cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

Argonimaux

Fiche pédagogique

EVOLUTION DE LA BIODIVERSITE AUSTRALE

Exemple des manchots royaux

EVOLUTION DE LA BIODIVERSITE AUSTRALE
Exemple des manchots royaux

Objectif :

Sensibiliser les jeunes aux relations qui existent entre les espèces et leur environnement, à partir de l'exemple d'une espèce du sub antarctique, le manchot royal. Les études scientifiques in situ et faisant appel aux technologies du spatial (satellites) sont nécessaires pour comprendre les évolutions des populations, notamment dans le contexte du réchauffement climatique.

Concept:

Découverte des manchots (biologie, adaptation et relations avec le milieu,…) grâce aux études in situ et satellitaires.

Utilisation et traitement de données satellites pour le suivi des colonies à terre et des individus dans le milieu marin.

Public ciblé :

Elèves du primaire et du secondaire en fonction des problématiques abordées.

Le volet traitement des données peut être développé dans le cadre du projet expérimental et numérique de l'enseignement scientifique de la classe de première et dans l'enseignement des Sciences Numériques et Technologie.

Présentation du projet :

1- Découvrir les manchots royaux

Les études scientifiques des manchots royaux permettent de mieux connaître l'espèce et de mettre en lien leurs **déplacements** marins en lien avec les variations environnementales grâce aux cartes satellites.

L'exemple des manchots royaux de l'île de la Possession (archipel de Crozet) permet de découvrir les caractéristiques et l'importance du **front polaire** sur la biodiversité antarctique.

2- Impact du réchauffement climatique

L'impact du réchauffement actuel est particulièrement surveillé en antarctique et sub antarctique :

- il peut favoriser la colonisation des îles subantarctiques par des espèces compétitrices fragilisant une faune et une flore locale souvent endémiques à fort degré de spécialisation et d'adaptation,
- il peut entraîner des changements dans les populations de krill et dans les réseaux trophiques marins.

Les manchots royaux sont donc fortement concernés par les conséquences de modifications environnementales liées au réchauffement climatique.

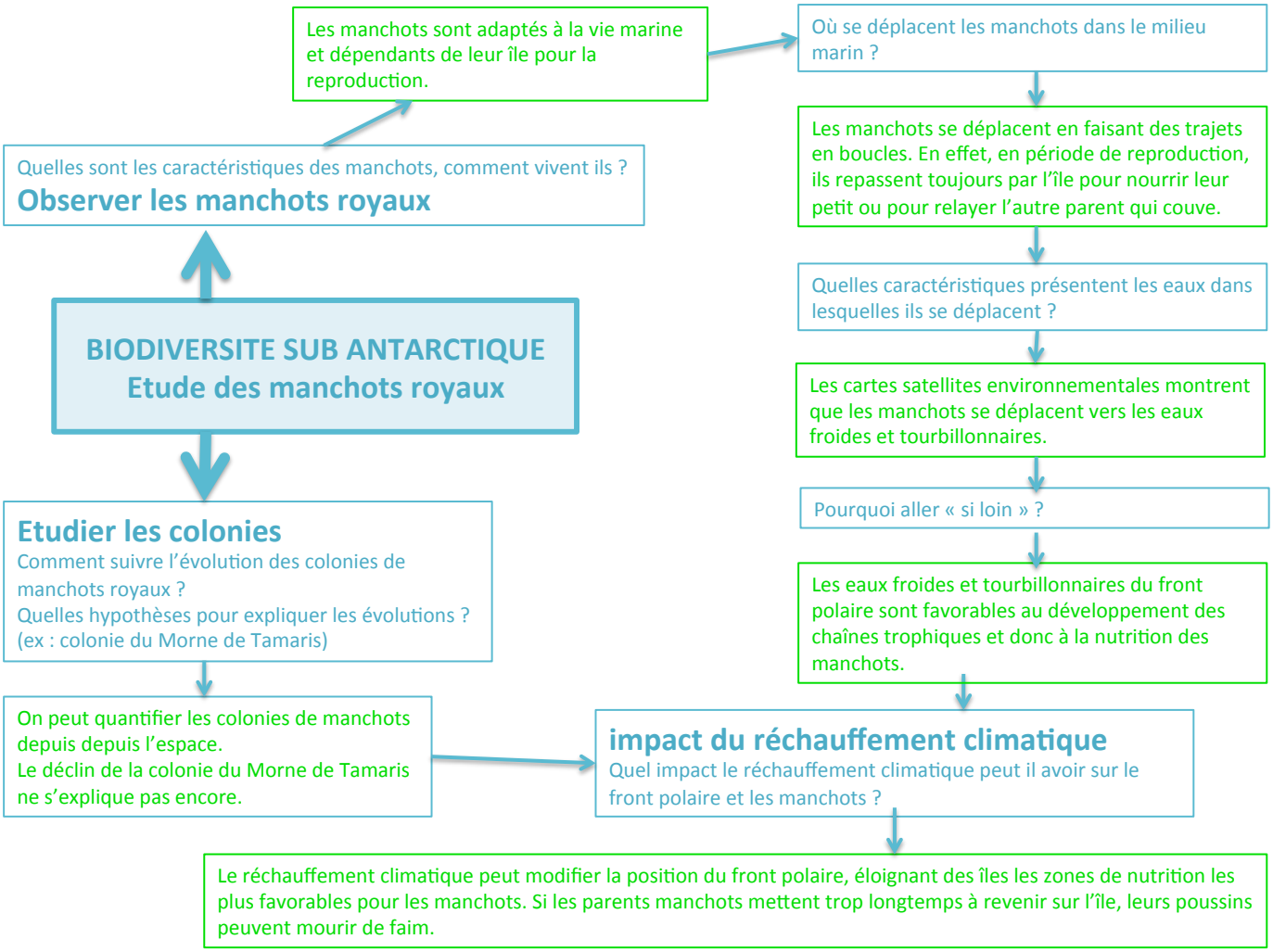
En savoir plus : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/ecologie/pdf/rapport_onerc_2008_fr_260509.pdf

3- Suivre l'évolution des colonies

Conception MobiScience Briand / CLS

Facilité par les observations par satellite, le suivi de l'évolution du nombre de manchots indique l'état de santé d'une colonie.
L'étude des manchots royaux de l'Ile aux Cochons fournit un exemple concret de démarche scientifique suivie par les chercheurs pour trouver les causes du déclin massif observé actuellement pour cette colonie.

