

SYNTHESE

Un bref aperçu des divers systèmes d'orientation utilisés par les tortues marines nouveau-nées¹

par

Véronique DELHEUSY²

Mots clés : tortue marine, orientation, migration, informations visuelles, compas magnétique.

SUMMARY : brief overview of the different orientation cues used by hatchling marine turtles.

The first experiments realized in the laboratory or in the field showed the role of visual informations in hatchling marine turtles orientation. They react positively towards the brightness and take the sea direction presenting a lighter horizon than the terrestrial horizon (covered with vegetation). But these visual informations are not sufficient at all when turtles are offshore. Different kind of informations are then necessary. LOHMANN and his collaborators looked into this question and their investigations displayed two kinds of informations allowing the offshore orientation : the waves and swell directions, and the terrestrial magnetic field. When young turtles enter the sea, they turn towards the waves and swell directions for reaching the open sea. When these informations are lacking, turtles rely on their magnetic compass allowing them to keep the orientation established and to determine their latitude for a good migration.

¹ Manuscrit reçu le 13 février 1996 ; accepté le 19 avril 1996.

² Laboratoire de Morphologie fonctionnelle, Institut de Zoologie de l'Université de Liège, quai Van Beneden 22, B-4020 Liège, Belgique.

RESUME

Les premières expériences réalisées en laboratoire ou sur le terrain ont mis en évidence le rôle joué par des informations visuelles dans l'orientation des jeunes tortues marines. Celles-ci réagissent positivement à la lumière et se dirigent en général vers la mer qui présente un horizon plus lumineux que la terre, recouverte de végétation. Cependant, certains chercheurs ont souligné que ces informations visuelles n'étaient plus suffisantes lorsque les tortues se trouvaient en mer, loin des côtes. D'autres informations devaient alors prendre le relais. LOHMANN et ses collaborateurs se sont penchés sur cette question et leurs recherches ont mis en évidence deux types d'informations permettant aux tortues de s'orienter en mer : la direction des vagues et de la houle et le champ magnétique terrestre. Lorsque les jeunes tortues pénètrent dans l'eau, elles se dirigent dans la direction des vagues ou de la houle et gagnent ainsi rapidement le large. Quand ces informations font défaut, les tortues possèdent un compas magnétique (compas d'inclinaison) qui leur permet de garder l'orientation acquise et de déterminer la latitude à laquelle elles se trouvent, ce qui permet de garder — ou de corriger — le cap d'une bonne migration.



Photo 1. Jeunes *Dermochelys coriacea* sortant du nid. (Photo Sabine RENOUS)

Introduction

Depuis de nombreuses décennies, les biologistes ont été intrigués par la capacité qu'ont les jeunes tortues à trouver la mer et à s'y orienter, comme par celle des adultes à venir se reproduire sur les plages dont elles sont natives.

Enterrées à un demi-mètre ou plus dans le sable, les tortues marines qui viennent d'éclore quittent les nids (voir **photo 1**), « crawlent » sur une plage à topographie différente vers une mer qu'elles n'ont jamais vue, quelles que soient les conditions météorologiques, et y nagent au cours d'une migration qui durera plusieurs jours. Elles doivent donc séquentiellement développer différents systèmes d'orientation afin :

- a) de localiser et d'atteindre l'océan ;
- b) de s'éloigner du rivage afin de rejoindre la haute mer.

Plusieurs recherches se sont concentrées sur ces systèmes d'orientation chez des espèces comme *Dermochelys coriacea* qui se reproduit sur les plages de Guyane française, *Chelonia mydas* (Océan Indien) et surtout *Caretta caretta* dont les oeufs éclosent sur les côtes de Floride.

Les premières expériences réalisées sur les jeunes tortues marines ont tenté de mettre en évidence le rôle de la vision dans le guidage vers la mer (KINGSMILL et MROSOVSKY, 1982 ; MROSOVSKY, 1978 ; MROSOVSKY et KINGSMILL, 1985). Les résultats obtenus montrent que les tortues réagissent positivement à la lumière.

