



Dossier pédagogique : les Cétacés

Ce dossier regroupe un ensemble de ressources pédagogiques sur le thème des Cétacés. Une exploitation possible de ces ressources en classe y est proposée, dans le cadre du programme de SVT du lycée.

Activité n°1 : étude de la biodiversité dans le sanctuaire Pelagos (niveau 2^{nde})

Activité n°2 : l'influence des activités humaines sur les populations de Cétacés (niveau 2^{nde})

Activité n°3 : l'histoire évolutive des Cétacés (niveau 2^{nde})

Activité n°4 : la transmission culturelle des comportements chez les Cétacés (niveau terminale S)

Activité n°5 : réflexion autour de la notion d'espèce à partir de l'exemple des Cétacés (niveau terminale S)

Activité n°6 : un épisode de spéciation chez les Cétacés (niveau terminale S)

Remarque : l'association Réseau-Cétacés (<http://www.reseaucetaces.fr/>) dispense gracieusement des interventions sur les Cétacés à Paris et en région parisienne. Ces interventions peuvent utilement compléter une activité faite en classe.

Activité n°1 : étude de la biodiversité dans le sanctuaire Pelagos

Niveau : 2^{nde}

Lien avec le programme : La biodiversité est à la fois la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique au sein des espèces.

Le sanctuaire Pelagos est un espace maritime de 87 500 km² en mer Méditerranée, qui fait l'objet d'un accord entre la France, l'Italie et la Principauté de Monaco, afin de protéger les mammifères marins et leurs habitats contre les perturbations d'origine anthropique.

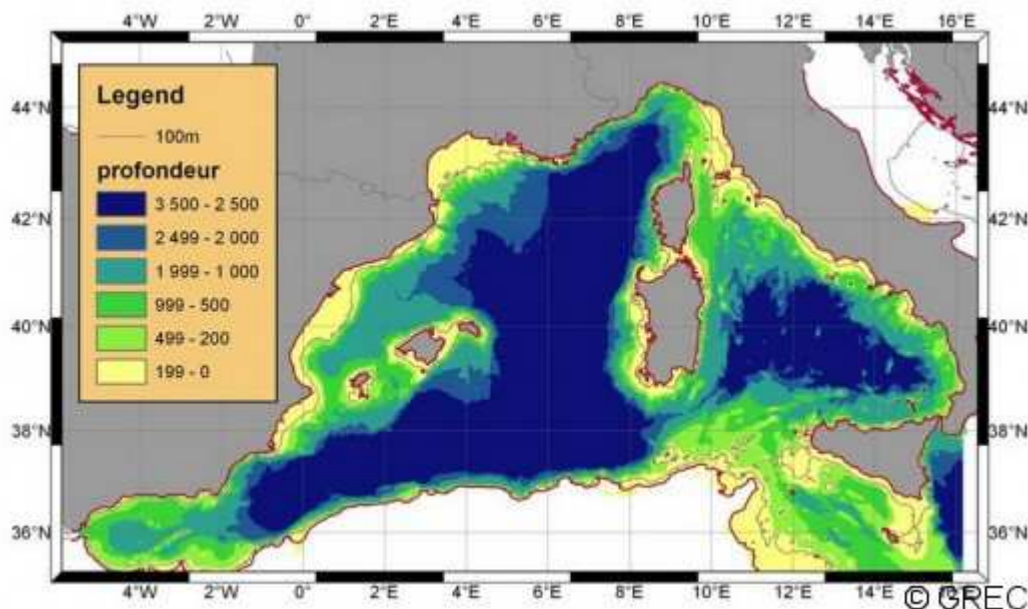
Exploitation possible : à partir des ressources mises à votre disposition concernant les Cétacés de la mer Méditerranée, montrer qu'il est possible de définir la biodiversité au niveau des écosystèmes, au niveau des espèces et au niveau génétique.

Fournir aux élèves un document de référence définissant les trois niveaux de la biodiversité.

Document 1. Les Cétacés et la mer Méditerranée : quelques généralités.

« Sur 85 espèces de cétacés répertoriées dans le monde, une vingtaine a fréquenté, au moins occasionnellement, la mer Méditerranée. Sur la base des informations des vingt dernières années, seules 18 espèces peuvent être considérées comme faisant partie du peuplement. C'est beaucoup, si l'on se rappelle que la Méditerranée ne communique avec les océans que par deux petits passages : le détroit de Gibraltar, bien sûr, et le canal de Suez.

La topographie sous-marine de la Méditerranée est très variable, générant trois grands types d'habitat : le plateau continental est le moins étendu, et la plaine abyssale est l'habitat de plus grande surface. Entre les deux, on trouve un talus continental : souvent escarpé, il est localement entrecoupé par des canyons sous-marins.



(...) dans l'ensemble de la mer Méditerranée, si une dizaine d'espèces sont rencontrées régulièrement, huit composent l'essentiel du peuplement, au moins dans le bassin occidental :

- le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*)
- le Dauphin commun à bec court (*Delphinus delphis*)
- le Grand dauphin (*Tursiops truncatus*)
- le Globicéphale noir (*Globicephala melas*)
- le Dauphin de Risso (*Grampus griseus*)
- la Baleine à bec de Cuvier (*Ziphius cavirostris*)
- le Cachalot commun (*Physeter macrocephalus*)
- le Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*)

(...) Sur une surface de moins d'un million de kilomètres carrés et une étendue en latitude de moins de 1000 kilomètres, la Méditerranée occidentale nous offre une grande diversité de situations hydrobiologiques. Tempérée chaude avec certains caractères subtropicaux dans sa partie méridionale, elle devient progressivement tempérée froide au nord des Baléares. »

Source : <http://www.cetaces.org/cetaces/mediterranee/>

Document 2. Les Cétacés du sanctuaire Pelagos.

Vidéos :

• Le sanctuaire Pelagos : <https://www.youtube.com/watch?v=NSvqurJRxqM> (durée : 13'28).

Cette vidéo présente les principales caractéristiques du sanctuaire Pelagos, les espèces de Cétacés y vivant, l'impact des activités humaines sur ces espèces et les programmes de recherche menés dans le sanctuaire.

• Mission Cap Cétacés : <https://www.youtube.com/watch?v=XpKB47s25j8> (durée : 4'30).

Cette vidéo présente la mission Cap Cétacés de WWF France en Méditerranée (photo-identification, biopsies pour étudier les caractéristiques génétiques des Cétacés, impact des activités humaines sur les Cétacés).

Site du sanctuaire Pelagos : <http://www.sanctuaire-pelagos.org/fr/>

• présentation des caractéristiques de la Méditerranée (topographie sous-marine, climat, hydrologie) : <http://www.sanctuaire-pelagos.org/fr/especes/la-mediterranee>

• présentation des différentes espèces de Cétacés de Méditerranée : <http://www.sanctuaire-pelagos.org/fr/especes>

Document 3. L'étude génétique des Cétacés de Méditerranée.

Des biopsies ont été réalisées sur des Cétacés de Méditerranée. Elles consistent à récupérer sur l'animal un fragment de peau et de graisse, en lançant des fléchettes à embout creux à l'aide d'une arbalète. Ces prélèvements permettent : i) de mesurer le niveau de contamination en métaux lourds ; ii) de déterminer le sexe du Cétacé ; iii) de déterminer la séquence d'un petit fragment de l'ADN (plus précisément de l'ADN mitochondrial), qui présente des différences chez les individus d'une même espèce. La détermination de cette séquence d'ADN chez différents individus d'une même espèce de Cétacé sert plusieurs objectifs. Elle permet d'une part de distinguer différents individus de l'espèce et d'effectuer un suivi des populations au cours du temps. Elle a par ailleurs servi à préciser l'histoire des populations de grands dauphins (*Tursiops truncatus*) en Méditerranée : il y a environ 18 000 ans, à la fin de la dernière période glaciaire, les grands dauphins de l'Atlantique ont investi la Méditerranée. En effet, la diminution de la concentration en sel et l'augmentation des populations de poissons et autres proies des grands dauphins ont fait de la Méditerranée un habitat favorable à ces Cétacés. Les populations de grands dauphins se sont ensuite génétiquement différenciées en fonction des zones géographiques occupées au sein de la Méditerranée.

Ressources complémentaires :

- « Comment les grands dauphins ont colonisé la Méditerranée » : <http://www.futura-sciences.com/magazines/nature/infos/actu/d/mammifere-marin-grands-dauphins-ont-colonise-mediterranee-57278/>
- S. Gaspari et al., « Drivers of population structure of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the eastern Mediterranean sea » (2015), *Evolutionary Biology*, 42, 177-190.
- Projet GDEGeM (« Grand Dauphin Etude et Gestion en Méditerranée ») : <http://www.gdegem.org/>

Activité n°2 : l'influence des activités humaines sur les populations de Cétacés

Niveau : 2^{nde}

Lien avec le programme : La biodiversité se modifie au cours du temps sous l'effet de nombreux facteurs, dont l'activité humaine.

Exploitation possible : à partir de l'ensemble des ressources mises à votre disposition, construire un tableau synthétique / une carte heuristique en ligne / une présentation PowerPoint expliquant les modalités par lesquelles les activités humaines influencent les populations de Cétacés.

Alternatives :

- Recherche documentaire effectuée par les élèves, seuls ou en groupe.
- Travail en groupe avec conception d'exposés sur différents thèmes.
- Pour la construction de cartes heuristiques en ligne, il existe le logiciel gratuit Framindmap. Pour plus d'informations sur la conception de cartes heuristiques en ligne, voir : <http://lewebpedagogique.com/litterae/category/mind-maps-en-ligne/>

Document 1. Quelques ressources en ligne pour mieux comprendre l'impact des activités humaines sur les Cétacés.

• **Vidéos** :

- C'est pas sorcier « Baleines menacées » : <https://www.youtube.com/watch?v=uiEg1Gptg7U>
(durée : 26'15)
- Les menaces pesant sur les baleines australes : <https://www.youtube.com/watch?v=ojsHv1opS3A>
(durée : 2'27)

• **Dossier de presse de l'exposition « Incroyables Cétacés ! »** (pages 24 à 33). PDF à télécharger :

http://www.grandegaleriedevolution.fr/sites/grandegaleriedevolution.fr/files/documents/20080530_dp_expo_incroyables_cetaces_gge.pdf

Document 2. Des loutres, des baleines, des orques et ... des oursins, des laminaires et du plancton !

« Hier, la loutre de mer était chassée (avec excès) pour sa fourrure. Aujourd'hui, c'est une espèce protégée. Mais depuis quelques années, sur les côtes ouest de l'Alaska, leur nombre s'effondre brutalement. Pourquoi ? Cet effondrement serait lié aux orques qui, selon certains chercheurs, se sont mis à chasser les loutres de mer alors qu'ils ont longtemps cohabité pacifiquement dans les mêmes eaux.

La raison de ce changement d'attitude ? La modification du régime alimentaire de l'orque suite à l'effondrement des stocks de ses proies habituelles. En effet l'orque, qui se nourrit de jeunes baleines, a vu le nombre de ses proies diminuer fortement suite à la baisse considérable du nombre de baleines. Il se serait alors reporté sur les phoques, qui eux aussi ont vu leurs effectifs fortement chuter, en raison de la surpêche qui a entraîné une forte baisse des stocks de poissons. Cette raréfaction de la nourriture habituelle des orques pourrait expliquer pourquoi ces derniers se sont finalement mis à chasser la loutre de mer sur les côtes ouest de l'Alaska.