Carte mentale du sommaire :



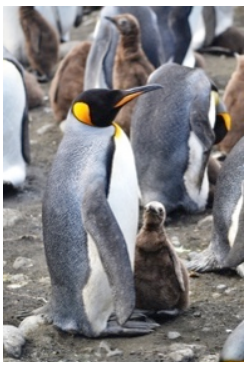
Prolongements

En annexe, deux prolongements sont proposés :
- une fiche d'activité pour étudier le déplacement d'un manchot royal afin de proposer des hypothèses sur d'éventuelles conséquences du réchauffement climatique sur son mode de vie.
- Une programmation avec Python pour compléter les données de la plate forme Argonautica, avec des données satellite de la plateforme européenne Copernicus .

Enfin, on pourra trouver les nombreuses autres ressources pédagogiques sur le suivi d'animaux par satellites sur les pages Argonimaux du site du CNES : https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/projets/argonautica/argonimaux

1-Découvrir les manchots royaux

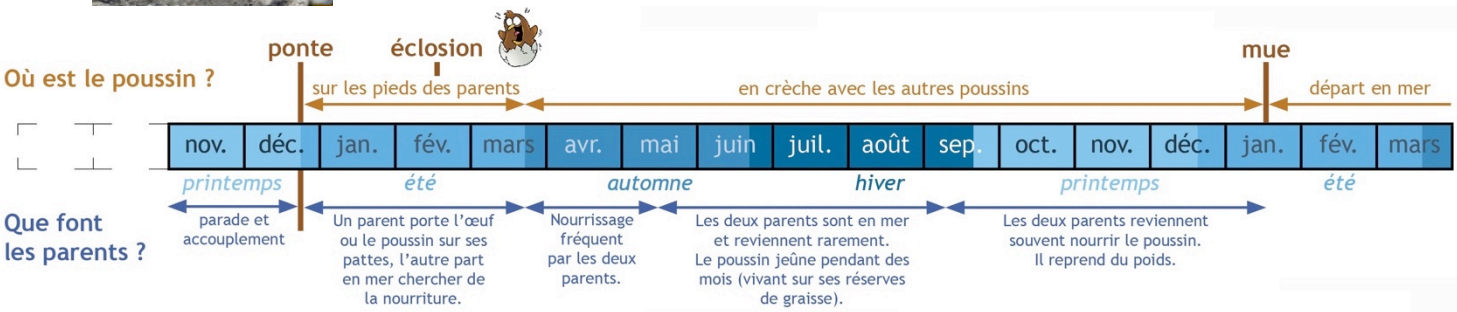
❖ Quelles sont les caractéristiques des manchots, comment vivent ils ?



Les manchots royaux vivent dans l'environnement subantarctique, partageant leur vie entre Terre et océan Austral.

Ce sont des oiseaux marins biologiquement et morphologiquement adaptés à leur environnement et à leur mode de vie (températures extrêmes, nage dans de forts courants marins, plongées en profondeur).

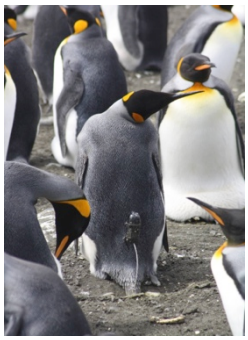
Manchot royal et son poussin. © C. Bost



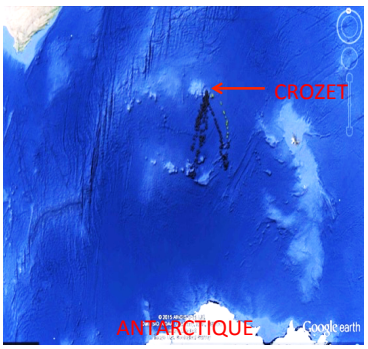
→Les manchots sont des oiseaux adaptés à la vie marine : forme du corps massive et fuselée, ailes en forme de nageoires. Ils passent leur vie dans l'océan Austral où ils se nourrissent mais sont dépendants de leur île (îles Crozet, Kerguelen,…) pour la reproduction (première année de vie et nourrissage des poussins).

❖ Où se déplacent les manchots dans le milieu marin ?

A l'aide des satellites, on peut suivre les déplacements dans l'océan austral de manchots équipés de balises ARGOS en période de reproduction. La plateforme de données Argonautica permet de découvrir les trajets de nombreux manchots équipés dans l'archipel de Crozet depuis 2003 et suivis par satellites (Fiche tutorial fournie en annexe).



Manchot royal équipé d'une balise Argos de suivi par satellite.
© C. Bost



Des trajets durant entre 12 et 25 jours en moyenne et allant jusqu'à plus de 450 km de l'île de la Possession (Archipel de Crozet). Source Google

Déplacements d'un manchot royal suivi par satellite (trajets en bleu et en rouge pour les déplacements la dernière semaine de suivi)
Source : plate forme Argonautica CNES

→ Les manchots se déplacent en faisant des trajets en boucles. En effet, en période de reproduction, ils repassent toujours par l'île pour nourrir leur petit ou pour relayer l'autre parent qui couve.

