

PLASTICITÉ PHÉNOTYPIQUE CHEZ LES TORTUES MARINES

Marc Girondot

Pourquoi cette présentation ?

- Hill, J.E., Paladino, F.V., Spotila, J.R., Tomillo, P.S., 2015. Shading and watering as a tool to mitigate the impacts of climate change in sea turtle nests. PLoS One 10, e0129528.



Conférence à Dalaman

- Richard Reina a fait une très bonne présentation à Dalaman à propos de l'effet du changement climatique sur les tortues marines
- Climate Change and Sea Turtles: What It is, What it isn't and What We Need to Do About It

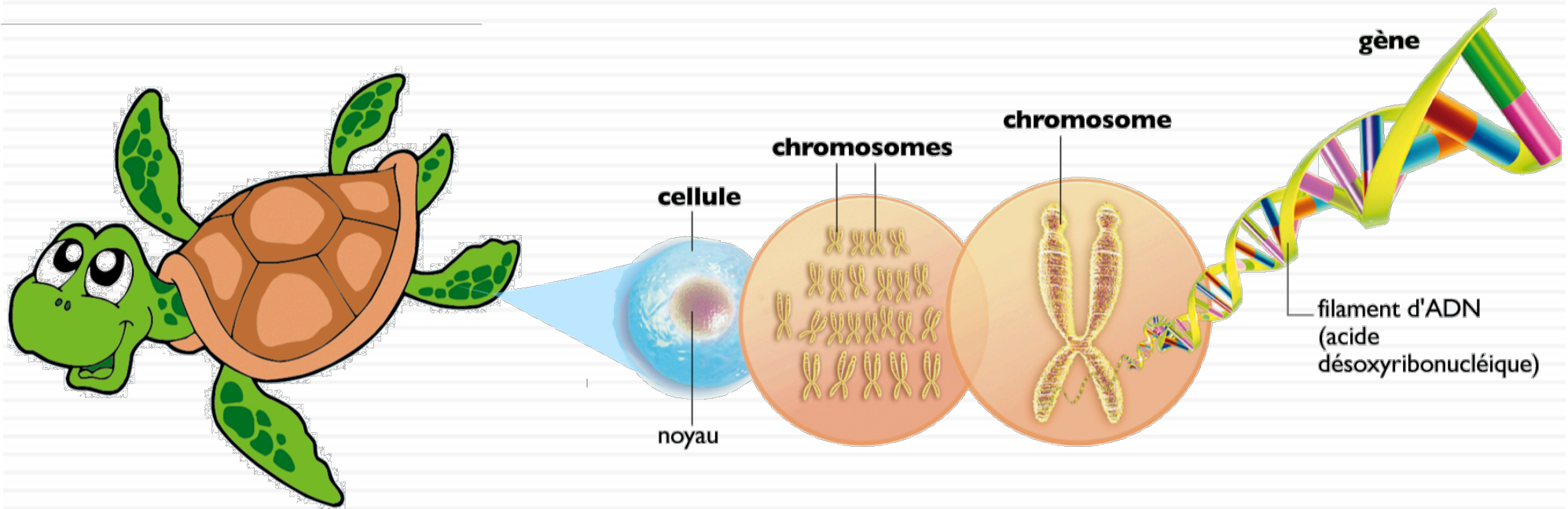


Plasticité phénotypique et tortues marines

- Qu'est ce que la plasticité phénotypique ?
 - ▣ Plasticité phénotypique, génotype, canalisation, normes de réaction, poïkilothermie, hétérothermie
- Pourquoi s'intéresser à la plasticité phénotypique en biologie de la conservation ?
- Exemples de plasticités phénotypiques:
 - ▣ Utilisation de l'espace en mer et sur terre
 - ▣ Croissance des embryons et des juvéniles
 - ▣ Détermination du sexe

Plasticité phénotypique

Génotype, phénotype



Relation entre génotype et phénotype

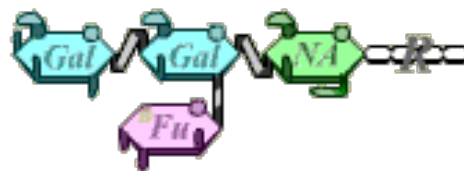
□ Groupe sanguin chez l'homme

- AA, AB, AO, BO, OO correspondent à des génotypes. Ce sont des gènes hérités des parents via leurs gamètes.
- Selon le génotype, des sucres sont ajoutés sur les membranes des cellules. Les différents types de sucres correspondent au phénotype, c'est à dire à l'expression du génotype:

