



**Muséum National
d'Histoire Naturelle
de Paris**

*Laboratoire des Reptiles et Amphibiens
25 rue Cuvier
75005 Paris*



Ecologie, Systématique et Evolution

Université Paris-Sud / CNRS / ENGREF - UMR C8079
Bât. 362 - 91405 Orsay cedex France
<http://www.ese.u-psud.fr>



**Conséquences sur les tortues marines des perturbations
anthropiques liées à la prospection pétrolière**

Par

Marc Girondot,

*Professeur d'Ecologie et Environnement
à l'Université Paris Sud
Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution,
Université Paris-Sud et CNRS*

*Professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris
Laboratoire des Reptiles et Amphibiens*

marc.girondot@u-psud.fr

Avec les contributions de Hélène Roche, Marie-Clélia Godgenger et Elodie Guirlet
du Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, Université Paris-Sud et CNRS

Version du 15 juin 2007

Rapport effectué à la demande de :



**Parc Euromédecine 2
39 rue Jean Giroux
34080 Montpellier - France**



1. Résumé - Abstract

Français

Les eaux de la Guyane française accueillent environ 26 espèces de cétacés et 4 tortues marines qui sont toutes protégées en particulier *via* deux conventions internationales signées par la France et deux protocoles. La France a en particulier obligation de prévenir une modification significative et nuisible du milieu marin de la zone d'application de la Convention et d'empêcher les espèces susmentionnées de voir leur statut se dégrader.

Dans l'hypothèse d'une exploitation pétrolière, il semblait important d'avoir des critères permettant de mesurer une gêne vis-à-vis des tortues marines qui passent dans la zone de forage. Nous montrons que la forme de la saison de ponte est un critère objectif permettant de définir une anomalie de comportement moyen à l'échelle de la population. Deux modèles statistiques sont implémentés en fonction de l'intensité de fréquentation de la plage et un exemple permet de visualiser comment une anomalie liée à une érosion d'une plage est détectée.

Avant toute exploitation pétrolière, il apparaissait indispensable de savoir si une contamination par des composés d'origine pétrogénique de type HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) étaient présents dans l'environnement. Nous montrons la présence de 2 HAPs sur la plage de Yalimapo et 3, dont les deux présents dans le sable, dans les œufs de tortues luths. Cette étude pourra servir de référence de contamination de l'environnement avant toute exploitation pétrolière.

Enfin, une étude bibliographique sur la faisabilité de suivi de la faune pélagique par survol aérien a été faite. Nous montrons que cette méthodologie est utilisée couramment, notamment aux Etats-Unis, et un premier essai effectué en Guyane française est très satisfaisant.

Anglais

Offshore waters of French Guiana host approximately 26 species of cetaceans and 4 species of marine turtles which are all protected by two international conventions signed by France and two protocols. France has the obligation to prevent a major and harmful change of marine habitat in the Convention application area and must prevent a status degradation of the listed species.

In the hypothesis of petroleum exploitation, it was important to be able to measure an awkwardness of marine turtles in the region of exploitation. We show that the nesting season shape is an objective criterion that can be used to define an average comportment at the population level. Two statistical models have been implemented depending on the level of frequentation of nesting beach. An example is used to show that an anomaly is detected on the shape of nesting season due to environmental constraint, here the beach erosion.

Before any petroleum extraction, it was necessary to know if a contamination by petrogenic compounds was already observed in the environment. We show that two PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbon) are present in the sand of nesting beach and three (the two

previous and another one) are present in the eggs of marines turtles. This study could be used in the future as a reference baseline for contamination of environment.

Finally, bibliographic studies have been conducted concerning the aerial survey of offshore water to monitor the pelagic fauna. We show that this methodology is classically used, particularly in USA, and a first trial done in French Guiana has given satisfactory results.

Conséquences sur les tortues marines des perturbations anthropiques liées à la prospection pétrolière

2. Plan

1. Résumé - Abstract	2
2. Plan	4
2.1. Liste des figures	6
3. Les tortues marines en Guyane française	8
3.1. Caractéristiques générales des Tortues marines	8
3.1.1. La tortue luth <i>Dermochelys coriacea</i> (Leatherback).....	8
3.1.2. La tortue verte <i>Chelonia mydas</i> (Green turtle).....	13
3.1.3. La tortue olivâtre <i>Lepidochelys olivacea</i> (Olive Ridley)	14
3.1.4. La tortue imbriquée <i>Eretmochelys imbricata</i> (Hawksbill)	16
3.1.5. La caouanne <i>Caretta caretta</i> (Loggerhead).....	17
3.2. La ponte des tortues marines en Guyane française et au Suriname	19
4. Utilisation du milieu marin au large de la Guyane française par les tortues marines. 21	
4.1. Modèle mathématique décrivant la saison de ponte des tortues marines	21
4.1.1. Formulation du modèle.....	21
4.1.2. Patron intra-saison	21
4.1.3. Estimation des paramètres	21
4.2. Résultats de la modélisation de la saison de pontes	23
4.2.1. Périodes de pontes.....	23
4.2.2. Utilisation d'une distribution de Poisson.....	24
4.2.3. Synchronisme au sein de la saison.....	25
4.3. Démonstration de la détection d'anomalie dans la période de ponte	27
4.4. Valorisation	29
5. Contamination de l'environnement par des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs)	30
5.1. Les dérivés pétroliers	30
5.2. Conséquences environnementales de la présence de dérivés pétroliers	32
5.2.1. Toxicité des HAPs	33
5.2.2. Évolution des HAPs dans un sol	34
5.3. Prélèvements	35
5.3.1. Sable.....	35
5.3.2. Œufs.....	37
5.4. Méthode de détection des HAPs	37
5.4.1. Extraction des HAPs	37
5.4.2. Purification des échantillons	38
5.4.3. Détermination des HAPs	38
5.5. Résultats	40
5.5.1. Chromatographie en phase gazeuse	40
5.5.2. Les produits détectés.....	40

5.6. Conclusions.....	42
6. Etude de faisabilité de survol aérien pour évaluer la présence des tortues marines dans les eaux de Guyane française	43
6.1. Les survols aériens comme outils pour étudier l'aire de distribution d'animaux	43
6.1.1. Tortues marines.....	44
6.1.2. Cétacés.....	45
6.2. Survol aérien au large des côtes de Guyane.....	46
6.3. Protocole	47
6.3.1. Périodes de suivi aérien	47
6.3.2. Protocole aérien.....	48
6.3.3. Nombre de survols aériens	51
6.4. Premier suivi aérien de la faune marine en Guyane française	51
6.4.1. Vol du 14 Avril 2006.....	53
7. Références bibliographiques.....	55

2.1. Liste des figures

Figure 1: Tortue luth, <i>Dermochelys coriacea</i> .	8
Figure 2: Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue luth.	9
Figure 3: Exemples de trajet de tortues luths dans l'Atlantique Ouest. Carte composite obtenue en combinant les données de Ferraroli et al. (2004) et celles citées à l'adresse http://www.cccturtle.org/sat-wwf-leatherback.htm .	9
Figure 4: Utilisation du littoral guyanais par les femelles tortues luths entre deux pontes (Ferraroli 2003).	10
Figure 5: Tortues luths capturées au printemps (1992–95). La ligne isobathimétrique des 200 m est montrée en pointillés.	10
Figure 6: Tortues luths capturées en été (1992–95). La ligne isobathimétrique des 200 m est montrée en pointillés.	11
Figure 7: Tortues luths capturées en automne (1992–95). La ligne isobathimétrique des 200 m est montrée en pointillés.	11
Figure 8: Tortues luths capturées en hiver (1992–95). La ligne isobathimétrique des 200 m est montrée en pointillés.	12
Figure 9: Tortue verte, <i>Chelonia mydas</i> . Notez la présence d'une seule paire d'écailles préfrontales, caractéristique de l'espèce.	13
Figure 10: Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue verte.	14
Figure 11: Lieux de recapture de tortues vertes marquées au Suriname (Schulz 1975).	14
Figure 12: Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue olivâtre.	15
Figure 13: Lieux de recapture de tortues olivâtres marquées au Suriname (Schulz 1975).	15
Figure 14: Tortue imbriquée, <i>Eretmochelys imbricata</i> . Notez la présence de deux paires d'écailles préfrontales qui permettent de distinguer sans ambiguïté cette espèce de la tortue verte, même juvénile.	16
Figure 15: Sites de pontes et zone d'occurrence de la tortue imbriquée.	16
Figure 16: Caouanne, <i>Caretta caretta</i> .	17
Figure 17: Sites de ponte et zone d'occurrence de la caouanne.	17
Figure 18: Suivi satellite de Caouannes pendant un an au large de la Floride entre 1997 et 1998.	18
Figure 19: Suivi satellite de Caouanne pendant 6 mois sur la côte Est des Etats-Unis en 2005.	18
Figure 20: Sites majeurs de pontes en 2000-2005 en Guyane française et au Suriname. (1) Région de Matapica, (2) Région de Galibi, (3) Plage de Yalimapo, (4) Plages d'Apotili et Farez, (5) Plages d'Aztec et Iracompapy, (6) Plages de l'île de Cayenne, (7) Plages de Kourou.	19
Figure 21: Distribution des pontes de tortues marines le long du littoral de Guyane française et du Suriname (Rivalan et al. 2004).	20
Figure 22: Saison de ponte en 2002 pour les 3 trois espèces majeures de tortues marines pondant en Guyane française.	23
Figure 23: Arrivée et départ des tortues marines sur les sites de ponte.	24
Figure 24: Ajustement d'une double sigmoïdale aux données issues de l'est de la Guyane française. Ajustement selon une distribution de Poisson.	25
Figure 25: Amélioration de la vraisemblance par ajout d'un patron sinusoidal sur les données de Yalimapo pour la tortue luth (2002).	26
Figure 26: Démonstration que deux signaux différents sont détectés chez la tortue luth et la tortue verte. Le premier signal est le cycle biologique de la ponte chez l'espèce (pontes tous les 9,5 et 13,5 jours chez la luth et la verte) et le second un effet de la marée de vives eaux (14,25 jours).	27
Figure 27: Saison de ponte des tortues luths sur la plage de Yalimapo en 2002.	28
Figure 28: Saison de pontes des tortues luths sur la plage de Farez en 2002.	28
Figure 29: Localisatin de la plage de Farez montrant son érosion. Image tirée du Géoportail de l'IGN.	29
Figure 30: Les points Kawana et Matamata correspondent aux emplacements prévus de forage. Modifié d'après GoogleEarth.	30
Figure 31: Les pétroles paraffiniques contiennent une grande quantité d'alcanes, linéaires (« paraffines ») ou ramifiés (« isoparaffines »), non-cycliques.	31
Figure 32: Les pétroles naphténiques contiennent une grande quantité d'hydrocarbures cycliques (cyclohexane ou « naphène » et dérivés) et polycycliques.	31
Figure 33: Les pétroles aromatiques contiennent une grande quantité de composés aromatiques (benzène et dérivés).	31
Figure 34: Les 16 HAPs utilisés en biosurveillance selon les directives de l'EPA.	33

Figure 35: Fixation de B(a)P (molécule blanche) sur de l'ADN (molécule orangée) entraînant une génotoxicité et des risques élevés de cancer. Source EPA, USA.	34
Figure 36: Positionnement de la plage de Yalimapo (flèche blanche) à l'échelle de la Guyane française. Les points Kawana et Matamata correspondent aux emplacements prévus de forage. Modifié d'après GoogleEarth.	36
Figure 37: La plage de Yalimapo est située entre les deux flèches blanches de part et d'autre des fleuves Maroni et Mana. Modifié d'après GoogleEarth.	37
Figure 38: Clarus 500 de Perkin-Elmer, ayant servi aux analyses.	39
Figure 39: Concentration en ng/mg des 16 HAPs prioritaires de l'EPA dans les oeufs de tortues luths. Nd indique que le produit n'est pas détecté. Les produits entourés sont ceux pour lesquels on peut considérer que la teneur est significative.	41
Figure 40: Concentration en ng/mg des 16 HAPs prioritaires de l'EPA dans du sable de la plage de Yalimapo. Nd indique que le produit n'est pas détecté. Les produits entourés sont ceux pour lesquels on peut considérer que la teneur est significative.	41
Figure 41: Sites majeurs de ponte au Suriname et en Guyane française pour les années 2000-2005. (1) Région de Matapica, (2) Région de Galibi, (3) Plage de Yalimapo, (4) Plages de Apotili et Farez, (5) Plage d'Aztec et Iracompapy (6) Plages de la région de Cayenne.	43
Figure 42: Tortue luth, agrandissement d'une photo prise à 200 m de hauteur.	44
Figure 43: Exemple de survol aérien aux USA. Les points verts indiquent l'observation d'un animal et les tortues marines sont indiquées avec un autre symbole (voir légende).	44
Figure 44: Abondance des tortues marines de septembre, octobre et novembre 1992, 1993, et 1994 au niveau du Golfe du Mexique. Les abondances sont obtenues à partir des observations de survols aériens; Les lignes noires représentent les années et la localisation des survols aériens. Les contours de profondeurs sont tous les 18.3-m et les observation sont regroupées au sein des zones statistiques du NMFS. Les intersection des zones statistiques et des contours de profondeur représentent les sous-régions (McDaniel et al. 2000).	45
Figure 45: Exemple de survol aérien aux USA. Les points verts indiquent une observation d'un animal et les autres symboles sont utilisés pour trois espèces de cétacés (voir légende).	46
Figure 46: Milieu marin au large de la Guyane française. Les alluvions amazoniens sont visibles.	46
Figure 47: Arrivée et départ des tortues marines des sites de ponte. Le premier pic pour une espèce correspond à l'arrivée et le second au départ. La présence des animaux sur les sites de prospection au large serait décalé de 10 jours avant l'arrivée et de 10 jours après le départ. Les nombres correspondent aux différentes périodes de survol : (1) mi-avril, arrivée des tortues luths, (2) mi-mai, départ des tortues vertes, (3) mi-juin, arrivée des tortues olivâtres et (4) mi-juillet, départ des tortues luths.	48
Figure 48: Echelle de Beaufort. Il revient à l'amiral britannique Francis Beaufort (1774-1857) d'avoir, en 1805, imaginé une échelle comportant des critères assez précis pour quantifier le vent en mer et permettre la diffusion d'informations fiables universellement comprises. Un degré Beaufort correspond à la vitesse moyenne du vent sur dix minutes de durée (d'après http://fr.wikipedia.org/wiki/Échelle_de_Beaufort).	49
Figure 49: Diagram of the circle-back procedure.	51
Figure 50: Schéma montrant les rayons lumineux du soleil à gauche et à droite d'un avion en fonction de la position du soleil.	52
Figure 51: Cessna 172.	53
Figure 52: Profil des 16 HAPs prioritaires de l'EPA.	65
Figure 53: Profil oeuf n°5.	65
Figure 54: Profil oeuf n°70.	66
Figure 55: Profil oeuf n°104.	66
Figure 56: Profil oeuf n°160.	67
Figure 57: Profil oeuf n°205.	67
Figure 58: Profil sable n°76.	68
Figure 59: Profil sable n°86.	68
Figure 60: Profil sable n°108.	69
Figure 61: Profil sable n°121.	69
Figure 62: Profil sable n°153.	70
Figure 63: Profil sable n°185.	70
Figure 64: Profil sable n°197.	71

Conséquences sur les tortues marines des perturbations anthropiques liées à la prospection pétrolière

3. Les tortues marines en Guyane française

3.1. Caractéristiques générales des Tortues marines

Pour les tortues marines, il faut bien distinguer présence sur les plages et présence en mer. Bien que les deux soient souvent liées, il peut y avoir un décalage temporel dans la présence dans ces deux milieux. De plus, toutes les espèces ne sont pas présentes dans les mêmes milieux au même moment.

3.1.1. La tortue luth *Dermochelys coriacea* (*Leatherback*)

La tortue luth est la seule représentante des dermochelyidae et est la plus grosse des tortues marines actuelles. Les individus peuvent mesurer plus de 2 m et pèsent en moyenne 450 kg. Elle se distingue sans ambiguïté des autres tortues marines grâce à son absence d'écaille à l'âge adulte (Figure 1).



Figure 1: Tortue luth, *Dermochelys coriacea*.

C'est le reptile qui a la plus grande aire de répartition puisqu'on la retrouve sur tous les océans jusqu'au cercle polaire (Figure 2). Elle se nourrit d'organismes animaux (poissons, méduses, crustacés) qu'elle trouve dans les zones de nourrissage en Atlantique Nord, au large de la Charente ou au Cap Vert par exemple.

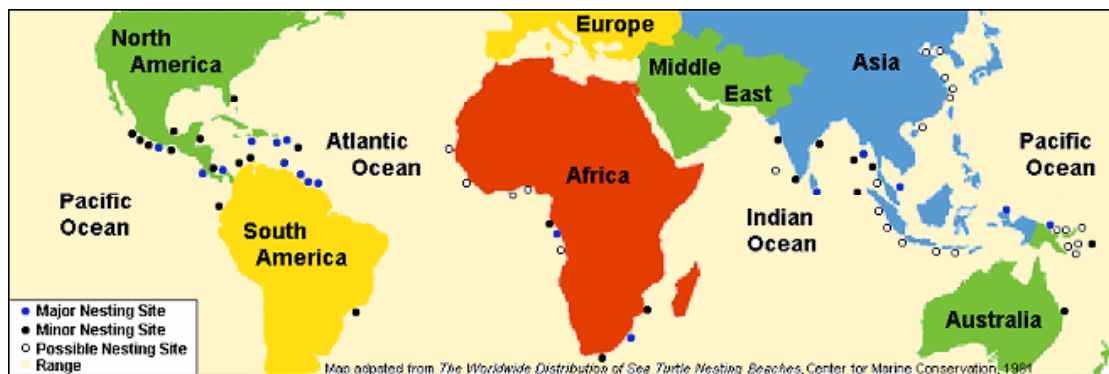


Figure 2: Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue luth.

La tortue luth est la plus pélagique des tortues marines, effectuant de grands déplacements à travers l'océan (Ferraroli 2003, Ferraroli et al. 2004).

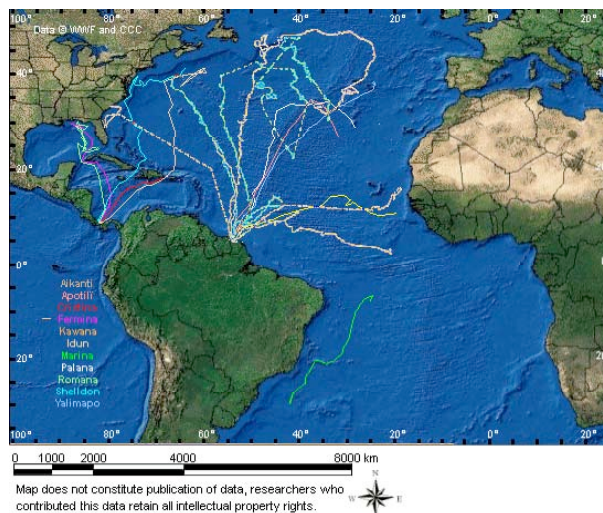


Figure 3: Exemples de trajet de tortues luths dans l'Atlantique Ouest. Carte composite obtenue en combinant les données de Ferraroli et al. (2004) et celles citées à l'adresse <http://www.cccturtle.org/sat-wwf-leatherback.htm>.

La tortue luth est présente sur les plages de Guyane française de mars à fin juillet (Girondot and Fretey 1996) ainsi qu'en beaucoup moins grand nombre en décembre et janvier (Chevalier et al. 1999). Ce petit pic de présence d'animaux en décembre-janvier pourrait correspondre à des animaux partant vers le Sud après la ponte en Guyane (Figure 3) et revenant alors du Sud (trajet vert venant de l'Uruguay) (Girondot et al. 2007). Les femelles pondent jusqu'à 13 fois (moyenne 5 à 7 selon les années) (Rivalan et al. 2006, Briane et al. 2007) et entre ces pontes, elles se dispersent autour de la plage de ponte jusqu'à 140 km des côtes (Ferraroli 2003) et elles restent au niveau du plateau continental (Figure 4).

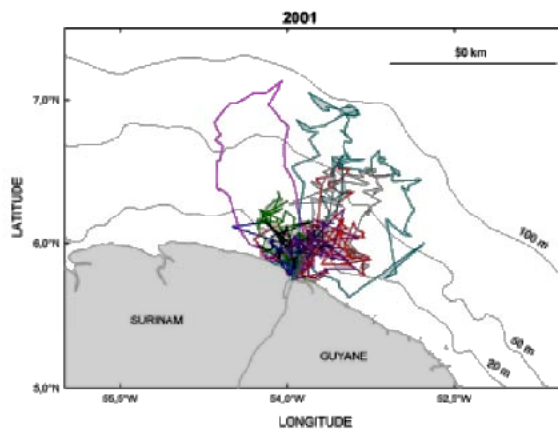


Figure 4: Utilisation du littoral guyanais par les femelles tortues luths entre deux pontes (Ferraroli 2003).

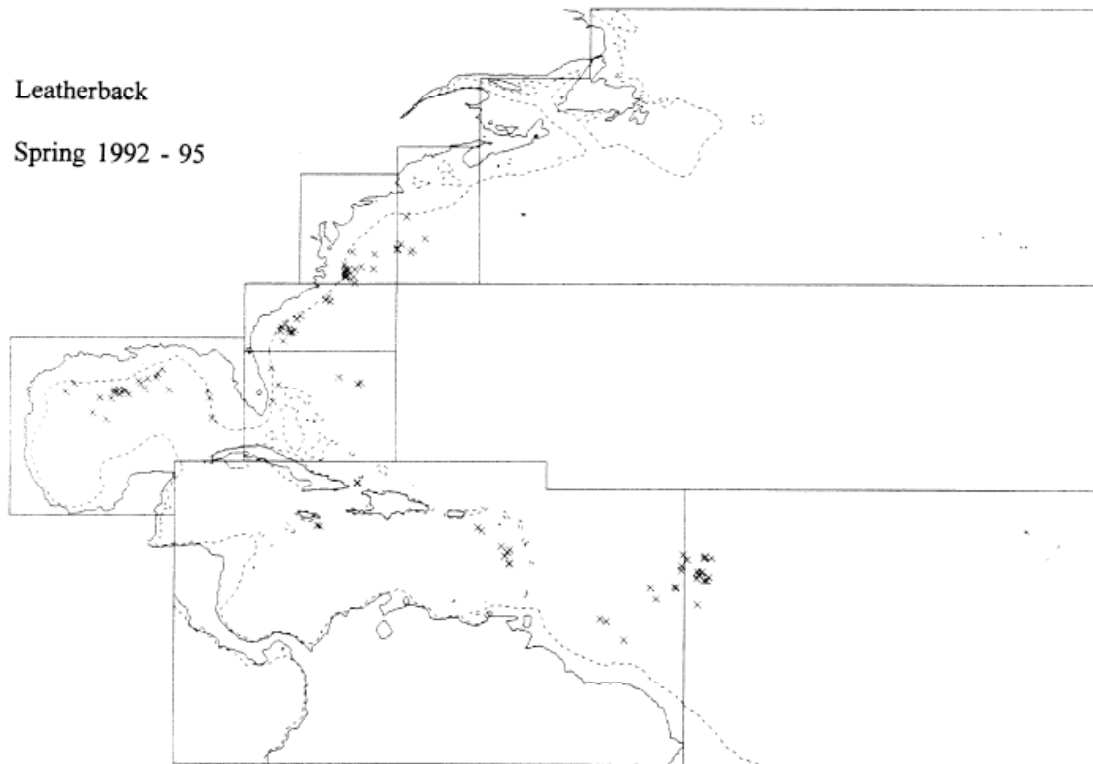


Figure 5: Tortues luths capturées au printemps (1992–95). La ligne isobathimétrique des 200 m est montrée en pointillés.