Disparition des loutres... quelles conséquences ? La loutre de mer joue également un rôle important dans la chaîne alimentaire. Elle se nourrit principalement d'oursins, qui eux-mêmes broutent les algues (surtout les laminaires) situées au fond des océans.

Comme la loutre disparaît, les oursins se mettent à pulluler. Ils broutent de plus en plus le tapis végétal au fond des océans ce qui disloque l'écosystème formé par le kelp, forêt d'algues marines. Ceci se traduit par la disparition en cascade de nombreux poissons et crustacés qui ne peuvent plus s'abriter dans les laminaires et qui deviennent de plus en plus victimes des prédateurs.

Dans cette région, cette cascade d'événements modifie tout un environnement et va avoir de nombreuses conséquences, en partie désavantageuses pour la pêche des poissons et crustacés.

La leçon de cet exemple.

Certaines espèces pâtissent de la disparition d'autres espèces (la loutre), d'autres en profitent (l'oursin). Cependant, du point de vue humain et du fonctionnement des écosystèmes, on ne connaît pas les conséquences du déséquilibre d'écosystèmes océaniques aussi complexes. Les effets d'une telle désorganisation sont imprévisibles, d'autant que l'espèce humaine utilise elle aussi les ressources des océans.

De plus, les océans et le plancton jouent un rôle important dans le cycle du carbone. L'effondrement des stocks de poissons, des baleines et les cascades d'évènements qui en découlent (modification de la densité de plancton, aliment principal des baleines et de nombreuses autres espèces par exemple) pourraient également avoir des effets sur le changement climatique... »

Source :

http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodiv/index.php?pid=decouv_chapA_p2&zoom_id=zoom_a2_6

Document 3. Les baleines face au réchauffement climatique.

« De la Basse-Californie au détroit de Béring, les baleines perdent du poids... le réchauffement climatique comme cause de la raréfaction de la nourriture de ces mammifères géants ?

« *Les baleines grises migrent plus tard, ne vont plus aussi loin au Nord, et donnent naissance à moins de baleineaux* », explique Steven Swartz, chef d'une unité de recherche au Service national américain de la pêche maritime.

Le professeur Swartz souligne avoir observé une forte mortalité, un tiers de l'espèce, en 1999 quand le phénomène El Nino a fait disparaître le plancton. « *Nous n'avons pas trouvé de preuves d'une épidémie* » explique M. Swartz. « *Lorsque les temps sont durs et qu'il y a moins de nourriture, les baleines ne se reproduisent pas* ».

Le lagon de San Ignacio, où les baleines se reproduisent, peut servir à extrapoler le taux de reproduction de l'espèce. Dans les années 1980, quelque 350 baleineaux naissaient dans ces eaux en février. En 1999 le nombre n'a pas dépassé cent. À 10 000 km au nord, le bassin de Chirikov (Béring) est considéré comme le principal lieu de nourriture, mais la hausse de la température fait baisser la croissance du plancton qui nourrit les minuscules crustacés dont les baleines dépendent. Les signes de leur amaigrissement sont clairs : 10 % de la population est particulièrement affaiblie, selon M. Swartz.

Les photographies de ces animaux en train de migrer « *montrent que l'arrière de leur tête est affaissé, les côtes sont visibles, et il existe des sections de la queue qui sont concaves* », alors qu'au terme de l'été, les baleines devraient avoir refait le plein de graisse. »

Source :

<http://www.futura-sciences.com/magazines/nature/infos/dossiers/d/zoologie-cetaces-nos-cousins-mers-782/page/10/>

Ressources complémentaires :

- Menaces pesant sur les Cétacés de Méditerranée : <http://www.sanctuaire-pelagos.org/fr/menaces>
- Chasse à la baleine : <http://www.futura-sciences.com/magazines/nature/infos/dossiers/d/zoologie-cetaces-nos-cousins-mers-782/page/8/>
- Menaces pesant sur les baleines : <http://baleinesendirect.org/des-baleines-en-peril/menaces/>
- Autres exemples : impact des activités humaines sur les bélugas du Saint-Laurent, ou sur les dauphins roses de Hong Kong (<https://www.youtube.com/watch?v=jiN-tGJvaBc>).
- « Incroyables Cétacés ! », Les éditions du Muséum / Editions de Monza (2008).

Activité n°3 : l'histoire évolutive des Cétacés

Niveau : 2nde

Lien avec le programme : *L'état actuel de la biodiversité correspond à une étape de l'histoire du monde vivant : les espèces actuelles représentent une infime partie du total des espèces ayant existé depuis les débuts de la vie.*

Au sein de la biodiversité, des parentés existent qui fondent les groupes d'êtres vivants. Ainsi, les vertébrés ont une organisation commune.

Les parentés d'organisation des espèces d'un groupe suggèrent qu'elles partagent toutes un ancêtre commun.

Exploitation possible : à partir des ressources mises à votre disposition :

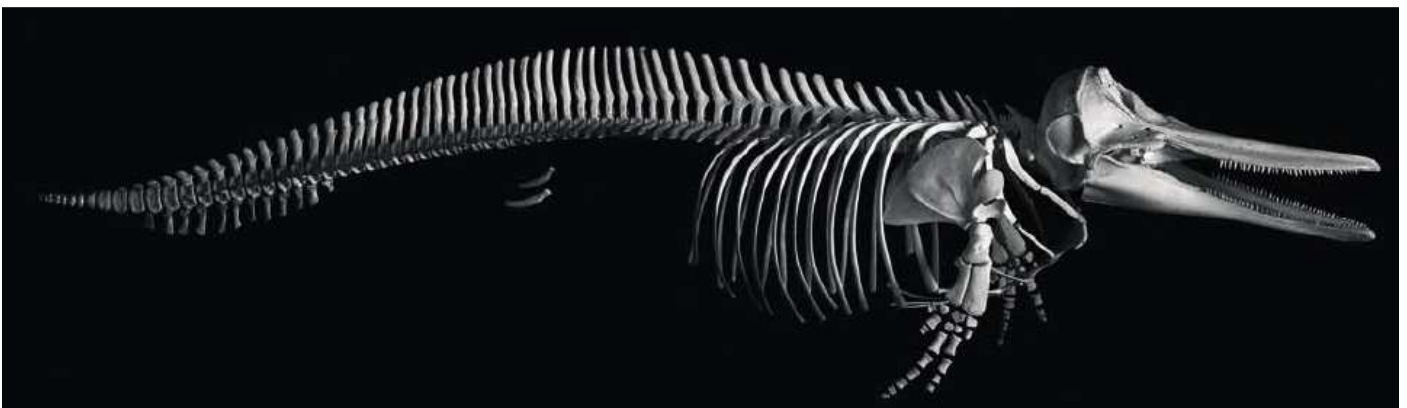
- montrer que la biodiversité se modifie au cours du temps.
- montrer que les Cétacés actuels et fossiles sont des vertébrés et préciser les relations de parenté entre les Cétacés et les autres groupes de vertébrés.

Document 1. Quelques squelettes de Cétacés actuels.

- ❖ Squelette de baleine australe (© MNHN – Bernard Faye)



- ❖ Squelette de dauphin bleu et blanc (longueur : 1,70 m) (© Éditions Xavier Barral, cliché Patrick Gries – collections MNHN)



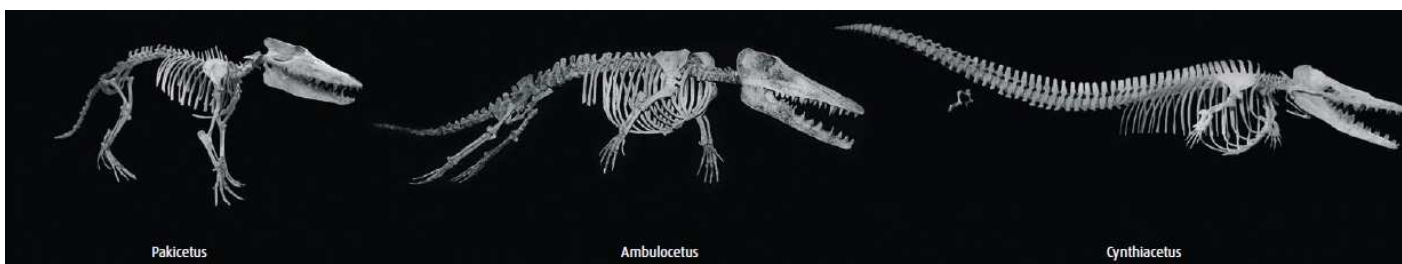
- ❖ Squelettes de narval (longueur : 6,30 m) (gauche) et de globicéphale (longueur : 4,45 m) (droite) (© Éditions Xavier Barral, cliché Patrick Gries – collections MNHN)



Document 2. Deux vidéos pour comprendre l'histoire évolutive des Cétacés.

- Vidéo extraite du DVD « La Terre, le temps, le vivant. Histoire de la vie et évolution. » : « Les pattes des baleines » (CNDP) : <http://www.cndp.fr/evolution-des-especes/a-la-recherche-des-parentes/page-single-vidéos-dvd/article/les-pattes-des-baleines.html> (durée : 3'17).
- Vidéo « Baleines : phylogénie et classifications » (CNRS) : <http://videotheque.cnrs.fr/visio=2244> (durée : 6').

Document 3. Quelques Cétacés fossiles.



Les premiers ancêtres terrestres

Pakicetus est le plus ancien archéocète connu. Il est encore terrestre mais possède des mœurs semi-aquatiques. Il vit, il y a plus de 50 millions d'années, près des fleuves non loin de la mer de Téthys. Adapté à la course, il a des sabots, des poils, des dents pointues et son crâne révèle la présence d'une structure particulière de l'oreille interne qui isole les sons en milieu aquatique et qui a permis d'établir sa parenté avec les cétacés actuels.

Les premiers ancêtres amphibies

Ambulocetus natans, le « Cétacé qui marche et qui nage » est le premier cétacé amphibie connu. C'est un mammifère carnivore long de 3 mètres, possédant vraisemblablement encore une fourrure. Il a 4 pattes probablement palmées, et se déplace à la fois sur terre et dans l'eau. Il chasse le long des côtes en eau peu profonde mais doit revenir sur la terre ferme pour se reproduire.

Les premiers ancêtres aquatiques

Il y a 38 millions d'années, Cynthiacetus, de la famille des Basilosauridés, est un cétacé totalement inféodé au milieu aquatique : il ne peut plus revenir sur terre et doit se reproduire dans l'eau. Grands nageurs, les Basilosauridés vont se disperser dans de nombreux océans et sont à l'origine des baleines et dauphins actuels.

Source : dossier de presse de l'exposition « Incroyables Cétacés ! » :

http://www.grandegaleriedevolution.fr/sites/grandegaleriedevolution.fr/files/documents/20080530_dp_expo_incroyables_cetaces_gge.pdf

Document 3a. *Pakicetus*, un Cétacé fossile terrestre (50 millions d'années).



