

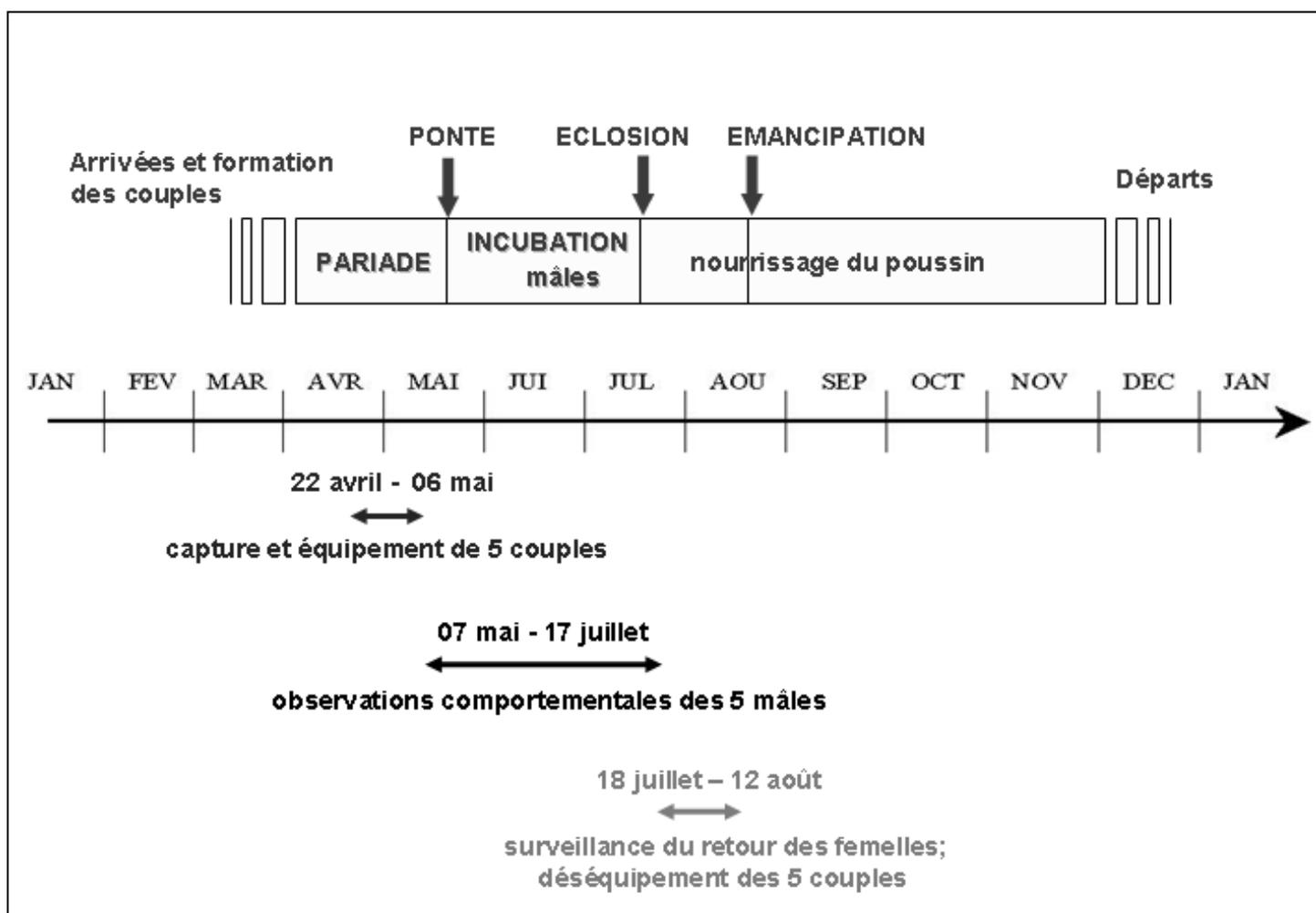
3. MATERIELS ET METHODES

Cette étude s'est déroulée de **mars à octobre 2001**, sur la colonie de manchots empereurs de **Pointe Géologie**, située à 500m de la base scientifique française de Dumont d'Urville, Terre Adélie (**60°40'S, 140°01'E**). J'ai eu la chance de pouvoir mener à bien cette étude de terrain au cours de mon hivernage (de décembre 2000 à décembre 2001).

3.1 Protocole général et calendrier de l'étude

Etant donné les contraintes techniques et éthiques de ce travail, seuls cinq couples de manchots empereurs ont été équipés d'appareils enregistreurs et suivis au long de leur cycle (**Figures 10, 11 et 12**).

Figure 10 : Calendrier du programme



Du **22 avril au 06 mai 2001**, au moment de la parade, le mâle et la femelle d'un couple situé en périphérie de la colonie ont été capturés. Ramenés en salle de chirurgie, la femelle était placée en enclos au calme, alors que le mâle était anesthésié en vue de l'implantation interne d'un appareil enregistreur de température. A la suite de l'intervention chirurgicale, deux capteurs de température externes (l'un ventral, l'autre dorsal) et un émetteur VHF ont été fixés sur les plumes du mâle. Pendant la phase de réveil du mâle, sa femelle était équipée d'un émetteur Argos/VHF et d'un appareil enregistreur de profondeur, luminosité et température, collés sur ses plumes dorsales. Les deux partenaires étaient alors relâchés ensemble, en bordure de la colonie.

Du **07 mai au 17 juillet**, les couples puis les mâles équipés ont été surveillés quasi quotidiennement sur la colonie. Ils étaient repérés à l'aide des émetteurs VHF, puis observés visuellement. Pendant toute la durée de l'incubation, les données météorologiques ainsi que la cartographie des « tortues » sur la colonie ont été enregistrées, parallèlement aux observations éthologiques quotidiennes.