Lorsque des jeunes tortues prises du nid sont placées dans des « bassins », elles nagent avec frénésie et se cognent constamment contre les parois pendant plusieurs jours après leur capture, ce qui suggère qu'elles nagent probablement avec vigueur vers le large. A ce moment, les informations visuelles semblent ne plus être suffisantes pour guider les tortues et d'autres types d'informations doivent prendre le relais. Les expériences réalisées jusqu'à présent ont mis en évidence le rôle de la direction des vagues et de la houle ainsi que les valeurs des composantes verticale et horizontale du champ magnétique terrestre dans l'orientation des jeunes tortues nageant en haute mer (FRICK, 1976 ; LIGHT *et al.*, 1993 ; LOHMANN, 1991 ; LOHMANN et FITTINGHOFF LOHMANN, 1992, 1994 ; LOHMANN et LOHMANN, 1994 ; SALMON et LOHMANN, 1989).

La synthèse qui suit est consacrée à la description des expériences principales qui ont mis en évidence que les tortues marines nouveau-nées utilisent des informations de natures diverses afin de s'orienter sur la plage pour rejoindre la mer et de prendre une direction de migration appropriée dans l'océan.

La vision permet aux jeunes tortues de rejoindre l'océan

Lorsque des jeunes tortues ont les yeux cachés, elles errent sur la plage sans progresser vers la mer ou restent inertes. Par contre, si un cache est placé sur un des deux yeux d'une tortue, elle tourne en rond pendant un certain temps puis prend une direction dans l'axe de l'oeil non caché (KINGSMILL et MROSOVSKY, 1982 ; MROSOVSKY et KINGSMILL, 1985). Elle s'oriente donc vers la lumière (voir **fig. 1**).

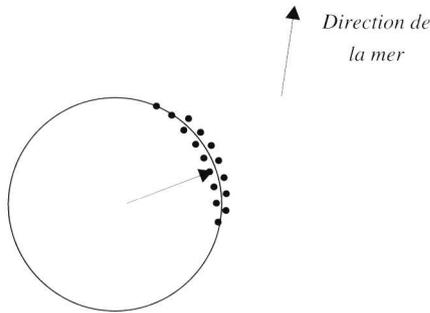


Fig. 1. Schéma illustrant la réaction positive des jeunes tortues à la lumière.

Le cercle schématise l'arène au centre de laquelle sont placées les tortues en situation expérimentale. Lorsqu'un cache est placé sur l'oeil gauche des tortues, celles-ci s'orientent vers la droite et prennent une direction qui est celle de l'oeil non caché. Chaque point représente la direction prise par une tortue. La direction moyenne prise par l'ensemble des tortues est représentée par une flèche. (Modifié d'après KINGSMILL et MROSOVSKY, 1982 ; MROSOVSKY et KINGSMILL, 1985)

Une autre expérience consiste à construire une arène autour de laquelle on fait apparaître des objets sombres assez hauts pour cacher, à la tortue, la luminosité venant de cette direction. Elle montre que lorsqu'il n'y a aucun objet sombre, les tortues s'orientent vers l'horizon marin lumineux et étendu. Si un objet sombre apparaît à l'un ou l'autre endroit de l'arène, les tortues ne s'orientent plus dans cette direction, même si, au départ, elle était la direction préférée ; les tortues se dirigent alors vers les zones larges adjacentes (MROSOVSKY et SHETTLEWORTH, 1968). Les tortues sont attirées vers une zone de luminosité étendue plutôt que vers une zone de luminosité plus forte mais de largeur moindre (voir **fig. 2**). Dans la nature, il existe une différence de luminosité entre l'horizon marin large et lumineux et l'horizon terrestre couvert de végétation et donc plus sombre.

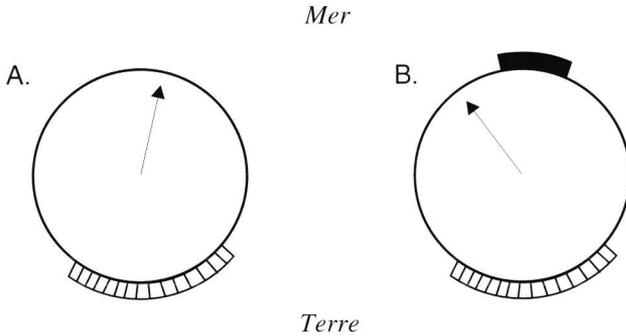


Fig. 2. Schéma illustrant l'attractivité des zones lumineuses étendues.

