

## **2. OBJECTIFS DE L'ETUDE**

Nous allons maintenant aborder plus précisément la problématique et les objectifs de notre étude.

## **2.1 Caractéristiques du comportement de thermorégulation sociale des manchots empereurs**

La formation de « tortues » par les manchots empereurs est ainsi considérée comme étant la clé de leur succès reproducteur, leur permettant d'économiser de l'énergie afin de résister à leur long jeûne d'incubation (Prévost, 1961 ; Ancel *et al.*, 1997). L'image classique des « tortues » est qu'elles sont des formations très denses, pouvant contenir de 8 à 10 animaux par m<sup>2</sup> (Prévost, 1961) et qu'elles durent des heures voire des jours, rassemblant plusieurs centaines d'individus (Prévost, 1961 ; Kirkwood et Robertson, 1999). Ces groupes sont classiquement décrits comme se déplaçant lentement, les oiseaux les plus exposés au vent se déplaçant sous le vent du groupe afin d'être davantage protégés. Les rares mesures de températures ambiantes à l'intérieur des groupes indiquent que celles-ci peuvent dépasser 23°C, voire atteindre les 30°C (Jarman, 1973 ; Kirkwood et Robertson, 1999). Seuls Kirkwood et Robertson (1999) relèvent des durées de « tortues » de 12 heures en moyenne, la plus longue enregistrée pour un individu étant de 36 heures. Ainsi, seulement deux études fournissent quelques renseignements sur le microclimat à l'intérieur des « tortues ». Cependant, aucune étude ne recense à ce jour le temps passé en « tortue » pour un animal au cours de son cycle, les températures maximales au sein des « tortues », ainsi que la dynamique de formation de celles-ci. De plus, si les « tortues » sont considérées comme étant la clé du succès reproducteur des mâles en leur permettant de réduire leur métabolisme de 16% (Ancel *et al.*, 1997), aucune étude n'a encore déterminé si ce comportement permettait à chaque individu un accès équitable à la chaleur au sein du groupe. Le manchot empereur est une espèce très sociale, sans hiérarchie de dominance (Jouventin, 1971) : ils ne défendent pas de territoire et leur agressivité est très réduite. La principale hypothèse serait donc que les individus pourraient accéder également au centre du groupe.

**Nos objectifs ont ainsi été de :**

- 1. caractériser le comportement de « tortue » des manchots empereurs : leur fréquence, leur durée, leur rythme nyctéméral, et les températures maximales au sein des groupes ;**
- 2. déterminer le temps individuel passé en « tortue » ;**
- 3. comparer le comportement de plusieurs individus afin de mettre en évidence d'éventuelles différences inter-individuelles.**

## 2.2 Influence des conditions météorologiques sur la formation des regroupements

Les premières études sur le comportement de thermorégulation sociale des manchots empereurs ont supposé que la formation des « tortues » était liée à la dégradation des conditions météorologiques, notamment lors de vents forts (Prévost, 1961 ; Prévost, 1963 ; Birr, 1968). Jarman (1973) note que la proportion de manchots en « tortue » semble corrélée positivement à la température extérieure et à la vitesse du vent. Prévost (1961) note également que les « tortues » sont plus nombreuses quand les conditions météorologiques sont les plus défavorables. La dissociation des « tortues » serait due à des bagarres au sein des groupes selon l'hypothèse avancée par Mougin (1966). Cependant, hormis ces hypothèses fondées sur des observations ponctuelles, aucun travail n'a réellement détaillé le déterminisme de la formation des « tortues » en relation avec les conditions environnementales. Cette question est toutefois intéressante car elle permettrait d'évaluer les effets potentiels de changements climatiques sur les populations de manchots empereurs. En effet, si les conditions météorologiques influencent la formation et la densité des « tortues », elles pourraient avoir un impact sur l'économie d'énergie réalisée au cours des « tortues » et ainsi affecter la survie des manchots empereurs pendant et après leur jeûne de reproduction. Il a en effet été montré que des manchots mâles captifs, ne pouvant effectuer de « tortues », ne peuvent résister aux quatre mois de jeûne nécessaires aux mâles pour mener à terme leur incubation (Ancel *et al.*, 1997). De plus, Barbraud et Weimerskirch (2001) ont montré que le déclin de la population de manchots empereurs en Terre Adélie dans les années 1975-1980 était associé à une période de réchauffement des températures externes, ainsi qu'à une réduction de la banquise.