❖ Quelles caractéristiques présentent les eaux dans lesquelles les manchots se déplacent ?

En plus des trajets des manchots, la plateforme de données Argonautica (Fiche tutorial ci-dessous) fournit des cartes satellites environnementales, notamment la température de l'eau, les vents… Ces données permettent de caractériser les zones dans lesquelles se déplacent les manchots, de faire des comparaisons entre les années.

cnes

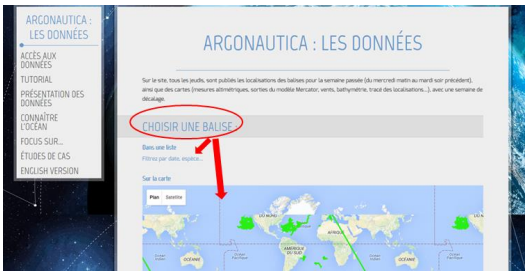
Fiche élève

Utilisation de la plateforme Argonautica

1- Aller sur la page d'accueil ARGONAUTICA : LES DONNEES Argonautica.jason.oceanobs.com

2- Choisissez une balise en cliquant :

- **soit à partir de la liste,**
- **soit à partir de la carte**

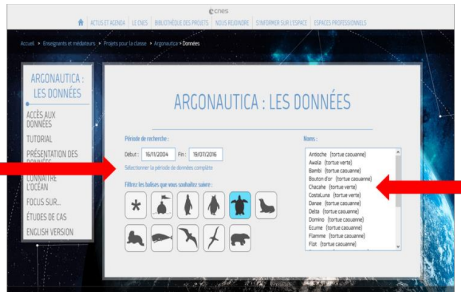


3- Choisir le groupe (bouées ou animaux)

(Exemple : tortues)

4- Choisir la balise à suivre en cliquant sur son nom

Important : Seules les balises suivies cette année apparaissent. Pour avoir la liste de toutes les balises, cliquer sur : *Sélectionner la période de données complète*

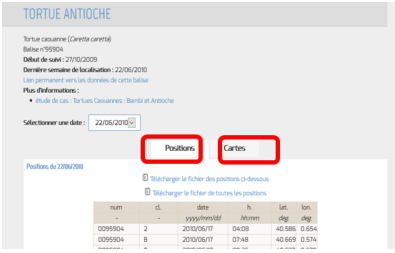


Cliquer sur le nom

5- Accéder aux données en cliquant

- sur Positions pour avoir les coordonnées latitude/longitude

- sur Cartes pour avoir la carte de déplacement de la balise et toutes les cartes environnementales.



N.Briand

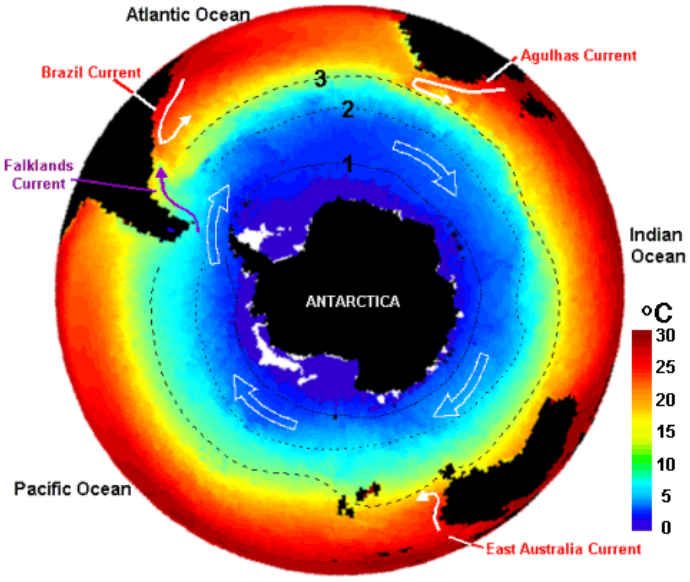
→Les manchots royaux de l'île de la possession se déplacent vers des eaux froides et tourbillonnaires.

❖ Pourquoi aller si loin dans des eaux si froides ?

Les manchots royaux de l'île de la possession se déplacent vers des eaux froides et tourbillonnaires très éloignées de l'île avant de revenir nourrir leur petit ou relayer l'autre parent qui couve.

L'observation satellite de l'hémisphère sud permet de comprendre pourquoi les manchots réalisent ces déplacements lointains (jusqu'à 450 kilomètres aller/retour).

Le brassage des eaux chaudes des océans Indien, Atlantique et Pacifique sud et des eaux froides de l'océan Austral (antarctique) entraîne la formation de nombreux courants tourbillonnaires et permet des échanges (température, salinité, …).



Source : NOC from SST climatology data

Températures océaniques de l'océan Austral en été.
On distingue trois zones où le changement de température du Nord au Sud est particulièrement rapide:
1) Le front polaire
2) Le front subantarctique ,
3) Le front subtropical (limite nord de l'océan Austral)
(Flèches blanches : sens d'écoulement du courant

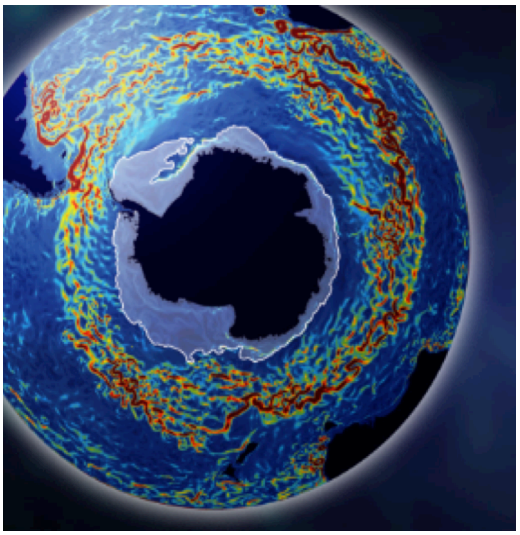


Image courtesy of M. Mazloff, MIT.
Source: San Diego Supercomputer Center, UC San Diego

Une frontière naturelle tourbillonnaire: le front polaire.
Modélisation de la vitesse des eaux dans l'hémisphère sud:
- en bleu/vert : courants lents
- en orange/rouge : courants rapides

Les conditions environnementales particulières au niveau du front polaire favorisent le développement de grandes concentrations de phytoplancton et de krill, base des chaînes alimentaires océaniques. On observe ainsi une abondance de poissons et un développement important de la vie océanique dans cette zone de turbulences.