Dès le **17 juillet**, une attention particulière a été accordée au retour des femelles équipées. Leur retour étant assez aléatoire et pouvant avoir lieu aussi bien de jour que de nuit, par beau temps ou par mauvais temps, des veilles ont été organisées afin de recapturer et de déséquiper tous les animaux, ces veilles étant couplées aux données Argos transmises depuis la France. Dès qu'une femelle équipée était en passe de rejoindre son partenaire dans la colonie, elle était capturée juste avant son arrivée sur la colonie, pesée, puis l'émetteur Argos/VHF ainsi que l'appareil enregistreur de profondeur/température/lumière étaient décollés rapidement ; elle était ensuite relâchée. Après que le mâle ait échangé son œuf ou son poussin avec sa partenaire, et alors qu'il partait vers la mer, il était capturé et conduit en salle d'opération. Les appareils ont été récupérés sous anesthésie générale et les données sauvegardées. Quelques heures après son réveil, le mâle était relâché afin qu'il rejoigne la mer. Les couples et leurs poussins ont ensuite été suivis de mi-août jusqu'au mois d'octobre.

Figure 11 : Equipement des couples de manchots empereurs

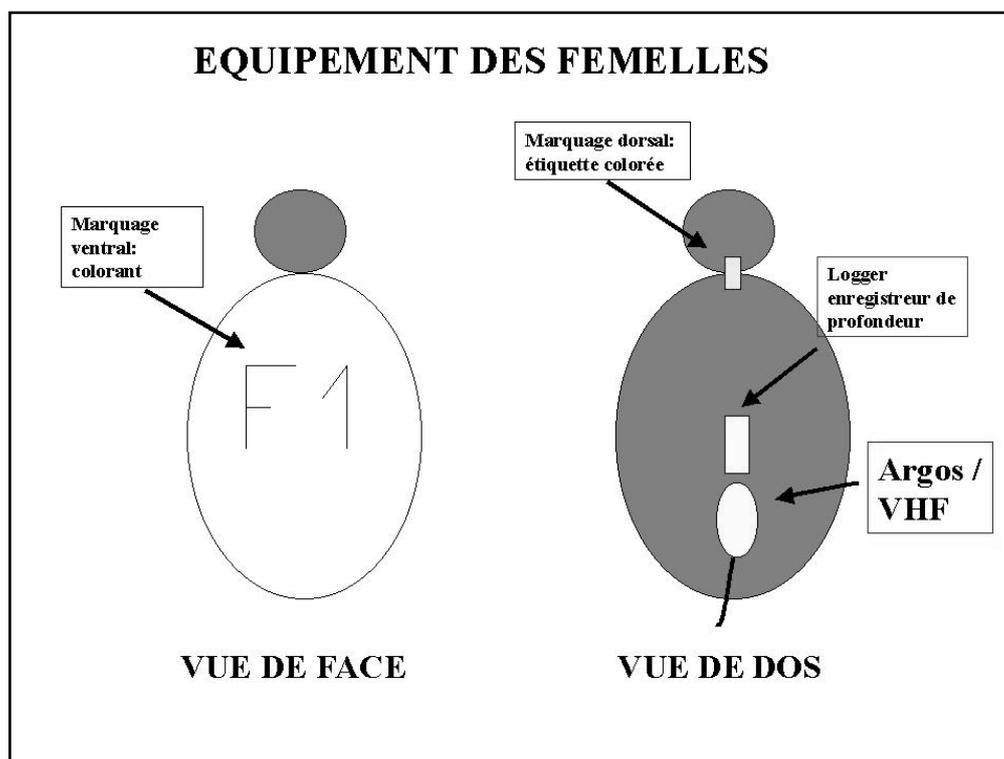
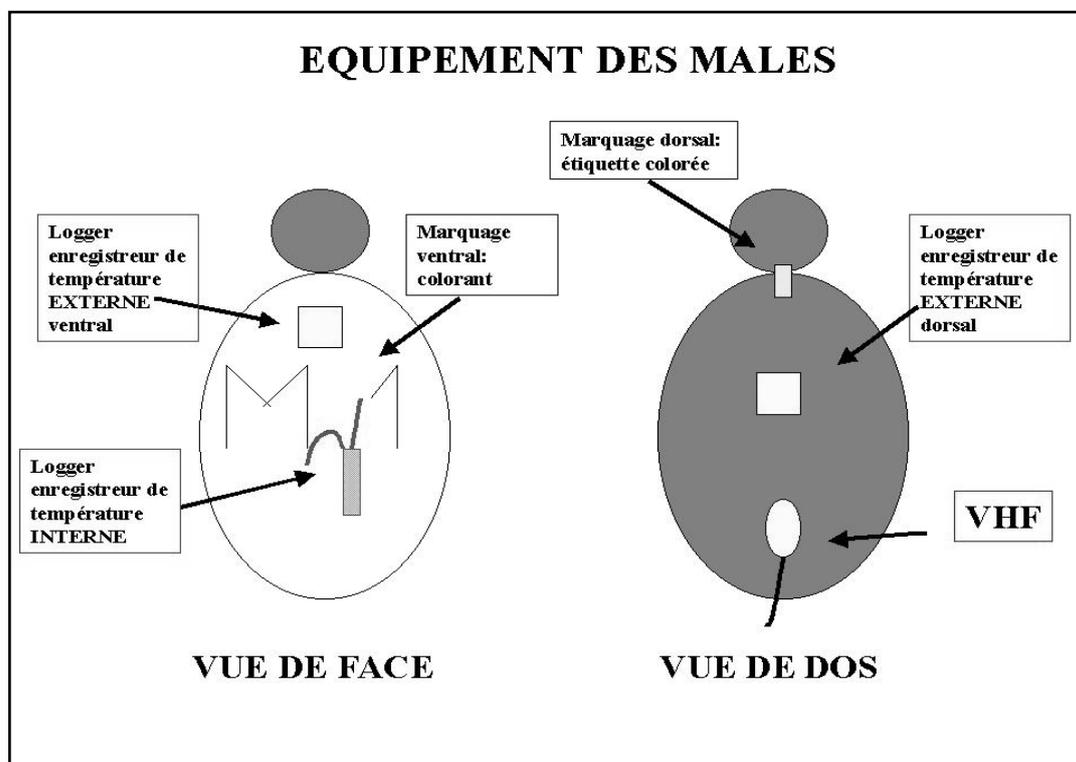