**Nos objectifs ont ainsi été de :**

**1. déterminer dans quelles mesures les conditions météorologiques influencent les mouvements des « tortues » et leurs densités ;**

**2. étudier les effets du vent et des températures extérieures sur la fréquence, la durée, la densité des épisodes de « tortue » et le temps passé en « tortue » par jour, afin de déterminer s'il existe un seuil de vitesse de vent et/ou de température extérieure induisant la formation des groupes.**

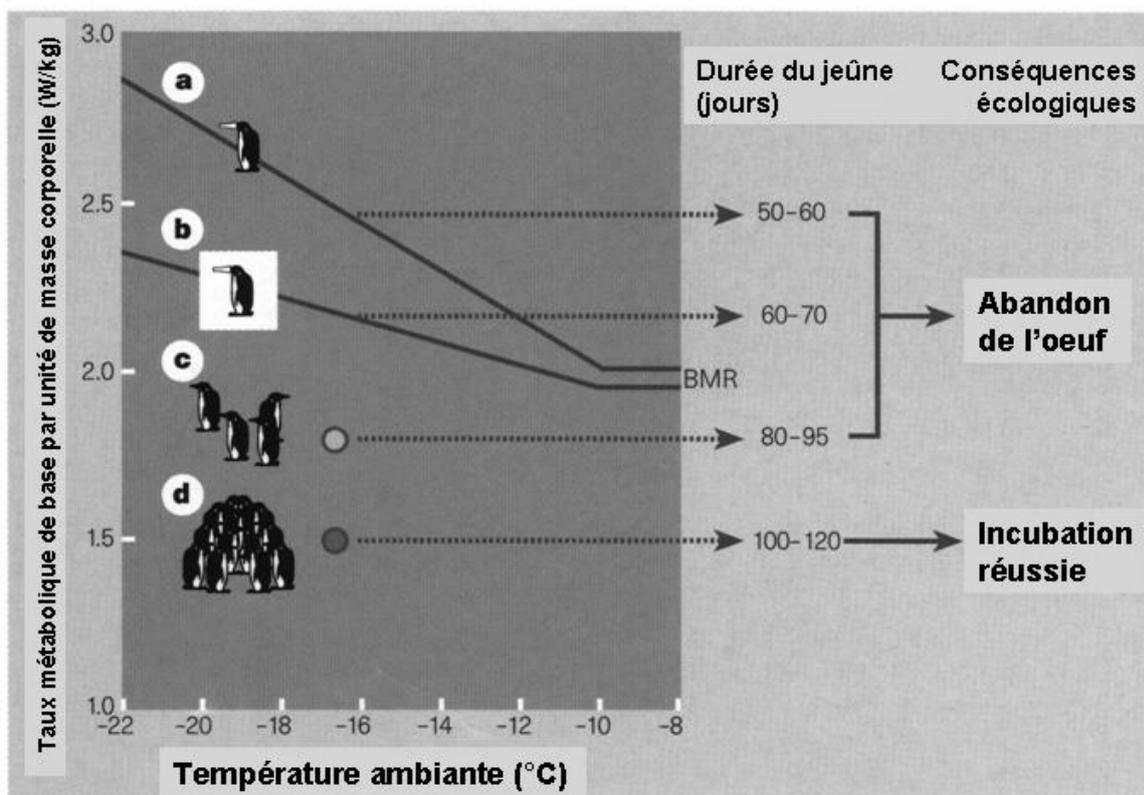
## 2.3 Evolution des températures internes d'individus pratiquant la thermorégulation sociale

Les manchots empereurs mâles sont exposés pendant leur incubation à des températures moyennes de  $-17^{\circ}\text{C}$ , constamment inférieures à leur zone de thermoneutralité (de  $-10^{\circ}\text{C}$  à  $+20^{\circ}\text{C}$  ; Le Maho *et al.*, 1976 ; Pinshow *et al.*, 1976). Ils font ainsi face à des dépenses énergétiques élevées pour maintenir leur température interne autour de  $37,5-38,5^{\circ}\text{C}$  (Boyd et Sladen, 1971 ; Le Maho *et al.*, 1976 ; Pinshow *et al.*, 1976) tout en assurant l'incubation de leur œuf. Il a été montré que le métabolisme de manchots en « tortue » ( $1,5\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ , perte de masse corporelle :  $137\text{g}\cdot\text{jour}^{-1}$ ) était inférieur de 16% à celui d'oiseaux retenus captifs en petits groupes, ne pouvant pas former de « tortues » ( $1,8\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ , perte de masse corporelle :  $171\text{g}\cdot\text{jour}^{-1}$  ; Ancel *et al.*, 1997). De plus, le métabolisme d'oiseaux en « tortue » était inférieur de 25% à celui d'oiseaux isolés en laboratoire, exposés à des