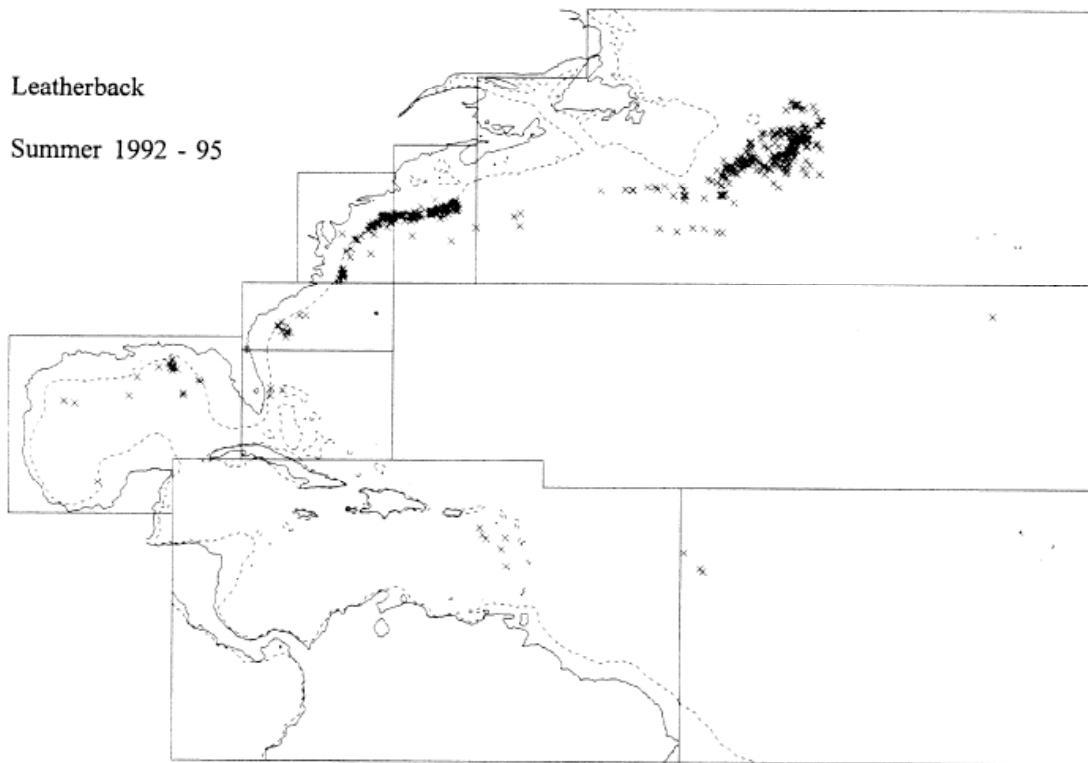


Figure 6: Tortues luths capturées en été (1992–95). La ligne isobathimétrique des 200 m est montrée en pointillés.

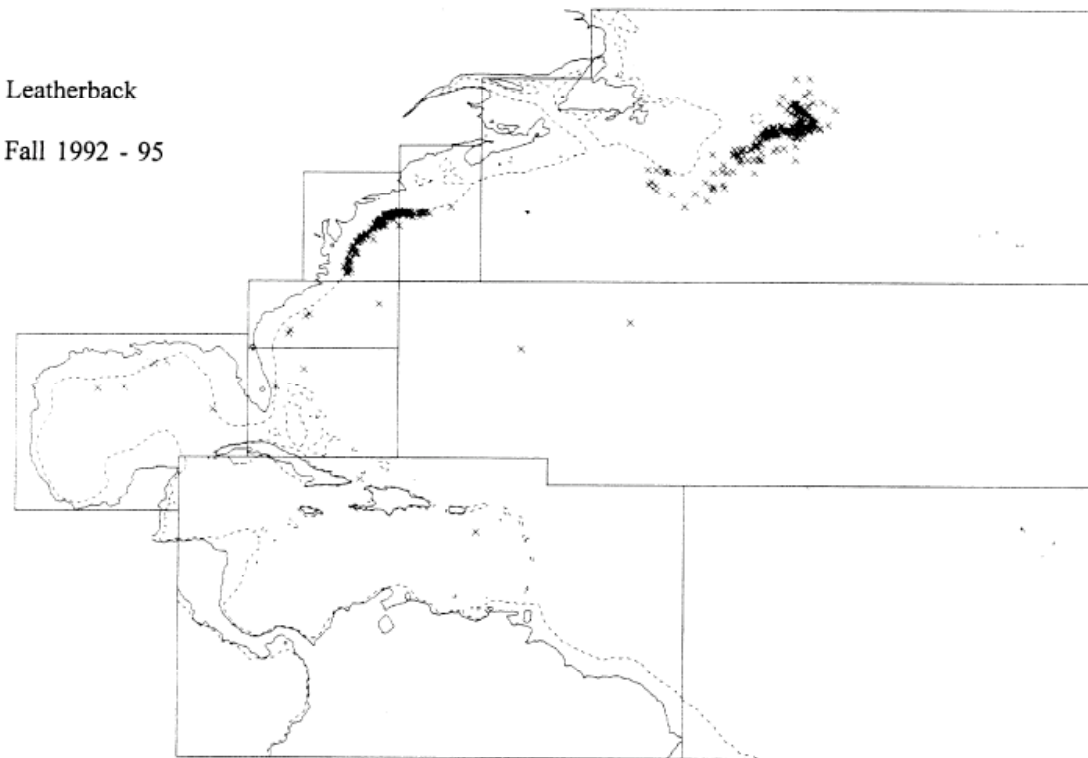


Figure 7: Tortues luths capturées en automne (1992–95). La ligne isobathimétrique des 200 m est montrée en pointillés.

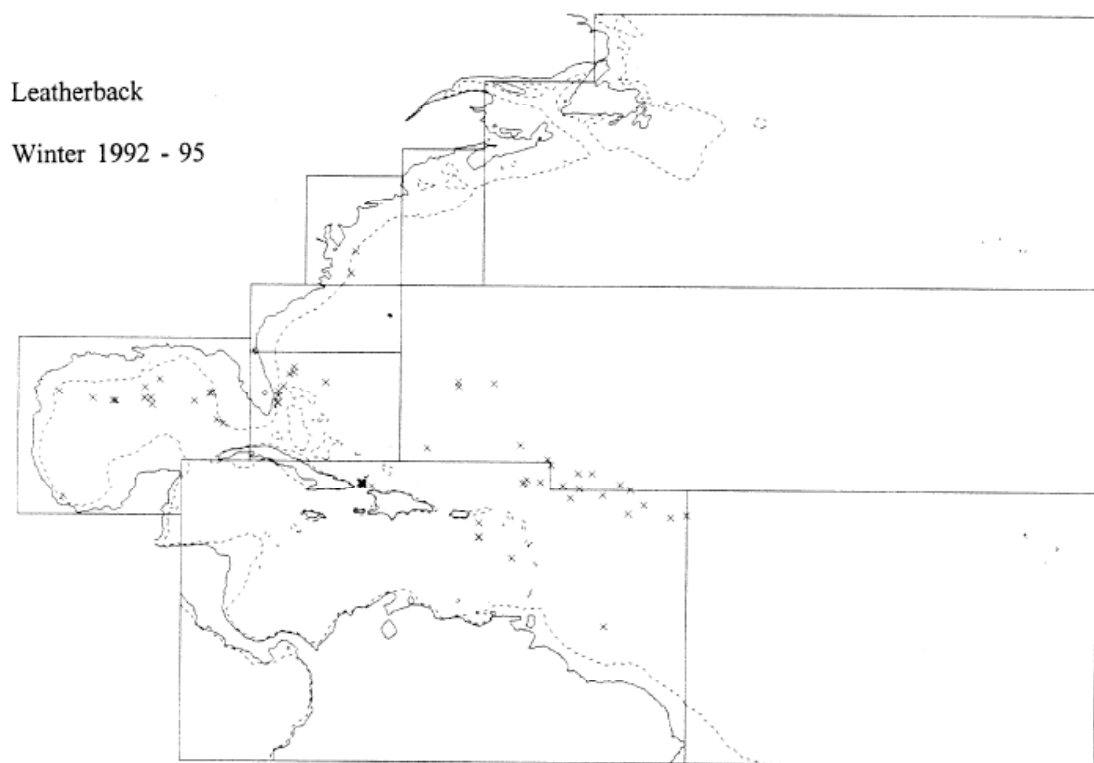


Figure 8: Tortues luths capturées en hiver (1992–95). La ligne isobathimétrique des 200 m est montrée en pointillées.

Les captures accidentelles de tortues luths par des navires de pêches montrent une distribution au large du plateau des Guyanes principalement au printemps (Figure 5, Figure 6, Figure 7, Figure 8). Il convient cependant d'être très prudent car ces données ne sont pas corrigées, et ne peuvent pas être corrigées, par l'effort de capture (Schroeder and Thompson, 1987).

Sur la base des quelques informations disponibles, on peut proposer que les mâles suivent à peu près la même stratégie (James et al. 2005) lorsqu'ils sont dans les eaux guyanaises (Godfrey and Barreto 1998).

3.1.2. La tortue verte *Chelonia mydas* (Green turtle)

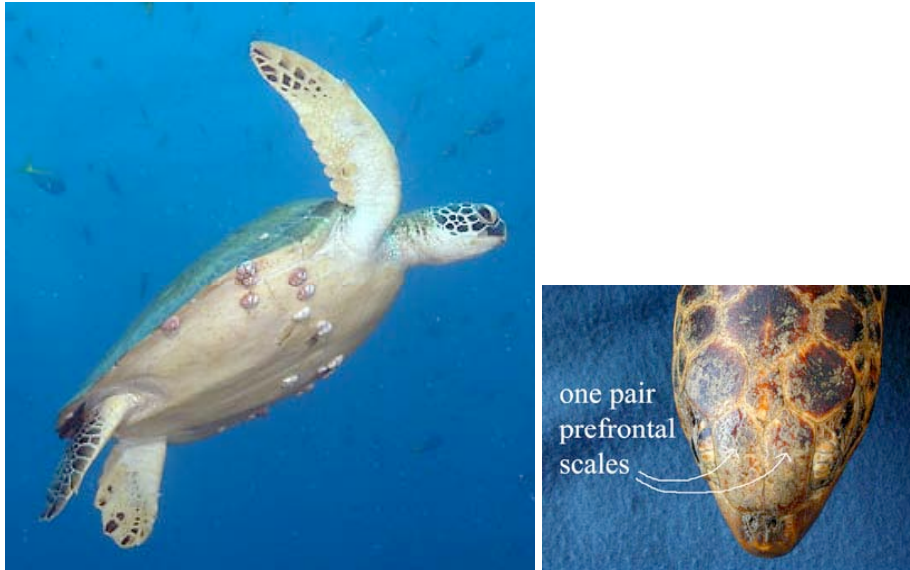


Figure 9: Tortue verte, *Chelonia mydas*. Notez la présence d'une seule paire d'écailles préfrontales, caractéristique de l'espèce.

Le régime alimentaire de la tortue verte est omnivore lorsqu'elle est jeune mais devient herbivore (algues, plantes vasculaires) lorsqu'elle est adulte. La coloration de l'écaille est très variable et s'assombrit avec l'âge. Jeune, la disposition de ses écailles peut faire penser à une tortue imbriquée ce qui explique sans doute que des observateurs inexpérimentés indiquent parfois la ponte de tortues imbriquées en Guyane alors qu'elle y est très rare.

Les juvéniles semblent se laisser dériver dans l'océan sur des radeaux de Sargasse ou de Thalassémie (Salmon et al. 2004). Les subadultes et les adultes semblent rester à proximité des côtes, ce qui est logique en raison de leur régime alimentaire. Par contre les adultes peuvent aussi effectuer des trajets océaniques très longs.

Au cours de la saison de ponte, les femelles semblent rester dans une zone autour de 40 km de leur site de ponte (Anonymous 1999). A la fin de la saison de ponte, les tortues vertes du Suriname semblent se diriger vers le Sud vers les herbiers et les champs d'algues des côtes brésiliennes (Figure 11). Les îles du Salut constituent une zone de nourrissage pour des subadultes dont la population d'origine n'est pas connue.

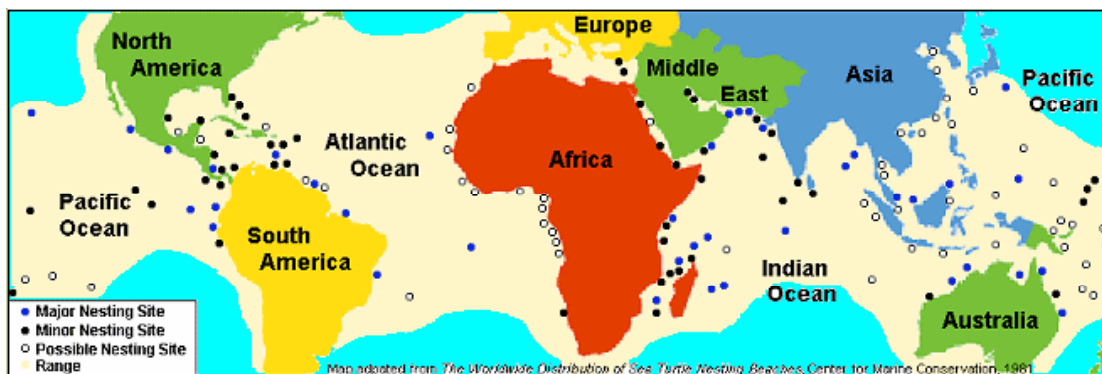


Figure 10: Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue verte.

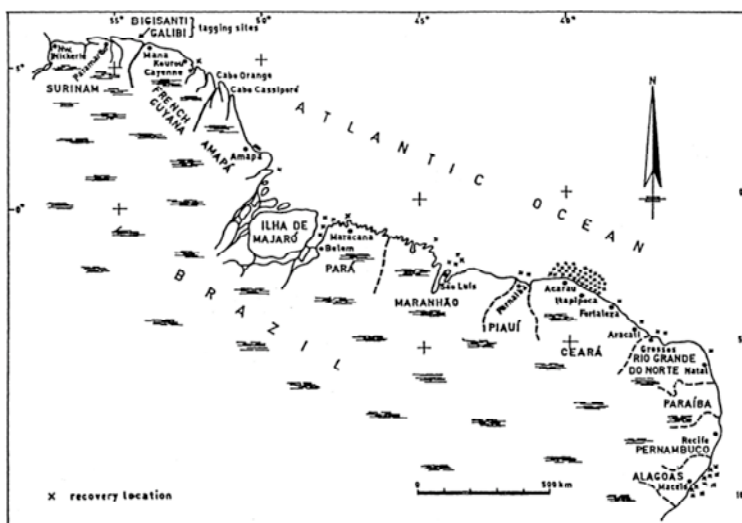


Figure 11: Lieux de recapture de tortues vertes marquées au Suriname (Schulz 1975).

3.1.3. *La tortue olivâtre* *Lepidochelys olivacea* (*Olive Ridley*)

La tortue olivâtre est la plus petite des tortues marines (avec son *L. kempii* que l'on ne trouve pas en Guyane française). Elle est relativement fréquente au Suriname et en Guyane française où une grande population nidifie dans la région de Cayenne. C'est l'espèce la plus commune de par le monde.

C'est une espèce carnivore qui se nourrit de crustacés et dont les aires de prospection sont situées dans le domaine benthique à proximité des côtes.

Il existe très peu de renseignements sur les déplacements en mer de cette espèce. On sait qu'elle peut parcourir de très grandes distances en relativement peu de temps (2600 km en 113 jours) (Beavers and Cassano 1996) et un individu marqué au Suriname a été retrouvé à 1900 km de son lieu de marquage (Schulz 1975).

Après la ponte, des individus marqués au Suriname ont été retrouvés dans toute la région, même parfois très loin des côtes (Figure 12). Malheureusement, les dates de recapture ne sont pas indiquées et l'on ne sait donc pas si les individus sont présents toute l'année dans la zone.

Les recaptures des individus marqués au Suriname sont effectuées à la fois vers le nord et le sud à partir de ce lieu.

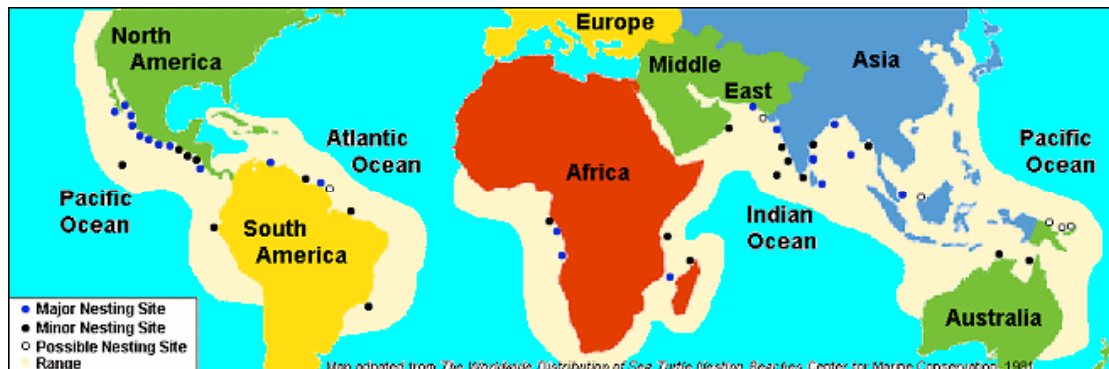


Figure 12: Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue olivâtre.

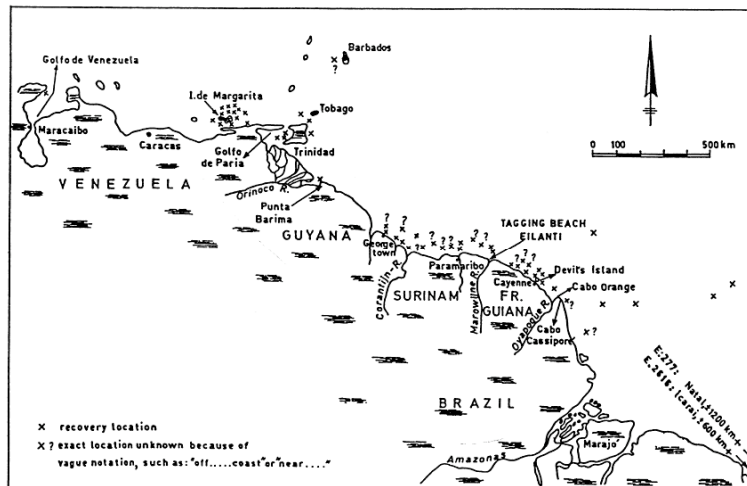


Figure 13: Lieux de recapture de tortues olivâtres marquées au Suriname (Schulz 1975).

Huit tortues olivâtres ont été suivies à la suite d'un marquage à l'Est de la Guyane française (Georges and Fossette 2006). Ces huit animaux sont remontés vers le Nord à la fin de la saison de ponte en restant sur le plateau continental. Ensuite, elles semblent effectuer des boucles dans la zone. On peut proposer qu'elles se répartissent dans tout le plateau continental de la zone allant du golfe de Paria, entre le Venezuela et Trinidad et Tobago vers le Nord et l'embouchure de l'Amazone vers le Sud (Schulz 1975).

3.1.4. La tortue imbriquée *Eretmochelys imbricata* (*Hawksbill*)



Figure 14: Tortue imbriquée, *Eretmochelys imbricata*. Notez la présence de deux paires d'écailles préfrontales qui permettent de distinguer sans ambiguïté cette espèce de la tortue verte, même juvénile.

La tortue imbriquée est une espèce présente dans tous les océans. Il semble exister deux stratégies chez cette espèce. Certains animaux restent à proximité de leur zone de nidification toute l'année (Cuba), d'autres effectuent des déplacements. Trois suivis satellites ont été effectués dans la mer des Caraïbes et les animaux suivis présentent un patron de dispersion très semblable en ne s'éloignant pas des côtes de plus de 100 km. En raison de la rareté de cette espèce en Guyane (de l'ordre de 5 pontes par an), cette espèce ne sera pas traitée dans ce document.

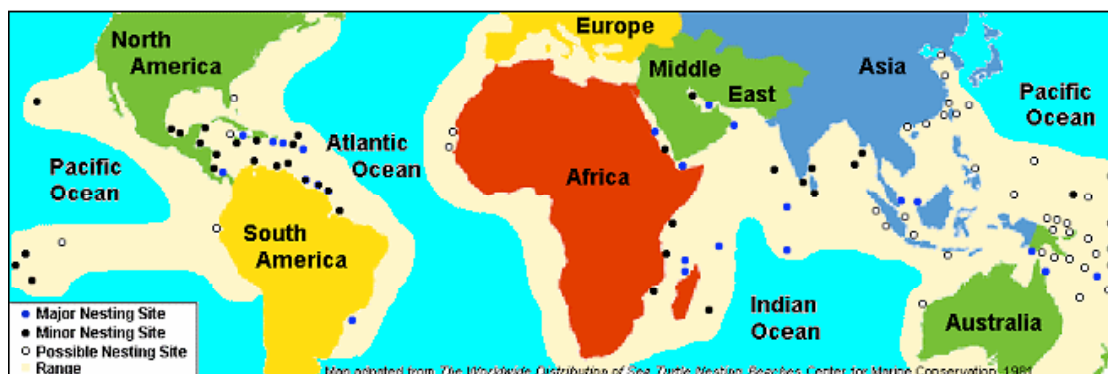


Figure 15: Sites de pontes et zone d'occurrence de la tortue imbriquée.

3.1.5. La caouanne *Caretta caretta* (Loggerhead)



Figure 16: Caouanne, *Caretta caretta*.

Cette espèce est caractérisée par une tête très large. Elle est carnivore et mange des mollusques et des crustacés qu'elle trouve sur le sol, ce qui explique qu'on la trouve principalement dans des eaux relativement peu profondes, sur les côtes et notamment à proximité des estuaires.

Il n'existe que très peu de mention de cette espèce dans cette région. On notera une observation sur les plages au Suriname (Reichart and Fretey 1993) et une en Guyane française (Fretey 1981). Fredy Sehoe de la commune d'Awala-Yalimapo en a vu une capturée sur un bateau de pêche au large de la Guyane française (Sehoe, comm. pers.).

Les zones de pontes se situent clairement en dehors de la région des Guyanes (Figure 17).

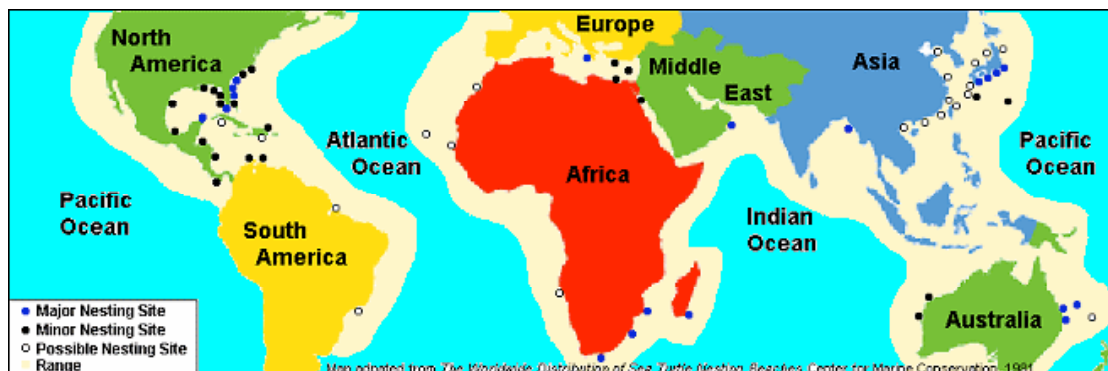


Figure 17: Sites de ponte et zone d'occurrence de la caouanne.

On trouve dans la littérature 12 suivis Argos de Caouanne dans l'Atlantique Ouest et, à chaque fois, on observe que cet animal suit les côtes lors de ses déplacements et n'effectue pas de grandes migrations transocéaniques (e.g. Figure 18, Figure 19).

En raison de la rareté de cette espèce en Guyane, cette espèce ne sera pas traitée dans ce document.

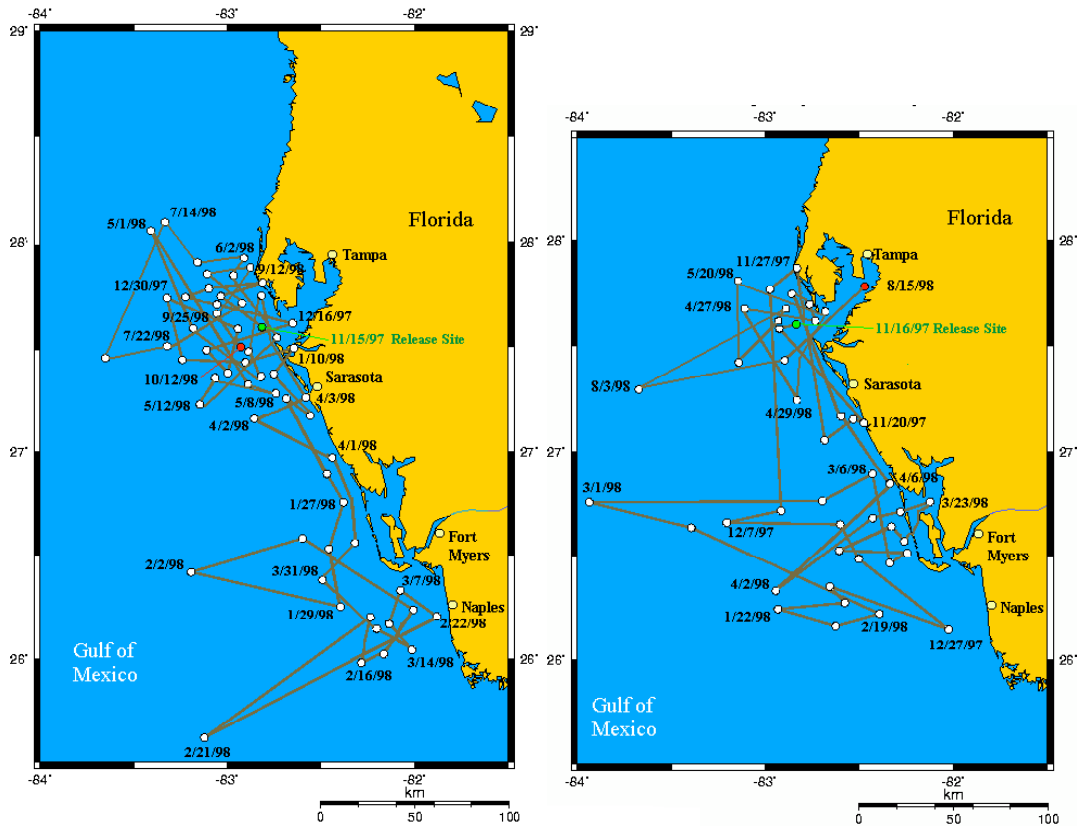


Figure 18: Suivi satellite de Caouannes pendant un an au large de la Floride entre 1997 et 1998.