Figure 12 : Photos d'un couple équipé (couple 3) et d'un mâle débutant son incubation (couple 4)



3.2 Equipement des couples avec les appareils enregistreurs de températures internes et appareils enregistreurs ou émetteurs externes

Les équipements des couples ont été effectués entre le 22 avril et le 06 mai, date des premières pontes des femelles sur la colonie (couple 1 : 22 avril, couple 2 : 24 avril, couple 3 : 29 avril, couple 4 : 02 mai et couple 5 : 06 mai).

3.2.1 Capture et pesée des couples

La capture est un moment délicat, le manchot empereur étant un animal aux ailerons très puissants, au bec pointu et pesant plus de 30kg. Un couple de manchots était sélectionné en fonction de son isolement par rapport à la colonie : les couples formés et stables sont généralement allongés en périphérie, plus ou moins éloignés des autres groupes.

Les deux partenaires d'un couple isolé étaient simplement poursuivis, puis plaqués au sol simultanément et ceinturés. Ensuite ils étaient placés dans deux sacs de contention, ajustés par des sangles, une cagoule leur couvrant la tête. Cette méthode relativement facile à réaliser permet de capturer les manchots par surprise, en un minimum de temps, et donc avec un minimum de stress pour l'animal. Les animaux étaient généralement calmes. Leur poids était déterminé à l'aide d'un peson (SalterND, modèle 235, échelle de mesures : jusqu'à 50kg, précision ± 200 g), et le couple sélectionné si le mâle pesait plus de 35kg, ce poids garantissant des réserves énergétiques suffisantes pour qu'il assure sans problème son incubation. Sept couples en tout ont été pesés afin d'en sélectionner cinq dont les mâles pesaient plus de 35kg. Puis les couples étaient transportés en une dizaine de minutes jusqu'en salle de chirurgie.

3.2.2 Les types d'appareils utilisés

Afin de mesurer la **température interne profonde, périphérique et sous-cutanée** des mâles, nous avons utilisé un **appareil enregistreur (logger) de type Mk7** (36g, 9 x 2,4 x 1,2cm, Wildlife computers, USA) qui a été **implanté** sous la peau en région pectorale gauche de l'oiseau (**Figure 13**). Cet appareil possède **deux sondes thermiques** reliées par des fils biocompatibles au corps de l'enregistreur. L'une de ces sondes (de 27cm de long) a été implantée à proximité de la **cavité abdominale afin d'enregistrer la température interne profonde**. L'autre sonde (de 15cm de long) a été **implantée juste sous la peau en zone pectorale, pour mesurer la température interne sous-cutanée**. Le **corps de l'appareil**, placé dans le tissu sous-cutané, sous quelques centimètres de graisse, enregistrait la **température périphérique**.

Le logger Mk7 interne était programmé pour enregistrer **une donnée toutes les 10 secondes** avec **trois canaux de température** (températures sous-cutanée, périphérique et profonde), le logger pouvant avec cet intervalle d'échantillonnage stocker 77 jours de données. Les températures sont enregistrées sur une échelle de -40 à +60°C, avec une résolution de 0,2°C. Une interface permet de programmer les loggers et de les télécharger en les connectant à l'ordinateur, grâce aux logiciels Mk7host (version 1.16.0006), et Mk7 Hexfile Decoder (hexdec32-bit, V1.00.07).

Des enregistreurs de température de type **Hanna** (France) modifiés par le laboratoire de Strasbourg devaient mesurer la température externe afin de connaître la **localisation des mâles** : isolés, en « tortue », ou en périphérie de « tortue » (**Figure 13**). Fixés sur le ventre et dans le dos de chaque manchot mâle suivi, ils n'ont malheureusement pas fonctionné.

Les femelles étaient équipées d'un appareil enregistreur de **type Mk7** (36g, 9 x 2,4 x 1,2cm, Wildlife Computers, USA), fixé sur le dos et enregistrant la **profondeur des plongées, l'intensité lumineuse et la température externe** (**Figure 13**). Ces loggers ont pu enregistrer 77 jours de données, avec un enregistrement **toutes les 10 secondes**. L'interface et le logiciel utilisés étaient les mêmes que pour les appareils internes des mâles. Les températures sont enregistrées sur une échelle de +17 à +42°C, avec une résolution de 0,1°C, les profondeurs étant enregistrées sur une échelle de 0 à 500 mètres, avec une résolution de 2 mètres entre 10 et 350 mètres. La luminosité est exprimée par un indice, équivalent à 0 lors d'obscurité totale et 120 en pleine journée. Ainsi, au cours de la parade, alors que mâle et femelle d'un couple se déplacent toujours côte à côte, le comportement de thermorégulation sociale des mâles a pu être analysé.

Un deuxième type de logger, un **DTT** (Little Leonardo, Japon), a été utilisé pour enregistrer la **température externe et la profondeur des plongées** d'une femelle. 100 jours de données ont pu être collectés, avec deux enregistrements de température et un de profondeur toutes les 10 secondes. Il a été programmé et déchargé grâce à une interface de connexion à l'ordinateur et les logiciels UWE software (version 97.10.3) et Ekaiseki. Les températures étaient enregistrées sur une échelle de -30 à +50°C, les profondeurs de 20 à 500 mètres.