Squelette de *Pakicetus atocki*, Cétacé terrestre de l'Eocène du Pakistan, âgé d'environ 50 millions d'années (© B. Faye/MNHN).

« De la taille d'un loup, cet animal a d'abord été identifié, au début des années 1980, à partir d'un fragment de crâne et de quelques dents.

C'est seulement en 2001 que son squelette a été décrit. La région auditive indique que *Pakicetus* était un cétacé, tandis que son squelette postcrânien est celui d'un artiodactyle (regroupant bovins, ovins, antilopes, chameaux, cochons, girafes, hippopotames). On appelle alors l'ensemble des artiodactyles et cétacés les cétartiodactyles. *Pakicetus* avait un cou allongé, une colonne vertébrale rigide dans la région lombaire, des membres locomoteurs fins et allongés : c'était un animal coureur et digitigrade (pendant la course, seuls ses doigts touchaient le sol).

Comme les artiodactyles, *Pakicetus* possédait une cheville particulière. L'astragale (l'os qui s'articule avec le tibia et la deuxième rangée du tarse) était « à double poulie », ce qui améliorait les performances de l'articulation lors de la course. Avant d'être nageurs, les cétacés étaient coureurs. »

Source : <http://www.docsciences.fr/Squelette-de-Pakicetus-attocki.html>

Document 3b. *Ambulocetus natans*, un Cétacé amphibie (48 millions d'années).

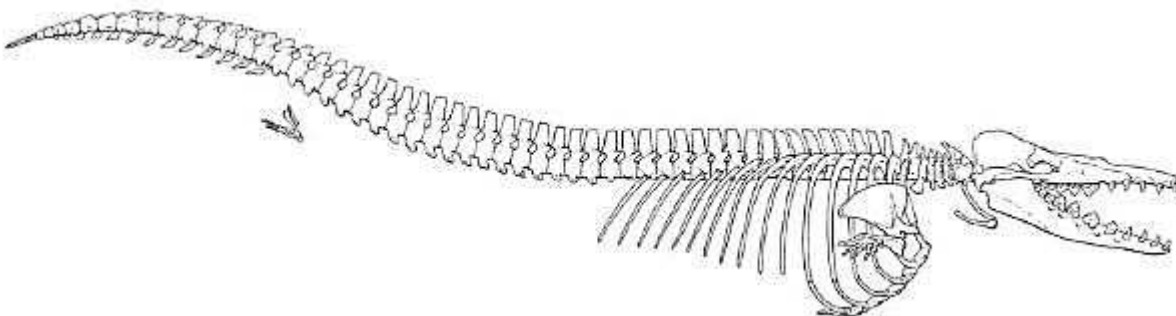
« *Ambulocetus natans* (le Cétacé marcheur qui nage) a 48 millions d'années ; c'est un animal de grande taille qui possède toujours quatre membres bien individualisés. Mais ses membres postérieurs sont très développés et ses pieds, tout particulièrement, sont très allongés. Les proportions des pieds sont semblables à celles de la loutre marine, un carnivore très bien adapté à la nage. De plus, comme chez les loutres, ses phalanges sont aplaties. Il est donc clair que les membres postérieurs d'*Ambulocetus* sont ceux d'un bon nageur. Il se déplaçait probablement par ondulations de la colonne vertébrale et des membres postérieurs dans un plan vertical, comme les loutres marines. (...)

Les membres postérieurs d'*Ambulocetus* sont toujours reliés à la colonne vertébrale par un bassin articulé au sacrum comme chez tous les mammifères terrestres. Ceci indique qu'il était capable de se déplacer au sol. *Ambulocetus* était donc un Cétacé amphibie présentant un degré d'adaptation au milieu aquatique semblable à celui des otaries actuelles. (...)

Ambulocetus constitue la forme intermédiaire par excellence entre les mammifères terrestres et les Cétacés actuels, totalement inféodés au milieu aquatique. C'était aussi un redoutable prédateur. »

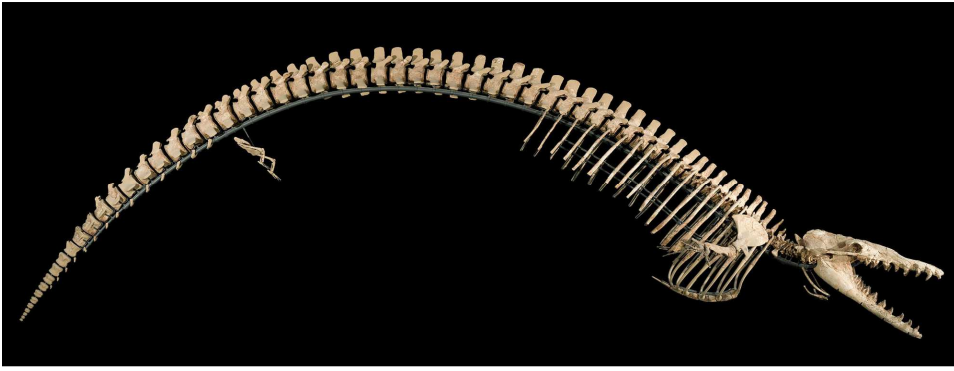
Source : « Incroyables Cétacés ! », Les éditions du Muséum / Editions de Monza (2008), p. 16.

Document 3c. *Dorudon*, *Cynthiacetus* et *Basilosaurus* : des Cétacés inféodés au milieu aquatique (40 millions d'années).



Représentation du squelette d'un Archéocète fossile : *Dorudon atrox* (longueur : 5 m ; âge : 36,5 millions d'années)

Source : P.D. Gingerich et al., « New Protocetid whale from the middle Eocene of Pakistan: birth on land, precocial development, and sexual dimorphism » (2009), *PLoS ONE*, 4, e4366.



Squelette fossile d'un Archéocète : *Cynthiacetus peruvianus* (© Bernard Faye / MNHN)



Squelette fossile d'un Archéocète : *Basilosaurus*, Wadi El-Hitan, Egypte.

« A la fin de l'Eocène, vers 40 millions d'années, apparaissent des Cétacés de grande taille dont l'adaptation au milieu aquatique est encore plus avancée. *Dorudon* (5 m de long), *Cynthiacetus* et *Basilosaurus* (15 m de long) ne sont plus amphibiens, mais sont totalement dépendants du milieu aquatique. (...)

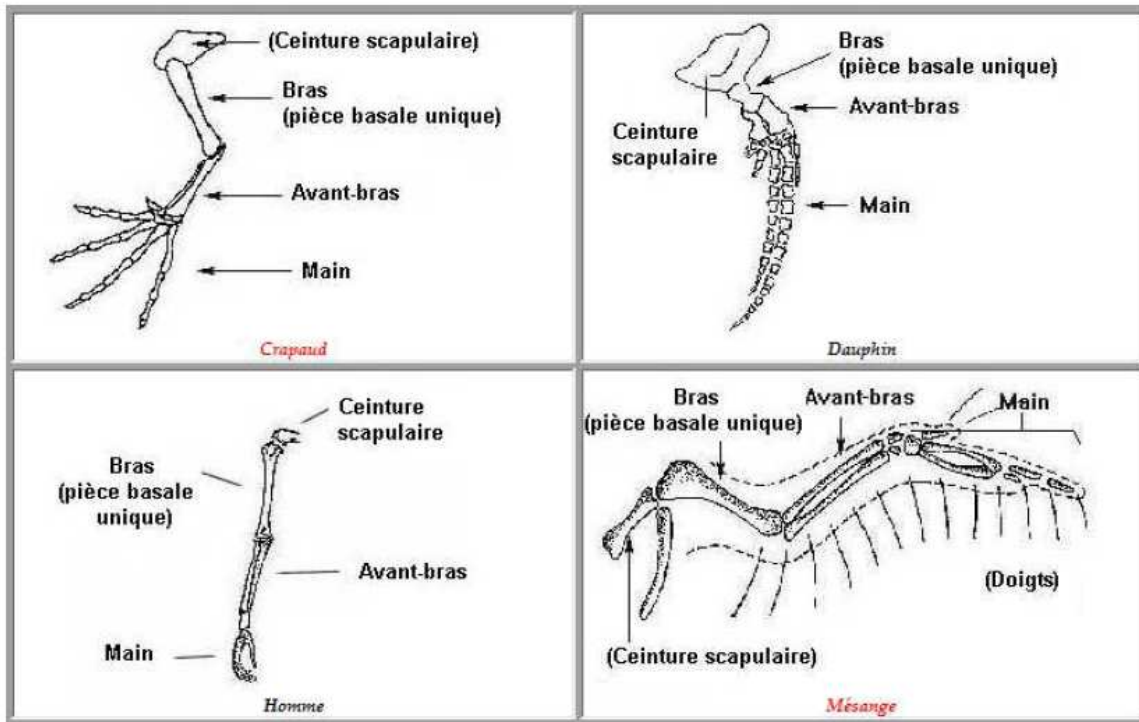
Dorudon, *Cynthiacetus* et *Basilosaurus* ont des membres postérieurs atrophiés considérablement réduits en taille et qui ne peuvent avoir un rôle ni dans la nage ni dans la locomotion au sol. De plus, le bassin n'est plus articulé avec la colonne vertébrale et ne peut de ce fait soutenir le reste du corps. Les membres antérieurs sont transformés en palettes natatoires et ressemblent plus à ceux des Cétacés actuels qu'à ceux d'*Ambulocetus* ou à fortiori de *Pakicetus*. La queue présente des vertèbres caudales très arrondies qui dénotent la présence d'une « nageoire » caudale, véritable battoir dont les mouvements verticaux assurent la propulsion de l'animal.

Dorudon, *Cynthiacetus* et *Basilosaurus* ont donc atteint un degré d'adaptation au milieu aquatique semblable à celui des Cétacés actuels. »

Source : « Incroyables Cétacés ! », Les éditions du Muséum / Editions de Monza (2008), p. 18.