L'expérience consiste à faire apparaître des objets sombres à différents endroits de l'arène. A. Lorsqu'aucun objet n'est présent, les tortues s'orientent en direction de la mer et non en direction des terres (zone hachurée). B. Par contre, lorsqu'un objet opaque (rectangle noir) est présenté du côté marin, les tortues prennent une autre direction. La direction moyenne prise par l'ensemble des tortues est représentée par une flèche. (Modifié d'après MROSOVSKY et SHETTLEWORTH, 1968)

La position du soleil influence l'orientation des tortues uniquement lorsque le contraste de luminosité entre les horizons marin et terrestre est faible (MROSOVSKY et KINGSMILL, 1985). Des expériences réalisées sur des plages différentes le matin et le soir montrent que, quand le contraste est élevé entre les deux horizons, les tortues s'orientent vers la mer, quelle que soit la position du soleil. Lorsque ce contraste est faible, les tortues s'orientent vers la mer le matin (le soleil se levant au-dessus de la mer). Par contre, le soir, certaines d'entre elles se dirigent davantage vers la terre, le soleil se couchant à ce niveau (voir **fig. 3**).

Lorsque des éclairs sont envoyés sur des panneaux qui font face aux tortues, les résultats montrent qu'une lumière continue attire plus la tortue qu'un flash et que le nombre d'éclairs par seconde a peu d'effet sur la réponse de la tortue. Par contre, le rapport du temps passé à la lumière et celui passé dans l'obscurité a un effet sur sa réponse au stimulus. L'intensité de lumière et, dans une moindre mesure, la longueur d'onde de la lumière réfléchiée par les vagues jouent un rôle dans la réponse de la tortue. Les tortues intègrent donc les informations visuelles au cours du temps. Les tortues ne sont donc pas influencées par les éclairs des orages qui sont fréquents au niveau des plages tropicales ni par les débris de végétation qui leur enlèvent de la luminosité pendant un temps court. Elles répondraient donc à des informations permanentes qui différencient les directions terre-mer (MROSOVSKY, 1978).

La majorité des jeunes tortues marines quittent les nids durant la nuit. Les expériences montrent que des informations visuelles les guident sur la plage vers la mer et l'océan. Parce que l'océan est un horizon étendu plus lumineux que l'horizon terrestre recouvert de végétation, les jeunes tortues

s'écartent des obstructions sombres et s'orientent vers la lumière. Des informations lumineuses de faible intensité, de courte durée ou concentrées comme la lune, les éclairs, les lumières des villes, les lampes de poche n'affectent pas leur déplacement vers la mer.

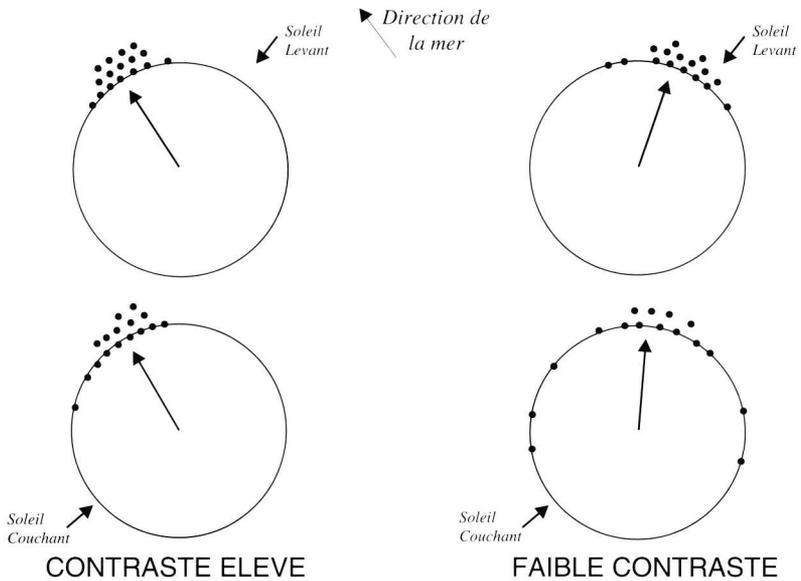


Fig. 3. Effet de la position du soleil sur l'orientation des tortues nouveau-nées.