**Georgia Loggerhead Sea Turtle Tracking Project
Zapala**

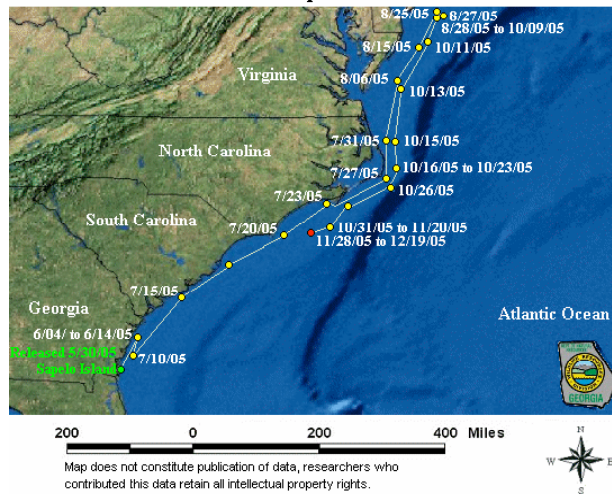


Figure 19: Suivi satellite de Caouanne pendant 6 mois sur la côte Est des Etats-Unis en 2005.

3.2. La ponte des tortues marines en Guyane française et au Suriname

Les espèces fréquentant régulièrement les sites de ponte sont donc la tortue luth, *Dermochelys coriacea*, la tortue verte, *Chelonia mydas*, et la tortue olivâtre, *Lepidochelys olivacea*. La ponte par les tortues marines se produit de l'Est de la côte de la Guyane française jusqu'à Braamspunt à la confluence des fleuves Commewijne et Suriname au Suriname (Figure 20, Figure 21). Cette zone couvre environ 600 km d'une côte très dynamique qui apparaît et disparaît au gré du déplacement de bancs de vase en provenance de l'Amazonie (Marchand 2003).

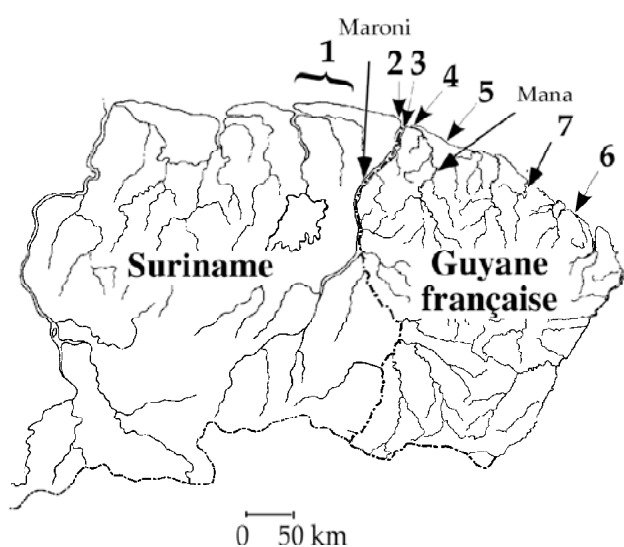


Figure 20: Sites majeurs de pontes en 2000-2005 en Guyane française et au Suriname. (1) Région de Matapica, (2) Région de Galibi, (3) Plage de Yalimapo, (4) Plages d'Apotili et Farez, (5) Plages d'Aztec et Iracompapy, (6) Plages de l'île de Cayenne, (7) Plages de Kourou.

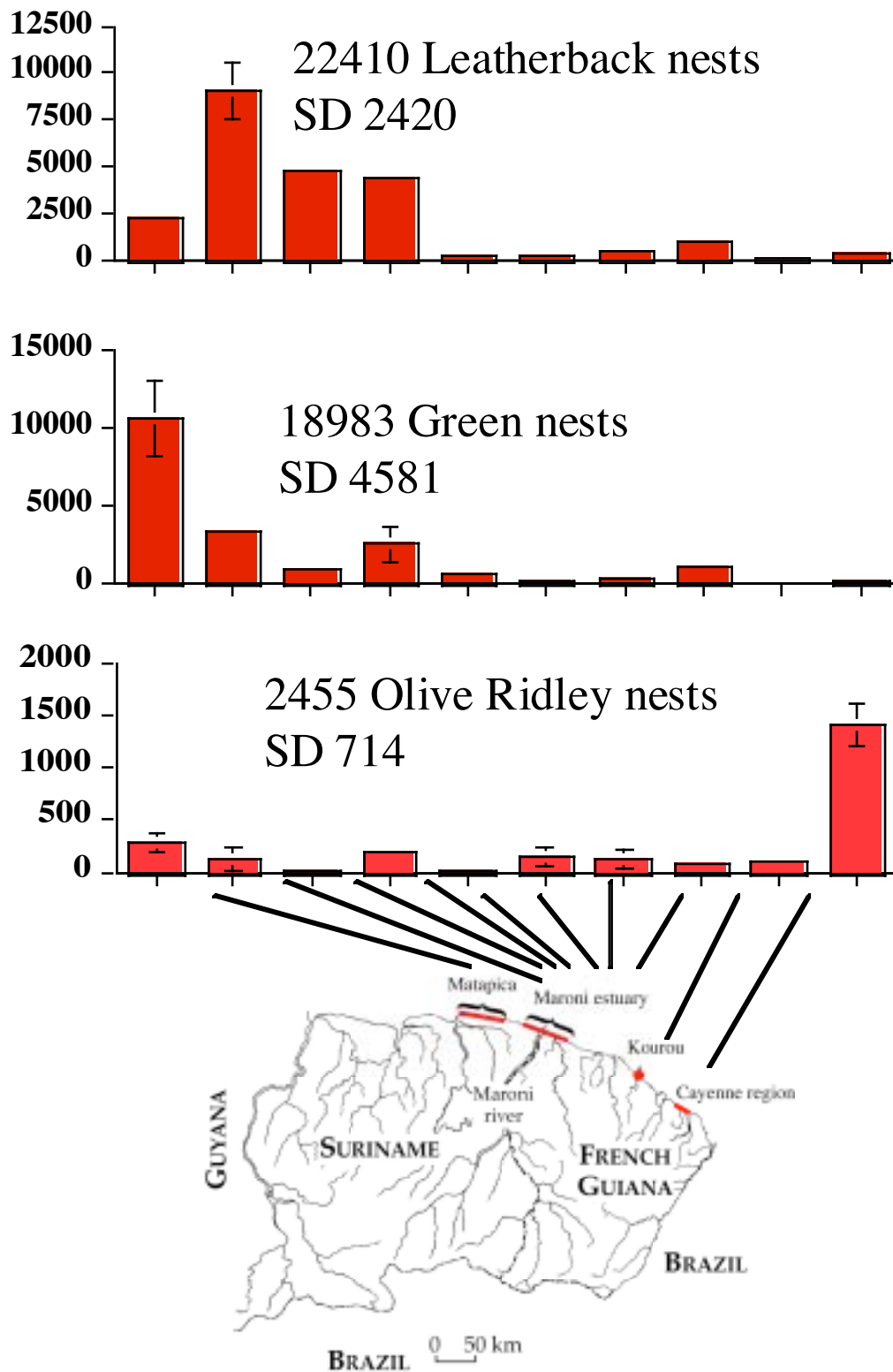


Figure 21: Distribution des pontes de tortues marines le long du littoral de Guyane française et du Suriname (Rivalan et al. 2004).

4. Utilisation du milieu marin au large de la Guyane française par les tortues marines

4.1. Modèle mathématique décrivant la saison de ponte des tortues marines

4.1.1. Formulation du modèle

La saison de pontes des tortues marines est typiquement caractérisée par un nombre de ponte faible en début et en fin de saison avec un pic approximativement au milieu de la saison de pontes. Le modèle utilisé pour décrire cette saison correspond à deux sigmoïdes ce qui permet l'asymétrie des saisons de pontes. Chaque sigmoïde est caractérisée par trois paramètres : S1, P1 et K1 pour la première représentant la phase croissante du nombre de ponte jusqu'au pic de ponte et S2, P2 et K2 pour la seconde représentant la deuxième partie de la saison de pontes. Celles-ci représentent alors la saison de pontes avec un minimum de 0 et un maximum défini par la suite. Le début de la saison de pontes est calculé à partir de l'équation 1.

$$M(d) = \left(1 + \left(2^{e^k} - 1 \right) e^{\left(\frac{1}{S} \right) (P-d)} \right)^{-1/e^k} \quad (1)$$

où d est la date julienne, P correspond aux dates encadrant le pic de pontes, et S et K relatifs aux changements de pente à la date P. Les valeurs de M(d) sont comprises entre 0 et 1. L'équation (1) est utilisée deux fois correspondant à des équations M₁(d) et M₂(d) décrivant respectivement le début et la fin de la saison de pontes.

La description de la saison de pontes est alors exprimée par l'équation 2.

$$N(d) = \min + (\max - \min) \cdot (M_1(d) \cdot M_2(d)) \quad (2)$$

Où max et min sont des facteurs d'échelle.

4.1.2. Patron intra-saison

Des patrons sinusoïdaux ont été rajoutés à l'équation (2) de façon à représenter des cyclicités au sein de la saison.

$$N'(d) = N(d) + \sum_{k=1}^l \left(\sin \left(2\pi \frac{d + \Delta_k}{\phi_k} \right) (\alpha_k + \beta_k \cdot N(d)^{\tau_k}) \right) \quad (3)$$

Pour ce faire, à chaque cycle rajouté, 5 paramètres nouveaux sont ajoutés.

4.1.3. Estimation des paramètres

Distribution normale

La courbe décrivant la saison de pontes est ensuite ajustée aux données observées par la méthode du maximum de vraisemblance en utilisant la macro Solver du logiciel Excel. Pour

cela, la distribution des pontes autour de la moyenne est supposée distribuée normalement avec un écart-type ajusté de la forme :

$$\sigma_d = \text{Exp}(a.N'(d)^c + b) \quad (4)$$

Cette formulation de l'écart-type permet de prendre en compte l'hétéroskédasticité de cette distribution. Ce modèle est adapté à certaines plages de pontes de Guyane française et du Suriname qui peuvent accueillir des centaines de pontes par nuit.

Or, cette situation d'un très grand nombre de pontes n'est pas retrouvée sur d'autres plages où un nombre plus restreint de femelles viennent pondre sur les plages avec ponctuellement des nuits sans ponte. Pour décrire ces saisons de pontes une distribution de Poisson, typiquement employée pour l'étude des échantillons limités, a été testée.

Distribution de Poisson

Une distribution de Poisson a été utilisée pour décrire la dispersion des pontes autour de la courbe décrivant la saison de pontes. La Distribution de Poisson se définit comme limite de la Distribution Binomiale $\mathcal{B}(n, p)$ lorsque n tend vers l'infini et p tend vers 0, d'une façon telle que le produit np soit toujours égal à une valeur positive constante λ .

La Distribution de Poisson est discrète, et son support est l'infinité des nombres entiers $k = 0, 1, 2, \dots$

Cette fonction nécessite seulement un paramètre soit λ représentant la moyenne et la variance du nombre de ponte estimée. La vraisemblance d'une observation k tirée dans une distribution de Poisson de paramètre λ est :

$$f(k, \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad (5)$$

avec k correspondant au nombre d'occurrence d'un événement de ponte et où λ est un nombre réel positif égal au nombre supposé d'occurrence pendant un intervalle donnée. Ici λ est égal à $N(d)$.

Cette formulation du modèle a été testée avec des données des plages de Cayenne qui sont particulièrement adaptées à cette formulation.

Choix des modèles

Le choix entre les différents modèles de complexité croissante s'est fait par le critère d'Akaike (AIC) qui recherche le modèle ajustant au mieux les données sans sur-paramétriser le modèle (Akaike 1973;1974).

4.2. Résultats de la modélisation de la saison de pontes

4.2.1. Périodes de pontes

Les périodes de pontes sont différentes selon les espèces (Figure 22).

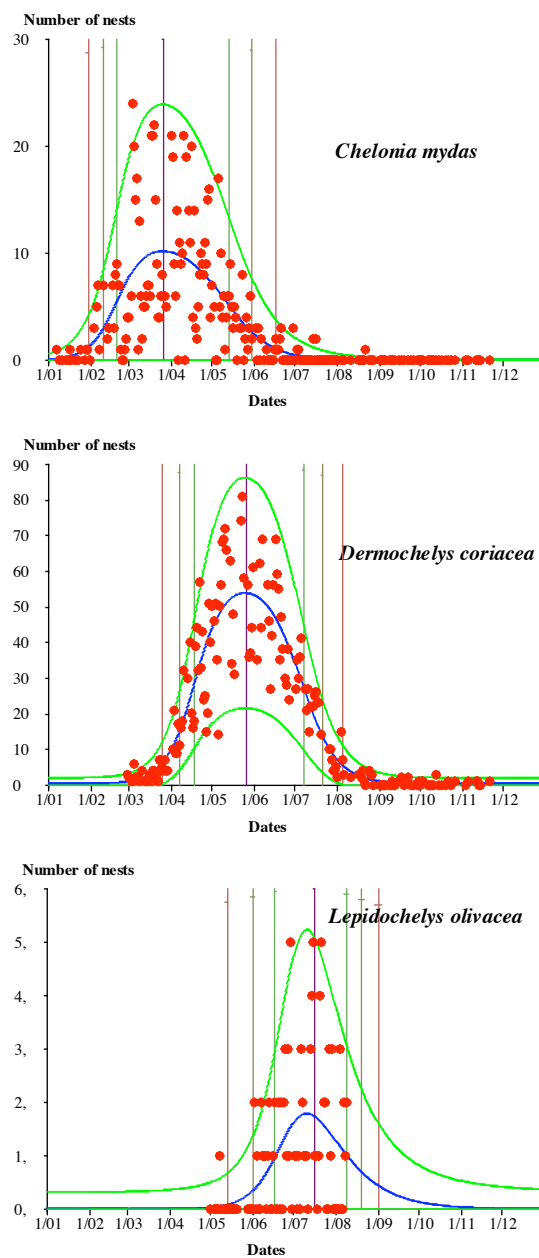


Figure 22: Saison de ponte en 2002 pour les 3 trois espèces majeures de tortues marines pondant en Guyane française.

*Scaled arrival and
departure of animals*

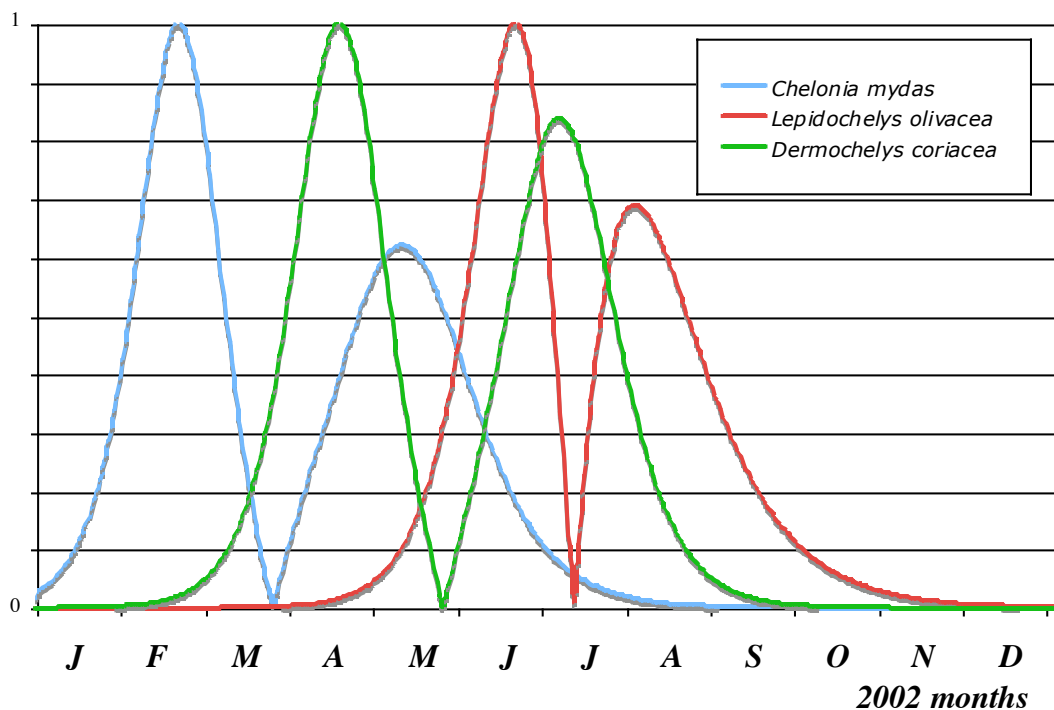


Figure 23: Arrivée et départ des tortues marines sur les sites de ponte.

On peut remarquer que l'arrivée des tortues marines en Guyane est toujours plus abrupte que leur départ (Figure 23).

4.2.2. Utilisation d'une distribution de Poisson

Les données issues de l'Est de la Guyane française s'ajustent très mal avec une distribution normale car la simplification d'une distribution continue du nombre de pontes n'est plus tenable. Le nombre de pontes doit rester discret.

L'ajustement sous l'hypothèse d'une distribution de Poisson est par contre excellent (Figure 24).

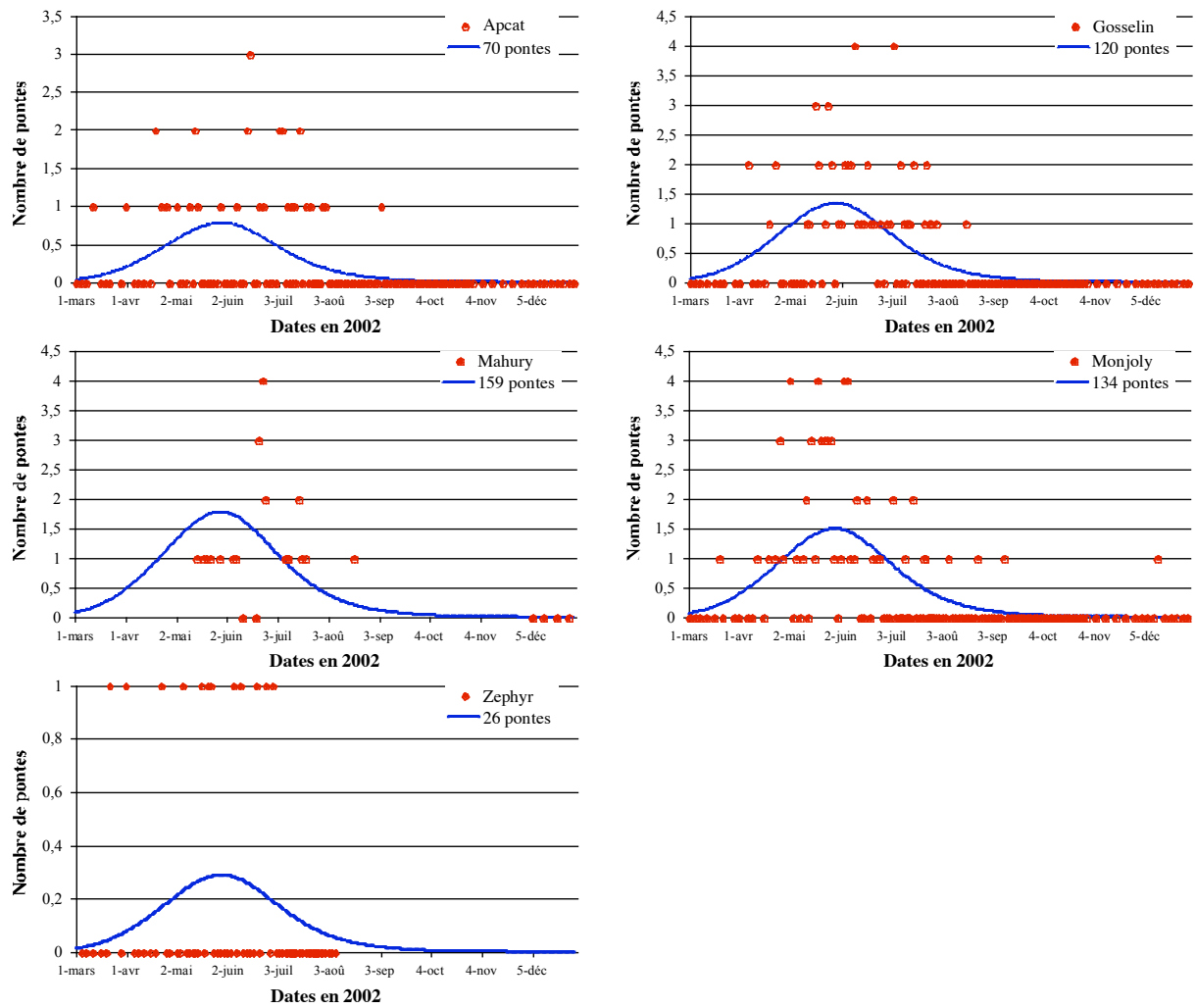


Figure 24: Ajustement d'une double sigmoïdale aux données issues de l'est de la Guyane française. Ajustement selon une distribution de Poisson.

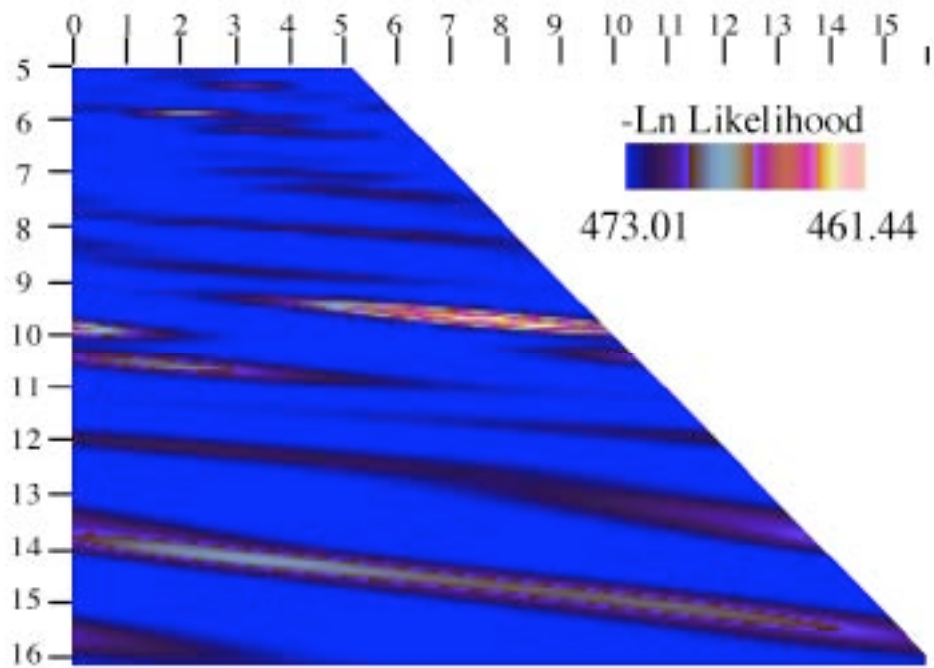
4.2.3. *Synchronisme au sein de la saison*

Un patron régulier a été recherché sur les données de la plage de Yalimapo en 2002 en faisant varier les paramètres décrivant le patron sinusoïdal, notamment le décalage par rapport à l'origine et la période (Figure 25).

Chez la tortue luth, une régularité à 9,5 jours et 14.25 est trouvée alors qu'elle est de 13,5 et 14,25 jours chez la tortue verte (Figure 26).

Le premier signal est le cycle biologique de la ponte chez l'espèce (ponte tous les 9,5 et 13,5 jours chez la luth et la verte respectivement) et le second un effet de la marée de vives eaux (périodicité à 14,25 jours).

Shift in days



Period in days

Figure 25: Amélioration de la vraisemblance par ajout d'un patron sinusoïdal sur les données de Yalimapo pour la tortue luth (2002).