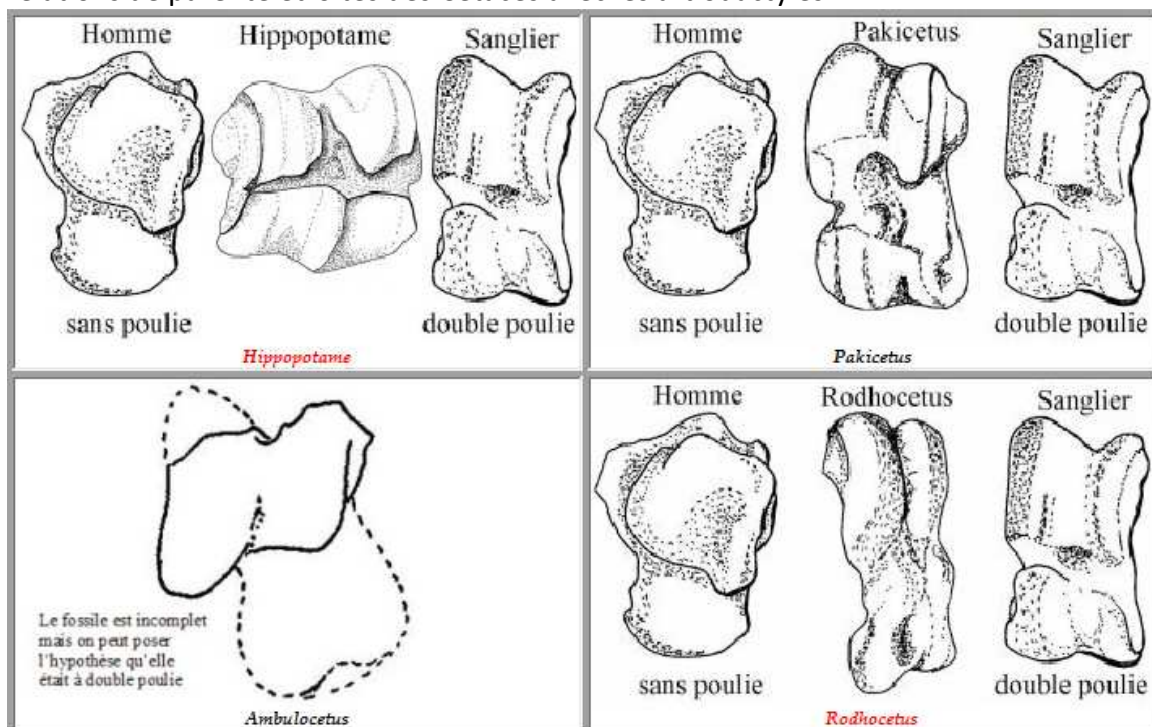
Document 4. Cétacés, relations de parenté au sein des vertébrés et utilisation du logiciel Phylogène.

- Mise en évidence des points communs dans l'organisation du squelette, puis du membre antérieur du crapaud, du dauphin, de l'homme et de la mésange : collection « vertébrés-lycée » → Activité « comparer » → données anatomiques → organe locomoteur.



- Comparaison de l'astragale chez l'hippopotame, *Pakicetus*, *Ambulocetus* et *Rodhocetus* (Cétacé amphibie âgé d'environ 47 millions d'années) : collection « Cétancodontes » → Activité « comparer » → données anatomiques → astragale.

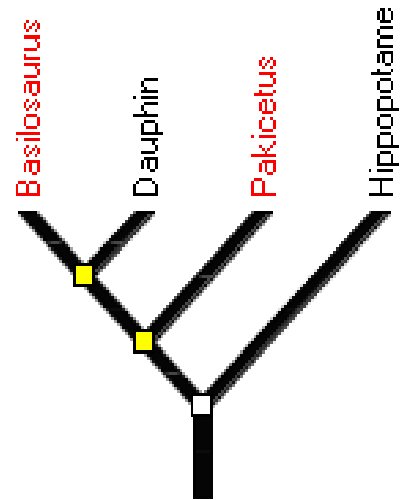
Note : chez les artiodactyles (mammifères ongulés à nombre pair de doigts, tels que les vaches, cerfs, antilopes, chameaux, cochons, hippopotames), l'articulation de la cheville, très mobile, contient un os, l'astragale, qui est à double poulie. Cette morphologie de l'astragale n'existe chez aucun autre mammifère. Chez *Pakicetus* et *Rhodocetus*, le membre postérieur possède un astragale à double poulie, démontrant les relations de parenté étroites des Cétacés avec les artiodactyles.



• Construction d'une matrice de caractères et d'un arbre phylogénétique (exemple n°1) :

- Sélectionner la collection « Cétancodontes ».
- Construire une matrice de caractères :
 - o en choisissant les espèces : Basilosaurus, Dauphin, Hippopotame, Pakicetus ;
 - o en choisissant les caractères : membre antérieur, molaires, vertèbres cervicales.

	Molaires	Membre antérieur	Vertèbres cervicales
Dauphin	Pointues	Palette natatoire	Tassées
Basilosaurus	Pointues	Palette natatoire	Non tassées
Pakicetus	Pointues	Patte dressée	Non tassées
Hippopotame	Larges et aplaties	Patte dressée	Non tassées

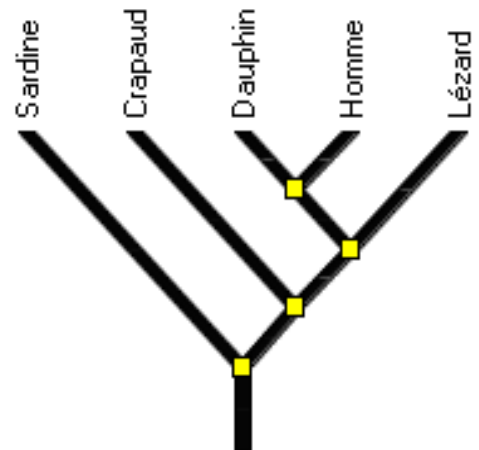


Consigne pour les élèves : construire la matrice de caractères, puis placer les innovations évolutives sur l'arbre phylogénétique. Placer sur l'arbre l'ancêtre commun à tous les Cétacés, et entourer le groupe des Cétacés.

• Construction d'une matrice de caractères et d'un arbre phylogénétique (exemple n°2) :

- Sélectionner la collection « vertébrés-lycée ».
- Construire une matrice de caractères :
 - o en choisissant les espèces : crapaud, dauphin, homme, lézard, sardine ;
 - o en choisissant les caractères : crâne et vertèbres, pièces basales, poils, squelette, vertèbres cervicales.

	Crâne et Vertèbres	Pièces basales	Poils	Squelette	Vertèbres cervicales
Crapaud	Présents	Une seule	Absents	Osseux	Moins de 3
Dauphin	Présents	Une seule	Présents	Osseux	Plus de 3
Homme	Présents	Une seule	Présents	Osseux	Plus de 3
Lézard	Présents	Une seule	Absents	Osseux	Plus de 3
Sardine	Présents	0 ou plusieurs	Absents	Osseux	Moins de 3



Consigne pour les élèves : construire la matrice de caractères, puis placer les innovations évolutives sur l'arbre phylogénétique. Placer sur l'arbre l'ancêtre commun au dauphin et à l'homme, et entourer le groupe des Mammifères, qui se caractérise par la présence de poils.

Ressources complémentaires :

- « Incroyables Cétacés ! », Les éditions du Muséum / Editions de Monza (2008). Chapitre « De la Terre à la mer, en 50 millions d'années » (p. 12-21).
- Dossier de presse de l'exposition « Incroyables Cétacés ! » (pages 6 à 11) : http://www.grandegaleriedevolution.fr/sites/grandegaleriedevolution.fr/files/documents/2008_0530_dp_expo_incroyables_cetaces_gge.pdf
- G. Lecointre et H. Le Guyader, « Classification phylogénétique du vivant », Belin (2001), p. 474-477.

Activité n°4 : la transmission culturelle des comportements chez les Cétacés

Niveau : Terminale S

Lien avec le programme : Chez les vertébrés, le développement de comportements nouveaux, transmis d'une génération à l'autre par voie non génétique, est aussi source de diversité : chants d'oiseaux, utilisation d'outils, etc.

« Il y a plus de soixante ans, Kinji Imanishi proposa l'idée que, si les animaux peuvent apprendre les uns des autres, ils vont inévitablement développer des comportements différents dans différentes populations, aboutissant à l'existence de variations 'culturelles' à l'intérieur d'une même espèce. C'était une hypothèse simple, mais tellement en avance sur son temps que peu de chercheurs occidentaux y prêtèrent attention. Et c'est seulement récemment que la notion de cultures animales est devenue un sujet de recherche important. »

Frans de Waal., « Animal conformists » (2013), *Science*, 340, 437-438.

Exploitation possible : à partir des documents mis à votre disposition, montrer comment le développement de comportements nouveaux chez les Cétacés participe à la diversification du vivant.

Document 1. L'apparition d'une nouvelle technique de chasse chez les baleines à bosse.

« Impressionnantes, avec leurs 13 m de longueur, leur dos noir et leur ventre blanc, les baleines à bosse (...) utilisent habituellement une technique particulière pour se nourrir. Elles plongent, puis remontent en décrivant des cercles et en lâchant de l'air, ce qui produit des nuages de bulles. Encerclés par ces filets d'air, les petits poissons dont elles se nourrissent vont à la surface et la baleine, qui les attend la gueule grande ouverte, les engloutit.

En 1980, dans ce secteur du golfe du Maine, on a observé une nouvelle technique de chasse qu'une de ces baleines aurait développée. Avant de plonger pour s'alimenter, elle s'est mise à donner de grands coups de queue dans l'eau. L'année suivante, Mason Weinrich, directeur du *New England Whale Center*, s'est rendu compte que plusieurs baleines fréquentant cette zone faisaient la même chose. Sur la base d'une centaine d'observations semblables, il a par la suite publié un article scientifique sur la question. Il émettait l'hypothèse que cette innovation était apparue à la faveur d'un changement de proies, les bancs de harengs étant en nette diminution, et les bancs de lançons en forte augmentation. Puis en 2007, près de 40 % des baleines à bosse de la région avaient adopté ce nouveau comportement de chasse. La chose devenait sérieuse. Avait-on affaire à un artefact ou à un phénomène de transmission génétique ? Ou de transmission culturelle – et alors, de quel type ?

C'est ici que la valeur statistique de 70 000 observations entre en jeu. L'analyse a démontré, en effet, que l'apprentissage ne se fait pas de mère à baleineaux, que la génétique n'explique pas non plus ce phénomène, et qu'il ne semble pas venir d'un apprentissage strictement individuel. Les baleines apprennent en s'observant les unes les autres, en groupe. Au bout d'un certain temps, la baleine qui « ne sait pas comment faire » se met à imiter ses voisines et apprend d'elles une nouvelle façon de chasser. C'est ce même mécanisme qui préside, chez les baleines, à l'apprentissage de leurs mélodieux chants sous-marins. Cela est la marque d'une transmission culturelle, le processus qui sous-tend la diversité de la culture humaine.

On connaissait déjà ce phénomène de transmission chez les singes supérieurs, par exemple celle du lavage des pommes de terre chez les macaques japonais. Mais c'est une première chez les cétacés, à l'exception de la transmission des chants.

(...) Luke Rendell va plus loin: « C'est le premier exemple auquel je puisse penser d'une innovation en milieu naturel dont on documente la propagation dans le temps. Nous pensons qu'il y a beaucoup de variations de comportements, chez les baleines et les dauphins, qui sont aussi le résultat de transmissions culturelles. »

Des populations d'animaux capables de s'adapter à un environnement changeant, d'innover, de se transmettre de nouveaux apprentissages... C'est la définition même de la culture ! »

Source : <http://www.quebecscience.qc.ca/Jean-Pierre-Rogel/Les-baleines-a-bosse-ont-de-la-culture->

Document 1 (variante). L'apparition d'une nouvelle technique de chasse chez les baleines à bosse.

Le texte suivant, écrit par Jean-Claude Ameisen et extrait de l'émission « Sur les épaules de Darwin », reprend le même exemple que le document précédent, de façon plus détaillée.

Lorsqu'une baleine rencontre un banc de krill ou d'autres petits poissons, elle accélère sa nage et ouvre grand sa bouche. Les articulations très particulières de ses mâchoires lui permettent de les ouvrir à angle droit et elle aspire en une seule goulée un énorme volume d'eau de mer, qui peut être supérieur au poids de son corps.