→ Les eaux froides et tourbillonnaires vers lesquelles se déplacent les manchots royaux forment le « front polaire » propice au développement des chaînes trophiques. Ce sont des zones de nutrition favorables pour les manchots.

2-Impact du réchauffement climatique

❖ Quel impact le réchauffement climatique peut il avoir sur le front polaire et les manchots ?

Les eaux froides et tourbillonnaires du « front polaire » austral favorisent le développement du phytoplancton et du krill, base des chaînes alimentaires océaniques. On y observe ainsi un développement important de la vie océanique.

Les manchots royaux de l'île de la possession (archipel de Crozet) viennent dans cette zone de turbulences pêcher des poissons en accomplissant plusieurs dizaines de plongées par jour, avant de revenir sur leur île nourrir leur petit en régurgitant.

Quelles conséquences le réchauffement climatique peut il avoir sur le front polaire et sur les espèces qui s'y développent ?

Les pôles sont les endroits du globe où les conséquences du réchauffement climatique sont les plus violentes.
Dans l'océan Austral, les modèles climatiques indiquent que le réchauffement des eaux peut entraîner un déplacement du front polaire bien plus au sud, plus prés de l'antarctique (de l'ordre de 400 km plus au sud qu'actuellement).

Les « poissons lanternes » constituent l'essentiel du régime alimentaire du manchot royal, ils vivent et se déplacent avec les eaux froides du front polaire.

Les populations de manchots royaux n'ont pas toujours été séparées (leurs patrimoines génétiques sont très proches) : les manchots ont sans doute trouvé refuge sur les îles morcelées du subantarctique suite à un changement climatique.
Cependant une nouvelle migration semble compliquée : il n'y a plus que très peu d'îles entre leurs lieux de reproduction actuels et l'Antarctique. De plus, ces territoires, déjà peuplés par d'autres espèces, sont petits pour accueillir des colonies de manchots aussi grandes que celles d'aujourd'hui.
Il est également peu probable que les manchots connaissent une modification rapide de leur régime alimentaire permettant un remplacement d'une nutrition à base de poissons lanternes par d'autres proies.

→Le réchauffement climatique peut modifier la position du front polaire, éloignant cette zone de nutrition favorable des îles de reproduction des manchots. Les trajets (et donc la durée des déplacements des manchots) peuvent considérablement augmenter, voir doubler.

En période de nourrissage, si les parents manchots mettent trop longtemps à revenir sur l'île, la durée du voyage alimentaire peut dépasser les capacités de résistance au jeûne des poussins entre deux nourrissages qui peuvent mourir de faim.

Les chances de survie des manchots face au réchauffement climatique dépendent des possibilités d'adaptation au niveau comportement : faire des déplacements en revenant plus fréquemment nourrir les petits, prélever des proies plus « énergétiques », se déplacer au sud pour la reproduction vers la Péninsule Antarctique… mais restent bien minces si le réchauffement se poursuit.

Certains chercheurs estiment que 70% de la population de manchot royal devrait s'éteindre très rapidement.

3-Etudier les colonies de manchots

❖ Comment suivre l'évolution des colonies de manchots royaux ?

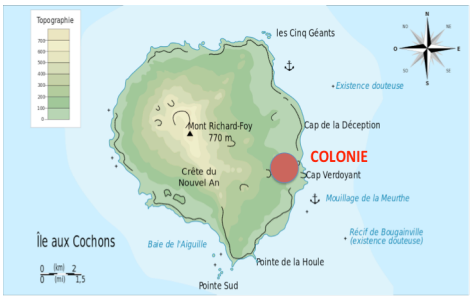
Exemple des manchots royaux de la colonie du Morne de Tamaris de l'île aux Cochons : comment suit on la colonie et quelle évolution connaît cette population ?

La colonie dite « du Morne du Tamaris » a été découverte en 1962 par une équipe cartographique.

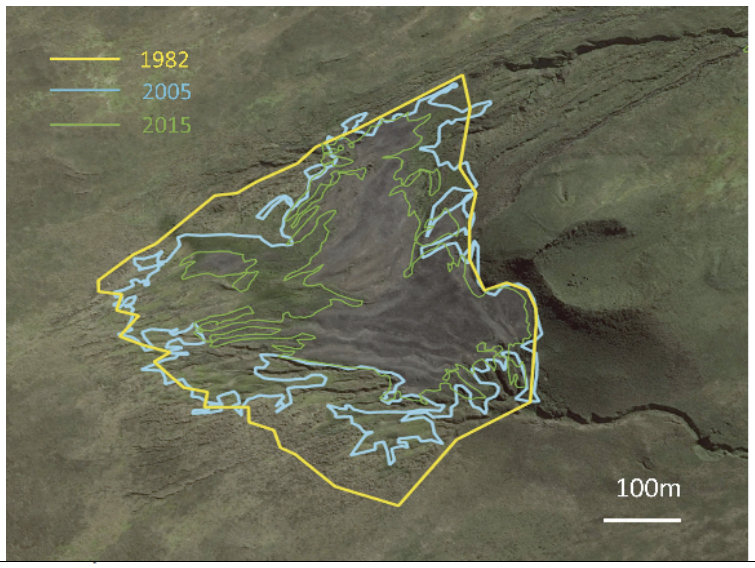
© C. Bost

Regroupés prés d'un ancien cône volcanique (le Morne du Tamaris, 144 m d'altitude), les manchots « couvent » leurs œufs sur leurs pieds sur des sols non végétalisés. On observe au minimum 1,6 individu par mètre carré.