Les données présentées dans le cadre de l'étude regroupent celles des appareils Mk7 (et DTT) externes posés sur les femelles, analysées lors de la parade (du 22 avril au 20 mai 2001), et celles des appareils Mk7 internes des mâles, analysées depuis le 25 avril et jusqu'au 21 juillet.

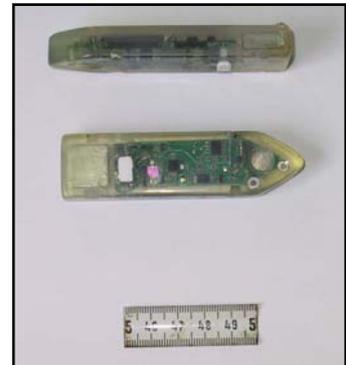
Afin de compléter les données du microclimat en « tortue », nous avons analysé des données d'une **étude réalisée pendant l'hiver 1998**, au cours de laquelle **3 mâles en parade et incubation** ont été suivis du 04 mai au 21 juillet 1998. Des **appareils de type Mk5** (ancienne version des Mk7 externes, 6,4 x 3,8 x 1,3cm, 50g, Wildlife Computers, USA) ont été collés sur leurs plumes du dos et programmés pour enregistrer la température externe toutes les 30 secondes et la luminosité toutes les minutes. Les données de l'hivernage 2001 ont donc pu être comparées et enrichies avec cette étude. L'échelle des températures enregistrées par les Mk5 variait de -2,4 à +22,4°C, avec une résolution de 0,1°C.

Figure 13 : Matériel utilisé lors de l'étude



Hannas

appareils enregistreurs de température collés sur les plumes du dos et du ventre des mâles



Mk7 externe

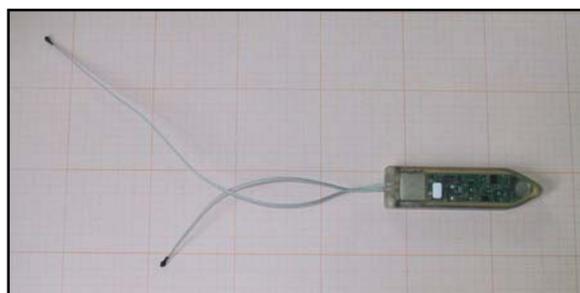
appareil enregistreur de température collé sur les plumes du dos des femelles



Emetteur VHF



Emetteur Argos/VHF



Mk7 interne

appareil enregistreur de température interne implanté chez les mâles (deux sondes)

3.2.3 Préparation du matériel

Les préparations des loggers internes des mâles et des loggers externes des femelles étaient réalisées 4 à 5 jours avant la pose, avec un départ différé du début des enregistrements. Les Argos/VHF avaient été mises en marche une semaine avant le début des captures (en appliquant un aimant), afin de vérifier leur bon fonctionnement. Les VHF étaient mises en marche juste avant leur pose, également en appliquant un aimant.

Les **Mk7 et DTT ont tous été étalonnés** avant et après l'étude et aucune dérive majeure n'a été notée. Les données ont été cependant ajustées avec la moyenne des deux étalonnages. Les loggers étaient immergés dans un bain-marie thermostaté, associé à un thermomètre de référence possédant une précision de 0,01°C. Ils étaient soumis à des températures variant de 0,5 à 41°C, avec des paliers successifs de 0,5 à 5°C. Les horloges internes des différents appareils ont été synchronisées, en heure TU (Temps Universel). Ces tests ont ainsi confirmé la précision des sondes et des appareils.

De plus, afin de rendre le **Mk7 interne bio-compatible**, il était enduit d'une **couche de cire** puis de **silicone médical**. La cire (cire blanche Gifrer Barbezat) était fondue au bain-marie, puis une fois qu'elle avait légèrement refroidi, le logger était plongé dedans et ressorti immédiatement. Après que la cire ait séché, une couche de silicone médical (Silastic® Brand, Medical Adhesive Silicone Type A ; Dow Corning Corporation) était appliquée de façon à recouvrir uniformément la cire puis le logger était mis à sécher. Juste avant l'intervention, le logger était stérilisé par immersion dans une solution aqueuse d'HibitanND.

Les loggers externes placés sur le dos étaient recouverts de scotch noir, afin d'être confondus avec la couleur du plumage. De même, les loggers placés sur les ventres des mâles étaient recouverts de scotch blanc.

3.2.4 Méthode de fixation des appareils enregistreurs et émetteurs externes

Après l'implantation chirurgicale du logger interne du mâle, deux appareils enregistreurs de température (Hannas : l'un ventral, l'autre dorsal) étaient collés sur ses plumes, ainsi qu'un émetteur VHF (**Figure 11**). Le Hanna ventral était fixé en premier, en même temps que le marquage ventral (cf. paragraphe 3.2.6). Ensuite, l'animal était retourné, le Hanna dorsal et l'émetteur VHF placés en même temps, ainsi que l'étiquette d'identification en couleur collée sur le dos (cf. paragraphe 3.2.6). Puis le mâle était laissé au réveil dans l'enclos, ou dans un sac de contention, sous surveillance permanente. La VHF a été placée à une main au-dessus de la base de la queue, le logger dorsal étant un peu plus haut. Le logger ventral était placé assez haut pour permettre au manchot de se déplacer en « tobogganant ». Les appareils étaient fixés pendant le réveil de l'animal, l'anesthésie étant progressivement réduite puis stoppée dès la fin de la chirurgie.