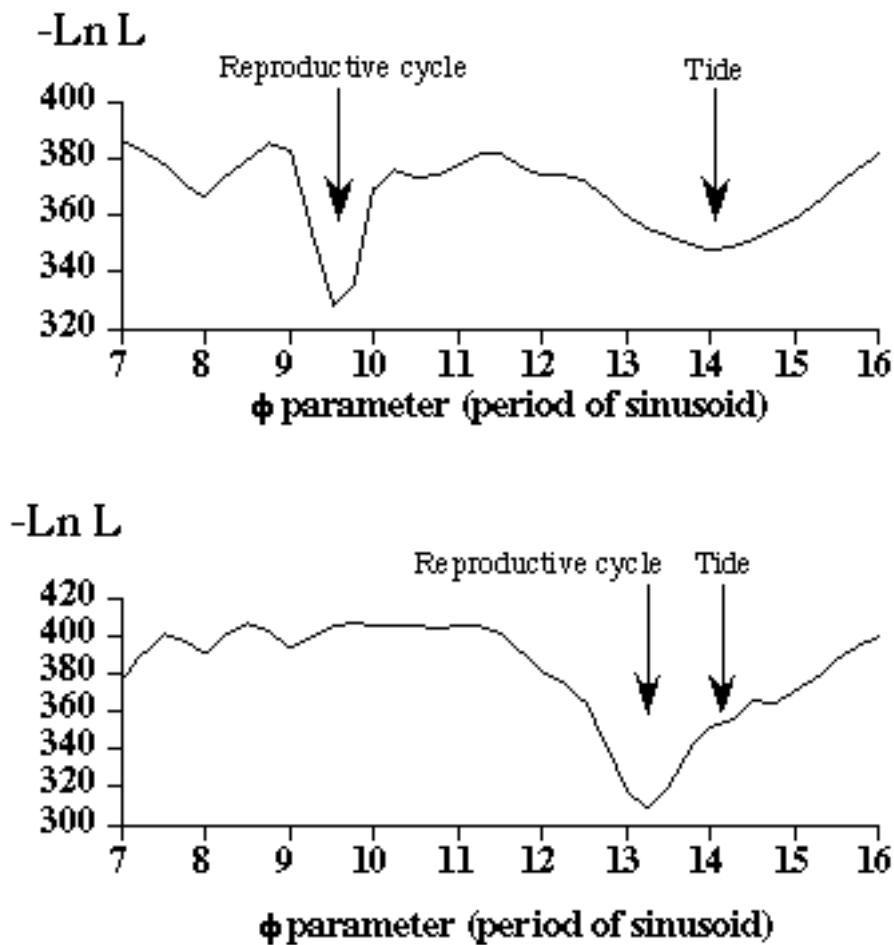


Figure 26: Démonstration que deux signaux différents sont détectés chez la tortue luth et la tortue verte. Le premier signal est le cycle biologique de la ponte chez l'espèce (pontes tous les 9,5 et 13,5 jours chez la luth et la verte) et le second un effet de la marée de vives eaux (14,25 jours).

4.3. Démonstration de la détection d'anomalie dans la période de ponte

La période de ponte sur la plage de Yalimapo et celle proche de Farez est montrée sur les Figure 27 et Figure 28.

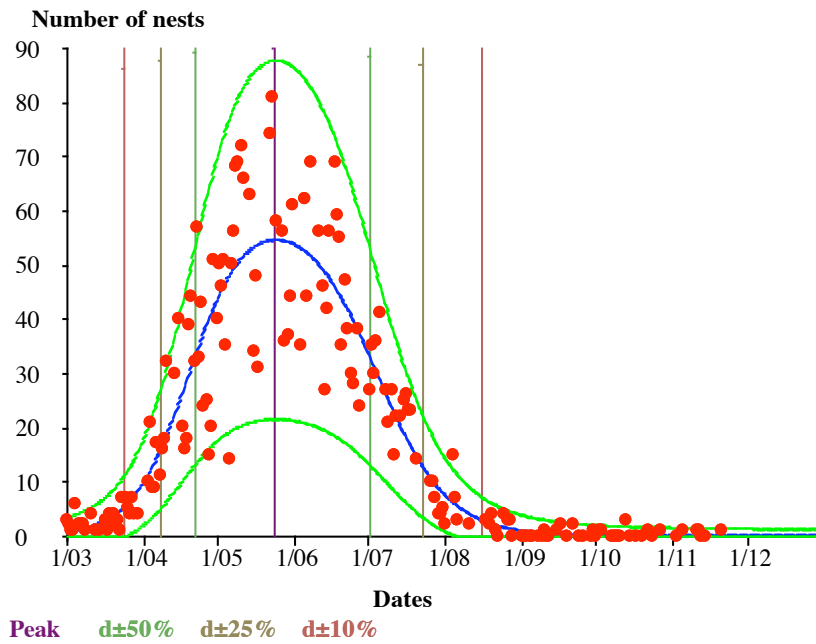


Figure 27: Saison de ponte des tortues luths sur la plage de Yalimapo en 2002.

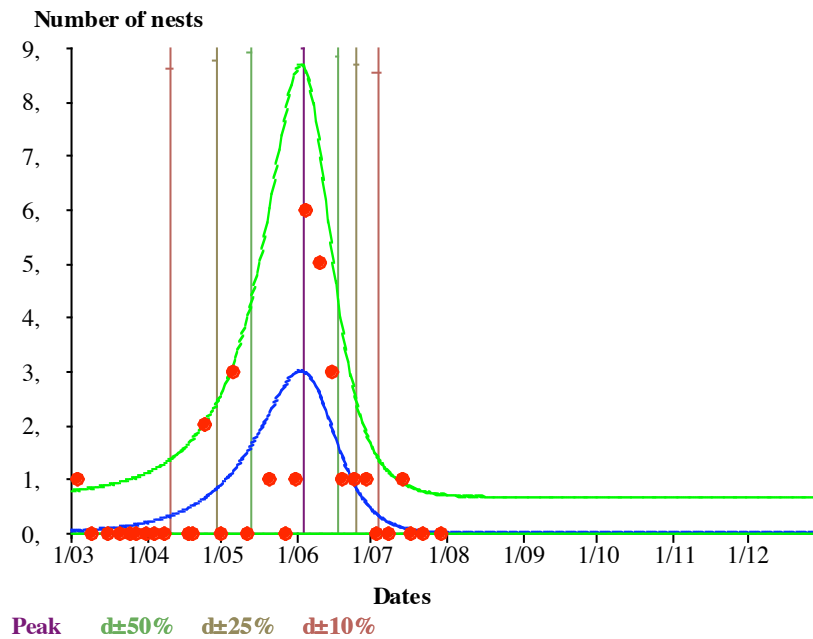


Figure 28: Saison de pontes des tortues luths sur la plage de Farez en 2002.

En comparant les Figure 27 et Figure 28, on voit que la saison de pontes a été tronquée sur la plage de Farez en comparaison de la plage proche de Yalimapo. La raison en est une érosion de la plage de Farez (Figure 29). Le modèle permet donc bien de détecter des contraintes externes à partir de la distribution des pontes des tortues marines.



Figure 29: Localisation de la plage de Farez montrant son érosion. Image tirée du Géoportail de l'IGN.

4.4. Valorisation

Ces travaux ont d'ores et déjà fait l'objet d'une publication dans laquelle Hartman Resources LTD et Créocéan sont remerciés.

Girondot, M., P. Rivalan, R. Wongsopawiro, J.-P. Briane, V. Hulin, S. Caut, E. Guirlet, and M. H. Godfrey. 2006. Phenology of marine turtle nesting revealed by a statistical model of the nesting season. *BMC Ecology* 6:1-12.

Acknowledgements

Many individuals from the different organizations involved in marine turtle field work in French Guiana have helped collect the data used in this study: Kulalashi from the villages of Ya:lima:po and Awa:la, Eric Hansen and Johan Chevalier (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage), the Réserve Naturelle de l'Amana, and the Syndicat Intercommunal à Vocation Unique de l'Amana. Financial support was provided by the Direction Régionale de l'Environnement Guyane, the Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Créocéan and Hardman Resources LTD. This paper greatly benefited from the comments of three referees.

5. Contamination de l'environnement par des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs)

Dans le cadre d'une prospection pétrolière menée par la Société Hardman LTD (voir les sites prévus de forage sur la Figure 30), un état zéro de l'environnement en ce qui concerne la présence de dérivés pétroliers a été entreprise.

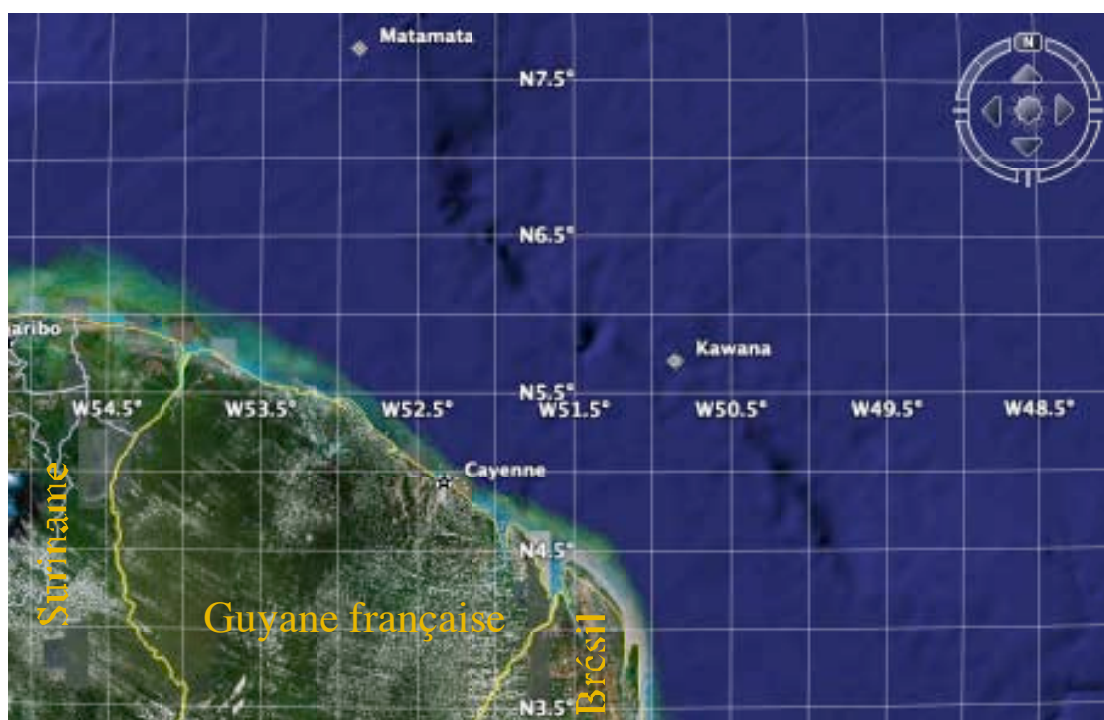


Figure 30: Les points Kawana et Matamata correspondent aux emplacements prévus de forage. Modifié d'après GoogleEarth..

La caractérisation d'un site contaminé consiste à évaluer l'état de pollution du site à un instant donné. Cette démarche implique d'une part la maîtrise de la mesure des polluants concernés et d'autre part la représentativité des mesures réalisées.

5.1. Les dérivés pétroliers

On distingue les pétroles en fonction de leur origine et donc de leur composition. Le mélange d'hydrocarbures issu du processus de formation comprend des chaînes linéaires plus ou moins longues, ainsi que des chaînes cycliques naphthéniques ou aromatiques. Il est possible de distinguer les différents types de pétrole selon leur densité, leur fluidité, leur teneur en soufre et autres impuretés (vanadium, mercure et sels) et leur teneur en différentes classes d'hydrocarbures. Le pétrole est alors paraffinique (Figure 31), naphthénique (Figure 32) ou aromatique (Figure 33).

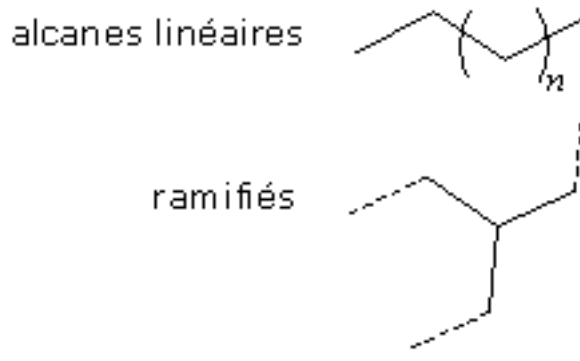


Figure 31: Les pétroles paraffiniques contiennent une grande quantité d'alcanes, linéaires (« paraffines ») ou ramifiés (« isoparaffines »), non-cycliques

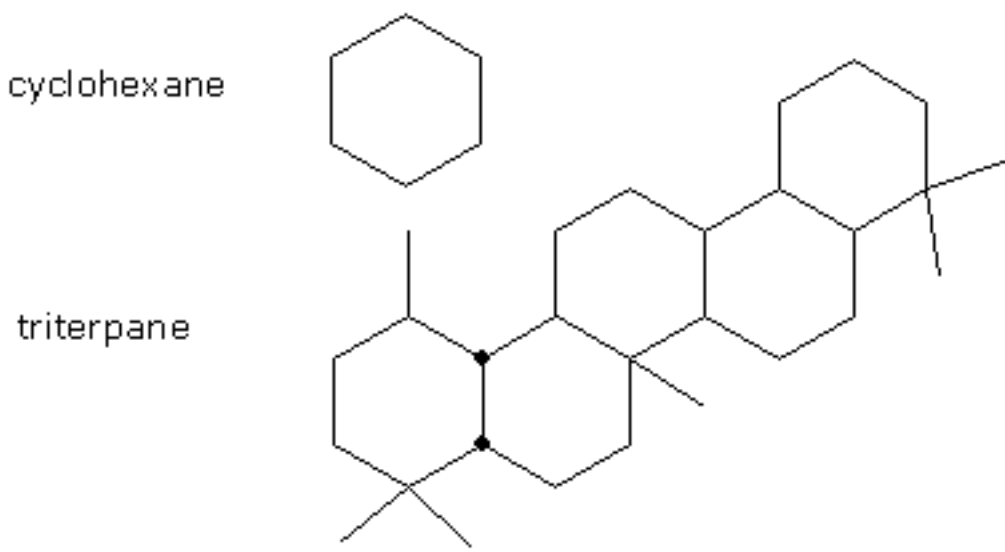


Figure 32: Les pétroles napténiques contiennent une grande quantité d'hydrocarbures cycliques (cyclohexane ou « naptène » et dérivés) et polycycliques.

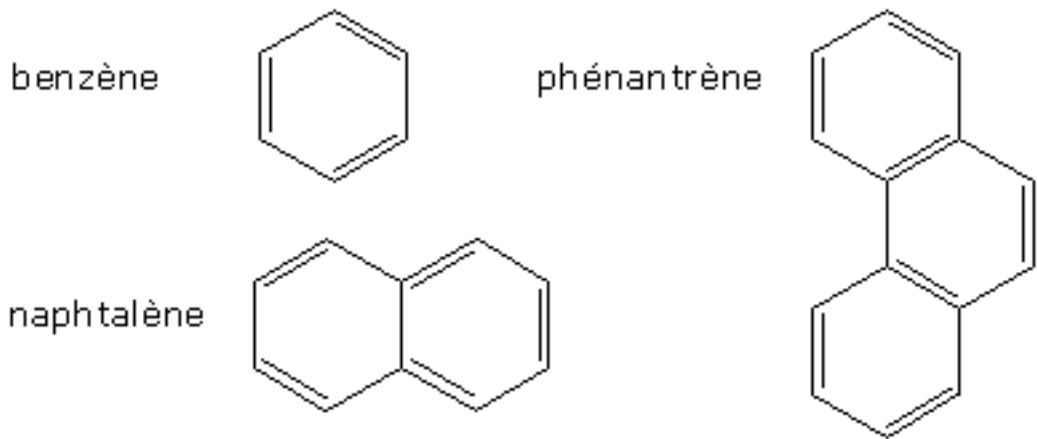


Figure 33: Les pétroles aromatiques contiennent une grande quantité de composés aromatiques (benzène et dérivés).

Quelques arènes importants sont appelés HAP, hydrocarbure aromatique polycyclique (PAH en anglais). Ils sont composés de plus 3 cycles selon l'International Union on Pure and Applied Chemistry (IUPAC) mais classiquement les hydrocarbures aromatiques à deux cycles sont inclus dans cette catégorie.

Les HAPs existent à l'état naturel dans le pétrole brut ; ce sont les hydrocarbures pétrogéniques. Ils se caractérisent par une forte proportion d'hydrocarbures aromatiques ramifiés, c'est-à-dire, substitués par des groupements alkyles. La pyrolyse et la combustion incomplète de matières organiques ; comme l'incinération des déchets, la combustion du bois, du charbon, le fonctionnement des moteurs à essence ou des moteurs diesels, produit aussi des HAPs : les hydrocarbures pyrogéniques. La troisième origine est diagénétique (processus se produisant dans les sédiments à faible pression et faible température).

Selon le nombre de cycles, ils sont classés en HAP légers (jusqu'à trois cycles ou 5 cycles selon les auteurs) ou lourds (au-delà de trois cycles ou 5 cycles), et ont des caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques très différentes.

Le nombre de HAP susceptibles d'être rencontrés est sans limite. En effet, non seulement il n'y a pas de limite au nombre de noyaux accolés, mais le nombre d'isomères augmente considérablement avec le nombre de cycles aromatiques. De plus, ils peuvent être alkylés.

Les HAP purs sont des substances colorées et cristallines à température ambiante. Les propriétés physiques des HAP varient selon leur masse moléculaire et leur structure. À l'exception du naphthalène, les HAP sont très hydrophobes, et donc leurs solubilités dans l'eau sont faibles. Parallèlement, leurs coefficients de partage octanol/eau (K_{ow}) sont relativement élevés, témoignant d'un important potentiel d'adsorption sur les matières organiques particulaires en suspension dans l'air ou dans l'eau, ainsi que d'un fort potentiel de bioconcentration dans les organismes.

En fonction de l'origine, certains HAP se formeront préférentiellement. Ceci permet de les utiliser comme indicateurs d'origine. Ainsi, les rapports de concentration en différents HAP permettent de calculer des indices moléculaires. Par exemple, si le rapport de la concentration en anthracène sur celle du phénanthrène est supérieur à 10, alors l'origine sera pétrogénique tandis que s'il est inférieur à 10, il sera d'origine pyrolytique.

5.2. Conséquences environnementales de la présence de dérivés pétroliers

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) entraînent une toxicité à long terme. Hydrophobes, ils ont tendance à s'associer aux molécules organiques présentes et à diffuser dans les organismes où ils peuvent s'accumuler.

Depuis de nombreuses années, les HAP sont très étudiés car ce sont des composés présents dans tous les milieux environnementaux et qui montrent une forte toxicité. Ils font partie des polluants organiques persistants (POPs). D'ailleurs, c'est une des raisons qui a conduit à leur ajout dans la liste des polluants prioritaires par l'agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA US Environmental Protection Agency), dès 1976. Aujourd'hui, ils font également partie des listes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et de la communauté européenne.

L'EPA a défini une liste de 16 HAPs qui sont à surveiller en priorité dans les études environnementales (Figure 34).

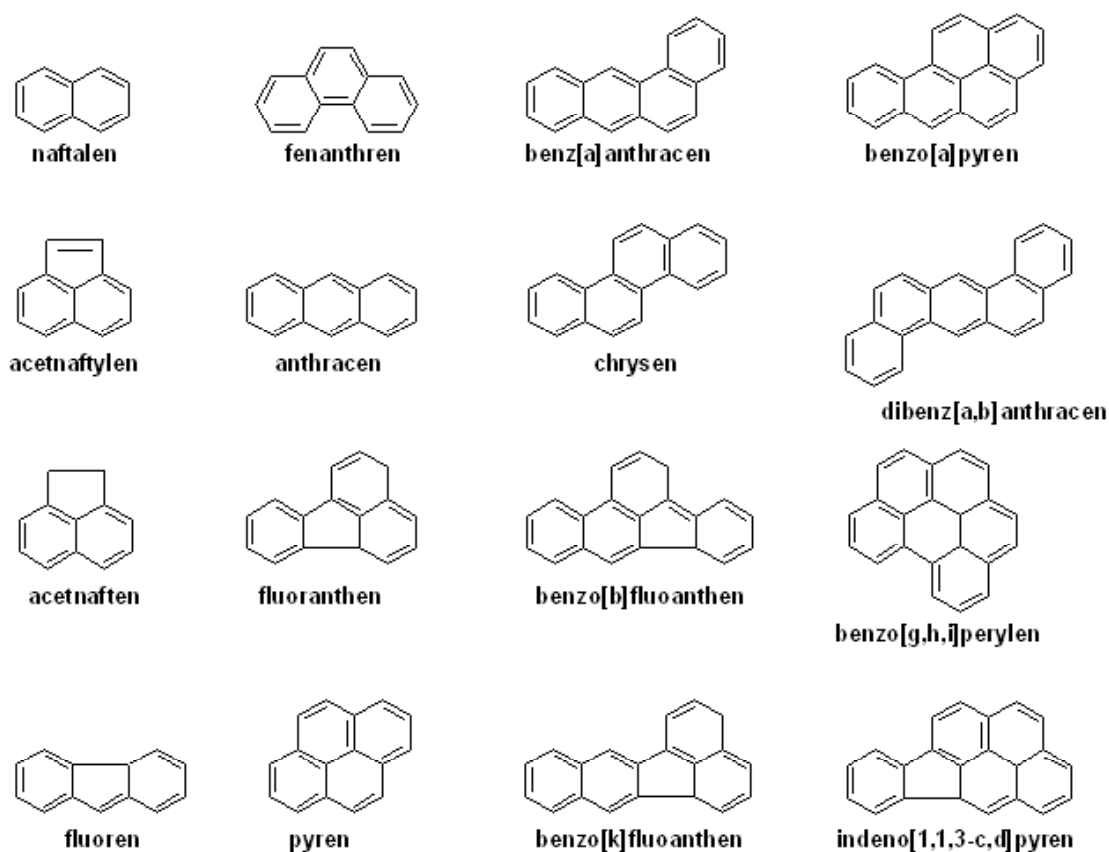


Figure 34: Les 16 HAPs utilisés en biosurveillance selon les directives de l'EPA.

5.2.1. Toxicité des HAPs

L'une des raisons ayant conduit au classement des HAPs dans la liste des polluants prioritaires de l'EPA est le caractère toxique de certains d'entre eux. Ce sont des molécules biologiquement actives qui, une fois absorbées par les organismes, se prêtent à des réactions de transformation sous l'action d'enzymes conduisant à la formation d'époxydes et/ou de dérivés hydroxylés. Les métabolites ainsi formés peuvent avoir un effet toxique plus ou moins marqué en se liant à des molécules biologiques fondamentales telles que les protéines, l'ARN, l'ADN et provoquer des dysfonctionnements cellulaires.

Les HAPs connus pour leur caractère carcinogène, mutagène ou tératogène sont les suivants :

Benz[a]anthracène, chrysène, Benzo[b]fluoranthène, Benzo[j]fluoranthène, Benzo[k]fluoranthène, Benzo[a]pyrène, Benzo[ghi]perylène, Coronène, Dibenz[a,h]anthracène, Indeno[1,2,3-cd]pyrène, Ovalène, Phénanthrène

Le benzo(a)pyrène (B(a)P) est un des HAP les plus toxiques. En effet, il est reconnu comme cancérigène par l'IARC (International Association for Research on Cancer). Ceci est lié à sa capacité à former des adduits avec l'ADN (Figure 35: Fixation de B(a)P (molécule

blanche) sur de l'ADN (molécule orangée) entraînant une génotoxicité et des risques élevés de cancer). Il existe plusieurs voies d'activation du B(a)P, mais la plus importante est celle des diols époxydes car elle conduit à la formation d'adduits stables. Le B(a)P va être oxydé par les systèmes enzymatiques du cytochrome P450, pour finalement former un époxyde. Ce dernier produit, le Benzo(a)Pyrène-7,8-dihydrodiol-9,10-époxyde (BPDE), est susceptible de réagir avec l'ADN. Ainsi, la toxicité du benzo(a)pyrène est en partie directement liée au pouvoir cancérigène de l'un de ses métabolites, le BPDE, qui se fixe au niveau de l'ADN des cellules et entraîne des mutations pouvant à terme aboutir au développement de cancers.

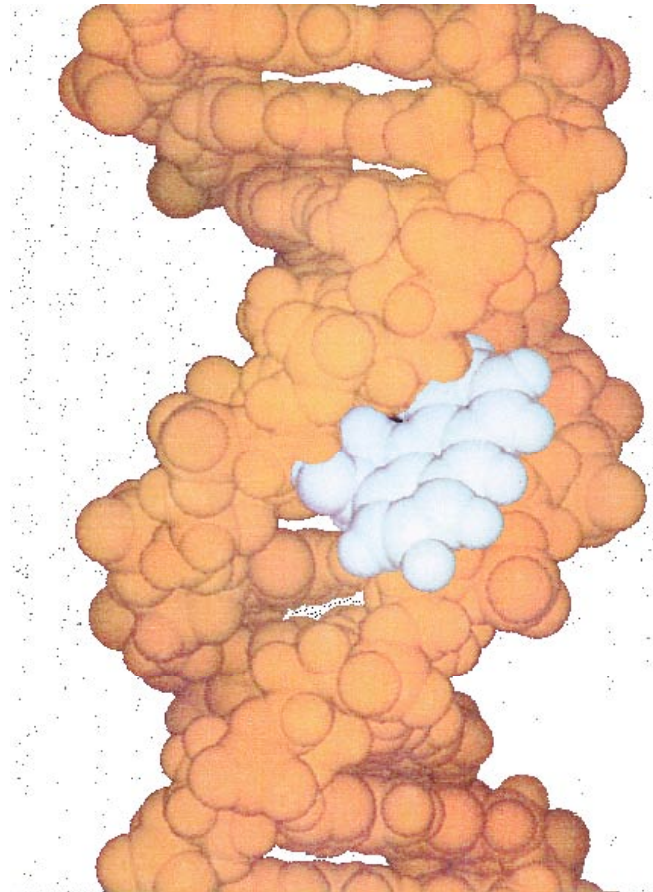


Figure 35: Fixation de B(a)P (molécule blanche) sur de l'ADN (molécule orangée) entraînant une génotoxicité et des risques élevés de cancer. Source EPA, USA.