La partie gauche illustre les directions prises par les tortues lorsque le contraste de luminosité entre les horizons marin et terrestre est élevé ; et la partie de droite lorsque ce contraste est faible. La direction moyenne prise par l'ensemble des tortues est représentée par une flèche. Chaque point représente la direction prise par une tortue. (Modifié d'après MROSOVSKY et KINGSMILL, 1985)

L'orientation des jeunes tortues en mer est influencée par deux sortes d'informations

Lorsque les tortues atteignent l'eau, elles nagent avec frénésie vers le large dans une direction bien vite définie et maintenue pendant au moins 24 heures même lorsque la terre n'est plus visible. Cette nage permet aux individus de s'éloigner des eaux peu profondes du plateau continental où la prédation est particulièrement importante. Les individus de l'espèce *Caretta caretta* atteignent rapidement le Gulf Stream où ils trouvent refuge et nourriture dans la zone des Sargasses. Ensuite, ils partent vers l'Europe et restent dans le courant

Nord Atlantique. Les informations lumineuses semblent ne plus être suffisantes lorsque les tortues quittent le rivage puis se retrouvent en haute mer, et des informations de nature différente doivent prendre le relais. Celles-ci sont de deux ordres :

La direction des vagues et de la houle

Lorsque les tortues sont attachées à une bouée reliée à une enceinte quadrillée permettant de déterminer la direction prise, ou lorsque les tortues nagent librement, les observations montrent qu'elles prennent la direction des vagues, de la houle ou une direction intermédiaire entre les deux si les vagues et la houle sont présentes en même temps, et ce, quelle que soit la direction de ces deux paramètres (LOHMANN et FITTINGHOFF LOHMANN, 1992 ; SALMON et LOHMANN, 1989). En effet, si les vagues viennent de la terre, lors de conditions atmosphériques particulières, les tortues reviennent vers le rivage. Lorsque les vagues et la houle sont absentes, les tortues ne s'orientent pas de manière bien déterminée (voir **fig. 4**).

Quand les vagues entrent dans les eaux peu profondes et atteignent le rivage, leur direction de propagation est réfractée jusqu'à ce qu'elle soit presque perpendiculaire à la plage. Pour les tortues qui entrent dans l'eau, nager dans les vagues consiste alors en un déplacement vers le large. Parce que la houle prend son origine dans l'océan et parcourt de grandes distances avant d'atteindre le rivage, sa direction est établie loin en mer et est indépendante des conditions climatiques locales comme les brises qui engendrent les vagues. De ce fait, loin du rivage, la direction de la houle apporte une information directionnelle constante. L'action d'établir une direction intermédiaire entre la houle et les vagues lorsque les deux sont présentes pourrait réduire l'influence des brises sur l'orientation vers le large.

Le champ magnétique terrestre

Afin de déterminer si le champ magnétique joue un rôle dans l'orientation des tortues, on utilise un dispositif expérimental où les tortues, placées dans un bassin, sont attachées par la carapace à un fil relié à un bras qui peut tourner sur 360°. Ce bassin est entouré de deux bobines indépendantes, l'une pour faire varier la composante horizontale du champ géomagnétique et l'autre la composante verticale du champ ambiant. Les tortues *Caretta caretta* sont d'abord placées pendant une heure sous une lumière disposée à l'est pour simuler les conditions naturelles (en Floride, l'horizon marin est orienté à l'est), puis les lumières sont éteintes et les expériences peuvent commencer. Sous l'influence du champ magnétique terrestre, les jeunes tortues s'orientent vers l'est. Lorsque la composante verticale est inversée, les tortues s'orientent vers l'ouest. Quand les deux champs sont inversés, les tortues s'orientent vers l'est et lorsque la composante verticale est annulée, les tortues ne présentent plus