La partie inférieure de sa mâchoire s'emplit d'eau, se distendant comme un accordéon qui s'emplit d'air, puis, à la suite de mouvements complexes, la baleine referme sa mâchoire et rejette cette immense quantité d'eau tout en filtrant, en conservant, puis en ingérant les énormes quantités de krill et de petits poissons que contenait l'eau de mer.

Les baleines à bosse ont une méthode très originale de pêche en groupe, qui peut impliquer la coopération d'une dizaine d'individus.

Lorsqu'elles repèrent un banc de petits poissons, elles se mettent à souffler des bulles d'air dans l'eau. Les bulles entourent le banc de poissons, formant un cercle qui peut atteindre trente mètres de diamètre. Ce cercle de bulles d'air fonctionne comme un filet virtuel qui emprisonne les petits poissons alors qu'ils pourraient pourtant s'échapper. Les baleines à bosse réduisent progressivement le diamètre du cercle de bulles d'air, rétrécissant le filet, et les petits poissons se pressent le plus en plus les uns contre les autres, formant un cylindre dont la section circulaire devient de plus en plus étroite et la hauteur de plus en plus grande.

Alors, les baleines à bosse plongent dans le cylindre en ouvrant grand leurs mâchoires et aspirent d'un seul coup l'eau contenue dans le cylindre virtuel et l'ensemble du banc de petits poissons.

En 1980, un comportement de pêche nouveau a été observé pour la première fois chez une baleine à bosse, dans le golfe du Maine, à l'est des côtes de l'Amérique du Nord. Un vaste golfe, qui s'étend, du sud au nord, du Cap Cod, dans l'État du Massachusetts, à la Nouvelle Écosse, au Canada.

Avant de souffler son filet de bulles d'air, la baleine avait frappé plusieurs fois violemment, de sa queue, la surface de l'eau. Ce comportement a été appelé *pêche par battement de queue*.

Trente-trois ans plus tard, en 2013, des chercheurs des universités de Cambridge et de Saint Andrews, en Grande-Bretagne et du Centre d'études des Baleines de Nouvelle Angleterre, dans l'État du Massachusetts, publiaient une étude dans *Science*.

Ils avaient analysé l'ensemble des observations de baleines à bosse recueillies durant vingt-sept ans – de 1980 à 2007 – dans un sanctuaire marin, le sanctuaire Stellwagen Bank, situé dans le sud du golfe du Maine, au large des côtes de la Nouvelle Angleterre.

Durant cette période, six cent cinquante-trois baleines à bosse différentes avaient été observées 73 790 fois, alors qu'elles remontaient à la surface de la mer.

Dans le sanctuaire marin Stellwagen Bank, le comportement de *pêche par battement de queue* avait été observé pour la première fois chez une baleine à bosse en 1981, un an après son identification dans une autre région du golfe du Maine.

Vingt-sept ans plus tard, plus d'un tiers des baleines qui pêchaient dans le sanctuaire de Stellwagen Bank avaient acquis la technique de *pêche par battement de queue*.

L'analyse détaillée de l'ensemble de ces données suggère que la meilleure explication de la propagation spectaculaire de ce comportement est l'existence d'une transmission culturelle horizontale.

L'étude indique aussi que l'émergence de cette nouvelle technique de pêche a débuté quelques années après un effondrement, dans le golfe du Maine, des populations de harengs – une proie particulièrement appréciée des baleines à bosse –, à la période où la taille des populations de lançons, de petits poissons de la famille des *Ammodytidae*, a considérablement augmenté et où les lançons sont devenus la source principale de nourriture des baleines à bosse dans le sanctuaire marin de Stellwagen Bank.

Les auteurs proposent que la pêche par battement de queue – le fait de frapper violemment la surface de l'eau avec la queue avant d'entamer la pêche à l'aide du filet de bulles d'air – pourrait avoir pour avantage d'effrayer les lançons et de favoriser leur entassement à l'intérieur du filet de bulles.

Et ainsi, les capacités d'innovations et de transmission culturelle de leurs innovations pourraient avoir favorisé – et continuer à favoriser – l'adaptation des populations de baleines à bosse aux perturbations écologiques de leur environnement.

Nos résultats, concluent les auteurs, montrent qu'une transmission sociale a joué un rôle essentiel dans la propagation du comportement de pêche à l'aide de la queue, qui a désormais persisté durant vingt-sept ans, sur plusieurs générations.

La pêche par battement de queue peut donc être considérée comme une tradition, dans cette population de baleines à bosse.

Et, parce que les baleines à bosse se transmettent aussi des traditions vocales, sous la forme de chants, cette population peut être considérée comme porteuse de plusieurs traditions.

Il y a plus de soixante ans – écrivait en 2013 dans Science le primatologue et éthologue Frans de Waal –, Kinji Imanishi proposa l'idée que, si les animaux peuvent apprendre les uns des autres, ils vont inévitablement développer des comportements différents dans différentes populations, aboutissant à l'existence de variations 'culturelles' à l'intérieur d'une même espèce.

C'était une hypothèse simple, mais tellement en avance sur son temps que peu de chercheurs occidentaux y prêtèrent attention.

Et c'est seulement récemment que la notion de cultures animales est devenu un sujet de recherche important.

Aboutissant à l'identification de cultures chez les baleines.

Une transmission culturelle des chants.

Et une transmission culturelle de nouvelles méthodes de pêche.

Mais ces cultures sont menacées.

Document 2. La transmission culturelle du chant chez les baleines.

Comme chez la plupart des oiseaux, chez les baleines les vocalisations sont émises par les mâles et les femelles. Mais seuls les mâles élaborent les

vocalisations les plus complexes, que nous appelons des chants.

Parmi les appels autres que les chants qui ont été identifiés chez les baleines à bosse, il y a une sonorité qui ressemble à un *wop* et qui semble être un mode particulier de communication entre une mère et son baleineau. Il y a une autre sonorité, qui ressemble à un *twop* et qui est émise par un mâle à la recherche d'une compagne.

Et puis il y a les chants, qui se propagent sous la surface des vagues et font vibrer les mers et les océans.

Les chants sont entonnés durant la saison des amours et durant les longues migrations.

Ils sont à la fois des instruments de séduction à l'attention des futures compagnes et des instruments de communication à l'attention des autres mâles, des chants qui protègent leurs territoires ou qui, au contraire, soutiennent des réseaux de coopération.

Dans différentes régions de l'océan chaque population de baleines à bosse chante des chants très différents.

Mais dans une population donnée, à une période donnée, les mâles chantent tous – presque tous – le même chant. Avec des variations individuelles qui les distinguent les uns des autres mais c'est le même chant complexe et structuré qu'ils entonnent, parfois en chœur, parfois de manière alternée, en canon.

Ce chant évolue durant l'année, se modifiant progressivement de saison en saison, plus ou moins rapidement.

Peu à peu, les sons, les phrases, les thèmes et les refrains se transforment. Et, soudain, au bout de quelques années, le chant est devenu autre.

Mais, à mesure que s'accumulait cette succession de changements, c'est toujours le même chant que l'ensemble de la population a chanté. La nouveauté s'est inventée sous forme de variations progressives et s'est transmise en permanence à l'ensemble de la population.

Comme les langues humaines, les chants des baleines évoluent continuellement.

Le poète latin Horace comparait les mots d'une langue aux feuilles des arbres, qui naissent au printemps, poussent durant l'été, puis tombent des arbres en automne.

Le trait caractéristique du langage humain, dit Dante, n'est autre que son essentielle capacité à muter dans le temps, sa variabilité intrinsèque à travers les siècles, qui entraîne nécessairement la pluralité des langues humaines.

Et Montaigne, deux siècles et demi plus tard, dans ses *Essais* :

[Le langage] escoule tous les jours de nos mains et, depuis que je vis, s'est altéré de moitié. Nous disons qu'il est à ceste heure parfait, autant en dit du sien chaque siècle.

Dans une même population humaine, des innovations apparaissent sans cesse dans le vocabulaire, la prononciation, les règles de syntaxe, mais tout le monde parle la même langue – un mélange d'innovation et de conformisme dans l'adoption des innovations, qui est l'une des caractéristiques de ce que nous appelons une transmission culturelle.

Dans une même population, les traits culturels peuvent se transmettre : verticalement, des parents à leurs enfants ; ou obliquement, d'une génération à l'autre, par l'intermédiaire d'adultes qui ne sont pas leurs parents mais que des enfants prennent comme modèles ; ou encore horizontalement, sans rapport avec les générations auxquelles appartiennent ceux qui servent de modèles et ceux qui adoptent leurs comportements.

Dans une même population de baleines à bosse, l'évolution continue du chant semble se faire selon un modèle de transmission horizontale – tous les mâles, dans la population, adoptent les mêmes innovations.

Mais jusqu'à quel point le chant des baleines fait-il véritablement l'objet d'un apprentissage social et d'une transmission culturelle ?

Une première réponse avait été apportée par une étude publiée dans *Nature* il y a quatorze ans, en 2000.

Elle avait été réalisée par des chercheurs d'Australie et était intitulée *Une révolution culturelle dans les chants de baleines*.

L'étude rapportait que l'arrivée dans une grande population de baleines à bosse résidant dans le Pacifique Sud, à l'est de l'Australie, de quelques baleines à bosse mâles venues de l'Océan Indien avait abouti, en moins de deux ans, à l'adoption du chant des immigrants par l'ensemble de la population résidente.

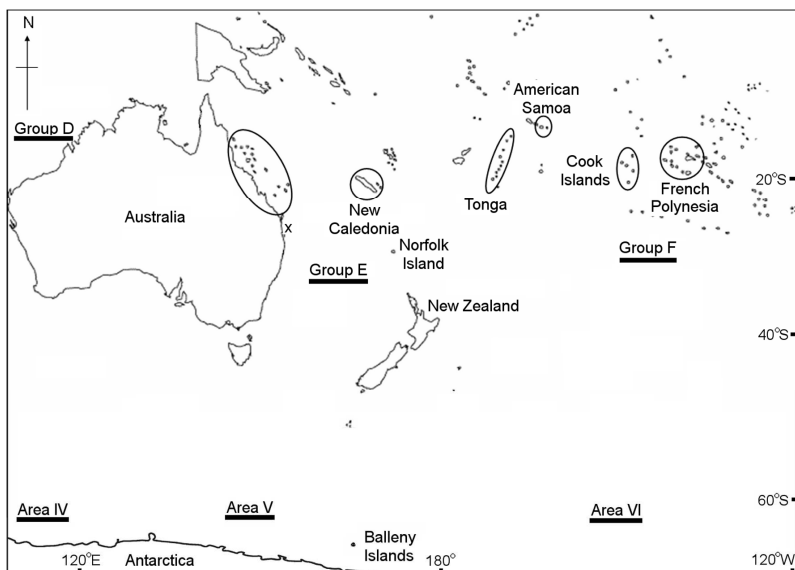
Source : Jean-Claude Ameisen, « Sur les épaules de Darwin : Retrouver l'aube », Les Liens qui Libèrent (2014).

Document 3. Une transmission culturelle du chant chez les baleines à bosse du Pacifique.