températures comprises dans leur zone de thermoneutralité ( $2,0\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ , perte de masse corporelle :  $237\text{g}\cdot\text{jour}^{-1}$ ; Le Maho *et al.*, 1976 ; Pinshow *et al.*, 1976 ; Ancel *et al.*, 1997). (**Figure 9**). Ainsi, par ce comportement, les mâles maintiennent leur taux de métabolisme basal inférieur à celui d'oiseaux isolés dans leur zone de neutralité thermique, alors qu'ils sont exposés à des températures ambiantes pendant l'hiver bien inférieures à  $-10^{\circ}\text{C}$  (Le Maho, 1977 ; Le Maho *et al.*, 1976 ; Dewasmes *et al.*, 1980). Sans ce comportement de « tortue », la dépense énergétique pour jeûner 100 à 120 jours et marcher jusqu'à la mer excéderait les réserves énergétiques des manchots (Pinshow *et al.*, 1976), et ceux-ci seraient incapables de compléter leur cycle de reproduction (**Figure 9**).

Figure 9 : Métabolisme de base par unité de masse corporelle ( $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en fonction de la température extérieure ( $^{\circ}\text{C}$ )

- a : pour un manchot isolé en conditions naturelles ;
- b : pour un manchot isolé dans une chambre métabolique avec des températures ambiantes contrôlées ;
- c : pour un manchot pouvant former des petits groupes d'une dizaine d'individus ;
- d : pour un manchot libre de se regrouper en « tortues ».



Comment ainsi expliquer cette réduction si importante du métabolisme d'oiseaux en « tortue » ? Une stratégie efficace pour économiser de l'énergie est la diminution de la température interne au cours de la torpeur ou de l'hibernation (Geiser, 2004). Les manchots empereurs en « tortue » utilisent-ils également l'hypothermie afin de diminuer leurs dépenses énergétiques ? Prévost (1961) et Prévost et Sapin-Jaloustre (1964) ont en effet mis en évidence des différences de température rectale entre des animaux installés à la colonie et des oiseaux arrivant de mer. Au cours de l'hiver, les températures internes moyennes des oiseaux libres étaient de 36,8°C, soit 1,7°C inférieures à celle des arrivants (38,5°C). Ainsi, la température rectale des oiseaux en « tortue » semble inférieure à celles d'oiseaux « en activité », *i.e.* arrivant, correspondant aux valeurs de normothermie classiquement relevées chez les manchots empereurs, de 37,5 à 38,5°C (Goldsmith et Sladen, 1961 ; Prévost, 1961 ; Prévost et Sapin-Jaloustre, 1964 ; Mougou, 1966 ; Boyd et Sladen, 1971 ; Bougaeff, 1972 ; Jarman, 1973 ; Le Maho *et al.*, 1976 ; Pinshow *et al.*, 1976 ; Le Maho, 1977 ; Dewasmes *et al.*, 1980 ; Groscolas, 1986 ; Ponganis *et al.*, 2001). De plus, en comparant des oiseaux captifs isolés et libres de faire des « tortues », au cours des mois de juin et juillet, Prévost (1961) note que la température cloacale d'oiseaux isolés sur la colonie (37,9°C) était de 1°C supérieure à celle d'oiseaux maintenus captifs en petits groupes (36,9°C), elle-même supérieure de 1,2°C à celle d'oiseaux libres de former des « tortues » (35,7°C). Cette hypothèse d'hypométabolisme dû à une diminution de la température interne des manchots est ainsi mise en avant par Ancel *et al.* (1997), qui suppose que cet hypométabolisme serait lié à une augmentation du sommeil. D'ailleurs, Prévost (1961) avançait déjà « qu'il est très vraisemblable de penser que les oiseaux sommeillent dans les tortues » et « qu'ils se trouvent momentanément dans un état voisin de l'hibernation ». Par ailleurs, cet auteur avait pu constater que les températures internes des mâles en reproduction semblent varier au cours de leur cycle hivernal, passant de 35°C en moyenne en pariade à 36,8°C en incubation, et à 37,5°C au cours de l'élevage du poussin (Prévost, 1961). Dès 1964, Prévost et Sapin-Jaloustre décrivaient déjà la dualité du bénéfice des « tortues », permettant d'une part à chaque individu de n'exposer qu'une partie réduite de son corps aux conditions défavorables de l'environnement, et d'autre part d'abaisser sa température interne, dans un état « proche de l'hibernation ».