Ile aux Cochons (67 km2), l'une des trois plus grandes îles de l'archipel de Crozet



Treehill CC BY-SA 3.0



Les observations par hélicoptère ou par satellite permettent de distinguer le sol nu des zones végétalisées.

Contours des zones de sol nu en 1982, 2005 et 2015 tracés sur l'image satellite de 2015 du Morne du Tamaris.

Images extraites deWeimerskirch, H., Le Bouard, F., Ryan, P., & Bost, C. (2018). Massive decline of the world's largest king penguin colony at Ile aux Cochons, Crozet. *Antarctic Science*, *30*(4), 236-242. doi:10.1017/S0954102018000226

Date	Survey method	Colony area (m^2)	Area occupied by breeding pairs (m^2)	No. of breeding pairs	Reference
End Dec 1962	Helicopter, vertical		198 000	317 000	Bauer 1967
15 Feb 1982	Helicopter, vertical	314 000		502 400	Institut Géographique National, Guinet *et al.* 1995
19 Jan 1988	Spot satellite	308 500		494 000	Guinet *et al.* 1995
24 Jan 2005	WordlView-3 VHR satellite	223 200			
20 Jan 2015	WorldView-3 satellite	120 549	47 900	76 640	
30 Dec 2016	Helicopter, oblique			50 926	ACE cruise
18 April 2017	WorldView-3 satellite	114 052	37 284	59 200	

Estimations de la surface de la colonie à partir des photographies prises par hélicoptère et imagerie satellitaire pour la colonie de l'Ile aux Cochons du Morne du Tamaris et du nombre de couples reproducteurs.

→ Les observations par hélicoptère ou par satellite permettent de distinguer la surface occupée par la colonie. A raison d'un minimum d'1,6 individu par m2 (densité observée), on peut estimer le nombre de manchots.

Après une augmentation entre 1962 et 1982, la colonie du grand Morne a diminué, avec un déclin très important entre 1988 et 2015.

❖ Quelles hypothèses pour expliquer les évolutions de population ?

(ex : colonie des manchots royaux du Morne de Tamaris, de l'île aux cochons -archipel de Crozet-)

Alors que le nombre de manchots de l'Ile de la Possession (archipel de Crozet), des îles Marion (900 km à l'ouest) et Kerguelen (1200 km est-sud-est) est resté relativement stable (ou a augmenté), la colonie du Morne de Tamaris de l'Ile aux Cochons a diminué de 85% entre 1988 et 2015, passant de 494 000 à 76 000 couples.
Afin de comprendre et trouver les causes de ce déclin spécifique à l'Ile aux Cochons, les scientifiques ont travaillé sur la base de différentes hypothèses.

Quelles hypothèses ont été étudiées et quels résultats les études et observations ont elles apporté ?

Les manchots royaux sont relativement fidèles à leur lieu de naissance et à leur premier lieu de reproduction. Il semble peu probable que les adultes et les jeunes de l'Ile-aux-Cochons aient un autre comportement.

Des introductions animales et végétales dans les Terres australes françaises ont eu lieu en relation avec l'occupation humaine : exploration et d'exploitation baleinière et phoquière (19ème et début du 20ème siècle) puis installation des bases scientifiques permanentes (milieu du 20ème siècle).
Des chats sauvages et des souris sont ainsi observés, en petit nombre, sur l'île aux Cochons. Même si le comportement de ces deux espèces a changé ces dernières années à l'égard de la faune indigène (souris et chats attaquant les poussins albatros), ces espèces ne sont pas prédatrices des poussins de manchots royaux.

Les tiques sont vectrices de la maladie de Lyme chez les manchots royaux. Une infestation massive de tiques engendrerait une mortalité très massive et rapide.

La colonie est bien à l'intérieur des terres et ne devrait donc pas être touchée par un tsunami. Aucune éruption volcanique n'est observée sur place ou sur les images satellites ou les photographies d'hélicoptères.

En 1997, une forte manifestation climatique (Dipôle indien subtropical, phénomène d'El-Nino) a affecté les capacités de recherche de nourriture des manchots royaux sur l'Ile de la Possession avec des conséquences négatives sur la reproduction et la taille des colonies. La population s'est ensuite rétablie. Il existe ainsi des fluctuations des colonies en réponse à des événements climatiques à grande échelle.
La population de l'Ile-aux-Cochons, la plus grande à l'époque, aurait elle été plus sévèrement impactée en raison de sa densité ? Quelles sont les caractéristiques des lieux où ils vont se nourrir ? Les conditions de nutrition varient elles ? La pose de balises Argos permettant le suivi par satellite est nécessaire pour prolonger l'étude de ces manchots en mer.

→ Les hypothèses qui pourraient expliquer le déclin massif dans cette colonie : maladies, parasites, prédateurs, événements naturels n'expliquent actuellement pas le déclin qui se poursuit pour la colonie du Morne de Tamaris.
L'hypothèse de conditions défavorables pour la recherche de nourriture nécessite une étude en mer de ces manchots, permise grâce au suivi par satellite. Le réchauffement climatique serait il impliqué dans une modification des conditions de nutrition ?

ANNEXES

→ Prolongement 1 : Activité élève (Cycles 3/4)

Activité : j'étudie le déplacement d'un manchot royal afin de proposer des hypothèses sur d'éventuelles conséquences du réchauffement climatique sur son mode de vie .