Préalable : on appelle transmission culturelle un apprentissage social d'informations ou de comportements à partir d'individus de la même espèce. Les traits culturels peuvent être transmis verticalement (des parents à la descendance), de façon oblique (d'une génération précédente à des individus plus jeunes mais selon un modèle non parental), ou horizontalement (entre individus non apparentés de classes d'âge similaire ou entre générations).

Chez les baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*), le chant intervient dans la sélection sexuelle. Seuls les mâles chantent ; ils se conforment généralement à un unique type de chant, stéréotypé et répétitif, mais dont le motif évolue d'année en année, parfois rapidement. En dépit de cette évolution, tous les mâles continuent de se conformer au chant du groupe. Le chant est structuré : il comprend un certain nombre de thèmes, chacun consistant en un nombre de phrases répétées. Les phrases sont à leur tour constituées d'une succession de sons individuels appelés unités.

Document 3a. Carte de la région Sud Pacifique.



Source : E.C. Garland et al., « Humpback whale song on the Southern ocean feeding grounds: implications for cultural transmission » (2013), *PLoS ONE*, 8, e79422.

Document 3b. Types de chants identifiés dans la région Sud Pacifique (de l’Australie à la Polynésie française) de 1998 à 2008.

Les populations sont listées de l’ouest à l’est de la région. Chaque couleur représente un type distinct de chant. Les chants peuvent être groupés en 6 « lignages » différents, chacun associé à une couleur (rose, noir/gris, bleu, rouge, jaune et vert). Au sein d’un lignage, de nouveaux chants peuvent évoluer à partir des anciens (par des changements d’unités ou l’addition d’unités à des phrases existantes, ou par l’addition ou la déléation de thèmes). Les nouveaux chants évoluant à partir des anciens au sein d’un lignage sont associés à la même couleur (rouge foncé / rouge clair ; vert foncé / vert clair ; bleu foncé / bleu clair).

Deux couleurs à l’intérieur de la même année et de la même région indiquent que les deux types de chants sont présents. Dans ces cases, les saisons ont été réparties en trois périodes (précoce, moyenne, tardive), afin d’indiquer à quelle période un nouveau chant a été enregistré. Les hachures signifient qu’aucune donnée n’est disponible.

Year	East Australia	New Caledonia	Tonga	American Samoa	Cook Islands	French Polynesia
1998	Black	Black	Black	Diagonal lines	Pink	Pink
1999	Black	Black	Black	Diagonal lines	Diagonal lines	Black
2000	Blue	Black	Grey	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
2001	Blue	Blue	Blue	Diagonal lines	Grey	Black
2002	Blue	Blue	Blue	Diagonal lines	Diagonal lines	Diagonal lines
2003	Dark red	Blue	Blue	Blue	Blue	Diagonal lines
2004	Dark red	Dark red	Diagonal lines	Blue	Blue	Blue
2005	Red	Dark red	Diagonal lines	Dark red	Blue	Dark red
2006	Yellow	Red	Red	Red	Red	Dark red
2007	Green	Yellow	Yellow	Diagonal lines	Yellow	Red
2008	Light green	Green	Green	Diagonal lines	Cyan	Cyan

Source : E.C. Garland et al., « Dynamic horizontal cultural transmission of humpback whale song at the ocean basin scale » (2011), *Current Biology*, 21, 687-691.

Remarques :

Résultats : 11 chants différents ont été enregistrés dans la région entre 1998 et 2008. 8 chants différents se sont déplacés vers l'est ; 4 d'entre eux se sont répandus entièrement à travers la région de l'Australie de l'est à la Polynésie française (noir, bleu, rouge foncé et rouge clair). Seul un chant (bleu clair) s'est déplacé vers l'ouest (de la Polynésie française vers les îles Cook).

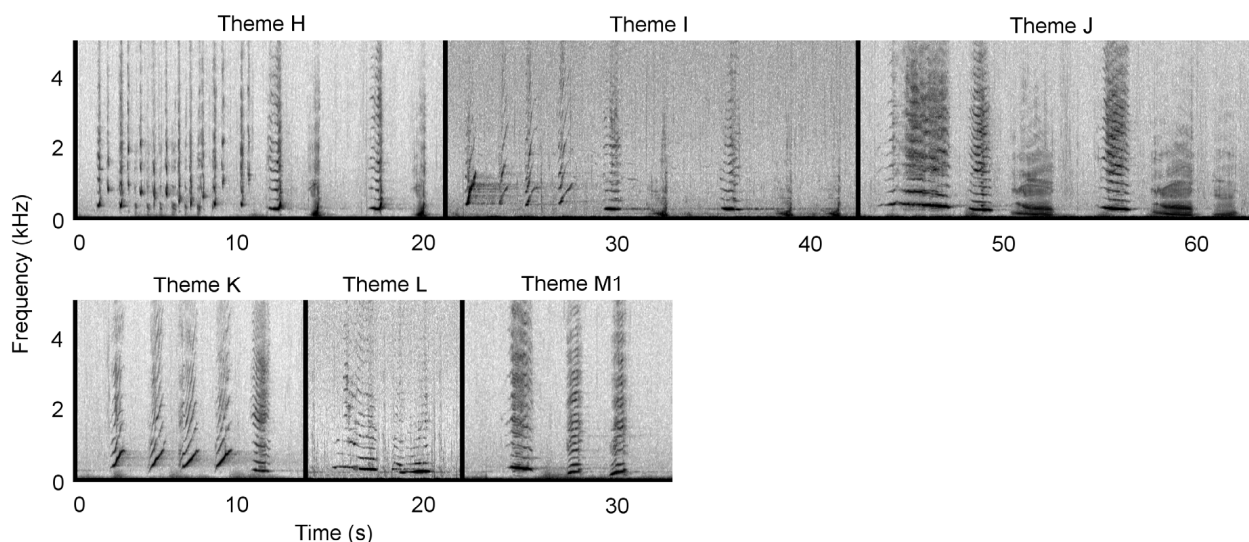
Interprétation des résultats : deux types de changements de chants se sont produits :

- Une évolution culturelle progressive au cours de laquelle les chants ont changé d'un type à l'autre au sein d'une même population.
- L'apparition d'un nouveau chant dans une population, suivie d'un remplacement rapide du chant existant. Ainsi, le remplacement du type de chant bleu par le type de chant rouge foncé en 2003 dans la population d'Australie de l'est démontre un remplacement culturel rapide.

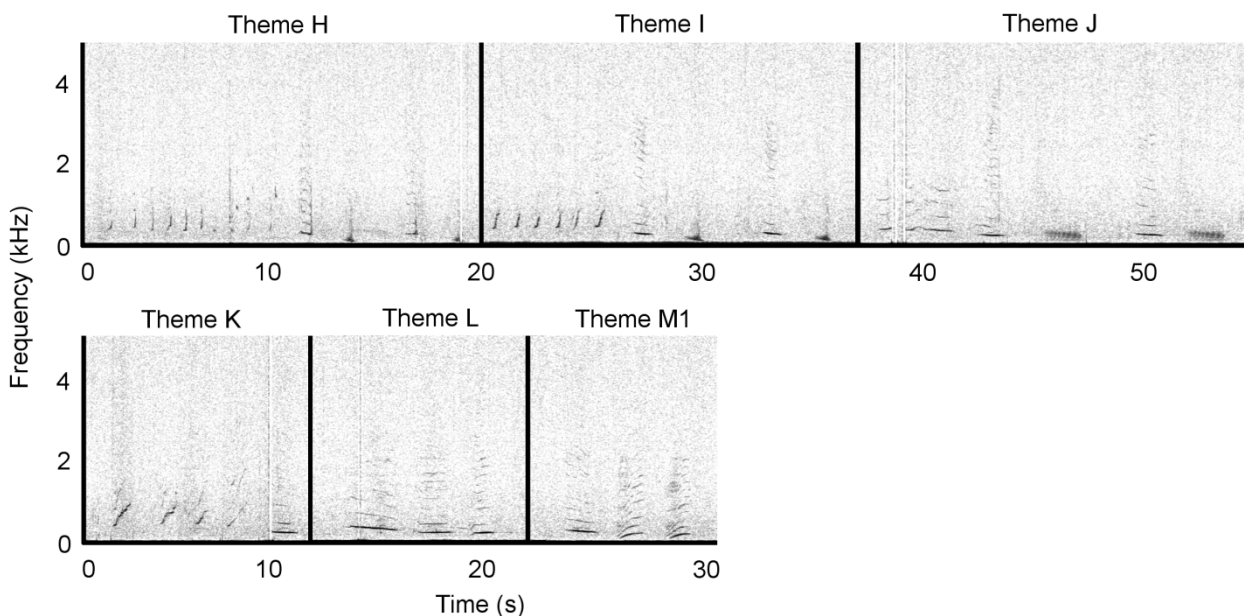
Il s'agit ici d'une transmission horizontale : de multiples chants se propagent rapidement, de façon répétée et unidirectionnelle vers l'est. Cette transmission culturelle peut s'expliquer par des zones communes aux routes migratoires de plusieurs populations de baleines, ou bien par l'émigration d'individus d'une population de baleines à l'autre.

Document 3c. Spectrogrammes du chant de baleines à bosse de la région Sud Pacifique.

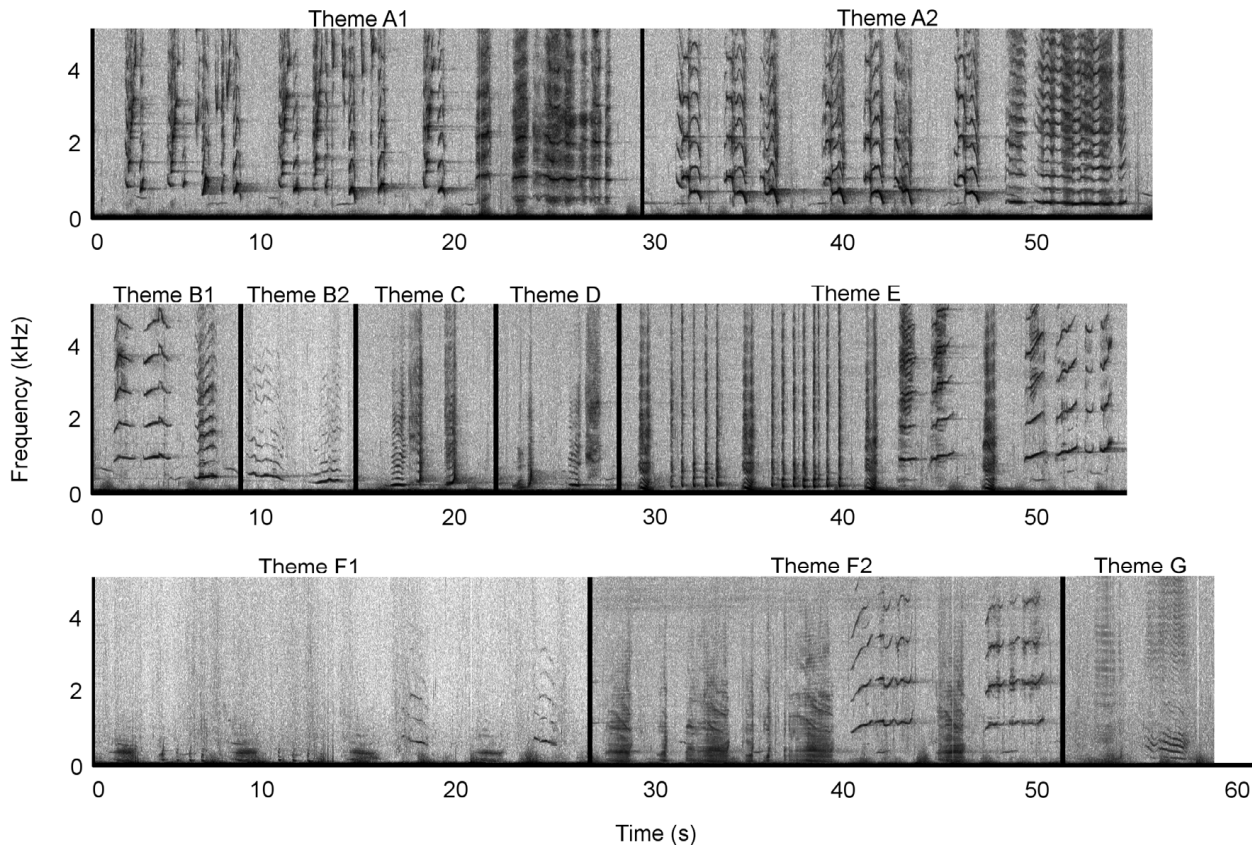
- ❖ **Chant de l'est de l'Australie, 2009.** Pour chaque thème, une seule phrase représentative est montrée.