Cependant, comme cela a été démontré pour d'autres espèces, une diminution importante et soutenue de la température interne des mâles en incubation serait incompatible avec une incubation réussie (Verhencamp, 1982 ; Csada et Brigham, 1994). Ainsi, l'économie d'énergie réalisée par les manchots empereurs pourrait être expliquée par leur seul comportement de thermorégulation sociale, qui réduirait leurs surfaces corporelles exposées au froid (Vickery et Millar, 1984 ; Canals *et al.*, 1997, 1998) et leur permettrait de bénéficier de températures ambiantes plus clémentes au sein du groupe. A l'inverse, on peut penser qu'être exposés à des températures très élevées en « tortue » à plus de 23°C ou même 30°C pourrait entraîner un stress thermique chez les manchots dont la température critique supérieure est de 20°C.

Enfin, les relevés des températures internes des mâles reproducteurs, captifs ou libres de former des « tortues » sur la colonie, étaient effectués par mesures cloacales, impliquant ainsi un certain dérangement des oiseaux pouvant fausser les résultats, les mesures étant par ailleurs effectuées de manière discontinue et non standardisée à plusieurs moments du cycle. L'avènement d'enregistreurs de données miniaturisés et à haute capacité de stockage permet aujourd'hui de s'affranchir de la contention (en dehors des phases d'équipement) et d'acquérir des données sur une longue période de temps sans nuire à la fréquence d'échantillonnage.

**Nos objectifs ont ainsi été de :**

- a. déterminer les profils de température interne des manchots empereurs mâles au cours de leur cycle de reproduction ;**
- b. déterminer les variations de températures internes profonde et sous-cutanée lorsque les individus sont à l'intérieur et à l'extérieur des « tortues ».**

## **2.4 Mécanismes d'économie d'énergie mis en place lors du comportement thermorégulateur social**

Plusieurs études se sont employées à mesurer l'économie d'énergie réalisée par la thermorégulation sociale chez le manchot empereur en comparant des individus libres de former des « tortues », des animaux captifs en petits groupes et des animaux isolés, soumis aux mêmes conditions environnementales (Prévost, 1961 ; Prévost et Sapin-Jaloustre, 1964 ; Ancel *et al.*, 1997). Les bénéfices énergétiques de la thermorégulation sociale sont associés classiquement chez le manchot empereur à la création d'un microclimat favorable au sein des groupes (Prévost, 1961). De plus, la thermorégulation sociale peut influencer la régulation de température interne et permet une réduction des surfaces exposées au froid. Dès 1964, Prévost et Sapin-Jaloustre décrivaient déjà la dualité du bénéfice des « tortues », permettant d'une part à chaque individu de n'exposer qu'une partie réduite de son corps aux conditions défavorables de l'environnement, et d'autre part d'abaisser sa température interne, dans un état « proche de l'hibernation ». Ces auteurs listent d'ailleurs les adaptations du manchot empereur qui leur paraissent les plus importantes : (1) une enveloppe thermique relativement chaude, protégée par un plumage « adiabatique » les isolant fortement ; (2) des radiateurs plus ou moins glabres (pattes et ailerons) leur permettant de faire varier leurs surfaces d'échanges et les gradients de température ; (3) une température rectale variable, diminuée au cours du cycle reproducteur ; et enfin (4) un comportement social permettant à chaque individu de réduire ses pertes de chaleur, chaque oiseau bénéficiant d'une protection au vent et de la chaleur de ses voisins.

Cependant, aucune étude n'avait évalué la part des composantes physiques et physiologiques dans les bénéfices de la thermorégulation sociale chez cette espèce.

**Nos derniers objectifs ont ainsi été de :**

- a. synthétiser les bénéfices énergétiques associés à la formation de « tortues » chez le manchot empereur ;**
- b. évaluer la part des composantes physiques (réduction des surfaces corporelles, création d'un microclimat favorable) et physiologiques (régulation de la température interne, hypométabolisme) intervenant dans l'économie d'énergie réalisée ;** ceci en nous fondant sur les données de la littérature et nos principaux résultats.

[MCours.com](https://www.mcourses.com)