La femelle était alors re-capturée dans l'enclos. Des fenêtres pratiquées dans le sac de contention ont permis de lui fixer l'émetteur Argos/VHF et le logger de profondeur/température/lumière (**Figure 11**). Le marquage ventral au nyanzol était effectué et séché, puis les appareils dorsaux (logger de profondeur/température/luminosité et Argos/VHF) étaient fixés et l'étiquette de couleur collée. L'Argos/VHF était placée à une main au-dessus de la base de la queue, le logger de profondeur/température/luminosité juste au-dessus. Les femelles n'ont pas été anesthésiées, leurs mouvements étant limités dans le sac

de contention, une personne veillant à bien contenir les mouvements des pattes et des ailerons pendant la durée de la pose. Une cagoule était de plus placée en permanence sur leur tête, afin de diminuer leur stress. D'une manière générale, les individus restaient calmes.

Une grille (maillage de 1,25 x 1,25cm), de mêmes dimensions que le logger à poser, était enchâssée dans les plumes puis collée à l'aide de Loctite®401. 3 à 4 colliers en plastique, ou Ty-fastND (197 x 2,4mm) étaient alors insérés sous la grille. Ensuite, de l'Araldite® était appliquée sur la grille, pour former un plan uniforme. Après un séchage d'environ 5 minutes, une bande de mastic autocollant (coupée aux dimensions de l'appareil à poser) était déposée sur le plan d'Araldite® jusqu'à le recouvrir. De la Loctite®401 était ensuite déposée sur le logger ou l'émetteur Argos/VHF, qui était alors collé sur le mastic. Les colliers en plastique étaient serrés, puis des points de Loctite®401 étaient déposés sur les plumes. Cette méthode, un peu longue à appliquer, garantit cependant une bonne fixation à long terme du matériel et lui permet de résister aux rigueurs de l'hiver austral ainsi qu'aux fortes pressions hydrostatiques pendant les plongées.

3.2.5 Implantation des appareils enregistreurs de température internes

L'implantation d'un logger interne nécessitait une intervention chirurgicale. Les instruments chirurgicaux étaient stérilisés avant intervention (dans le four Poupinel du médecin de la base scientifique, à 160°C pendant 90min), des gants et des champs stériles jetables ont également été utilisés. L'équipe de chirurgie se composait de trois personnes : deux chirurgiens et un panseur, dont le rôle consistait à assister les chirurgiens stériles et à noter toutes les phases de l'opération et les paramètres vitaux (température, fréquences cardiaque et respiratoire) de l'animal. L'intervention dans sa totalité était assez longue, représentant environ 3 heures d'anesthésie. Deux temps composaient l'intervention, d'une durée de 1h30 chacun environ : la préparation de l'animal, puis l'intervention en elle-même, réalisée stérilement (**Figure 14**).

Figure 14 : Intervention chirurgicale pour implantation de l'appareil enregistreur de température interne



3.2.5.1 Anesthésie et temps pré-opératoires

L'induction de l'anesthésie était effectuée à l'aide d'un masque placé sur la tête de l'animal. L'**anesthésie** était **gazeuse**, réalisée avec un **mélange d'oxygène** (débit environ de 4 à 6 l.min⁻¹) et d'**isoflurane** (ForeneND) à l'aide d'un circuit de bain ouvert. En induction, le débit de la cuve d'isoflurane était au départ réglé sur 4 pendant une minute, puis 3,5 pendant quelques minutes. Lorsque l'animal était détendu (œil basculé, queue déviée sur le côté, pattes postérieures sans réflexes), il était placé sur la table de chirurgie et intubé, avec une sonde trachéale de diamètre interne 6,5mm. L'anesthésie en entretien se prolongeait avec un débit d'oxygène d'environ de 4l.min⁻¹ et un pourcentage d'isoflurane de 2 à 2,5 pendant l'intervention. Cet anesthésique volatile permettait une anesthésie relativement sûre, autant pour l'animal que pour les chirurgiens. Elle était de plus très facile à gérer : l'animal était anesthésié rapidement et totalement réveillé en 15 à 30 minutes après l'arrêt de l'anesthésique.

Une fois l'oiseau intubé, quatre électrodes cardiaques étaient ensuite fixées sous sa peau et orientées en direction crâniale (2 au niveau des épaules, 2 au niveau des hanches). Reliées à un oscilloscope (Physiogard 910, BrukerND), elles permettaient de connaître à tout moment de l'anesthésie la **fréquence cardiaque** de l'animal. Une sonde de température, placée dans l'œsophage permettait de contrôler la **température interne**. Les paramètres vitaux étaient donc suivis pendant toute la durée de l'opération : fréquence cardiaque, température et **fréquence respiratoire**.

Un cathéter de 20G était introduit dans la veine alaire, une **perfusion de Ringer lactate** étant administrée par voie intraveineuse permettait d'hydrater l'animal pendant la durée de l'intervention (débit de 10ml.kg⁻¹.h⁻¹ environ). Du **RobinulND** (glycopyrrolate) était injecté à l'aide du cathéter, à une dose de 0,05 à 0,1ml.kg⁻¹, celui-ci permettant de limiter les sécrétions bronchiques induites par l'anesthésie.