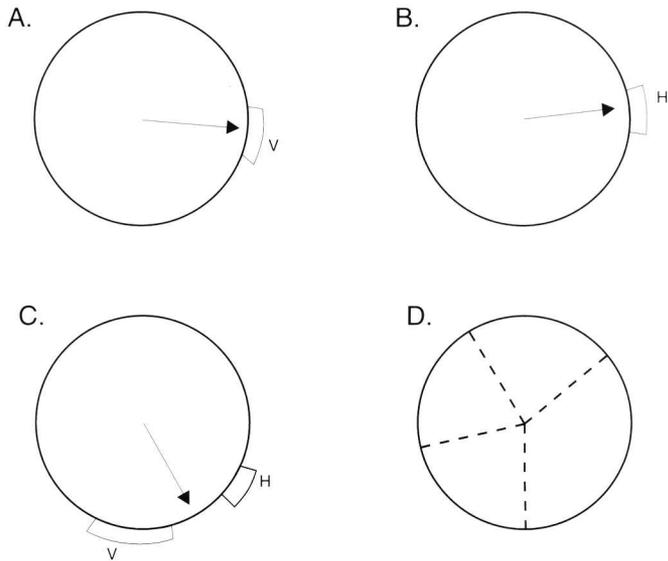


Fig. 4. Effet de la direction des vagues et de la houle sur la direction prise par les jeunes tortues en mer.

A. Les vagues (v) sont présentes en mer. B. La mer est houleuse (h). C. Ces deux paramètres co-existent : les vagues (v) et la houle (h). D. Ces paramètres font défaut. La direction moyenne prise par l'ensemble des tortues est représentée par une flèche. Les lignes pointillées montrent que les tortues ne prennent pas une direction préférentielle. (Modifié d'après LOHMANN et FITTINGHOFF LOHMANN, 1992 ; SALMON et LOHMANN, 1989)

d'orientation déterminée (voir **fig. 5**). Les deux composantes du champ magnétique terrestre interviennent donc dans l'orientation des tortues marines (LIGHT *et al.*, 1993).

Pour déterminer si les tortues acquièrent une préférence directionnelle magnétique sur base d'informations rencontrées après la naissance, les expériences précédentes ont été rééditées mais en faisant varier l'emplacement de la lumière (est et ouest) à laquelle étaient soumises les tortues avant les expériences sous le champ magnétique (LOHMANN et FITTINGHOFF LOHMANN, 1994). Nous voyons que si la lumière est placée à l'est, les tortues s'orientent dans cette direction lorsque le champ est le champ géomagnétique terrestre. Elles s'orientent vers l'ouest lorsque le champ géomagnétique est inversé. Par contre, lorsque la lumière est placée à l'ouest, elles s'orientent dans cette direction sous l'influence du champ géomagnétique terrestre. Lorsqu'elles ne sont pas soumises à la lumière avant l'expérience, l'orientation sous le champ magnétique terrestre est aléatoire (voir **fig. 6**).

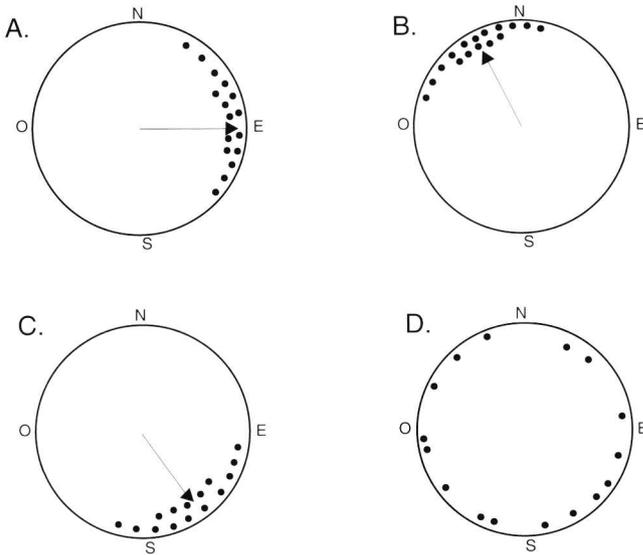


Fig. 5. Effet des composantes verticale et horizontale du champ magnétique terrestre dans l'orientation des jeunes tortues.

- A. Les tortues sont soumises au champ magnétique terrestre (deux composantes).
- B. La composante verticale est inversée.
- C. Les deux composantes du champ magnétique sont inversées.
- D. La composante verticale est annulée.

