2.5 ± 0.5 | 2.3 ± 0.1 | 1.5 ± 0.2 | 3.5 ± 0.8 | 0.9 ± 0.2 | 1.2 ± 0.3 | 1.6 ± 0.4 | |
| Cholest-2-ene | 19.392 | 370.4 | 9.3 ± 0.8 | 8.8 ± 1.5 | 11.5 ± 2.7 | 8.0 ± 0.7 | 4.8 ± 0.7 | 9.5 ± 1.6 | 6.6 ± 0.9 | |
| Inconnu2 | 19.568 | 366.3 | 9.0 ± 2.4 | 10.6 ± 0.2 | 5.7 ± 0.4 | 12.4 ± 1.3 | 2.5 ± 0.4 | 6.5 ± 1.6 | 6.2 ± 1.2 | |
| Cholest-3,5-diene | 20.006 | 368.4 | 18.9 ± 1.4 | 19.5 ± 4.1 | 22.9 ± 3.7 | 18.4 ± 2.3 | 9.0 ± 1.4 | 23.0 ± 3.6 | 13.9 ± 0.3 | |
| Ergosta-5,22-dien-3-ol | 20.551 | 380.4 | 12.5 ± 2.8 | 9.7 ± 1.3 | 6.3 ± 0.5 | 10.6 ± 1.8 | 2.2 ± 0.7 | 3.4 ± 1.2 | 7.6 ± 0.1 | |
| Inconnu3 | 21.290 | 380.4 | 6.4 ± 1.7 | 4.7 ± 0.1 | 6.9 ± 3.2 | 9.1 ± 1.2 | 3.1 ± 0.5 | 4.3 ± 0.2 | 4.4 ± 0.1 | |
| Stigmasta-3,5-diene | 22.658 | 396.4 | 10.2 ± 0.8 | 16.7 ± 4.8 | 21.1 ± 0.2 | 6.9 ± 0.8 | 3.6 ± 0.6 | 14.8 ± 3.8 | 6.0 ± 0.8 | |
| Sterol $C_{29}H_{46}$ ou $C_{28}H_{42}O$ | 22.923 | 394.4 | 1.6 ± 0.4 | 2.8 ± 0.4 | 1.6 ± 0.2 | 6.2 ± 0.5 | 45.1 ± 4.9 | 13.9 ± 9.4 | 22.3 ± 9.2 | |
| Cholesterol | 23.432 | 458.4 | 1.7 ± 0.4 | 2.3 ± 1.1 | 1.9 ± 0.3 | 1.2 ± 0.2 | 2.1 ± 1.4 | 1.8 ± 0.5 | 1.7 ± 0.6 | |
| Cholestanol | 23.624 | 460.4 | 1.6 ± 0.2 | 1.3 ± 0.3 | 1.5 ± 0.3 | 1.4 ± 0.4 | 0.8 ± 0.3 | 1.7 ± 0.5 | 2.1 ± 0.1 | |
| Inconnu4 | 23.803 | 456.4 | 3.6 ± 1.3 | 2.3 ± 0.1 | 1.5 ± 0.5 | 3.6 ± 1.4 | 1.6 ± 0.6 | 0.6 ± 0.2 | 2.2 ± 1.4 | |
| 14 α -methylcholest-9(11)-en-3 β -ol | 24.270 | 472.4 | 1.3 ± 0.5 | 1.1 ± 0.5 | 1.2 ± 0.6 | 1.4 ± 0.4 | 3.1 ± 0.8 | 2.1 ± 0.9 | 3.3 ± 0.2 | |
| Lathosterol | 24.500 | 458.4 | 7.4 ± 2.7 | 4.7 ± 1.7 | 7.5 ± 2.3 | 6.4 ± 2.4 | 5.7 ± 1.5 | 5.7 ± 1.4 | 8.1 ± 3.4 | |
| Episterol | 25.318 | 470.4 | 3.5 ± 1.6 | 2.3 ± 0.8 | 1.2 ± 0.3 | 3.2 ± 0.1 | 1.3 ± 0.3 | 1.0 ± 0.4 | 3.3 ± 1.3 | |
| 4 α ,14 α -dimethylcholest-9(11)-en-3 β -ol | 26.464 | 470.4 | 1.5 ± 0.6 | 2.9 ± 1.9 | 0.7 ± 0.5 | 1.7 ± 0.6 | 0.9 ± 0.7 | 1.0 ± 0.3 | 1.2 ± 0.6 | |
| Dihydroparkeol | 27.224 | 500.5 | 0.3 ± 0.1 | 0.6 ± 0.4 | 0.8 ± 0.1 | 1.0 ± 1.1 | 0.9 ± 0.6 | 1.3 ± 0.6 | 0.6 ± 0.5 | |
| Avenesterol | 28.476 | 486.5 | 4.4 ± 0.2 | 2.4 ± 0.6 | 3.3 ± 0.1 | 1.8 ± 0.5 | 2.1 ± 0.6 | 4.0 ± 0.2 | 3.0 ± 0.1 | |
| Inconnu5 | 28.731 | 386.3 | 0.3 ± 0.1 | 0.3 ± 0.1 | 0.4 ± 0.2 | 0.9 ± 0.3 | 6.5 ± 3.7 | 1.9 ± 1.3 | 3.7 ± 2.6 | |
| Σ Sterols (mg g ⁻¹) | | | 0.8 ± 0.4 | 1.2 ± 0.7 | 0.6 ± 0.2 | 1.0 ± 0.3 | 0.6 ± 0.2 | 0.8 ± 0.5 | 0.9 ± 0.8 | |