Les **trois zones d'incision** (une abdominale, deux latérales) étaient **plumées**, sur 2 à 3cm de large autour de l'incision, et un scotch large (DucktapeND) était placé sur les plumes afin de pouvoir circonscrire et nettoyer les zones d'incision à l'aide de VétédineND savon puis de VétédineND solution. Le manchot étant placé en décubitus dorsal, les 3 zones d'incisions sont représentées sur la **Figure 15** :

- **zone « abdominale »** : incision sur la ligne blanche de 5cm à partir du processus xyphoïde du bréchet et en direction caudale (zone déplumée de 2 x 5cm) ;

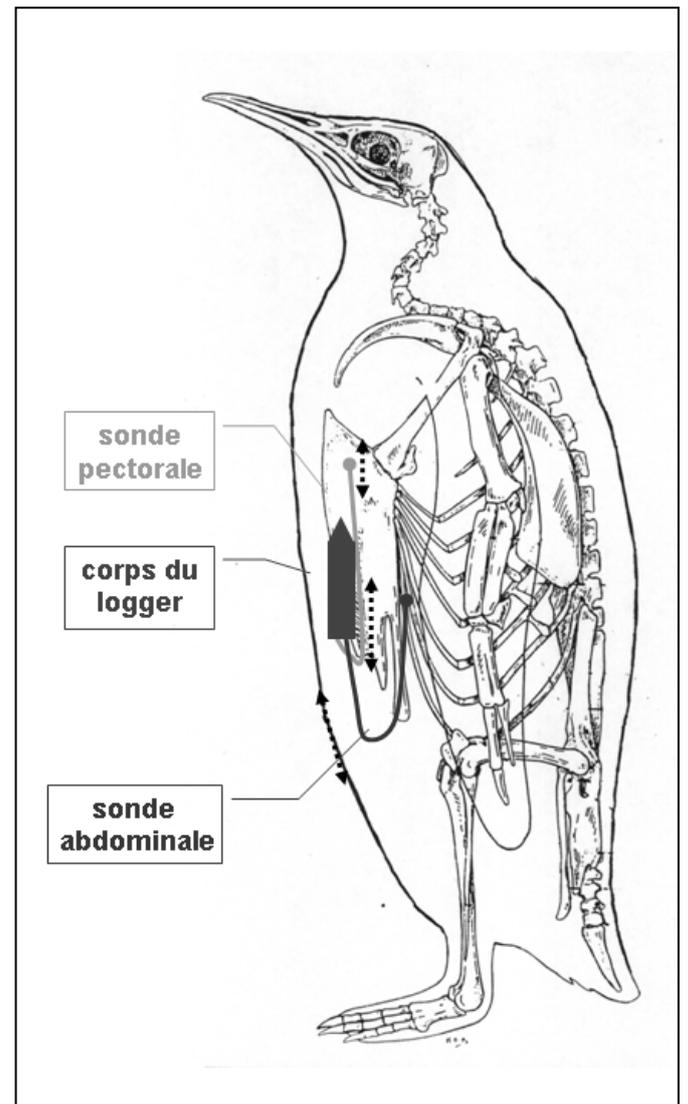
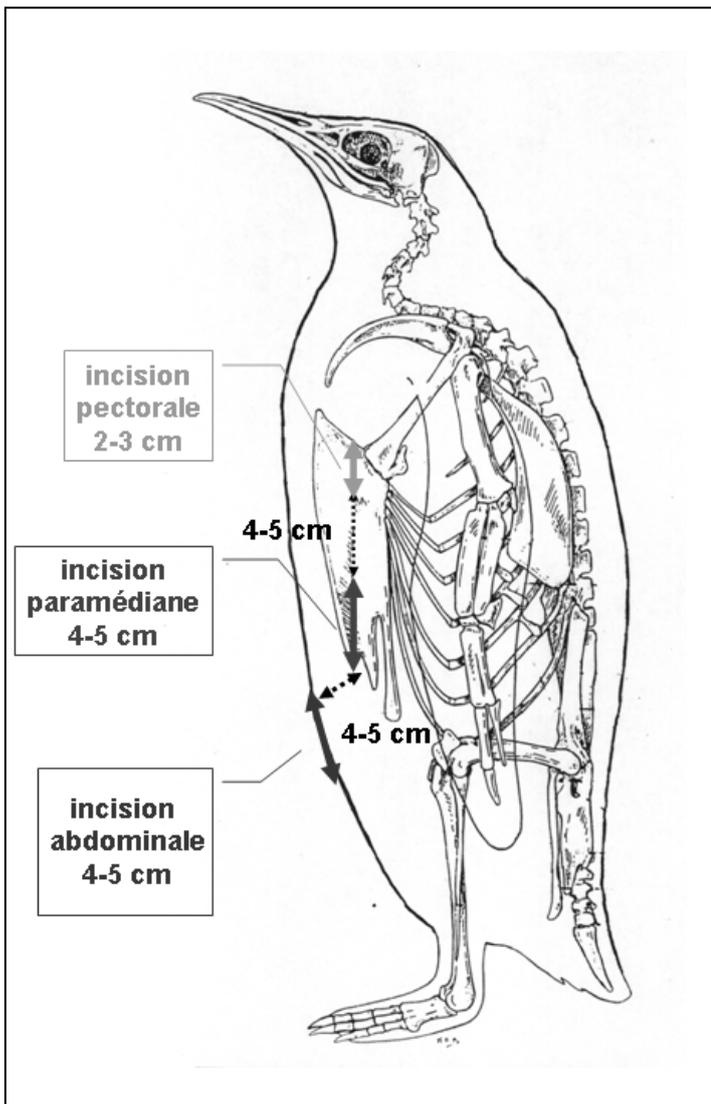
- **zone « abdominale paramédiane »** : incision verticale de 5cm environ en direction crâniale depuis un point de départ situé 4 à 5cm crânio-latéralement à la limite supérieure de l'incision abdominale (zone déplumée de 2 x 5cm) ;

- **zone « pectorale »** : incision verticale de 2cm environ en direction crâniale depuis un point de départ situé à 5cm crânialement à l'incision abdominale paramédiane (zone déplumée de 2 x 2cm).

La plus grande attention était prise à déplumer le moins possible l'animal, afin de réduire au maximum ses pertes thermiques *via* les zones déplumées.

Une fois les chirurgiens équipés (blouse, masque, charlotte, gants stériles), les champs opératoires stériles étaient posés.