- ❖ **Chant de Nouvelle-Calédonie, 2010.** Pour chaque thème, une seule phrase représentative est montrée.



- ❖ Chant de Nouvelle-Calédonie, 2009. Pour chaque thème, une seule phrase représentative est montrée.



Source : E.C. Garland et al., « Humpback whale song on the Southern ocean feeding grounds: implications for cultural transmission » (2013), *PLoS ONE*, 8, e79422.

Document 3d. Etude du chant des baleines avec le logiciel Audacity.

- Les enregistrements des 3 chants peuvent être téléchargés à l'adresse suivante (fichiers audio S2, S3 et S5 de la partie « supporting information » de l'article) :

<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0079422#s5>

Pour télécharger un fichier : lire le fichier, puis clic droit et « enregistrer sous ».

- Choisir l'affichage « spectrogramme » du logiciel Audacity.

Ressources complémentaires :

- J. Allen et al., « Network-based diffusion analysis reveals cultural transmission of lobtail feeding in humpback whales » (2013), *Science*, 340, 485-488.
- M.J. Noad et al., « Cultural revolution in whale songs » (2000), *Nature*, 408, 537.
- E.C. Garland et al., « Dynamic horizontal cultural transmission of humpback whale song at the ocean basin scale » (2011), *Current Biology*, 21, 687-691.
- Émission « Des cultures dans le monde animal », Jean-Claude Ameisen, Sur les épaules de Darwin.
<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin-des-cultures-dans-le-monde-animal>

Activité n°5 : réflexion autour de la notion d'espèce à partir de l'exemple des Cétacés



Niveau : Terminale S

Lien avec le programme : La diversité du vivant est en partie décrite comme une diversité d'espèces. La définition de l'espèce est délicate et peut reposer sur des critères variés qui permettent d'apprécier le caractère plus ou moins distinct de deux populations (critères phénotypiques, interfécondité, etc.).

Exploitation possible : à partir des documents mis à votre disposition, discuter la définition de l'espèce et les critères sur lesquels elle peut reposer.

Document 1. L'exemple des rorquals.

Document 1a. Comparaison du rorqual commun et du rorqual bleu.

Rorqual commun (<i>Balaenoptera physalus</i>)	Rorqual bleu (<i>Balaenoptera musculus</i>)
	
Mysticète de grande taille (18 à 22 mètres). <ul style="list-style-type: none">• Tête : bien profilée avec une crête longitudinale devant l'évent, aux deux orifices distincts.• Pigmentation : zone blanche sous la mandibule droite, zones claires remontant vers le dos à l'avant du corps, surtout à droite.• Aileron dorsal : de forme variable, de taille moyenne, parfois entaillé. Source : http://www.cetaces.org/cetaces/fiches/rorqual-commun/	Mysticète de grande taille (23 à 27 mètres). <ul style="list-style-type: none">• Tête : profilée en forme d'ogive avec une crête longitudinale devant l'évent proéminent, aux deux orifices distincts.• Pigmentation : gris à bleu moucheté assez uniforme sur le dos et les flancs.• Aileron dorsal : de forme variable, de très petite taille. Source : http://www.cetaces.org/cetaces/fiches/rorqual-bleu/

Document 1b. Des hybrides chez les rorquals.

« Normalement, les animaux appartenant à des espèces différentes ne se reproduisent pas entre eux. Cependant, certaines espèces proches parentes peuvent produire des hybrides, qui ne sont généralement pas fertiles. C'est le cas du mulet, l'hybride de l'âne et de la jument, ou du tigron, l'hybride de la lionne et du tigre. Chez les baleines à fanons, seuls les rorquals bleus et les rorquals communs traversent la barrière de l'espèce et peuvent donner naissance à des hybrides. Contrairement aux cas du mulet et du tigron, l'une ou l'autre des espèces parentes peut être le père ou la mère de ces hybrides. Autre différence, ces hybrides seraient peut-être fertiles.

Voici les faits. Cinq hybrides rorqual commun/rorqual bleu ont été découverts par des scientifiques. Des trois femelles, deux étaient matures sexuellement. La première pouvait produire des ovules mais était apparemment infertile, alors que la deuxième portait un fœtus. Il est toutefois impossible de savoir si elle aurait porté ce fœtus à terme ou si le fœtus aurait survécu après la naissance. Dans le cas du seul mâle examiné ayant atteint l'âge de la maturité sexuelle, ses organes sexuels n'étaient pas fonctionnels.

Malgré les différences de tailles, de couleur et de comportement, il semble donc que les rorquals bleus et les rorquals communs soient encore des espèces génétiquement très proches. »



Source : <http://baleinesendirect.org/existe-il-des-hybrides-chez-les-rorquals/>

Document 2. L'exemple des marsouins.

Document 2a. L'existence d'hybrides chez les marsouins.

Comme chez les autres mammifères, les cas d'hybridation naturelle sont rares chez les Cétacés. Quelques cas ont cependant été rapportés. Ainsi, des analyses de l'ADN mitochondrial et nucléaire combinées à des observations morphologiques et comportementales chez des marsouins ont permis de mettre en évidence des individus hybrides issus de croisements en milieu naturel, au niveau des côtes du Pacifique nord-américain. Pour tous les hybrides, le parent maternel est un marsouin de Dall (*Phocoenoides dalli*), alors que le parent paternel est un marsouin commun (*Phocoena phocoena*). Ce phénomène pourrait s'expliquer par la poursuite sans distinction des marsouins femelles par les mâles du marsouin commun. Parmi les hybrides, certaines femelles sont capables de se reproduire.

Document 2b. Différences morphologiques entre le marsouin de Dall, le marsouin commun et le marsouin hybride.

	Marsouin de Dall (<i>Phocoenoides dalli</i>)	Marsouin commun (<i>Phocoena phocoena</i>)	Marsouin hybride
	 Source : http://www.swisscetaceansociety.org/documentations/les-cetaces-du-monde/marsouins/	 Source : http://www.swisscetaceansociety.org/documentations/les-cetaces-du-monde/marsouins/	
Taille et forme	Grand et trapu (2m à 2,50m)	Petit et moins robuste (1,40m à 2m)	Intermédiaire
Taille et forme de l'aileron dorsal	Grand et légèrement falciforme. Noir avec une zone blanche	Petit et triangulaire	Intermédiaire
Pigmentation de l'aileron dorsal	Noir avec un « glaçage » blanc	Gris foncé	Pâle à gris foncé, bord plus ou moins foncé
Pigmentation du corps	Corps noir avec une tâche blanche sur le ventre et les flancs	Uniformément gris, plus foncé sur le dos et plus clair sur le ventre	Pâle à gris moyen, régions gris foncé à brunes
Nombre de vertèbres	92-98	62-66	≈ 75

Document 3. L'exemple des « wholphin ».

Le wholphin est un animal hybride rare, de la famille des delphinidés, issu d'une fausse orque (*Pseudorca crassidens*) et d'un grand dauphin (*Tursiops truncatus*). Bien qu'ils auraient été observés dans la nature, il n'en existe actuellement que deux spécimens vivants en captivité, au *Sea Life Park* d'Hawaii. Le premier est né le 15 mai 1985, alors qu'une femelle grand dauphin et un mâle fausse orque partageaient le même bassin. La taille, la couleur et la forme du wholphin sont intermédiaires entre celles des espèces parentales. Nommée Kekaimalu, elle a 66 dents — intermédiaire entre le grand dauphin (88 dents) et le fausse orque (44 dents). Kekaimalu s'est avérée être fertile et a eu trois petits. Le premier est décédé après quelques jours seulement. En 1991, elle donna naissance à une femelle, Pohaikaloha, qui atteignit l'âge de 9 ans. Le

23 décembre 2004, Kekaimalu accouche de son 3^e petit, encore une femelle, nommée Kawili'Kai, qu'elle a fait avec un mâle grand dauphin.

Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Wholphin>

Fausse orque à gauche (*Pseudorca crassidens*)
et grand dauphin à droite (*Tursiops truncatus*)

© OpenCage




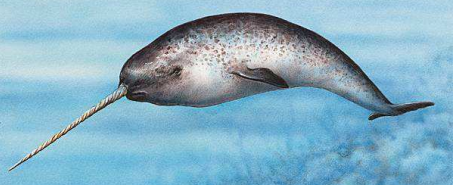
Photographie d'un wholphin

© sbingham.seabird



Document 4. Une hybridation entre bélugas (*Delphinapterus leucas*) et narvals (*Monodon monoceros*).

Les bélugas et les narvals habitent tous deux l'océan arctique et les mers périphériques. Dans les années 1980, un crâne ayant une morphologie intermédiaire entre celle de ces deux espèces a été recueilli à l'ouest du Groenland. Des chasseurs locaux ont rapporté avoir vu d'autres spécimens de forme intermédiaire dans la région. L'hybride entre le béluga et le narval (appelé narluga) doit probablement son existence au réchauffement climatique, qui modifie les zones d'habitat de certains animaux, en particulier dans les régions arctiques où vivent ces deux espèces, ce qui favorise les rencontres.

Béluga	Narval
	
Source : http://baleinesendirect.org/	Source : www.larousse.fr/ (dessin Chantal Beaumont)

Ressources complémentaires :

- P. Willis et al., « Natural hybridization between Dall's porpoises (*Phocoenoides dalli*) and harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) » (2004), *Canadian Journal of Zoology*, 82, 828-834.
- B. Kelly et al., « The artic melting pot » (2010), *Nature*, 468, 891.