La direction moyenne prise par l'ensemble des tortues est représentée par une flèche. Chaque point illustre la direction prise par une tortue. Les quatre points cardinaux sont indiqués (N,S,E,O). (Redessiné d'après LIGHT *et al.*, 1993)

Les tortues déterminent donc la direction de la mer lorsqu'elles sont sur ou près du rivage en utilisant les lumières de l'horizon ; elles établissent sur cette base une préférence directionnelle magnétique appropriée et utilisent cette préférence directionnelle acquise afin de maintenir l'orientation lorsqu'elles migrent en mer. Pour établir une direction précise vers le large à partir de n'importe quel endroit, les tortues doivent seulement déterminer la direction de l'océan visuellement et ensuite maintenir une direction appropriée en utilisant leur compas magnétique.

Les tortues de Floride (*C. caretta*) partent alors vers le Gulf Stream et le courant Nord Atlantique dans lequel elles restent plusieurs années avant de revenir sur les côtes américaines. Le fait de s'éloigner au-delà des extrêmes de latitude du courant Nord Atlantique peut leur être fatal (températures trop basses ou dérive dans d'autres courants). Si les tortues peuvent détecter les différentes inclinaisons du champ magnétique, elles sont susceptibles de déterminer approximativement la latitude à laquelle elles se trouvent. Des expériences

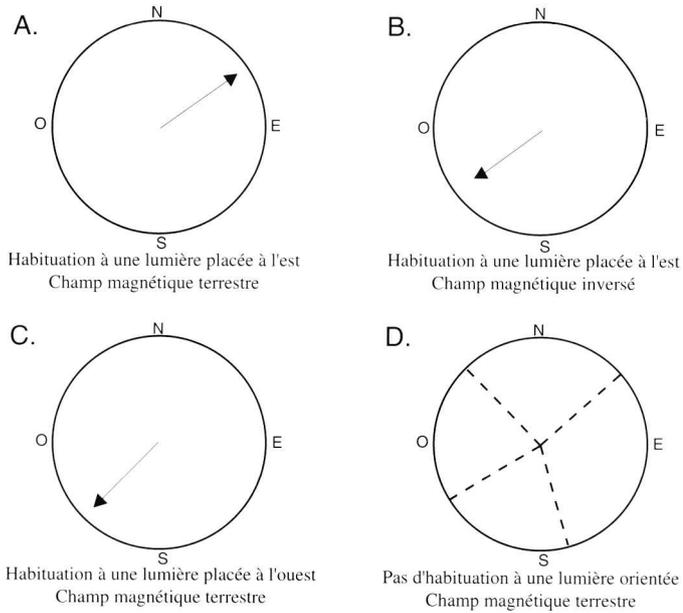


Fig. 6. Effet de la localisation de l'horizon lumineux sur l'acquisition d'une préférence directionnelle magnétique.

A et B. Les tortues ont été soumises à une lumière placée à l'est pendant une heure.
 C. Les tortues ont été soumises à une lumière placée à l'ouest pendant une heure.
 D. Les tortues sont restées dans le noir avant l'expérience sous champ magnétique.
 La direction moyenne prise par l'ensemble des tortues est représentée par une flèche. Les quatre points cardinaux sont indiqués (N,S,E,O). (Redessiné d'après LOHMANN et FITTINGHOFF LOHMANN, 1994)

réalisées en faisant varier l'angle d'inclinaison du champ magnétique montrent que l'orientation des tortues varie en fonction de cet angle (LOHMANN et LOHMANN, 1994). Pour un angle de 57° (qui est l'angle du champ géomagnétique au niveau des plages de Floride), les tortues s'orientent vers l'est. Pour un angle de 60° , elles s'orientent vers le sud-sud-est. Pour un angle de 30° , la direction prise est celle du nord-nord-est. Pour trois autres angles (15° , 45° , 75°), il n'y a pas de direction préférentielle. Pourquoi réagissent-elles à certains angles d'inclinaison et pas à d'autres ? L'angle d'inclinaison du champ magnétique au nord du courant Nord Atlantique est de 60° . Les tortues nagent alors vers le sud. L'angle d'inclinaison du champ magnétique au sud du tourbillon est de 30° , elles nagent alors vers le nord. Ce système permet aux tortues de rester dans le courant Nord Atlantique (voir **fig. 7**). Pour les autres angles d'inclinaison, elles n'ont pas d'orientation spécifique. Le compas des tortues est un compas d'inclinaison (les informations des deux composantes du champ

magnétique sont nécessaires). Lorsque les angles approchent trop des valeurs qui ne font plus intervenir qu'une des deux composantes, les tortues ne savent plus s'orienter.