Outre leurs propriétés cancérigènes, les HAP présentent un caractère mutagène dépendant de la structure chimique des métabolites formés. Ils peuvent aussi entraîner une diminution de la réponse du système immunitaire augmentant ainsi les risques d'infection.

Ils peuvent avoir des effets directs sur les récepteurs aux estrogènes (Fertuck et al. 2001) ce qui peut entraîner des dérégulation importantes du développement. Ceci a été confirmé à partir d'extraits de sédiments contaminés (Garcia-Reyero et al. 2005).

5.2.2. *Évolution des HAPs dans un sol*

La dégradation des HAPs dans les sols a été abordée par l'action de microorganismes bactériens et fongiques. La biodégradation bactérienne est plus documentée : les bactéries

aptes à dégrader les HAP à plus de 4 cycles sont méconnues, par contre ces derniers sont co-métabolisés.

Le suivi cinétique de biodégradation (en microcosmes et en respirométrie) mené sur des sols de cokerie montre peu ou pas de dégradation des HAPs à 5 et 6 cycles malgré la présence en abondance de microflore et de nutriments. En plus de l'effet inhibiteur de métabolites formés, ces résultats vont dans le sens d'une mauvaise accessibilité des microorganismes aux HAP peut être à cause de la texture du sol. Cette propriété du sol semble influencer la diversité bactérienne tout comme le fait le niveau de contamination.

Concernant les expérimentations relatives aux microorganismes fongiques, la littérature consultée indique la capacité de champignons à dégrader les HAPs ; certains de ces champignons sont ubiquistes et contribuent à la décomposition de végétaux dans les sols.

Comme c'est le cas pour la biodégradation bactérienne pour laquelle des travaux s'orientent vers l'identification d'enzymes impliqués dans la dégradation de certains HAP (exemple du pyrène et du chrysène), la recherche en biodégradation fongique insiste sur la nécessité d'identifier les composés intermédiaires de dégradation permettant de comprendre les mécanismes mis en jeu.

L'action des plantes ne conclut pas forcément à une dégradation des HAP. En effet plusieurs types d'observations ont été réalisés qui ne peuvent toutes conclure à une dégradation de HAP à proprement parler. Ainsi la végétalisation d'un sol a conduit à une diminution de sa toxicité, suggérant une diminution de la pollution dans son ensemble, HAP y compris. En fait, la quantité de HAP libérés en solution a augmenté sous l'action probable d'exsudats racinaires.

Il est important de souligner que la biodisponibilité n'est pas un facteur facile à appréhender, cette dernière étant dépendante de l'hydrosolubilité des composés mais également de leur solubilité dans des liquides physiologiques ou encore du type d'interactions avec les différents organismes utilisés pour le test.

5.3. Prélèvements

5.3.1. Sable

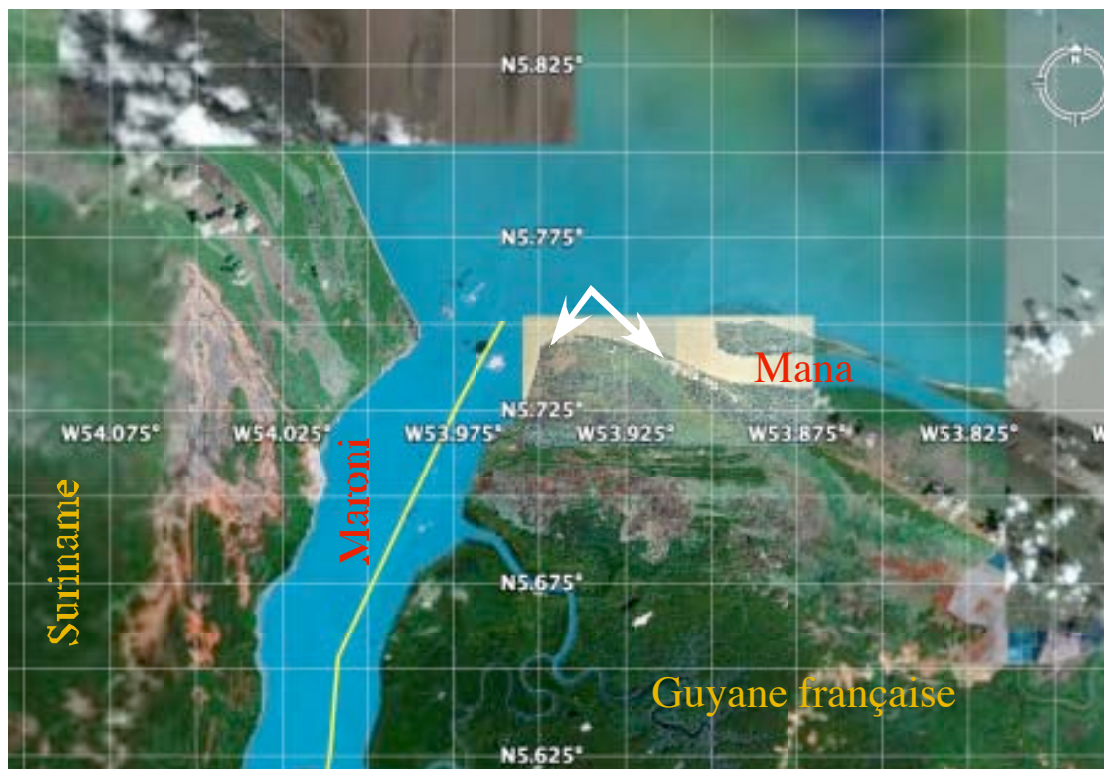
Du sable a été prélevé sur la plage de Yalimapo à l'ouest de la Guyane française (Figure 36) au cours d'une campagne de terrain commune entre le laboratoire Ecologie, Systématique et Evolution UMR 8079 d'Orsay et l'Institut Mixte Hubert Curien UMR 7178 de Strasbourg. Cette plage se situe au niveau de l'embouchure conjointe de deux fleuves, la Mana et le Maroni (Figure 37). Les villes importantes sont Mana situé à 20 km de l'embouchure sur la Mana et Saint-Laurent-du-Maroni situé à 30 km de l'embouchure sur le Maroni.

Les prélèvements ont été effectués à 80 cm de profondeur à proximité d'un nid. La plage de Yalimapo est suffisamment utilisée par les tortues marines pour que l'on puisse considérer que tout le sable compris entre 0 et 80 cm est homogène.

Les prélèvements de sable ont été stockés dans des bouteilles en verre et stockés à 7°C avant analyse.



Figure 36: Positionnement de la plage de Yalimapo (flèche blanche) à l'échelle de la Guyane française. Les points Kawana et Matamata correspondent aux emplacements prévus de forage. Modifié d'après GoogleEarth.



10 km

Figure 37: La plage de Yalimapo est située entre les deux flèches blanches de part et d'autre des fleuves Maroni et Mana. Modifié d'après GoogleEarth.

5.3.2. Œufs

Des œufs de tortues luths ont été prélevés au cours de la saison 2006, congelés et traités comme décrit ci après.

5.4. Méthode de détection des HAPs

La détection des HAPs a été effectuée selon les procédures courantes notamment la norme ISO 18287 :2006 (Anonymous 2006) modifiée pour prendre en compte les méthodes d'analyse les plus récentes (Huang et al. 2002, Pepin et al. 2003, Belkessam et al. 2005, Navarro et al. 2006). Une synthèse complète des différentes étapes est donnée en Annexe 1.

5.4.1. Extraction des HAPs

L'extraction des substances liposolubles est réalisée à l'aide d'un extracteur ASE (Accelerated Solvent Extraction, Dionex). Les échantillons à analyser sont placés dans des cellules d'extraction de 33 ml. Elles sont ensuite introduites une à une dans un four dont la température atteint 120°C. A ce stade, les cellules sont remplies de solvant organique. Un mélange de dichlorométhane (2 volumes) et de méthanol (1 volume) (adapté de Folch) a été utilisé pour cette étape. La pression qui règne dans la cellule augmente également et atteint 100 bars en 6 minutes. Puis ces deux paramètres (température et pression) se stabilisent pendant 6 minutes : c'est la phase statique de l'extraction. L'augmentation de température

modifie les propriétés du solvant ; cela entraîne un accroissement de la solubilité des analytes et augmente la vitesse d'extraction. L'augmentation de la pression permet de maintenir le solvant sous forme liquide à température élevée.

Après extraction, les cellules de récupération contiennent le solvant, les analytes et la fraction lipidique. Le solvant est évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif à 40°C puis séché sous cloche à vide pendant 1h. Chaque échantillon est repris dans 2 ml d'hexane afin d'être conservé.

Ce cycle est effectué deux fois sur un même échantillon pour être sûr que l'ensemble des molécules lipophiles est extrait.

5.4.2. Purification des échantillons

Le but de cette étape est de séparer les polluants lipophiles présents dans le sable des lipides. Cela est nécessaire car les lipides peuvent perturber les mesures subséquentes. La séparation est effectuée par chromatographie d'absorption (liquide/solide) (SPE solid phase extraction) à l'aide d'une cartouche dont la phase solide est constituée de 1g de Florisil® (Garrigues and Bellocq 2005). Le Florisil® est de la silice enrichie en magnésium qui retient les lipides. L'élution des HAPs est pratiquée avec 5 ml d'hexane.

Les éluats obtenus sont ensuite évaporés et remis en solution dans 1 ml de méthanol 46%.

5.4.3. Détermination des HAPs

Chromatographie en phase gazeuse et PID

La méthodologie la plus courante pour évaluer la présence de HAP dans l'environnement et d'utiliser une chromatographie en phase gazeuse. La détection peut se faire par FID ou PID, l'intérêt du PID (détecteur à photoionisation) étant d'être plus sélectif sur les HAP car les hydrocarbures alyphatiques ne sont pas détectés contrairement au FID. Le gaz porteur est de l'hydrogène.

Les paramètres utilisés en chromatographie en phase gazeuse ainsi que pour la détection sont présentés en Annexe 2.



Figure 38: Clarus 500 de Perkin-Elmer, ayant servi aux analyses.

5.5. Résultats

5.5.1. Chromatographie en phase gazeuse

Les différents profils chromatographiques sont donnés dans l'Annexe 3.

Les synthèses des résultats quantifiés sont données dans les Figure 39 et Figure 40.

5.5.2. Les produits détectés

Le chrysène

Il est formé lors de la distillation du charbon et de la distillation ou de la pyrolyse de graisses et d'huiles.

Le chrysène est présent à des concentrations plus élevées que la plupart des autres HAP dans les combustibles fossiles tels que l'huile brute et la lignite. Il fait partie des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) prédominants dans les émissions particulières provenant des incinérateurs d'ordures ménagères, des appareils ménagers à gaz naturel et des dispositifs de chauffage domestique, en particulier ceux utilisant la combustion du bois.

Le benzo[a]pyrène

Le benzo[a]pyrène est présent dans les combustibles fossiles. Il est également formé lors de combustions incomplètes puis rejeté dans l'atmosphère où il est présent majoritairement dans la phase particulaire du fait de sa tension de vapeur extrêmement faible. Dans l'atmosphère, la phase vapeur dépasse rarement 10 % de la concentration totale en benzo[a]pyrène. Les sources naturelles d'émission sont les éruptions volcaniques et les feux de forêts. Le benzo[a]pyrène est également synthétisé par des plantes, des bactéries et des algues. Sa présence dans l'environnement est d'autre part d'origine anthropique : raffinage du pétrole, du schiste, utilisation du goudron, du charbon, du coke, du kérosène, sources d'énergie et de chaleur, revêtements routiers, fumée de cigarette, échappement des machines à moteur thermique, huiles moteur, carburants, aliments fumés ou grillés au charbon de bois, huiles, graisses, margarines, etc.

Le benzo[a]anthracène

Ce produit, un des plus mal connu parmi les HAP prioritaires de l'EPA, se trouve aussi dans les combustibles fossiles.

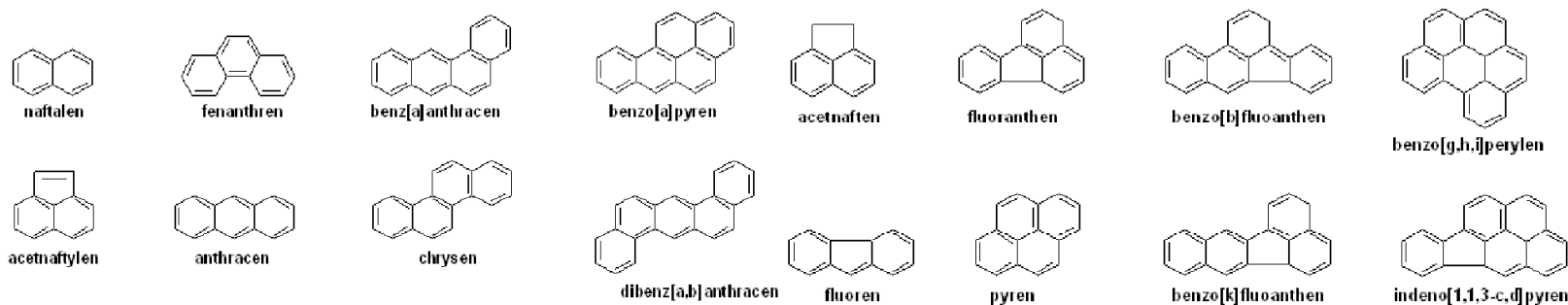
Œuf	Napht	Acy	Ace	Fluor	Phen	Anthr	Fluorant	Pyr	BaA	Chrys	BbF+BkF	BaP	I(1,2,3)P+diB(a,h)A	B(ghi)peryl
5	54,6	21,0	47,4	20,9	17,2	46,7	nd	52,6	67,0	6690,0	36,2	513,0	nd	nd
70	nd	25,2	18,2	13,6	67,0	27,9	74,1	44,2	244,0	5422,6	nd	915,6	nd	nd
104	nd	9,3	nd	5,9	76,1	45,5	188,8	75,4	2514,0	5289,3	nd	2839,7	nd	nd
160	15,9	18,8	nd	4,1	366,3	nd	1791,1	77,1	8577,0	5428,6	139,3	4898,5	nd	nd
205	nd	15,2	5,5	7,7	570,8	64,9	1736,8	146,9	10325,6	5027,8	866,4	nd	nd	nd

Figure 39: Concentration en ng/mg des 16 HAPs prioritaires de l'EPA dans les oeufs de tortues luths. Nd indique que le produit n'est pas détecté. Les produits entourés sont ceux pour lesquels on peut considérer que la teneur est significative.

Sable	Napht	Acy	Ace	Fluor	Phen	Anthr	Fluorant	Pyr	BaA	Chrys	BbF+BkF	BaP	I(1,2,3)P+diB(a,h)A	B(ghi)peryl
76	1,4	1,4	1,4	0,9	1,3	38,4	1,3	1,2	nd	73,9	2,8	3,6	nd	nd
86	nd	0,7	nd	0,5	2,0	15,3	nd	nd	116,6	147,9	nd	6,8	nd	nd
106	nd	nd	nd	nd	3,6	1,5	6,5	2,1	117,8	111,2	nd	8,3	nd	nd
121	nd	nd	nd	nd	2,4	1,6	4,8	nd	118,6	119,2	nd	nd	nd	nd
153	nd	nd	nd	nd	0,5	nd	3,6	nd	68,4	111,7	nd	2,3	nd	nd
185	nd	1,3	nd	nd	nd	5,1	189,1	9,9	1064,7	365,1	nd	nd	nd	nd
197	nd	nd	nd	nd	nd	nd	18,3	nd	972,7	371,1	23,9	87,3	nd	nd

Figure 40: Concentration en ng/mg des 16 HAPs prioritaires de l'EPA dans du sable de la plage de Yalimapo. Nd indique que le produit n'est pas détecté. Les produits entourés sont ceux pour lesquels on peut considérer que la teneur est significative.

Pour mémoire :



5.6. Conclusions

Nous montrons la présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques sur la plage de Yalimapo en Guyane française.

En chromatographie en phase gazeuse, on détecte du chrysène et du benzo[a]anthracène dans le sable et ces produits plus du benzo[a]pyrène dans les œufs.

L'origine de ces HAPs est sans doute multiple mais il est intéressant de noter que les deux majeurs trouvés dans le sable sont aussi retrouvés dans les œufs. L'hypothèse d'une contamination du substrat par les tortues marines est donc vraisemblable.

L'origine de ces hydrocarbures n'est pas déterminable avec certitude (Boehm et al. 2001) mais la présence de ces produits à la fois dans les œufs et le substrat plaide pour une contamination via la nourriture ou un contact avec les muqueuses chez les animaux en mer.

L'origine des HAPs décrits précédemment pourrait être d'origine pétrogénique et anthropique ou bien de fuites naturelles à partir du sous-sol (Abdul 1988).

Il serait important d'effectuer une étude à plus grande échelle sur toutes les plages de Guyane française et de caractériser d'un point de vue isotopique ces HAPs. (Mazeas and Budzinski 1999). On serait alors en mesure de distinguer une éventuelle nouvelle contamination dans l'environnement du bruit de fond existant actuellement (voir par exemple les difficultés rencontrées par Boehm et al. 2001 en Alaska).

6. Etude de faisabilité de survol aérien pour évaluer la présence des tortues marines dans les eaux de Guyane française

La tortue luth, *Dermochelys coriacea*, est la plus abondante des quatre espèces de tortues marines nidifiant en Guyane française et au Suriname. Les trois autres espèces sont, par ordre décroissant de pontes dans la région, la tortue verten *Chelonia mydas*, la tortue olivâtre *Lepidochelys olivacea* et la tortue imbriqués *Eretmochelys imbricata*. La ponte est régulièrement observée de l'est de la Guyane autour de Cayenne jusqu'à l'ouest à Braamspunt au point de confluence des rivières Commewijne et Surinam au Suriname. Cette région comprend environ 600 km de côtes avec des plages très dynamiques qui apparaissent et disparaissent au gré du déplacement des bancs de vase d'origine amazonienne (Marchand 2003).

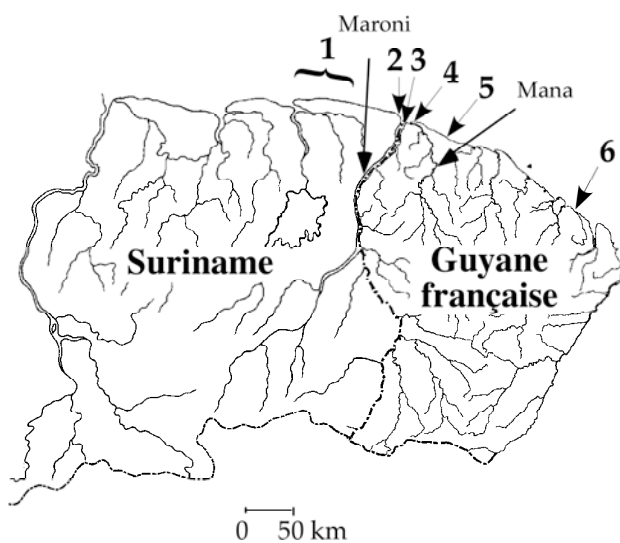


Figure 41: Sites majeurs de ponte au Suriname et en Guyane française pour les années 2000-2005. (1) Région de Matapica, (2) Région de Galibi, (3) Plage de Yalimapo, (4) Plages de Apotili et Farez, (5) Plage d'Aztec et Iracompapy (6) Plages de la région de Cayenne.

6.1. Les survols aériens comme outils pour étudier l'aire de distribution d'animaux

La distribution et l'abondance d'espèces menacées ou en danger dans le domaine océanique sont très mal connues. Les premiers vols océanographiques servant à enregistrer la température de surface du plateau continental de l'Atlantique par les U.S. Coast Guard ont démontré que le suivi aérien pour les poissons pélagiques, les mammifères marins et les tortues marines était possible (Figure 42). Les survols aériens ont depuis prouvé qu'ils étaient une méthode efficace et peu chère pour obtenir des données d'observation de tortues marines et de cétacés et ont ainsi aidé les chercheurs à obtenir des patrons de distribution d'espèces. Dans tous les cas, le couplage du survol aérien avec de la télémétrie est préférable (Matthiopoulos et al. 2004) car les deux technologies sont complémentaires.

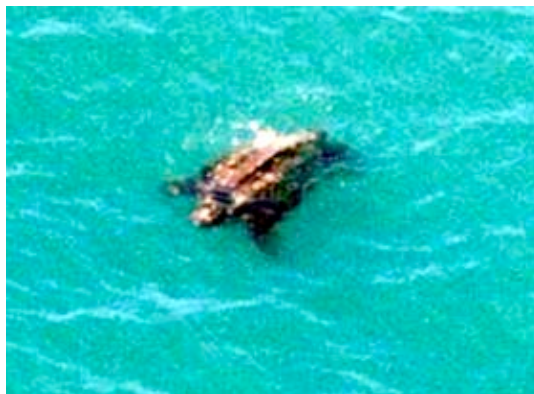


Figure 42: Tortue luth, agrandissement d'une photo prise à 200 m de hauteur.

6.1.1. *Tortues marines*

Le survol aérien a été utilisé avec succès pour établir la distribution des tortues marines en mer (eg Hoffman and Fritts. 1982, Fritts et al. 1983, Crouse 1984, Schroeder and Thompson. 1987, Marsh and Saalfeld 1989, Shoop and Kenney 1992, Witzell and Azarovitz 1996, Witzell 1999, Coles and Musick 2000, McDaniel et al. 2000, Anonymous 2002, Roos et al. 2005).

Durant le vol, chaque animal observé est noté et géoréférencé (Figure 43). Alors une carte peut être tracée prenant en compte toutes les observations pour une période de temps donnée. Lorsque l'effort de capture est connu, il est possible d'estimer la densité des animaux pour chaque sous-région (see for example Figure 44).

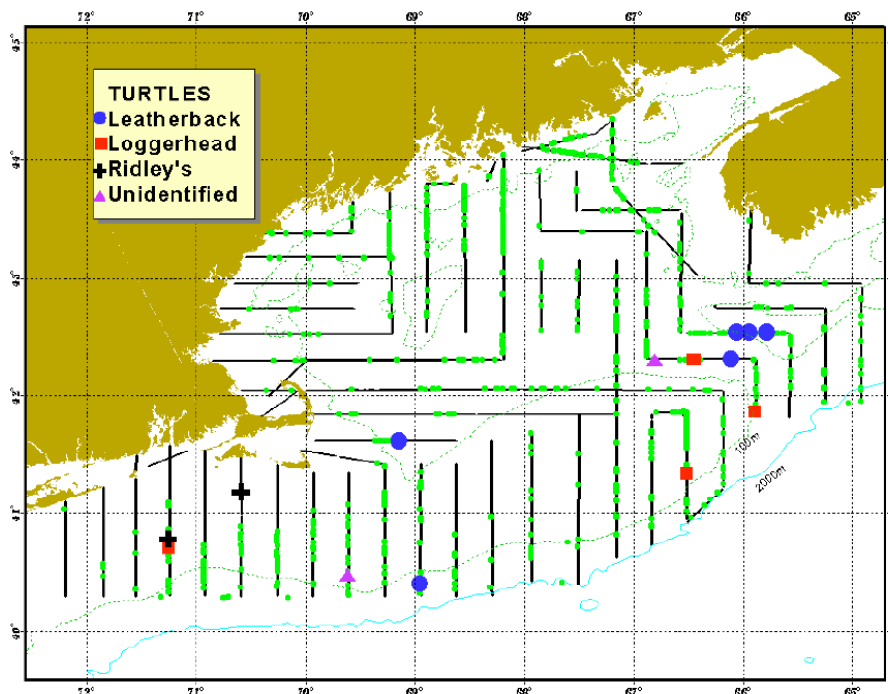


Figure 43: Exemple de survol aérien aux USA. Les points verts indiquent l'observation d'un animal et les tortues marines sont indiquées avec un autre symbole (voir légende).