Phénotype A



Phénotype B

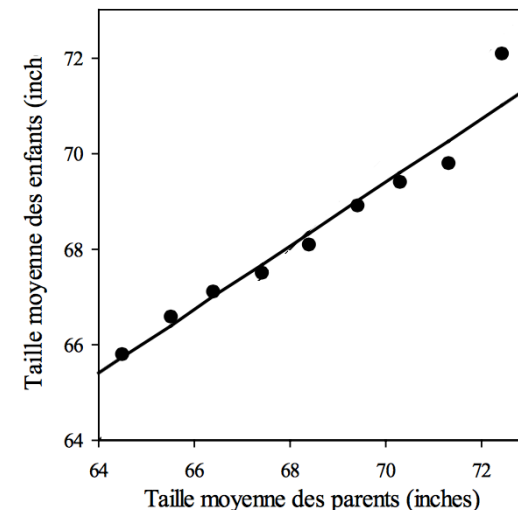


Phénotype O



Relation entre génotype et phénotype

- La taille des individus est aussi sous contrôle du génotype: deux parents de grande taille auront des enfants en moyenne plus grand que deux parents de petites tailles.
- ▣ Galton, F., 1886. Regression towards mediocrity in hereditary stature. Journal of the Anthropological Institute 15, 246-263.



Relation entre génotype et phénotype

- La taille adulte dépend aussi de la qualité et de la quantité de la nourriture pendant la croissance; c'est une partie de l'explication de l'augmentation de la stature en France depuis 150 ans.

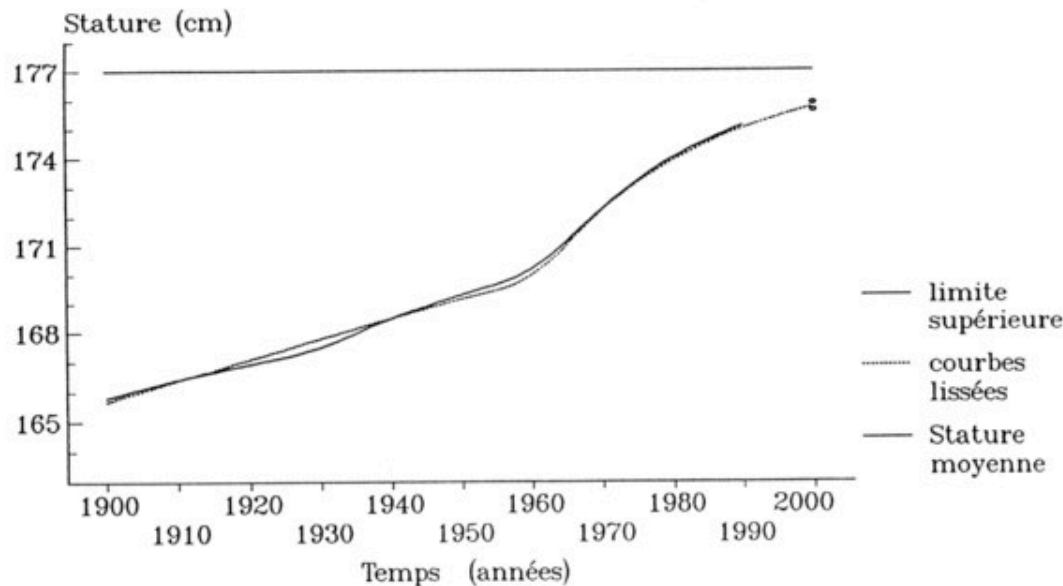


Fig. 1. — Evolution de la stature moyenne en France de 1900 à 1990 (d'après les données du tableau II).

Chamla, M.-C., 1964.
L'accroissement de la stature en France de 1880 à 1960 ; comparaison avec les pays d'Europe occidentale. Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris 6, 201-278.

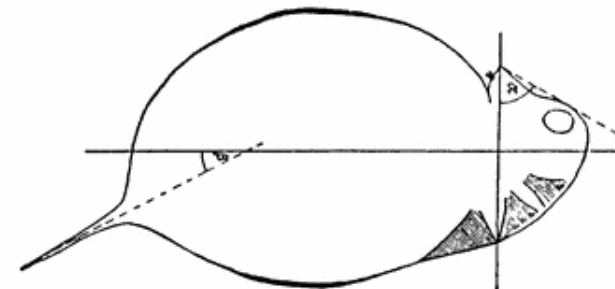
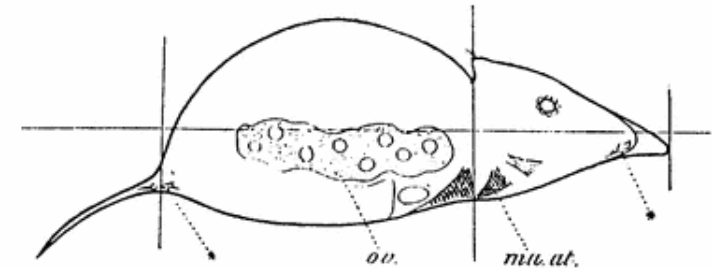
Relation entre génotype et phénotype

- Groupes sanguins: pas d'influence de l'environnement, le caractère est strictement génétique
- Taille: influence à la fois génétique mais aussi de l'environnement
 - ▣ Un même génotype peut conduire à différents phénotypes