Fig. 7. Schéma illustrant le fait que les jeunes tortues posséderaient un compas magnétique qui leur permettrait de déterminer à tout moment la latitude à laquelle elles se trouvent.

Grâce à leur compas magnétique, les individus de l'espèce *Caretta caretta* restent dans le courant Nord Atlantique. Les angles d'inclinaison au nord et au sud de ce courant sont respectivement de 60° et 30°. (Redessiné d'après LOHMANN et LOHMANN, 1994)

Conclusions

Plusieurs informations de natures diverses sont nécessaires aux tortues pour s'orienter. Dès la sortie du nid, des informations visuelles leur permettent de repérer l'océan et de le rejoindre. Lorsqu'elles pénètrent dans l'eau, la

direction des vagues et de la houle prend le relais. Au large, lorsque ces dernières informations disparaissent ou font défaut, les tortues marines possèdent un compas magnétique qui leur permet de garder l'orientation acquise et d'estimer la latitude à laquelle elles se trouvent, ce qui leur permet de maintenir et de corriger le cap d'une bonne migration. Les expériences réalisées jusqu'à présent mettent en évidence trois types d'informations jouant un rôle primordial dans l'orientation des tortues marines nouveau-nées. Ces informations ne sont sans doute pas les seules et, dans quelques années, les chercheurs souligneront peut-être l'effet d'autres paramètres sur cette orientation. Le sujet est loin d'être épuisé.

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche bibliographique a été réalisé en tant que thèse annexe au cours d'une thèse de doctorat supportée financièrement par le F.R.I.A. (910614), et rédigée en tant que boursier C. Hela. Un grand merci au Dr Sabine Renous du Museum National d'Histoire Naturelle à Paris pour avoir autorisé la publication de la photo des jeunes tortues marines.

BIBLIOGRAPHIE

- FRICK J. (1976). — Orientation and behaviour of hatchling green turtles (*C. mydas*). *Anim. behav.*, **24** : 849-857.
- KINGSMILL S.F. et MROSOVSKY N. (1982). — Sea-finding behaviour of loggerhead hatchlings : the time course of transient circling following unilateral and asynchronous bilateral blindfolding. *Brain Behav. Evol.*, **20** : 29-42.
- LIGHT P., SALMON M. et LOHMANN K.J. (1993). — Geomagnetic orientation of loggerhead sea turtles : evidence for an inclination compass. *J. exp. Biol.*, **182** : 1-19.
- LOHMANN K.J. (1991). — Magnetic orientation by hatchling loggerhead sea turtles (*C. caretta*). *J. Exp. Biol.*, **155** : 37-49.
- LOHMANN K.J. et FITTINGHOFF LOHMANN C.M. (1992). — Orientation to oceanic waves by green turtles hatchlings. *J. exp. Biol.*, **171** : 1-13.
- LOHMANN K.J. et FITTINGHOFF LOHMANN C.M. (1994). — Acquisition of magnetic directional preference in hatchling loggerhead sea turtles. *J. exp. Biol.*, **190** : 1-8.
- LOHMANN K.J. et LOHMANN C.M.F. (1994). — Detection of magnetic inclination angle by sea turtles : a possible mechanism for determining latitude. *J. exp. Biol.*, **194** : 23-32.
- MROSOVSKY N. (1978). — Effects of flashing lights on sea-finding behavior of green turtles. *Behavioral biology*, **22** : 85-91.
- MROSOVSKY N. et SHETTLEWORTH S.J. (1968). — Wavelength preferences and brightness cues in the water finding behaviour of sea turtles. *Behaviour*, **32** (4) : 211-257.
- MROSOVSKY N. et KINGSMILL S.F. (1985). — How turtles find the sea. *Z. Tierpsychol.*, **67** : 237-256.
- SALMON M. et LOHMANN K.J. (1989). — Orientation cues used by hatchling loggerhead sea turtles (*C. caretta*) during their offshore migration. *Ethology*, **83** : 215-228.