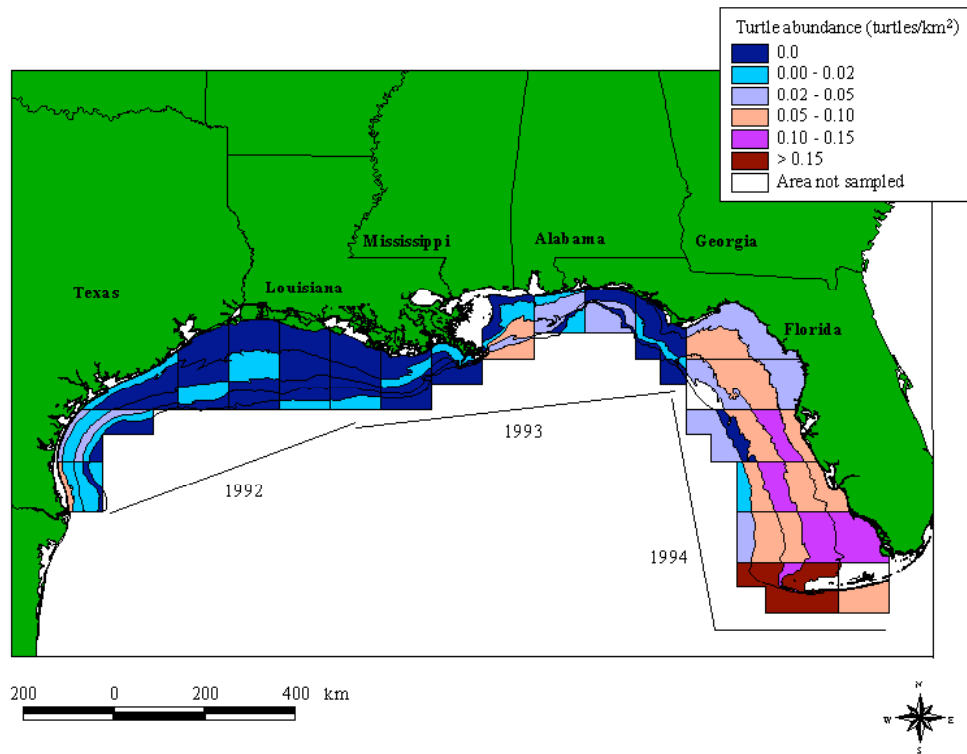


Figure 44: Abondance des tortues marines de septembre, octobre et novembre 1992, 1993, et 1994 au niveau du Golfe du Mexique. Les abondances sont obtenues à partir des observations de survols aériens; Les lignes noires représentent les années et la localisation des survols aériens. Les contours de profondeurs sont tous les 18.3-m et les observations sont regroupées au sein des zones statistiques du NMFS. Les intersections des zones statistiques et des contours de profondeur représentent les sous-régions (McDaniel et al. 2000).

6.1.2. Cétacés

Le survol aérien est l'outil idéal pour la plupart des cétacés en raison de leur masse plus importante que celle des tortues marines (Treacy 1996).

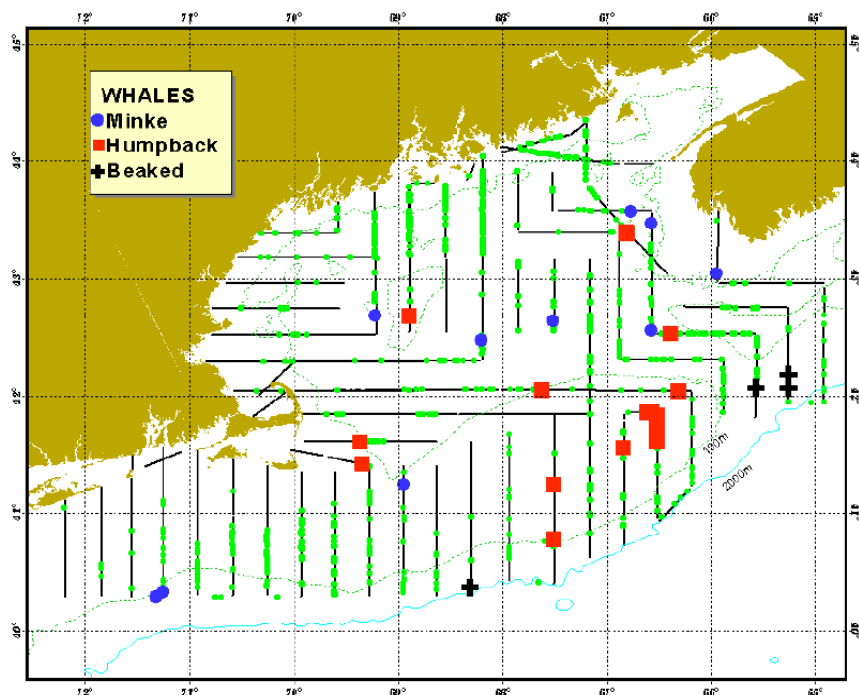


Figure 45: Exemple de survol aérien aux USA. Les points verts indiquent une observation d'un animal et les autres symboles sont utilisés pour trois espèces de cétacés (voir légende).

6.2. Survol aérien au large des côtes de Guyane

Les survols aériens sont possibles en Guyane française à plus de 80 km de la côte lorsque la visibilité dans l'eau dépasse 5 m (Figure 46) (Girondot 2006).

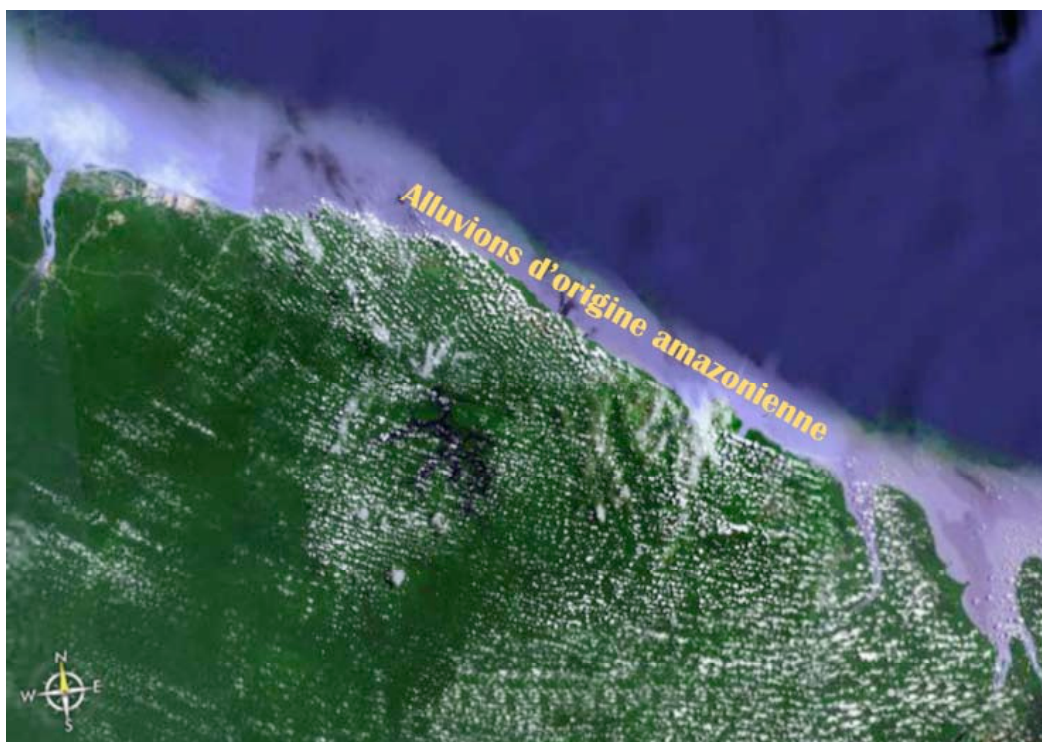


Figure 46: Milieu marin au large de la Guyane française. Les alluvions amazoniennes sont visibles.

Très peu de données sont actuellement disponibles en ce qui concerne la présence d'espèces protégées au large de la Guyane française. Une synthèse récente propose que 26 cétacés et 4 tortues marines pourraient être trouvés au large de la Guyane française {Girondot, 2006 #4043}.

De plus, il est possible d'observer des tortues caouannes (*Caretta caretta*) (Witzell and Azarovitz 1996) et probablement des requins baleines *Rhincodon typus* et des requins blancs *Carcharodon carcharias* qui sont listés en Annexe I et/ou II de la convention sur les espèces migratrices.

6.3. Protocole

6.3.1. Périodes de suivi aérien

La présence de cétacés au large des côtes de Guyane française est peu documentée et ne permet pas de définir un indice permettant la définition des meilleures périodes de suivi aérien. D'un autre côté, la présence des tortues marines dans la région des Guyanes est bien documentée grâce aux suivis des nids (Figure 22).

A partir du modèle de présence des animaux sur les plages de Guyane française (§ 4), il est possible de déduire la meilleure période pour étudier leur arrivée et départ de la région (Figure 47). On supposera que les femelles arrivent sur site un peu auparavant ; 15 jours ont été choisis ici.

Nous proposons donc d'effectuer les survols aériens selon le planning suivant (1) début-avril pour l'arrivée des tortues luths, (2) mi-mai pour le départ des tortues vertes, (3) début juin pour l'arrivée des olivâtres (4) mi-juillet pour le départ des luths.

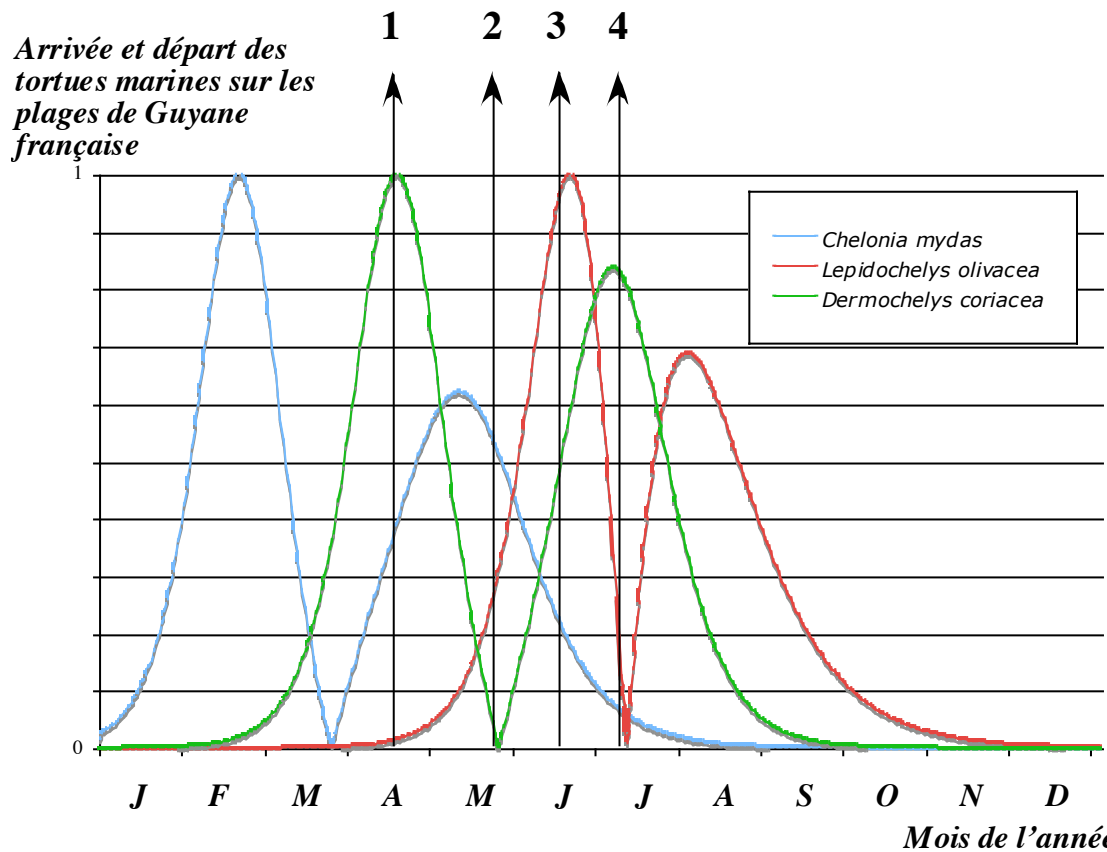


Figure 47: Arrivée et départ des tortues marines des sites de ponte. Le premier pic pour une espèce correspond à l'arrivée et le second au départ. La présence des animaux sur les sites de prospection au large serait décalé de 10 jours avant l'arrivée et de 10 jours après le départ. Les nombres correspondent aux différentes périodes de survol : (1) mi-avril, arrivée des tortues luths, (2) mi-mai, départ des tortues vertes, (3) mi-juin, arrivée des tortues olivâtres et (4) mi-juillet, départ des tortues luths.

6.3.2. Protocole aérien

Au début de chaque vol ainsi que l'orsque les conditions changent, les données suivantes sont collectées :

1. Initiales du pilote et de l'observateur,
2. Etat de la mer dans l'échelle de Beaufort,

Force	Termes	Vitesse en nœuds	Vitesse en km/h	État de la mer
0	Calme	moins de 1	moins de 1	Miroir
1	Très légère brise	1 à 3	1 à 5	Quelques rides
2	Légère brise	4 à 6	6 à 11	Vaguelettes ne déferlant pas
3	Petite brise	7 à 10	12 à 19	Apparition de moutons
4	Jolie brise	11 à 15	20 à 28	Petites vagues, de nombreux moutons
5	Bonne brise	16 à 21	29 à 38	Vagues modérées, moutons, embruns
6	Vent frais	22 à 27	39 à 49	Crêtes d'écumes blanches, lames, embruns
7	Grand frais	28 à 33	50 à 61	Trainées d'écumes, lames déferlantes
8	Coup de vent	34 à 40	62 à 74	Tourbillons d'écumes à la crête des lames, trainées d'écumes
9	Fort coup de vent	41 à 47	75 à 88	Lames déferlantes grosses à énormes, visibilité réduite par les embruns
10	Tempête	48 à 55	89 à 102	Conditions exceptionnelles
11	Violente tempête	56 à 63	103 à 117	Conditions exceptionnelles
12	Ouagan	supérieur à 63	supérieur à 118	Conditions exceptionnelles

Figure 48: Echelle de Beaufort. Il revient à l'amiral britannique Francis Beaufort (1774-1857) d'avoir, en 1805, imaginé une échelle comportant des critères assez précis pour quantifier le vent en mer et permettre la diffusion d'informations fiables universellement comprises. Un degré Beaufort correspond à la vitesse moyenne du vent sur dix minutes de durée (d'après http://fr.wikipedia.org/wiki/Echelle_de_Beaufort).

3. Couleur de l'eau (bleu profond, bleu, bleu vert, vert, vert lumineux, vert jaunâtre, jaune-vert, jaune),

4. Couverture nuageuse (0-100%),

5. Angle par rapport au soleil (0-359°), où 0° correspond à la direction du vol et 90° est le côté droit de l'appareil,

6. Niveau d'éblouissement (aucune, faible, modéré excessif)),

7. Qualité subjective de conditions d'observation (excellente, bonne, modérée, correcte, faible) ; les données collectées en faibles conditions ne devraient pas être utilisées.

Lorsqu'un cétacé, une tortue ou un requin est observé, les données suivantes seront collectées:

1. Heure à laquelle l'avion passé à la verticale de l'animal,
2. Espèce ou à défaut niveau taxonomique supérieur identifiable,
3. Taille du groupe,
4. Angle de déclinaison par rapport à la trajectoire de l'avion,
5. Observation (animal, plongée, bateau, etc),
6. Direction de nage où 0° correspond à la direction du vol et 90° est le côté droit de l'appareil,
7. L'animal a-t-il réagit au passage de l'appareil (oui ou non),
8. l'animal a-t-il plongé (oui ou non)
9. Commentaires, si nécessaire.

Le protocole suivi en vol est basé sur la méthodologie classiquement utilisée pour les cétacés (Hiby and Lovell 1998, Hiby 1999).

La méthode « Circle-Back » est une modification de la méthode standard du transect linéaire par un retour circulaire et suivi de nouveau d'une portion du transect après qu'un petit groupe d'animaux (<11 animaux) aient été vus sur la portion originale du transect. L'objectif est de comparer la présence et la localisation des animaux entre les deux passages pour entirer la probabilité de détection des groupes. Les détails de la méthode sont disponibles dans Hiby (1999). La procédure est la suivante (Figure 49):

1. La localisation et l'heure de passage au niveau d'une observation sont notées. Trente secondes sont alors décomptées,
2. Durant les 30 secondes, les observations sont enregistrées comme d'habitude. Si pus de deux nouvelles observations, alors la procédure de « Circle Back » est abondonnée car il sera impossible de déterminer avec certitude si un groupe vu de nouveau était initialement déjà vu en raison d'une trop forte densité.
3. A la fin des 30 secondes, l'avion commence à effectuer une boucle vers l'arrière et l'observateur ne prend plus de notes. Cent-vingt secondes sont décomptées.
4. Durant ces 120 secondes l'avion fait demi-tour et se dirige parallèlement à la ligne d'origine environ à 1 km sur l'un ou l'autre des côtés.
5. A la fin des 120 secondes, l'avion commence à retourner sur la ligne d'origine,
6. Lorsque l'avion arrive sur la ligne d'origine, l'heure est notée, l'observateur recommence l'observation et 5 minutes sont décomptées.
7. Les observations sont notées ensuite comme d'habitude.

8. La procédure « Circle Back » n'est pas recommencée tant que le timer n'est pas arrivé au bout des 5 minutes. Ceci permet de progresser sur la ligne.

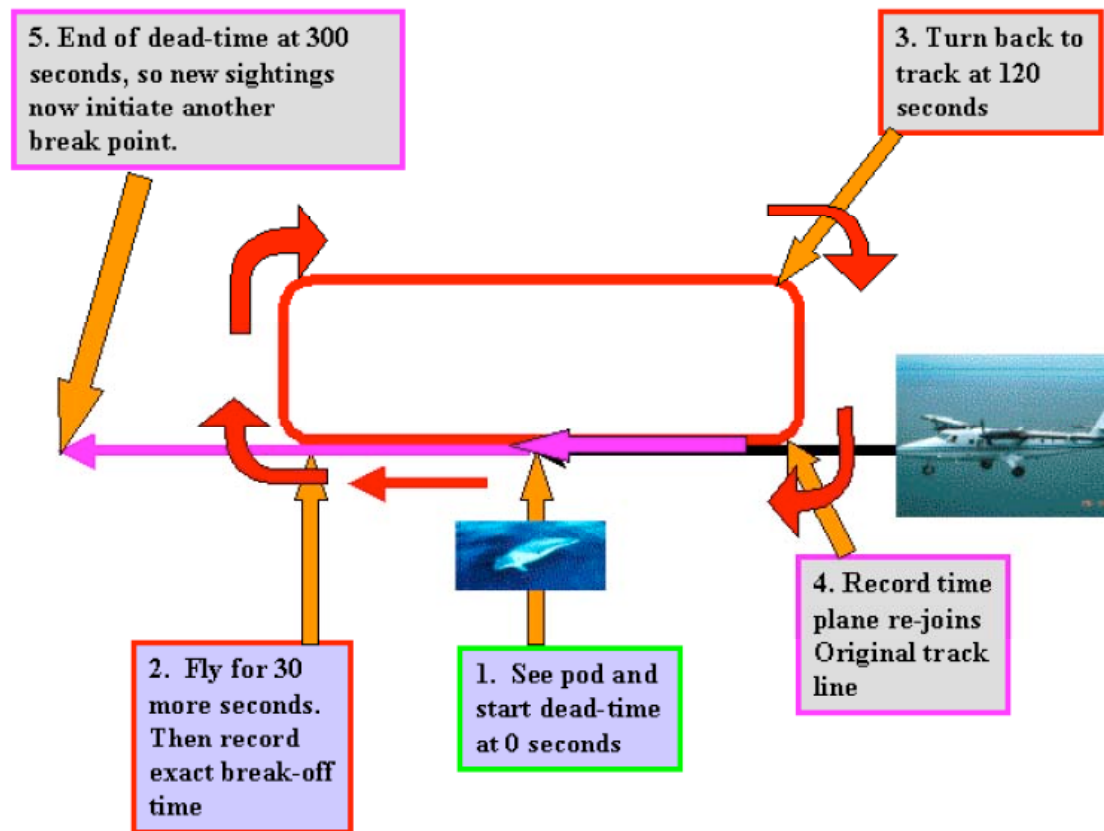


Figure 49: Diagram of the circle-back procedure.

6.3.3. *Nombre de survols aériens*

Durant chaque vol, la procédure “Circle Back” permet d’estimer la probabilité de manquer un individu. Il est alors possible d’estimer un nombre corrigé d’animaux dans la région.

Cependant ce nombre peut varier de jour en jour durant la même période. Il est donc important d’estimer l’écart type sur chaque période. Ceci ne peut être effectué que si des estimations indépendantes sont disponibles sur chaque période. Pour cette raison, trois estimations seront effectuées.

Le nombre de vols est donc de 4 périodes, 3 vols par période: 12 vols au total choisis de façon à représenter différentes situations liées à la présence des animaux en mer dans la région.

6.4. Premier suivi aérien de la faune marine en Guyane française

Le vol du 14 avril 2006 effectué en Guyane française a permis de mettre définitivement au point la méthodologie de dénombrement des animaux au large.

Prenant en compte les contraintes légales en ce qui concerne les vols au-dessus du milieu marin et la possibilité pour l'observateur d'avoir une vision optimale, les vols se sont déroulés à 500 pieds sur la zone d'observation et 1000 à 1500 pieds sur le trajet aller et retour vers la zone. On notera que des observations ont pu être effectuées à plus de 1000 pieds ce qui indique bien que la hauteur de 500 pieds était correcte pour ce type de travail. La vitesse de vol était de $160 \text{ km/h} \pm 10 \text{ km/h}$.

L'observation n'est souvent possible que d'un côté de l'avion en raison de la réverbération du soleil à la surface de l'eau (Figure 50). En conséquence, l'observateur changeait de site d'observation en fonction de la position du soleil.

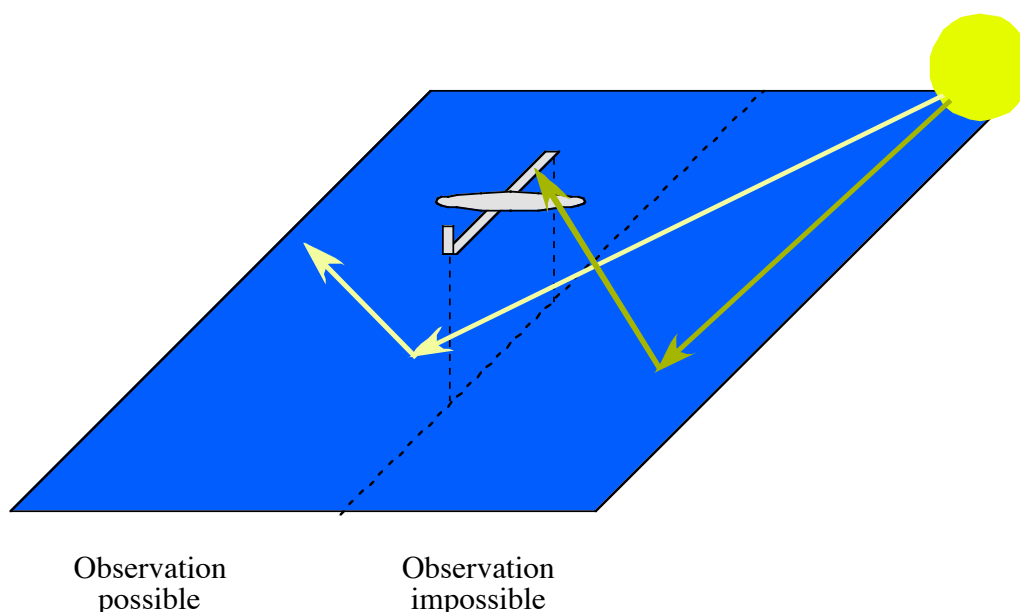


Figure 50: Schéma montrant les rayons lumineux du soleil à gauche et à droite d'un avion en fonction de la position du soleil.

Il est classiquement admis que la surface couverte au sol par l'observateur est égale à la hauteur de l'appareil, ce qui signifie que l'on peut voir des objets jusqu'à un angle de 45° . Ceci nous semble très optimiste et d'après les observations que nous avons effectuées, une zone au sol couverte de l'ordre de 500 m nous semble plus réaliste.

Au début du vol, l'ensemble des paramètres décrivant la situation (couvert nuageux, nombre de personnes à bord) étaient notés et repris à chaque changement dans les paramètres (état de la mer ou du ciel).

Lors du vol, deux GPS enregistraient le parcours et l'observateur notait sur un cahier toutes les observations. Lors qu'il n'était pas occupé à autre chose, le pilote participait aux observations.

Lors d'une observation, des photos étaient prises quand c'était possible, la direction des individus et un changement de comportement était noté. Une boucle était alors pratiquée de façon à revenir sur le site pour tenter de revoir l'animal. Cette procédure s'est avérée relativement complexe dans un certain nombre de cas. En effet, lors de l'observation d'une structure dans l'eau, il est généralement difficile de distinguer immédiatement de quoi il

s'agit. Il a parfois été jugé préférable de faire un demi-tour immédiatement en essayant de ne pas perdre des yeux la structure pour effectuer une identification fiable. De plus, la procédure initialement prévue permettant de calculer une probabilité d'observation est intéressante quand les observations d'une même espèce sont assez nombreuses. Il apparaît ici que relativement peu d'individus seront observés sur zone ce qui a rendu cette procédure peu adaptée. Elle ne sera pas pratiquée dans la suite des vols.