Figure 15 : Zones d'incision et emplacement de l'appareil enregistreur de température interne



3.2.5.2 Temps opératoires

Après l'incision cutanée au bistouri sur 5cm en **zone abdominale paramédiane**, parallèlement au plan du corps, le tissu sous-cutané était dilacéré en direction crânio-médiale et un peu en direction caudo-médiale afin de créer la cavité qu'occupera le logger. La mise en place du logger était testée préalablement, celui-ci se retrouvant par la suite en position médiale par rapport à l'incision.

L'**incision cutanée pectorale** était ensuite effectuée, parallèlement à l'axe du corps et sur 2cm environ, puis le plan sous-cutané était légèrement dilacéré. Une compresse était glissée en sous-cutané (depuis l'incision logger) afin de dégager un passage pour tunnéliser la sonde pectorale.

L'**incision abdominale** était ensuite réalisée, depuis le bord caudal du bréchet et en direction caudale, sur la ligne blanche, sur 5cm environ. Après dilacération du plan sous-cutané, une compresse était glissée en sous-cutané (depuis l'incision abdominale pour remonter à l'incision du logger) afin de tunnéliser la sonde abdominale par la suite.

Le logger était alors placé dans la cavité créée en zone latérale, les sondes pectorale et abdominale étant glissées à travers les deux tunnels préalablement réalisés.

Après dissection du tissu sous-cutané en zone abdominale, la paroi musculaire abdominale était incisée sur la ligne blanche, sur 1-2cm. La **sonde abdominale** était alors passée sous le bréchet (se trouvant à proximité du foie). Elle était fixée solidement au processus cartilagineux du bréchet ou à la paroi musculaire abdominale à l'aide de fil tressé irrésorbable (FlexideneND, décimale 2), avec un point simple. De même, la **sonde pectorale** était fixée en sous-cutané avec un point simple, à l'aide de fil tressé irrésorbable (FlexideneND, décimale 2).

La paroi musculaire abdominale était alors suturée sur la sonde abdominale à l'aide d'un point en U avec du fil tressé irrésorbable (FlexideneND, décimale 2). La paroi de la cavité abdominale était ensuite suturée à l'aide de points simples avec du fil tressé résorbable (VicrylND, décimale 2). Pour toutes les incisions, un **surjet sous-cutané** était effectué (VicrylND, décimale 2). Les **points cutanés** effectués étaient des points simples, réalisés avec du fil monobrin irrésorbable (FilapeauND ou FlexocrinND décimale 2).

3.2.5.3 Temps post-opératoires

Après l'opération, des **antibiotiques** large spectre et longue durée était administrés en intramusculaire (oxytétracycline, Terramycine LAND, 20mg.kg⁻¹ soit 0,1ml.kg⁻¹), ainsi que des **anti-inflammatoires** non stéroïdiens (kétoprofène, KetofenND 1%, 2mg.kg⁻¹ soit 0,2ml.kg⁻¹). Un spray cicatrisant et antiseptique (AlumisolND) était appliqué sur les zones incisées. Ces précautions permettaient d'accélérer la cicatrisation, de limiter une éventuelle infection post-opératoire, et de diminuer les douleurs dues à l'intervention et la gêne occasionnée aux oiseaux en reproduction. Aucune infection n'a pu être notée, et la gêne due aux implantations a probablement été mineure, les individus ayant présenté un comportement identique aux autres couples de la colonie.

A la suite de l'intervention chirurgicale, les appareils externes étaient fixés sur les plumes des mâles, l'isoflurane étant baissé à 1-1,5%, puis l'anesthésie était complètement

stoppée. Le mâle se réveillait sous surveillance, souvent dans un sac de contention. La femelle était équipée parallèlement. Le mâle n'était ainsi relâché qu'environ 30 minutes après l'arrêt complet de l'anesthésique, en même temps que sa femelle. Les réveils étaient rapides et bien contrôlés.

Les deux individus du couple étaient relâchés à proximité de la colonie, ensemble, afin qu'ils ne se séparent pas. Sur 5 couples, seul 1 couple s'est séparé 2 jours après l'équipement (le couple 4), le mâle ayant trouvé une autre femelle et étant resté sur la colonie afin de mener à bien son incubation.

Le protocole de l'opération chirurgicale du déséquipement était identique aux interventions chirurgicales des implantations. Les appareils externes étaient retirés en premier, le mastic étant coupé, la grille laissée en place toujours enchâssée dans les plumes. L'opération chirurgicale était ensuite réalisée selon le même protocole anesthésique, les zones d'incision étant identiques.

3.2.6 Suivis des individus au cours de leur cycle

Afin de **repérer les individus à distance**, ou de vérifier s'ils étaient présents sur la colonie lors de blizzards, un **émetteur radio VHF** (100g, 12 x 5.5 x 2cm, Sirtrack, Nouvelle Zélande) a été collé sur les plumes dorsales des **mâles** et un **émetteur Argos/VHF** (230g, 18 x 4,5 x 2cm, Sirtrack, Nouvelle Zélande) sur les plumes dorsales des **femelles**, avec un canal particulier de réception pour chaque émetteur (**Figures 12 et 13**). Afin de repérer le lieu d'émission des signaux, donc la présence et localisation du mâle ou de la femelle sur la colonie, un récepteur VHF (Telonics, Sirtrack, Nouvelle Zélande) relié à une **antenne unidirectionnelle** (Sirtrack) a été utilisé, avec des écouteurs audio. Une **antenne multidirectionnelle à longue portée** (mise en place au mât ionographique de la base pour des raisons de communication) a été de plus utilisée lors de la surveillance du retour des femelles. Les signaux étaient entendus environ 1 heure avant que les individus n'arrivent sur la colonie, correspondant à une portée d'environ 5km.