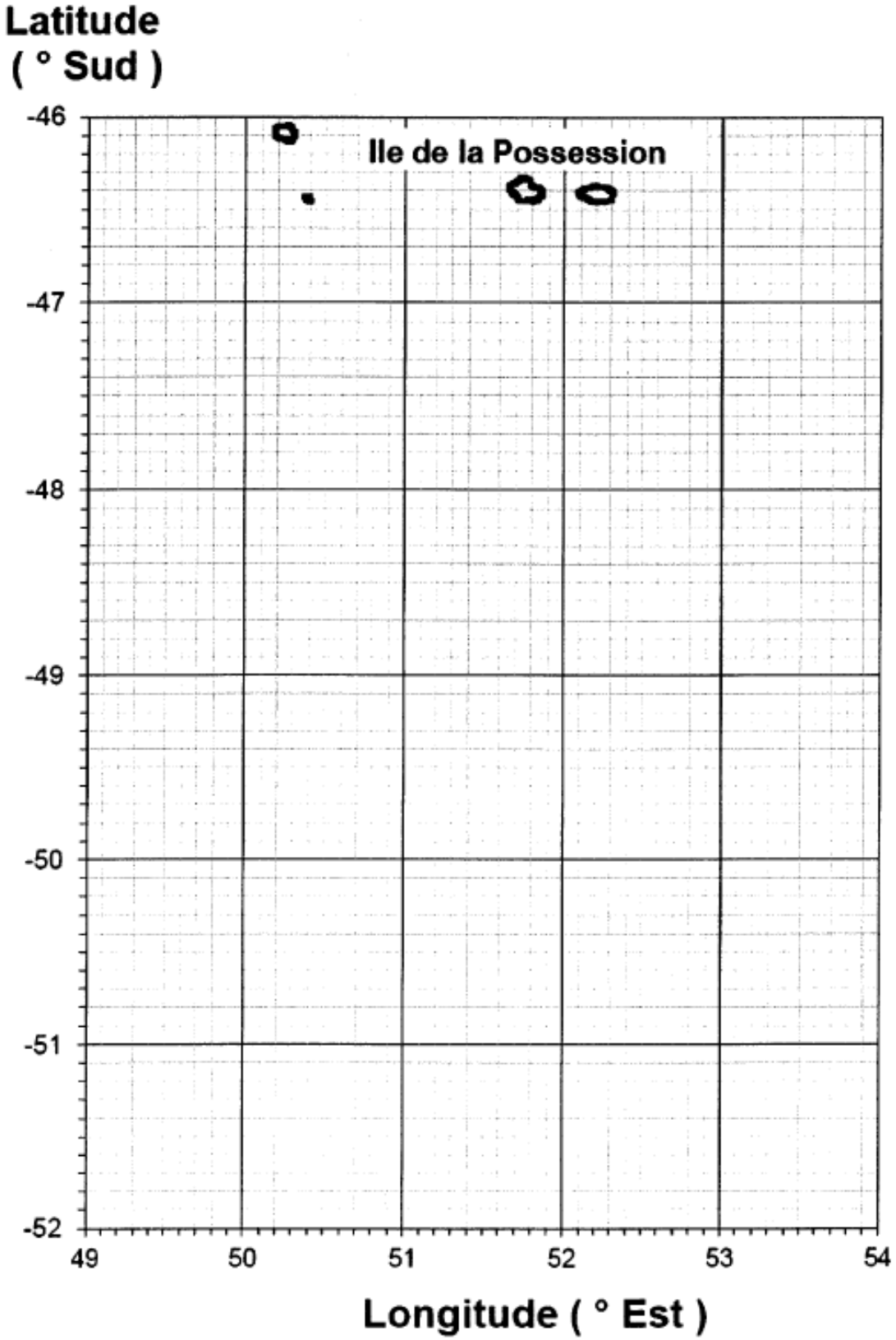
Les chercheurs travaillent sur les conséquences du réchauffement climatique sur le mode de vie des manchots royaux (nutrition, reproduction,habitats) qui vivent sur les îles antarctiques. Vous intégrez l'équipe de chercheurs et devez suivre et tenter d'expliquer les déplacements du manchot Mounié. Celui-ci, équipé d'une balise argos, a pu être suivi pendant quelques semaines.
Vous disposez des coordonnées de positionnement de cet animal sur le globe (document 1) .
1- En mathématiques : tracez le trajet du manchot royal Mounié entre le 16/12/2014 et le 03/01/2015. Pour cela : **placez les points** géographiques sur le fond de carte (document 2) et **reliez - les** pour visualiser le trajet du manchot Mounié.
2 – En mathématiques : **calculez les vitesses** de déplacement du manchot Mounié (en Km / H) le 2014/12/23 entre 13:46 et 14:46 sachant que le manchot a parcouru 20 Km durant ce laps de temps, et, le 2014/12/31 entre 14:40 et 16H10 sachant qu'il a parcouru la même distance.
(vitesse = distance : temps)
3- En S.V.T. : **proposez des hypothèses** pour expliquer ces trajets (qu'est-ce qui guide ces déplacements ?) :
- Pourquoi le trajet du manchot fait-il une boucle , de direction Nord / Sud c'est à dire qu'il part des îles de Crozet , va en mer plus au Sud puis revient vers l'île ?
- Pourquoi le manchot revient -il exactement au même endroit sur l'île (points 1 et 14) entre le 16/12/2014 et le 03/01/2015 ?
- Pourquoi le manchot Mounié ne se déplace pas toujours à la même vitesse (il accélère parfois) ?
4- En S.V.T. : Réalisez une ou deux (maximum) page(s) open - office pour **présenter le résultat de vos recherches**.