6.4.1. Vol du 14 Avril 2006

Site : Matamata

Observateur : Laurent Ponge

Pilote : Laurent Bénibri

Appareil : Cessna 172

Equipement : 1 GPS Garmin (Garmin 196)



Figure 51: Cessna 172

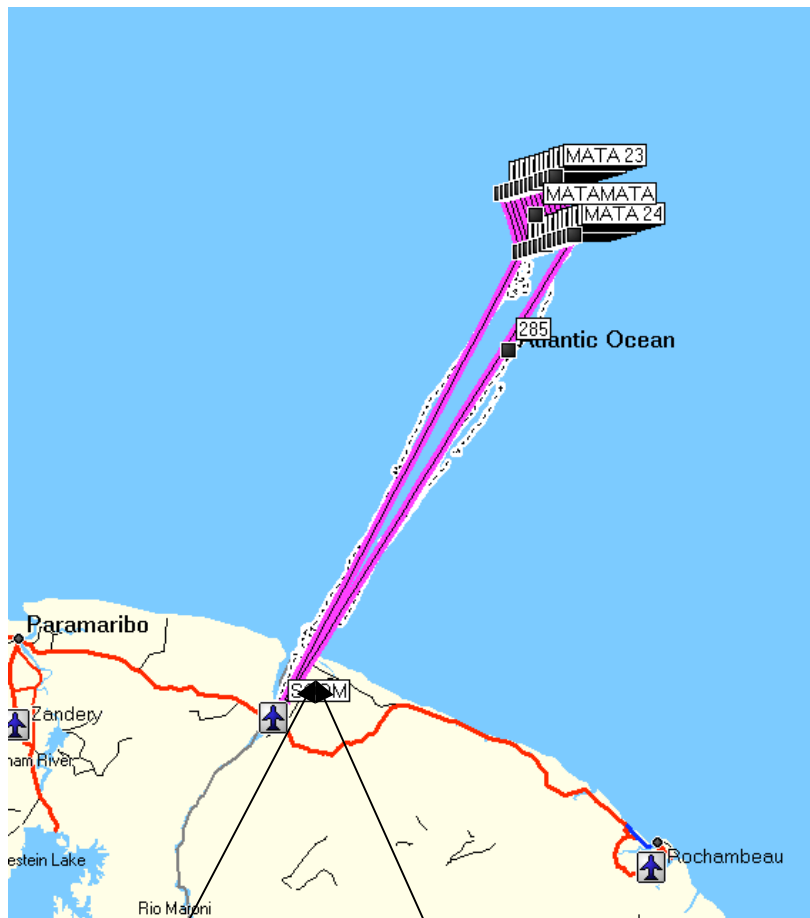
Météo au moment du décollage : Brumeux / Soleil Vent de 15 nœuds Est

Départ de St Laurent à 13h00

Etat de la mer : houle

Observation sur route : Nombreuses tapouilles à la sortie de l'estuaire du Maroni

Observations sur site : Poissons volants



7. Références bibliographiques

- Abdul, A. 1988. Migration of petroleum products through sandy hydrogeologic systems. Pages 1533-1550 *in* Proceedings of Second National Outdoor Action Conference on Aquifer Restoration, Ground Water Monitoring and Geophysical Methods. Volume III:1533-1550.
- Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Pages 267-281 *in* Proceedings of International Symposium on Information Theory.267-281.
- _____. 1974. A new look at the statistical model identification. Ieee Transactions on Automatic Control 19:716-723.
- Anonymous. 1999. Satellite Tracking Our Turtles. *in* http://www.oneocean.org/ambassadors/track_a_turtle/satellite/.
- _____. 2002. Aerial survey results. NOAA twin otter aircraft. Circle-Back Method Experimental Abundance Survey. National Marine Fisheries Service, Northeast Fisheries Science Center
- _____. 2006. ISO 18287:2006 — Soil quality — Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) — Gas chromatographic method with mass spectrometric detection (GC-MS). ISO.
- Beavers, S. C., and E. R. Cassano. 1996. Movements and dive behavior of a male sea turtle (*Lepidochelys olivacea*) in the eastern tropical Pacific. Journal of Herpetology 30:97-104.
- Belkessam, L., P. Lecomte, V. Milon, and A. Laboudigue. 2005. Influence of pre-treatment step on PAHs analyses in contaminated soils. Chemosphere 58:321-328.
- Boehm, P. D., D. S. Page, W. A. Burns, A. Edwardbence, P. J. Mankiewicz, and J. Brown. 2001. Resolving the origin of the petrogenic hydrocarbon background in Prince William Sound, Alaska. Environmental Science & Technology 35:471-479.
- Briane, J.-P., P. Rivalan, and M. Girondot. 2007. The Inverse Problem applied to the Observed Clutch Frequency of Leatherbacks from Yalimapo beach, French Guiana. Chelonian Conservation and Biology 6:63-69.
- Chevalier, J., G. Talvy, S. Lieutenant, S. Lochon, and M. Girondot. 1999. Study of a bimodal nesting season for leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) in French Guiana. Pages 264-267 *in* Proceedings of 19th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation.264-267.
- Coles, W. C., and J. A. Musick. 2000. Satellite Sea Surface Temperature Analysis and Correlation with Sea Turtle Distribution off North Carolina. Copeia 2000:551-554.

- Crouse, D. T. 1984. Loggerhead sea turtle nesting in North Carolina: Applications of an aerial survey. *Biological Conservation* 29:143-145.
- Ferraroli, S. 2003. Etude des déplacements en mer des tortues luths nidifiant sur le plateau des Guyanes : contribution à leur conservation. Université Louis Pasteur – Strasbourg I, Strasbourg, France.
- Ferraroli, S., J.-Y. Georges, P. Gaspar, and Y. Le Maho. 2004. Where leatherback turtles meet fisheries. *Nature* 249:521-522.
- Fertuck, K. C., S. Kumar, H. C. Sikka, J. B. Matthews, and T. R. Zacharewski. 2001. Interaction of PAH-related compounds with the α and β isoforms of the estrogen receptor. *Toxicology Letters* 121:167-177.
- Fretey, J. 1981. Tortues marines de Guyane. Editions du Léopard d'or, France.
- Fritts, T. H., W. Hoffman, and M. A. McGehee. 1983. The distribution and abundance of marine turtles in the Gulf of Mexico and nearby Atlantic waters. *J. Herpetol.* 17:327-344.
- Garcia-Reyero, N., B. Pina, J. O. Grimalt, P. Fernandez, R. Fonts, O. Polvillo, and B. Martrat. 2005. Estrogenic activity in sediments from european mountain lakes. *Environmental Science & Technology* 39:1427-1435.
- Garrigues, P., and J. Belloq. 2005. Rapid cleanup of natural organic extracts for the recovery of polycyclic aromatic hydrocarbons by solid phase extraction. *Journal of High Resolution Chromatography* 12:400-403.
- Georges, J.-Y., and S. Fossette. 2006. Rapport intermédiaire Convention de recherche Créocéan-CNRS "Etude sur les tortues marines à écailles de Guyane". CNRS-IPHC.
- Girondot, M. 2006. Effet de l'exploration sismique sur la faune. Etude bibliographique avec emphase sur la faune pélagique de Guyane française. Laboratoire Ecologie, Systématique et Evolution, CNRS et Université Paris Sud pour Créocéan, Montpellier.
- Girondot, M., and J. Fretey. 1996. Leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, nesting in French Guiana, 1978-1995. *Chelonian Conservation and Biology* 2:204-208.
- Girondot, M., M. H. Godfrey, L. Ponge, and P. Rivalan. 2007. Historical records and trends of leatherbacks in French Guiana and Suriname. *Chelonian Conservation and Biology* 6:37-46.
- Godfrey, M. H., and R. Barreto. 1998. *Dermochelys coriacea* (leatherback sea turtle) copulation. *Herp. Rev.* 29:40-41.
- Hiby, L. 1999. The objective identification of duplicate sightings in aerial survey for porpoise. Pages 179-189 in G. W. Garner, S. C. Amstrup, J. L. Laake, B. F. J. Manly,

- L. L. McDonald, and D. G. Robertson, editors. Marine mammal survey and assessment methods. Balkema, Rotterdam, Netherland.
- Hiby, L., and P. Lovell. 1998. Using aircraft in tandem formation to estimate abundance of harbour porpoise. *Biometrics* 54:1280-1289.
- Hoffman, W., and T. H. Fritts. 1982. Sea turtle distribution along the boundary of the Gulf Stream current off eastern Florida. *Herpetologica* 38:405–409.
- Huang, W., C. J. Smith, C. J. Walcott, J. Grainger, and D. G. Patterson, Jr. 2002. Comparison of sample preparation and analysis using Solid-Phase Extraction and Solid-Phase Microextraction to determine monohydroxy PAH in urine by GC/HRMS. *Polycyclic Aromatic Compounds* 22:339-351.
- James, M. C., S. A. Eckert, and R. A. Myers. 2005. Migratory and reproductive movements of male leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*). *Marine Biology* 147:845-853.
- Marchand, C. 2003. Origine et devenir de la matière organique des sédiments de mangrove de Guyane française- Précurseurs, Environnements de dépôt, Processus de décomposition et relation avec les métaux lourds. PhD Thesis, Université d'Orléans, Orléans, France.
- Marsh, H., and W. Saalfeld. 1989. Aerial Surveys of Sea Turtles in the Northern Great Barrier-Reef Marine Park. *Australian Wildlife Research* 16:239 - 249
- Matthiopoulos, J., B. McConnell, C. Duck, and M. Fedak. 2004. Using satellite telemetry and aerial counts to estimate space use by grey seals around the British Isles. *Journal of Applied Ecology* 41:476-491.
- Mazeas, L., and H. Budzinski. 1999. Quantification of petrogenic PAH in marine sediment using molecular stable carbon isotopic ratio measurement. *Analisis* 27:200-2003.
- McDaniel, C. J., L. B. Crowder, and J. A. Priddy. 2000. Spatial dynamics of sea turtle abundance and shrimping intensity in the U.S. Gulf of Mexico. *Conservation Biology* 4:15.
- Navarro, P., E. Cortazar, L. Bartolome, M. Deusto, J. C. Raposo, Z. O, A. G, and E. N. 2006. Comparison of solid phase extraction, saponification and gel permeation chromatography for the clean-up of microwave-assisted biological extracts in the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Chromatography A* 1128:10-16.
- Pepin, G., H. Baroudi, and M. Nomine. 2003. Characterization of the pollutant-matrix interaction in contaminated soils: PAH and PCB contamination case study. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 14:293-300.
- Reichart, H. A., and J. Fretey. 1993. WIDECASST sea turtle recovery action plan for Suriname. Volume CEP Technical Report No. 24. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston, Jamaica.

- Rivalan, P., J.-P. Briane, S. Caut, B. d. Dijn, S. Ferraroli, E. Goverse, J. Gratiot, M. Hilterman, E. Johannesen, S. Langin, S. Lieutenant, F. Macé, J. Marmet, A. Maros, Y. Merton, I. Nolibos, B. Viseux, R. Wongsopawiro, and M. Girondot. 2004. Modeling marine turtles nesting season: a meta-analysis for 16 nesting beaches covering 600 km of coast line for 3 species in the guianas region during the 2002 nesting season. Pages In press in Proceedings of 24th Annual Symposium on Sea Turtle Conservation and Biology. In press.
- Rivalan, P., R. Pradel, R. Choquet, M. Girondot, and A.-C. Prévot-Julliard. 2006. Estimating clutch frequency in the sea turtle *Dermochelys coriacea* using stopover duration. Marine Ecology-Progress Series 317:285-295.
- Roos, D., D. Pelletier, S. Ciccione, M. Taquet, and G. Hughes. 2005. Aerial and snorkelling census techniques for estimating green turtle abundance on foraging areas: A pilot study in Mayotte Island (Indian Ocean). Aquatic Living Resources 18:193-198.
- Salmon, M., T. T. Jones, and K. W. Horch. 2004. Ontogeny of Diving and Feeding Behavior in Juvenile Seaturtles: Leatherback Sea Turtles (*Dermochelys coriacea* L) and Green Seaturtles (*Chelonia mydas* L) in the Florida Current. Journal of Herpetology 38:36-43.
- Schroeder, B. A., and N. B. Thompson. 1987. Distribution of the loggerhead turtle, *Caretta caretta*, and the leatherback turtle, *Dermochelys coriacea*, in the Cape Canaveral, Florida area: results of aerial surveys. Pages 45-53 in Proceedings of Ecology of East Florida sea turtles. NOAA Tech. Rep. NMFS 53:45-53.
- Schulz, J. P. 1975. Sea turtles nesting in Suriname. Nederlandsche Commissie Voor Internationale Natuurbescherming 23:1-143.
- Shoop, C. R., and R. D. Kenney. 1992. Seasonal Distributions and Abundances of Loggerhead and Leatherback Sea Turtles in Waters of the Northeastern United States. Herpetological Monographs 6:43-67.
- Treacy, S. D. 1996. Aerial Surveys of Endangered Whales in the Beaufort Sea, Fall 1995. U.S. Department of the Interior Minerals Management Service Alaska OCS Region. Report MMS 96-0006.
- Witzell, W. N. 1999. Distribution and relative abundance of sea turtles caught incidentally by the U.S. pelagic longline fleet in the western North Atlantic Ocean, 1992–1995. Fish. Bull. 97:200-211.
- Witzell, W. N., and T. Azarovitz. 1996. Relative abundance and thermal and geographic distribution of sea turtles off the US Atlantic coast based on aerial surveys (1963-1969). NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-381:10.

Préparation :

- Dans un récipient propre (laver et rincer à l'eau distillée et à l'alcool, sécher à l'étuve à 80°C)
- Mettre le jaune d'œuf
- Homogénéiser
- Prendre 5g de jaune et le mettre dans un récipient propre (ou essai avec 2,5g)
- ajouter 5g d'hydromatrix
- Bien mélanger, incorporer dans cellule extraction (avec filtre au fond) et laisser en contact sous une hotte pendant 24h.

Extraction :

- nettoyage des cellules au bain à ultrason pendant 10 minutes
- préparer les cellules : pour 5 g de tissus analysés prendre les cellules de 33 ml. Mettre un filtre de chaque côté de la cellule.
- Remplir la cellule avec le mix de préparation
- Rincer 3 fois l'ASE
- Programme de l'ASE
 - Solvant : dichlorométhane
 - Temps de chauffage : 5 minutes
 - Température : 100°C
 - Pression : 140 bars
 - Temps d'extraction : 5 minutes
 - Volume de rinçage : 35 %
 - Temps de purge : 180 secondes
 - Nombre de cycles : 2

Concentration des extraits :

- Dans un ballon en verre propre (laver et rincer à l'eau distillée et à l'alcool, sécher à l'étuve à 80°C)
- Incorporer l'extrait récupéré après l'extraction
- Rincer le flacon de récupération à l'aide de Folch et l'incorporer dans le ballon
- Evaporer à l'évaporateur rotatif jusqu'à 5 ml
- Transférer dans un tube propre de 10 ml
- Bien rincer les tubes au folch lors des transferts (+ 2-3 ml de folch)
- Evaporer sous jet d'azote et concentrer précisément jusqu'à 3 ml dans un tube jaugé (ou faire un trait sur le tube par exemple). Au fur et à mesure rincer les parois du tube avec du folch afin de récupérer les composés sur les parois.

Purification :

- Colonne de florisil (6g si 2,5g de jaune ; 12g si 5g de jaune)
- activée par de l'hexane comme solvant d'élution (4 ml)
- fraction F1 : élution à l'hexane (5 ml) + 2ml de rinçage du tube à l'hexane
- fraction F2 : contenant les HAP étudiés, élution hexane-dichlorométhane (3 :2) 6ml.
- Evaporer
- Reprendre dans 2*0.5ml d'hexane
- 2^e passage sur florisil si nécessaire (si encore trop de lipides)
- Extrait concentré dans 1 ml d'hexane

Annexe 2: Méthode utilisée pour le passage des échantillons en chromatographie en phase gazeuse.

TotalChrom Method File C:\Totalchrom\Methodes\PID-HAP.mth
 Printed by : Ecotox on: 06/06/2007 14:38:48
 Created by : Ecotox on: 21/03/2007 17:32:17
 Edited by : Ecotox on: 05/06/2007 14:26:23
 Number of Times Edited : 17

Number of Times Calibrated : 0

Description: essai Hap PID

Instrument Conditions

Instrument Control Method

Instrument Name : Clarus500
 Instrument Type : PE AutoSystem GC with built-in Autosampler

Channel Parameters

Data will be collected from channel B
 Delay Time : 0.00 min
 Run Time : 63.33 min
 Sampling Rate : 12.5000 pts/s

	Channel A	Channel B
Signal Source	DetA	DetB
Analog Output	INT	INT
Attenuation	0	-5
Offset	5.0 mV	5.0 mV

Autosampler Method

Syringe Capacity	: 5.0 µL	Injection Volume	: 4.5 µL
Injection Speed	: Normal	Sample Pumps	: 6
Viscosity Delay	: 0	Wash/Waste Vial Set	: 1
Pre-injection Solvent Washes	: 2	Pre-injection Sample Washes	: 2
Post-injection Solvent Washes (A)	: 2		

Carriers Parameters

Carrier A control	: Press - N2	
Column A length	: 30.00 m	Diameter : 250 µm
Vacuum Compensation	: OFF	
Split Flow	: 40.0 mL/min	
Initial Setpoint	: 14.0 PSIG	

Ramp 1 : 1.0 PSIG/min to 18.0 PSIG, hold for 29.33 min

Initial Hold : 30.00 min

Valve configuration and settings

Valve 1 : SPLIT On	Valve 2 : NONE
Valve 3 : NONE	Valve 4 : NONE
Valve 5 : NONE	Valve 6 : NONE

Detector Parameters

	Detector A	Detector B
Detector	ECD	PID
Range	1	1
Time Constant	200	200
Autozero	ON	ON
Polarity		

Detector A Gas Flows
 MU : 30.0 mL/min

Detector B Gas Flows
 HE : 30.0 mL/min

Heated Zones

Injector A: CAP
Setpoint : 280 °C

Injector B: NONE
Setpoint : OFF

Detector A : 280°C
Detector B : 250°C
Auxiliary (NONE) : 0°C

Oven Program

Cryogenics : Off
Initial Temp : 110°C
Initial Hold : 5.00 min
Ramp 1 : 6.0 0/min to 280°, hold for 30.00 min

Total Run Time : 63.33 min
Maximum Temp : 350°C
Equilibration Time : 2.0 min

Timed Events

A/Z1 set to On at 4.00 min

Real Time Plot Parameters

	Pages	Offset (mV)	Scale (mV)
Channel B	1	0.000	30.000

Processing Parameters

Bunch Factor : 20 points
Noise Threshold : 100 µV
Area Threshold : 300.00 µV

Peak Separation Criteria

Width Ratio : 0.200
Valley-to-Peak Ratio : 0.010

Exponential Skim Criteria

Peak Height Ratio : 5.000
Adjusted Height Ratio : 4.000
Valley Height Ratio : 3.000

Baseline Timed Events

Event #1 - Disable Peak Detection at 1.158
Event #2 - Enable Peak Detection at 7.800
Event #3 - Disable Peak Detection at 9.098
Event #4 - Enable Peak Detection at 14.624
Event #5 - Disable Peak Detection at 23.877
Event #6 - Enable Peak Detection at 27.330
Event #7 - Disable Peak Detection at 30.440
Event #8 - Enable Peak Detection at 33.074
Event #9 - Set Bunching Factor 50.000 at 45.842
Event #10 - Disable Peak Detection at 61.535

Optional Reports

Report Format File #1 : C:\Totalchrom\Methodes\PID-HAP.rpt

Optional Report Plot Parameters

Plot Number	1	2	3	4	5
Generate this plot	No	No	No	No	No
Start plot at end of delay time	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Start Time					
End Time					
Scale Type	Vertical Scaling	Vertical Scaling	Vertical Scaling	Vertical Scaling	Vertical Scaling
Scale Factor	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Full Scale					
Offset					

Annotated Replot Parameters

Offset & Scale set to absolute values
 Draw baselines
 Include timed event annotations
 Automatically set plot start and end times to data limits

Plot Offset : 0.000 μ V
 Plot Scale : 200.000 μ V
 Number of Pages : 1
 Plot Title : Chromatogram
 X-Axis Label : Time [min]
 Y-Axis Label : Response [mV]
 Orientation : Landscape
 Retention Labels : Top of Plot
 Component Labels : Actual Time

User Programs

No user programs will be executed

Annexe 3: Chromatogrammes

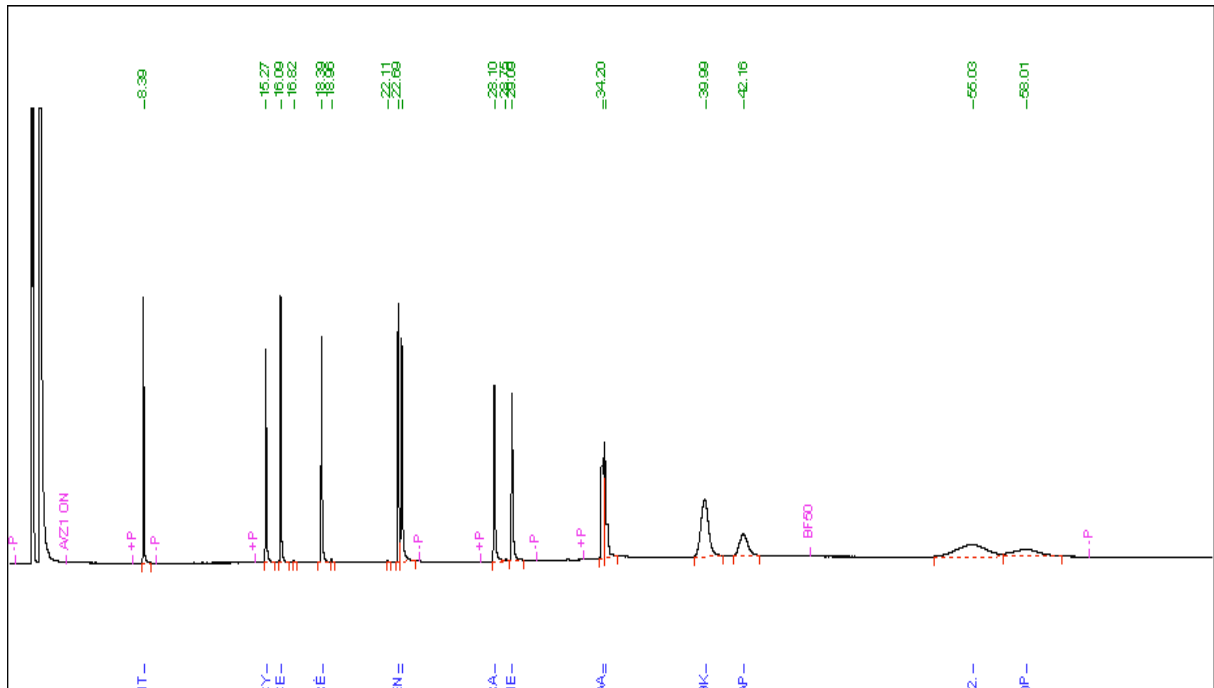


Figure 52: Profil des 16 HAPs prioritaires de l'EPA.

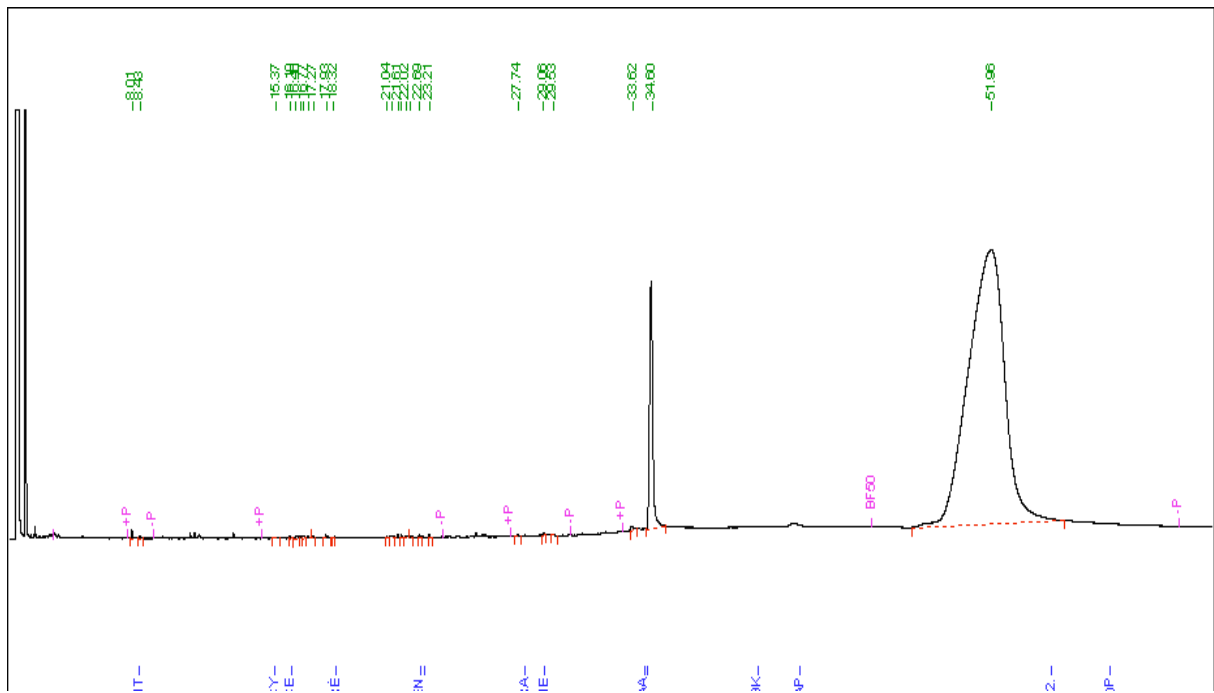


Figure 53: Profil oeuf n°5.