Activité n°6 : un épisode de spéciation chez les Cétacés

Niveau : Terminale S

Lien avec le programme : On dit qu'une espèce disparaît si l'ensemble des individus concernés disparaît ou cesse d'être isolé génétiquement. Une espèce supplémentaire est définie si un nouvel ensemble s'individualise.

Remarques préalables : Les facteurs à l'origine de la spéciation marine sont rarement évidents, notamment parce que les océans présentent une continuité plus grande et ont moins de barrières géographiques manifestes que les environnements terrestres. De plus, dans de nombreux groupes marins, les espèces marines peuvent se répandre rapidement et largement, et les courants et passages maritimes permettent un mélange constant de pools géniques, inhibant le changement évolutif. Par conséquent, dans le cadre d'une spéciation allopatrique, la nécessité d'un isolement semble plus difficile à satisfaire dans les océans.

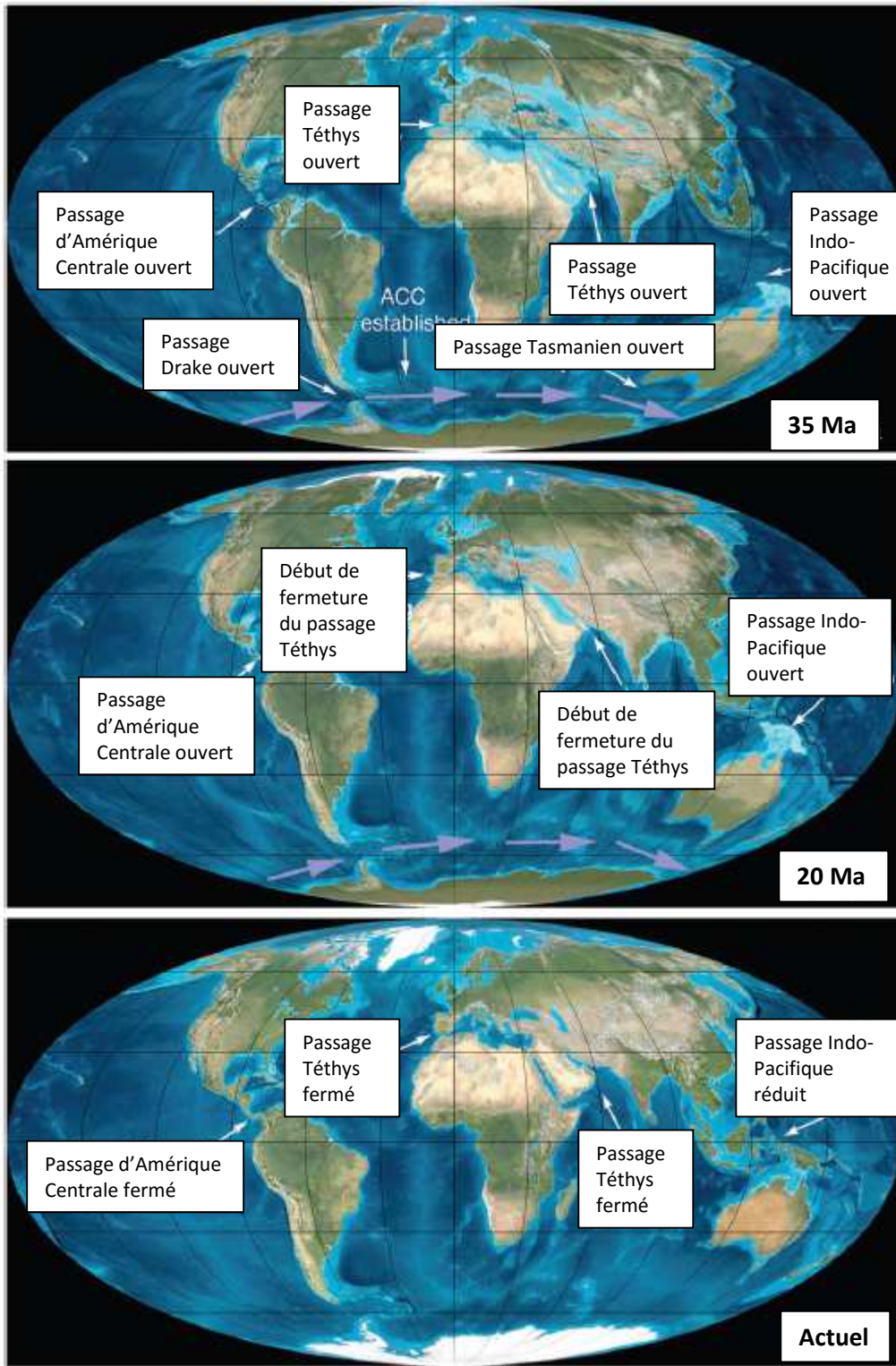
Au sein des Cétacés, on distingue les Mysticètes, qui possèdent des fanons grâce auxquels ils filtrent leur nourriture (baleines et rorquals), et les Odontocètes, qui sont des Cétacés à dents, regroupant dauphins, globicéphales, orques, marsouins, cachalots, narvals, bélugas et baleines à bec. Parmi les Odontocètes, la famille des Delphinidés comprend dauphins, orques et globicéphales.

Exploitation possible : identifier des facteurs qui ont pu être à l'origine de la spéciation chez un groupe de Cétacés : les Delphinidés.

Document 1. Des restructurations océaniques à l'ère tertiaire.

A l'ère tertiaire, de nombreux changements ont affecté la géographie physique des océans, la circulation océanique, le niveau de la mer et le climat. En particulier, deux périodes de restructurations physiques majeures des océans se sont produites, au cours desquelles des passages océaniques se sont ouverts ou fermés :

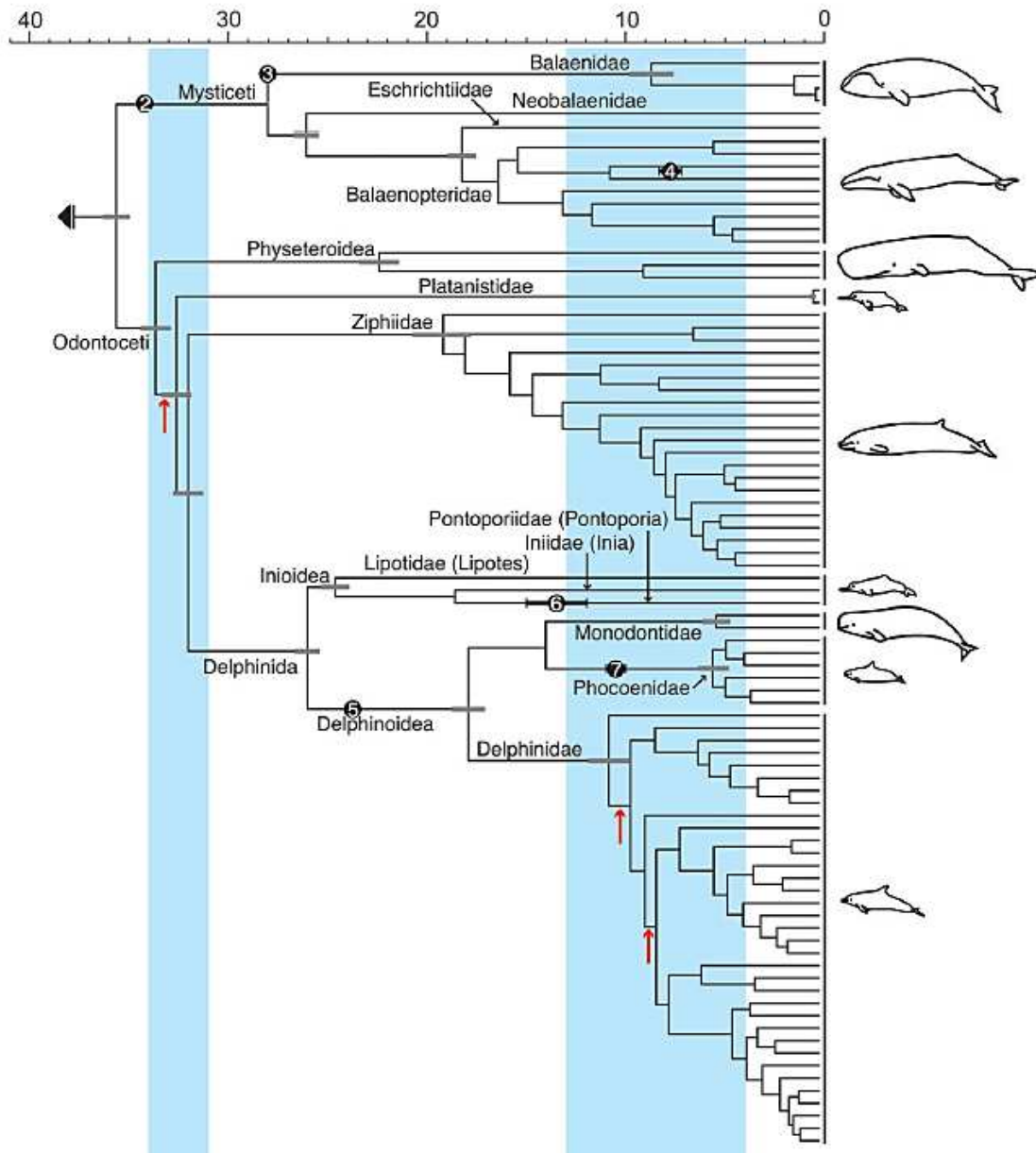
- Entre 35 et 31 Ma, ouverture tectonique du passage Drake entre l'Amérique du Sud et l'Antarctique, et du passage entre l'Australie et l'Antarctique (passage tasmanien).
- Entre 13 et 4 Ma, trois passages océaniques se sont fermés : entre 13 et 10 Ma, fermeture du passage entre la Méditerranée et l'océan indien (passage Téthys) ; entre 12 et 5 Ma, réduction du passage Indo-Pacifique ; entre 14 et 4 Ma, fermeture du passage de l'Amérique centrale. Ces fermetures ont restreint significativement les échanges entre les océans Pacifique, Atlantique et Indien. Parallèlement à ces restructurations océaniques, la productivité primaire des océans a augmenté, avec un pic de productivité vers 7 Ma.



Source : modifié d'après M.E. Steeman et al., « Radiation of extant Cetaceans driven by restructuring of the oceans » (2009), *Systematic Biology*, 58, 573-585.

Document 2. Phylogénie des Cétacés et changements environnementaux.

Phylogénie moléculaire de 87 espèces de Cétacés récents. Les flèches rouges indiquent une augmentation du taux de diversification. Les zones bleues représentent des périodes de restructurations physiques majeures des océans, au cours desquelles des passages océaniques se sont ouverts ou fermés (35-31 Ma et 13-4 Ma). Les Delphinidés correspondent au groupe indiqué « Delphinidae ».



Source : modifié d'après M.E. Steeman et al., « Radiation of extant Cetaceans driven by restructuring of the oceans » (2009), *Systematic Biology*, 58, 573-585.

Note : les auteurs de l'étude attribuent la spéciation des Delphinidés à une combinaison de plusieurs facteurs : facteurs tectoniques (restructuration physique des océans), modification de la distribution des ressources alimentaires pouvant résulter de modifications de la circulation océanique, modifications du climat et du niveau des océans.