Document 1 : Positions du manchot royal « Mounié » du 16 décembre 2014 au 3 janvier 2015

num	cl.	date	h.	lat.	lon.
-	-	yyyy/mm/dd	hh:mm	deg.	deg.
0132116	B	2014/12/16	14:16	-46.423	51.856
0132116	3	2014/12/20	13:45	-46.427	51.859
0132116	0	2014/12/23	13:46	-47.017	51.621
0132116	1	2014/12/24	14:10	-47.247	51.742
0132116	2	2014/12/25	13:48	-47.501	51.837
0132116	0	2014/12/26	13:55	-47.847	51.856
0132116	1	2014/12/27	14:06	-48.252	51.496
0132116	B	2014/12/28	13:55	-48.342	51.245
0132116	B	2014/12/29	13:44	-48.227	50.807
0132116	B	2014/12/30	13:24	-48.154	50.592
0132116	1	2014/12/31	13:04	-47.821	50.602
0132116	1	2015/01/01	14:05	-47.403	50.854
0132116	2	2015/01/02	13:32	-46.943	51.303
0132116	B	2015/01/03	02:54	-46.466	51.889

Document 2

Fond de carte : Sud de l'archipel de Crozet



Source : http://suivi-animal.u-strasbg.fr/manaround.html#vierge - DR

Scénario pédagogique :

Problématiques	Questions à résoudre	Nos hypothèses	Pistes de recherche	Nos réponses au problème (validation ou réfutation de nos hypothèses)
Pourquoi le trajet du manchot fait-il une boucle, de direction Nord / Sud c'est à dire qu'il part des îles de Crozet , va en mer plus au sud puis revient vers l'île ?	Où vivent les manchots royaux ? Quelles sont les caractéristiques des zones fréquentées (îles de Crozet, zone marine entre les iles et l'antarctique) ? Pourquoi se déplace t-il en faisant de boucles et pourquoi vers la zone marine au Sud ?		**Thème de recherche 1** Caractéristiques et classification du manchot royal : nom scientifique, taile, poids moyen, longévité,attributs physiques, particularités, place dans la classification actuelle.	
Pourquoi le manchot revient -il exactement au même endroit sur l'île (points 1 et 14) ?	Quelles sont les caractéristiques de la zone sur l'île où le manchot revient toujours ? Qu'y font les manchots ? (s'y reproduisent-ils , s'y nourissent-ils? Comment vivent ces manchots ?)		**Thème de recherche 2** Milieu de vie et adaptations au milieu marin et au froid.	
Pourquoi le manchot mounié s'est-il déplacé plus vite du point au point ?	Comment se déplace ce manchot ? Nage t-il le jour ou la nuit ? Pourquoi le manchot mounié a t-il accéléré ?		**Thème de recherche 3** Reproduction et cycle de vie **Thème de recherche 4** Nutrition et prédateurs	

Compétences travaillées :

Réaliser un graphique	- Les 14 points sont bien placés - Les points sont reliés, proprement
Réaliser un calcul	- Les calculs sont détaillés - Les résultats sont exacts - Une phrase de réponse est rédigée
Formuler des hypothèses	- L'hypothèse est cohérente, en rapport avec le problème - L'hypothèse est rédigée sous forme d'une phrase qui commence par " je pense que..."
Présenter ses résultats sous la forme d'un texte, sous format numérique	- La mise en page est judicieuse - Le texte est en français correct : accords,ponctuation. - L'orthographe est correcte - Les informations contenues dans le texte répondent clairement à la question (explications claires, vocabulaire précis et adapté) - Les informations trouvées sur internet ont été remaniées (pas de copier/ coller)

→ Prolongement 2 : Utilisation de données satellites complémentaires à l'aide de Python

Pour compléter les données de la plate forme Argonautica, on peut utiliser des données satellite de la plateforme européenne Copernicus en utilisant la programmation avec le langage Python.

On peut ainsi par exemple obtenir une donnée de température en un point donné.

Obtenir une donnée de température en un point donné

Voici un programme Python qui permet d'obtenir la température de l'eau en un point donné.
La valeur de la température est obtenue en degrés Kelvin (unité de température du système international de mesures).

Lignes de code	Action correspondante :
`from owslib.wms import WebMapService`	Permet de lire la donnée sur la base européenne de données

`annee = '2007'`
`mois = '01'`
 	
`nom = 'pigloo'`
`malongitude = XX`
`malatitude = -XX`
	-Ecrire entre côtes (' et ') l'année *(de 2003 à l'année en cours)* et le mois *(01 pour janvier, 02 pour février, 03 pour mars, 12 pour décembre)* pendant lequel le manchot a été le plus suivi.
	-Ecrire le nom du manchot
	-Ecrire les coordonnées du point étudié : *malongitude* et malatitude (valeur latitude négative dans l'hémisphère sud) (*Ces coordonnées se trouvent sur le tableau de localisation des données Argonautica*)

`if annee >= '2007':`
`  serveur = 'http://nrt.cmems-du.eu/thredds/wms/METOFFICE-GLO-SST-L4-NRT-OBS-SST-MON-V2'`
`else:`
`  serveur = 'http://my.cmems-du.eu/thredds/wms/METOFFICE-GLO-SST-L4-RAN-OBS-SST-MON'`
	Cette programmation détermine le serveur sur lequel est la donnée de température (avant janvier 2007 il est sur un serveur, après 2007 sur un autre).
	
	Attention au décalage (tabulation), nécessaire après *if* et *else*.

`wms = WebMapService(serveur)`
`response = wms.getfeatureinfo(`
`  layers=['analysed_sst'],`
`  query_layers=['analysed_sst'],`
`  srs='EPSG:4326',`
`  bbox=(malongitude-0.25,malatitude 0.25,malongitude+0.25,malatitude+0.25),`
`  size=(3,3),`
`  xy=(1,1),`
`  time=annee+'-'+mois+"-15T12:00:00.000Z",`
`  info_format="text/xml")`
	Cette programmation permet de récupérer la température de l'eau au point de coordonnées *malongitude/malatitude* sur le serveur.