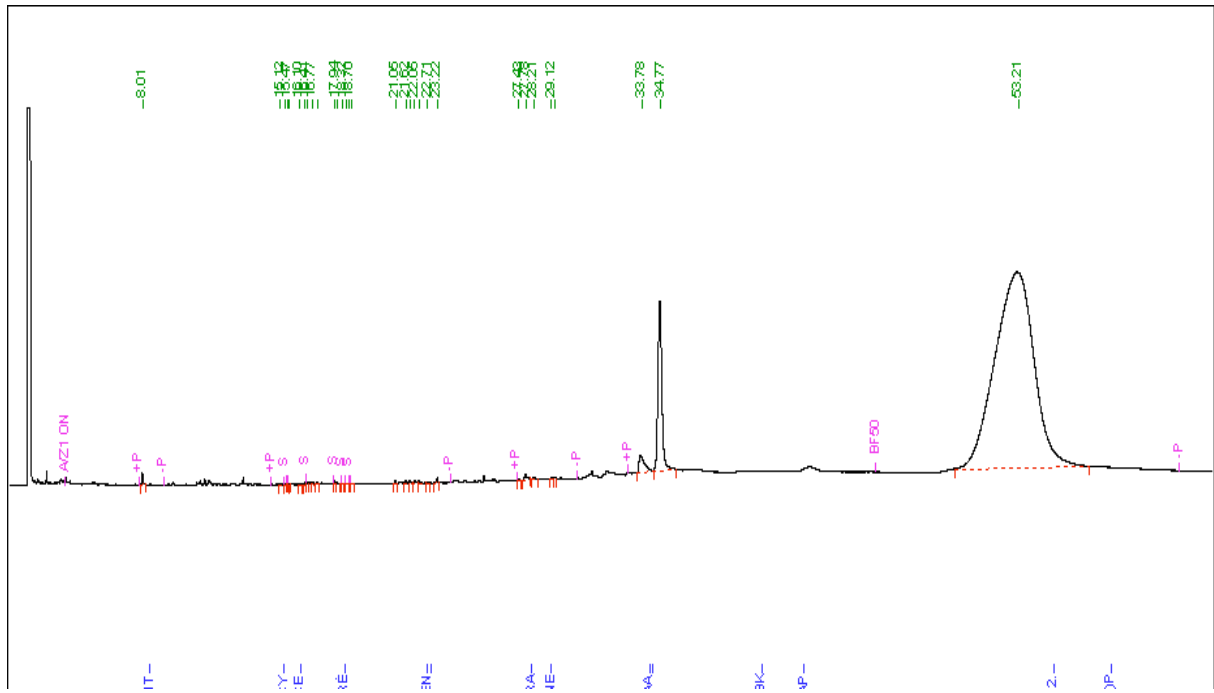


Figure 54: Profil oeuf n°70.

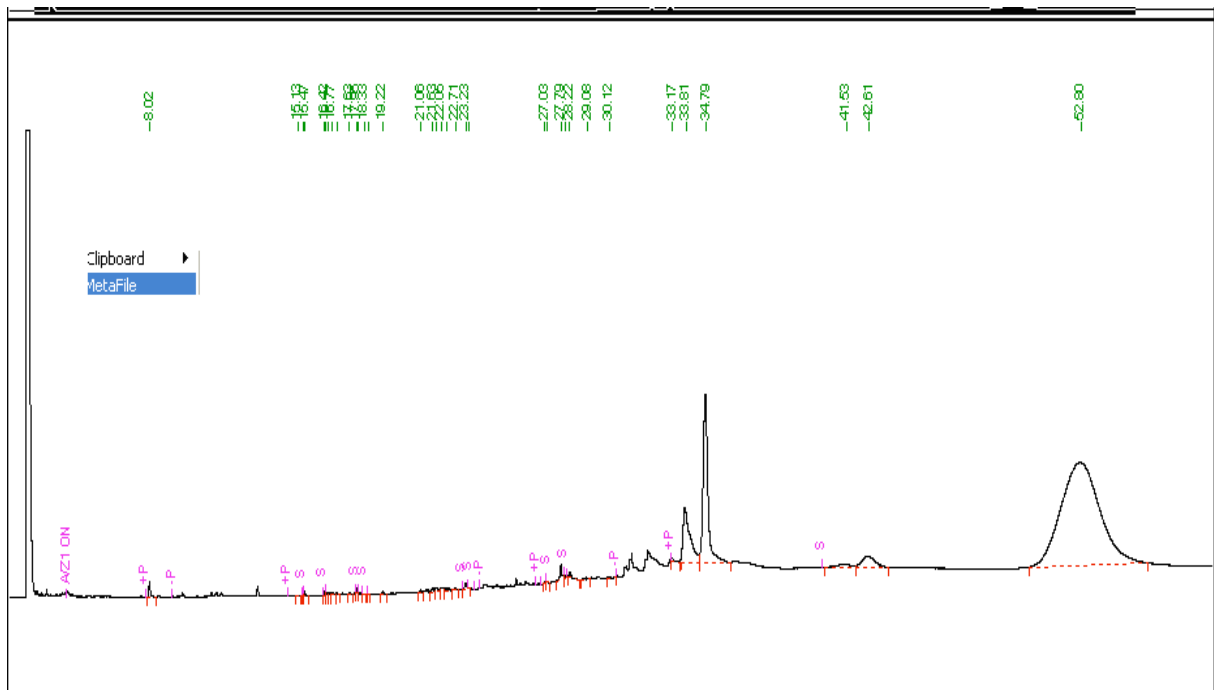


Figure 55: Profil oeuf n°104.

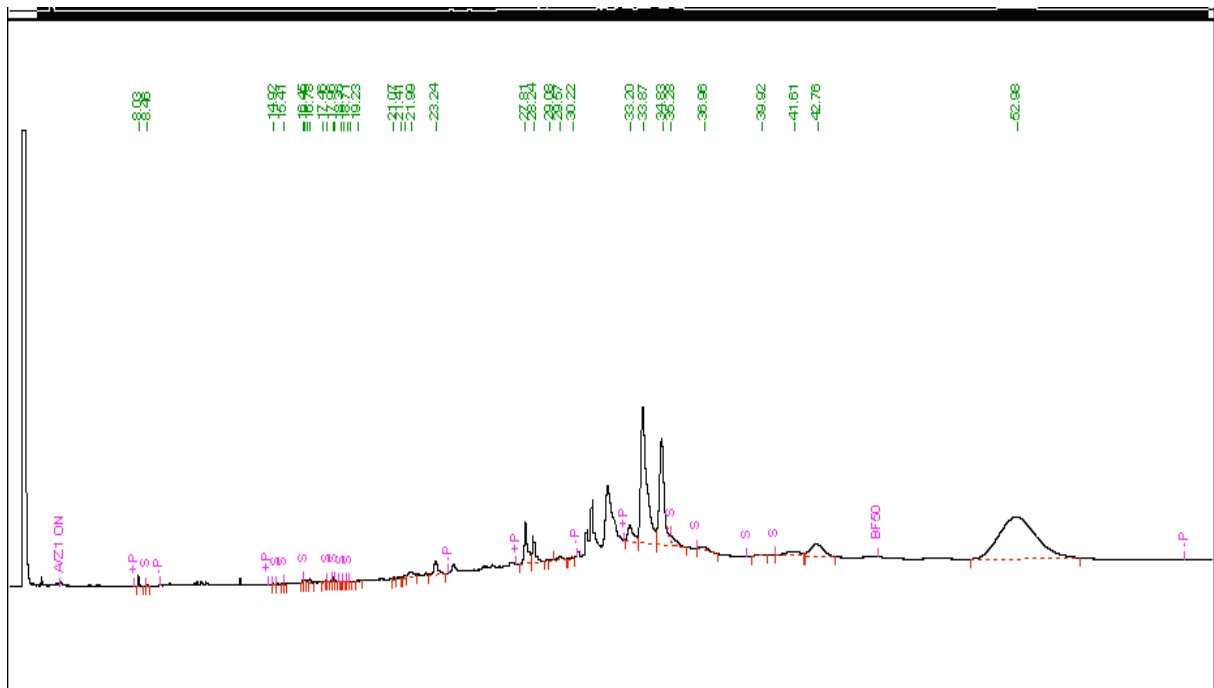


Figure 56: Profil oeuf n°160.

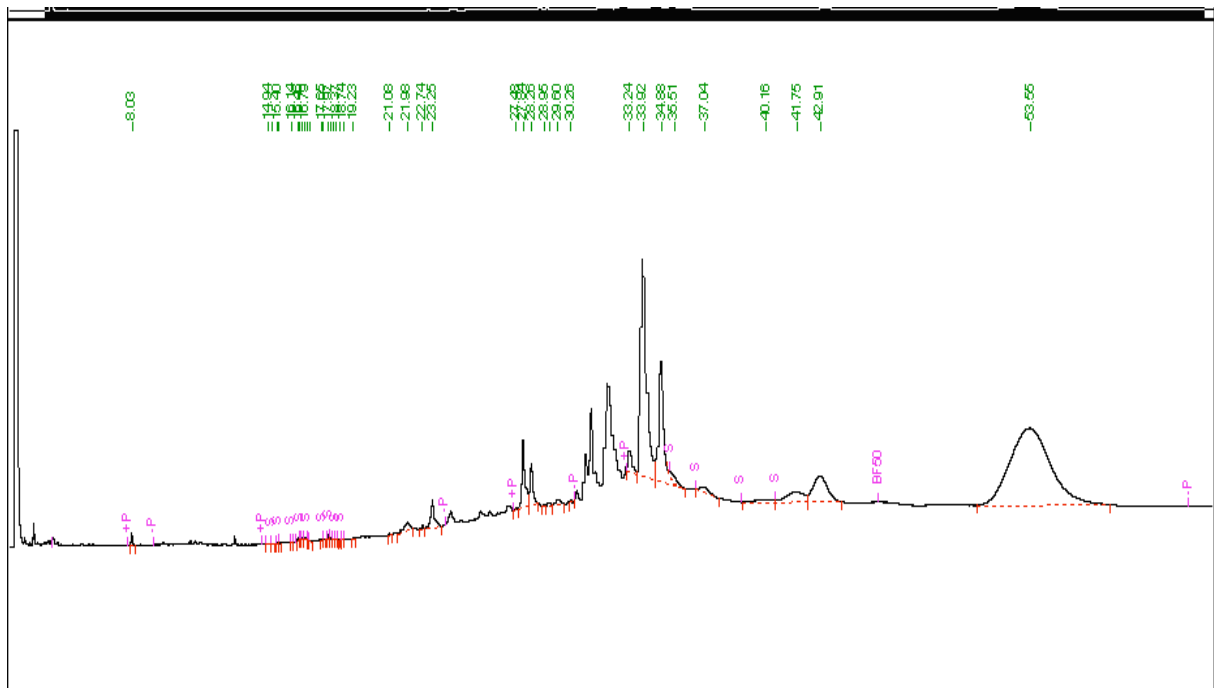


Figure 57: Profil oeuf n°205.

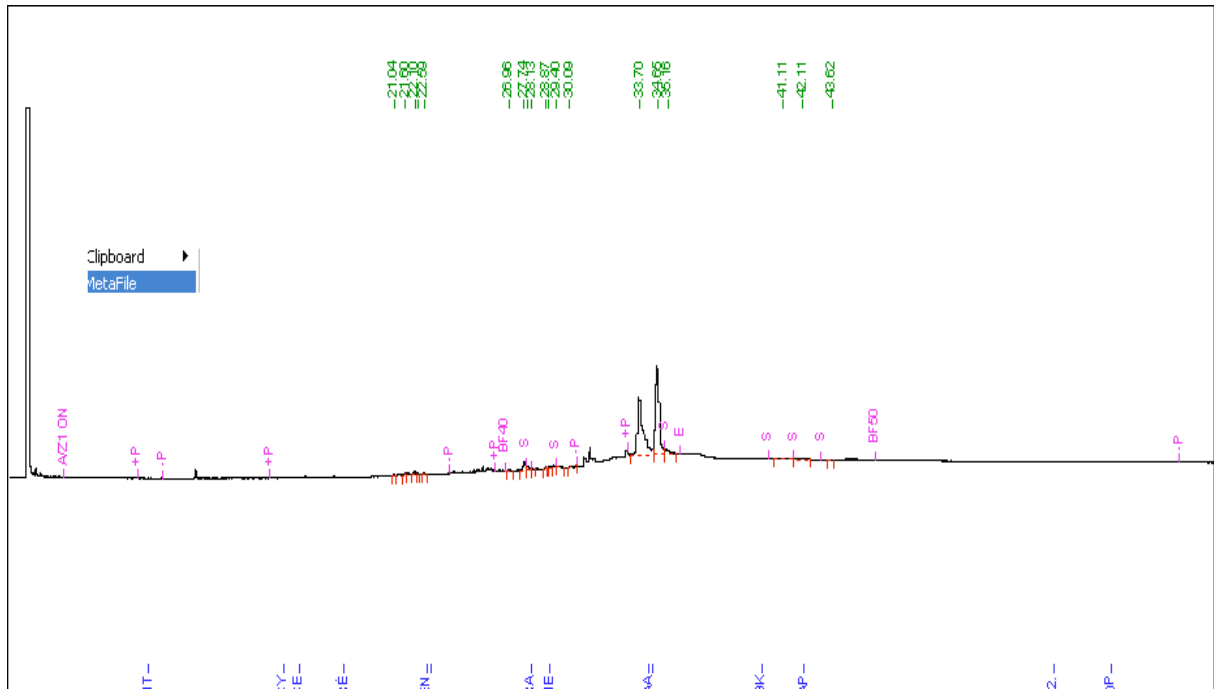


Figure 60: Profil sable n°108.

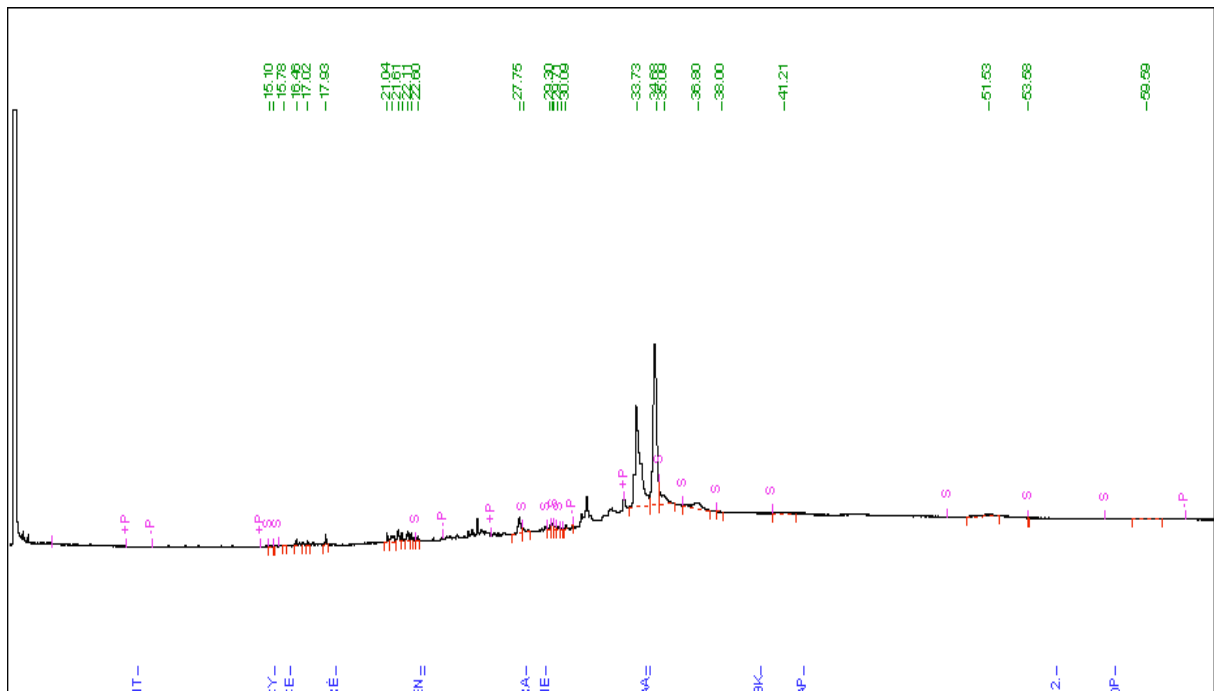


Figure 61: Profil sable n°121.

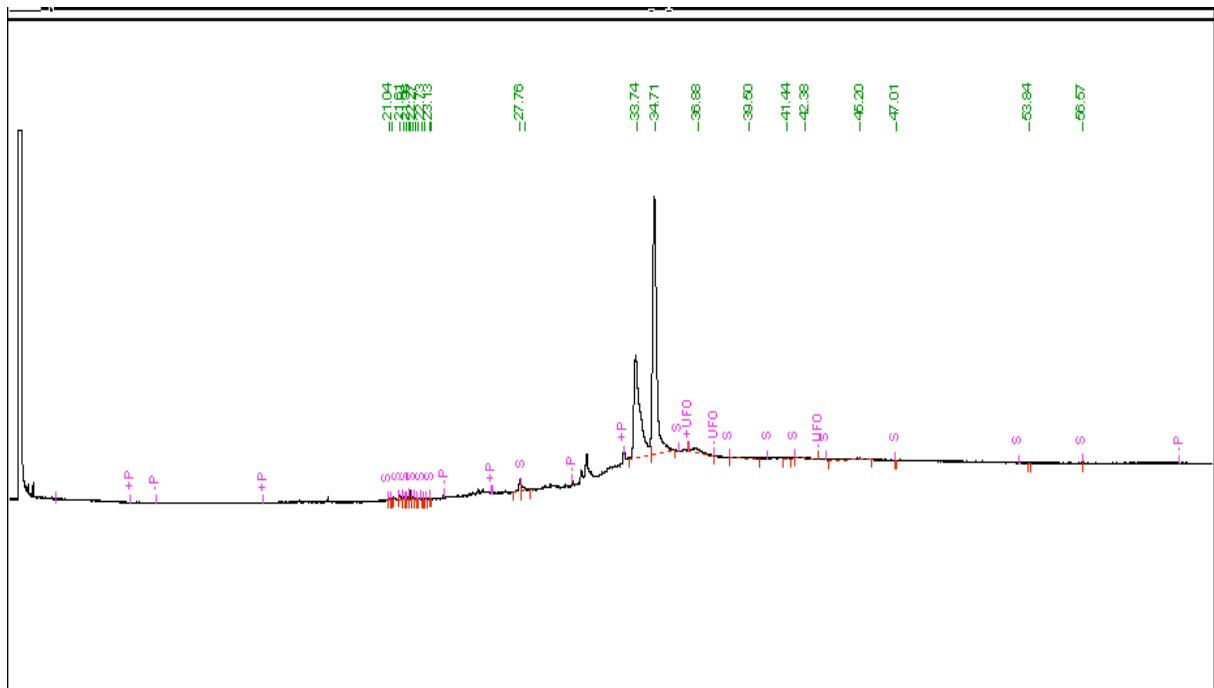


Figure 62: Profil sable n°153.

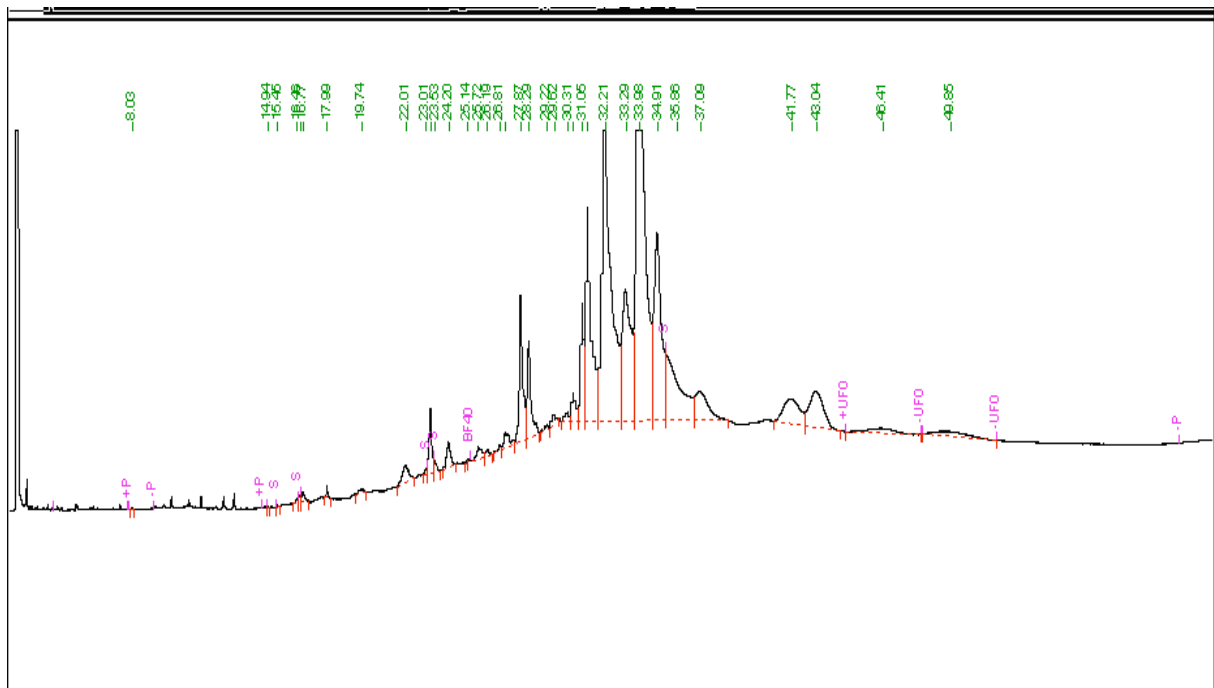


Figure 63: Profil sable n°185.

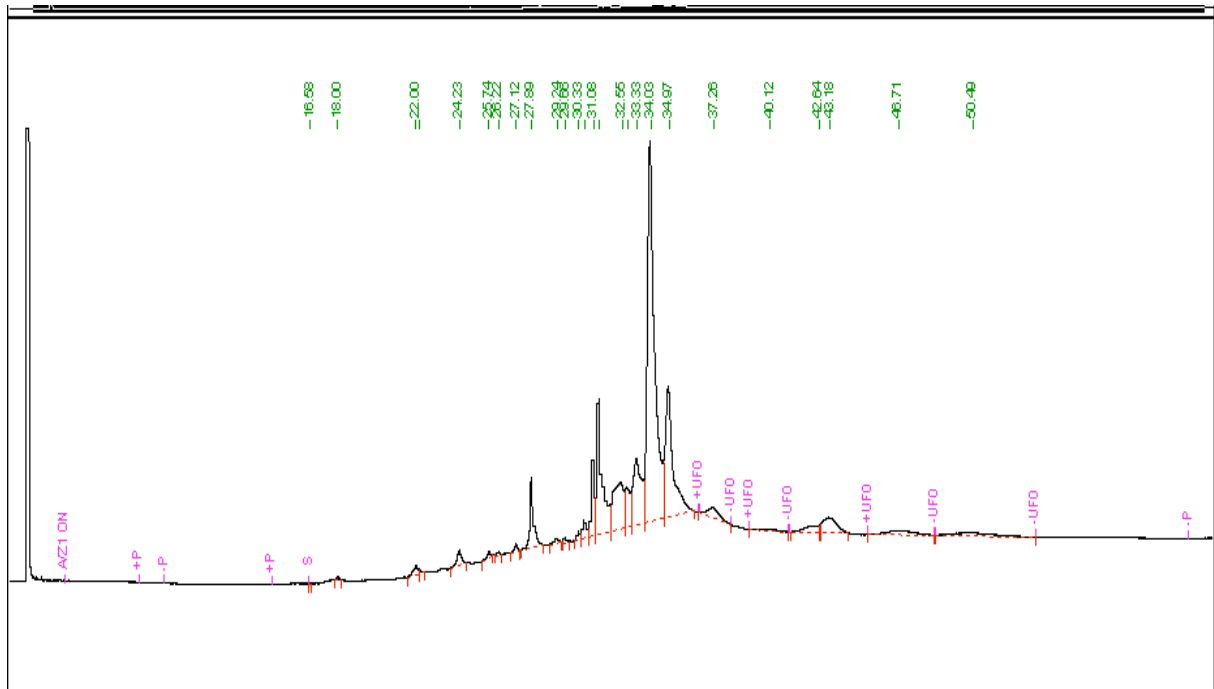


Figure 64: Profil sable n°197.