Afin de **repérer visuellement** un mâle équipé et sa femelle, un **marquage au nyanzol** (colorant chimique indélébile noircissant à la lumière) était effectué sur le ventre (**Figure 12**). Afin de repérer visuellement les mâles au sein des « tortues », alors que seuls leur dos, leur nuque et leur tête sont visibles, deux **bandes de scotch Tesa®** de différentes couleurs, d'environ 5cm de longueur, ont été collées à la Loctite® sur les plumes dans le creux du cou.

Avant la ponte des femelles, des repérages quotidiens étaient effectués afin de s'assurer que le couple était toujours sur la colonie et de surveiller précisément le jour de la ponte et du départ des femelles.

Au cours de l'incubation, et presque quotidiennement lorsque les conditions météorologiques le permettaient, **trois heures** étaient consacrées à l'**observation éthologique des mâles**.

Etaient répertoriés les types d'activité suivants :

- **repos** : caractérise une position statique, l'animal étant allongé, ou debout et vigile, ou bien debout et endormi (avec tête sous l'aile). . . ;
- **alimentation** : si le mâle ingère de la neige ;
- **déplacement** : s'il se déplace, avec les autres, seul, sur une courte ou longue distance ;
- **activités agonistiques** : chants, cris, mouvements de défense ou d'attaque ;
- **autres activités** : toilette par exemple.

La méthode utilisée était celle du **scan sampling**, toutes les 5 minutes la position de chaque mâle était notée. Les observations éthologiques regroupent pour la période du 01 mai au 18 juillet 371 heures, celles-ci étant relativement bien réparties pour chacun des 5 mâles (mâle 1, 73 heures ; mâle 2, 65 heures ; mâle 3, 75 heures ; mâle 4, 78 heures ; mâle 5, 80 heures).

De plus, les **positions des mâles par rapport au groupe** étaient notées le plus souvent possible, et à chaque changement de situation :

- « **Tortue extérieure** » : en première ligne de « tortue », dos exposé et ventre recouvert ;
- « **Tortue < 50** » : dans la première partie (première dizaine de lignes) de la « tortue », dos et ventre recouverts ;
- « **Tortue > 50** » : dans la deuxième partie de la « tortue », au moins engagé dans les 50% de la « tortue », dos et ventre recouverts ;
- « **Tortue centre** » : en plein centre de la « tortue » = dos et ventre recouverts ;
- « **Tortue-indéterminée** » : observé dans la « tortue », mais perdu de vue ;
- « **Isolé-seul** » : en marge du groupe, seul (à au moins 2m d'autres individus) ;
- « **Isolé-groupe** » : dans un groupe lâche, plus ou moins important, en marge d'une « tortue », ou lorsque la « tortue » est dissociée (les manchots ne sont plus réellement collés les uns aux autres).

La période de surveillance du retour des femelles, indispensable à la réussite de l'étude, est celle qui a nécessité le plus d'aide de la part des autres hivernants. Les balises Argos/VHF, fixées sur le dos des femelles, n'ont plus indiqué de localisations à partir du mois de juin, en raison de batteries défectueuses. Il s'agissait ainsi de **surveiller le retour des femelles marquées et le départ des mâles**, après l'échange de l'œuf ou du poussin, afin de déséquiper les animaux et de récupérer les données enregistrées. Un système de veilles a donc été mis en place, consistant en une surveillance visuelle des femelles revenant sur la colonie. Ces veilles étaient effectuées par une personne placée sur la route des arrivées, par tranches de 2 heures le jour en cas de bonnes conditions météorologiques (5 tranches de 2 heures de 8h00 à 18h00). En cas de mauvaises conditions météorologiques et la nuit, une personne effectuait un contrôle VHF sous abri toutes les 2 à 3 heures, en utilisant l'antenne multidirectionnelle à longue portée du mât ionosphérique.

3.2.7 Cartographie des « tortues » et mesures météorologiques

Afin de noter les **emplacements et la surface des « tortues »**, permettant de suivre les déplacements des groupes de jour en jour, un **GPS** (Trimble GeoExplorer II) a été utilisé. Le GPS, après connexion à un ordinateur et grâce au logiciel Pathfinder (version 2.11) a permis d'enregistrer avec précision la forme, la surface et localisation de la « tortue » quotidiennement sur la colonie. Cependant, les localisations GPS déterminées lors de cette étude n'ont pu être géo-référencées. Nous avons ainsi analysé les données issues de l'étude de l'hiver précédent (juin-juillet 2000), réalisée de la même façon, pour lesquelles les localisations ont été corrigées.

D'autres observations complémentaires étaient de plus notées :

- présence d'un seul groupe ou plusieurs ;
- groupes très denses, denses ou lâches, lignes de fractures présentes au milieu des groupes ;
- heure de dissociations éventuelles des « tortues ».

Ainsi chaque jour la « tortue » était cartographiée et l'emplacement des mâles au sein du groupe était noté, ainsi que leurs déplacements éventuels pendant la durée des observations.

Afin de mesurer les **conditions météorologiques à proximité des « tortues »**, des mesures de **vitesse du vent** et de **température externe** ont été faites aux 4 points cardinaux des groupes pour chaque jour d'observation (en général à une dizaine de mètres des groupes). Le type de thermo-anémomètre utilisé était un anémomètre instantané Testo 490 (Testoterm), avec une sonde à hélice couplée à un capteur de température (étendue de mesure pour le vent : $0,4$ à $60\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, étendue de mesure pour la température : -30 à $+140^\circ\text{C}$). Ces données ont pu être complétées avec celles de la station météorologique de la base (Météo France), enregistrées toutes les 3 heures.

Les cartographies de « tortues » et les points météorologiques ont été réalisés presque quotidiennement du 31 mai au 10 juillet 2001.