`ficres = "stat_" + nom + ".xml"`
`out = open(ficres, 'wb')`
`out.write(response.read())`
`out.close()`
	Cette ligne permet de sauver le résultat de température dans un fichier.
	La valeur de la température se trouve entre <value> et </value>. On peut ouvrir le fichier dans un éditeur de texte ou un navigateur web.

On peut de la même façon obtenir la température de l'eau juste au sud de l'île de la Possession de l'archipel de Crozet en saisissant les coordonnées *malongitude* = 51.9200 et *malatitude* = -46.4500 au début du programme.

Convertir la température en degrés Celsius et l'afficher à l'écran

Les températures obtenues étant en degrés Kelvin, le petit programme ci-dessous permet de les convertir en degrés Celsius.

Lignes de code	
`TemperatureKelvin = XXXX`	Ecrire la température obtenue précédemment dans le fichier xml
`TemperatureCelsius = TemperatureKelvin – 273.15`	La température en Kelvin est convertie en Celsius (la valeur 273.15 (zéro absolu) est retirée)
`Print("temperature moyenne en °C :", TemperatureCelsius)`	Cette programmation affiche le résultat à l'écran

→ En comparant plusieurs manchots différents, les élèves pourront constater que les manchots vont à chaque fois vers des eaux froides avant de revenir sur l'île.

Ces deux programmes sont explicités ici ligne par ligne :

Lignes de code	
`from owslib.wms import WebMapService`	Importe la fonction « WebMapService » de la bibliothèque owslib.wms qui va lire directement la donnée sur la base de données (on n'utilise que cette fonction dans cette bibliothèque)

`annee = '2007'`
`mois = '01'`
 	
`nom = 'pigloo'`
 	
`malongitude = XX`
`malatitude = -XX`
	On définit une année et un mois sur lequel le manchot aura été localisé en majorité.
	L'année peut être de 2003 à l'année en cours
	Le mois doit être sur deux caractères ; typiquement c'est 01 (janvier) ou 02 (février) ; plus rarement 12 (décembre) ou 03 (mars)
	Attention, ce sont des chaînes de caractères (entre ' et ') et non des nombres. On ne va effectivement les utiliser que comme du texte dans l'information de date.

`if annee >= '2007':`
`  serveur = 'http://nrt.cmems-du.eu/thredds/wms/METOFFICE-GLO-SST-L4-NRT-OBS-SST-MON-V2'`
`else:`
`  serveur = 'http://my.cmems-du.eu/thredds/wms/METOFFICE-GLO-SST-L4-RAN-OBS-SST-MON'`
	On détermine le serveur sur lequel est la donnée de température ; avant janvier 2007 il est sur un serveur, après (2007 inclus) sur un autre.
	(NB. > et < marchent, même si l'année est ici une chaîne de caractères et non un nombre : les chaînes de caractères peuvent s'ordonner par ordre « alphabétique » ou « alphanumérique »)
	Attention à l'indendation, nécessaire après if et else.

`wms = WebMapService(serveur)`
`response = wms.getfeatureinfo(`
`  layers=['analysed_sst'],`
`  query_layers=['analysed_sst'],`
`  srs='EPSG:4326',`
 	
`bbox=(malongitude-0.25,malatitude 0.25,malongitude+0.25,malatitude+0.25),`
`  size=(3,3),`
`  xy=(1,1),`
 	
`  time=annee+'-'+mois+"-15T12:00:00.000Z",`
`  info_format="text/xml")`
	# on appelle la donnée en ligne via le protocole 'wms' (web mapping service) et sa fonction 'getFeatureInfo' qui fournit de l'information sur le « layer » indiqué c'est-à-dire la donnée par le nom défini sur le serveur (ici analysed_sst),
	Srs indique le système de coordonnées terrestre dans lequel la donnée a été faite.
	bbox définit une zone autour du point dont les coordonnées ont été saisis plus haut
	size indique la taille de la zone en pixels, ici 3 pixel x 3 pixels
	xy est le point sur lequel on veut récupérer la donnée ((1,1) est ici au centre de la zone 3x3).
	time : la date pour ces données de moyennes mensuelles de température est définie comme le 15 du mois à 12h00min00s ; le reste (année, mois) qui importe vraiment est défini plus haut.
	Info_format donne le format du fichier qui est produit (pas d'autre choix possible que .xml).

`ficres = "stat_" + nom + ".xml"`
`out = open(ficres, 'wb')`
`out.write(response.read())`
`out.close()`
	Sauver le résultat dans un fichier
	#On créé un nom de fichier en utilisant le nom du manchot, sachant que c'est un .xml

	On ouvre ce fichier en écriture (open) On y écrit ce qui a été récupéré ci-dessus dans 'response' Et on ferme ce fichier, pour ne pas garder l'information dans la mémoire vive de l'ordinateur On peut ouvrir le fichier dans un éditeur de texte ou un navigateur web. La valeur de la température est entre <value> et </value>. ; à noter qu'elle est en degrés Kelvin (l'unité de température du système international de mesures)

Convertir la température en degrés Celsius et l'afficher à l'écran

Lignes de code	
`TemperatureKelvin = XXXX`	On entre la température telle qu'on l'a lue dans le fichier xml
`TemperatureCelsius = TemperatureKelvin – 273.15`	La température en Kelvin est décalée de 273.15 (zéro absolu) par rapport à celle en Celsius ; on retire donc cette valeur.
`Print("temperature moyenne en °C :", TemperatureCelsius)`	On affiche le résultat à l'écran

Calculer les distances parcourues entre points successifs *(Programmation à venir)*

Calculer la vitesse de déplacement *(Programmation à venir)*