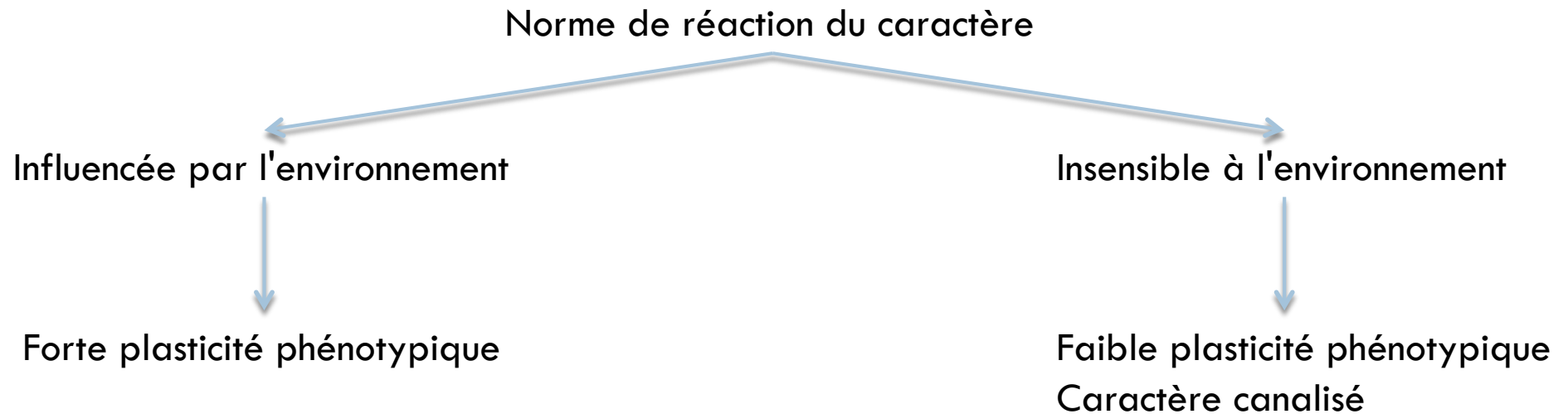
C'est la plasticité phénotypique !

Norme de réaction

- La norme de réaction décrit la gamme des phénotypes produits par un même génotype dans des conditions environnementales différentes.
- Cette notion est due à Woltereck qui, en 1909, montrait que les daphnies (petits crustacés) adoptaient une morphologie différente selon qu'elles étaient cultivées en présence ou pas de prédateurs.
 - ▣ Woltereck, R., 1909. Weitere experimentelle untersüchungen über artveränderung, speziell über das wesen quantitativer artunterschede bei daphniden. Verhandlungen der Deutschen Zooligischen Gesllschaft 19, 110-172.



Synthèse





Quels facteurs de l'environnement ?

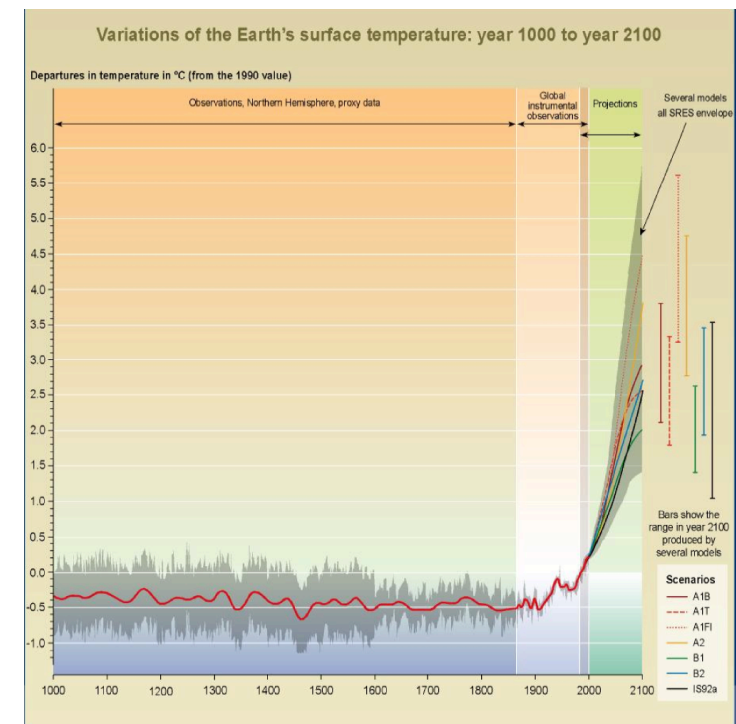
Pourquoi étudier la plasticité phénotypique en biologie de la conservation ?

Poïkilothermie, hétérothermie

- Les tortues marines n'ont pas une régulation physiologique de leur température corporelle, qui est donc variable: ce sont des poïkilothermes.
 - ▣ En fait, leur masse imposante crée des phénomènes d'échelle qui les rend hétérothermes, c'est à dire que les différents organes peuvent avoir une température corporelle différente.
 - ▣ Il existe aussi des adaptations physiologiques notamment sur les pattes pour limiter la déperdition thermique.

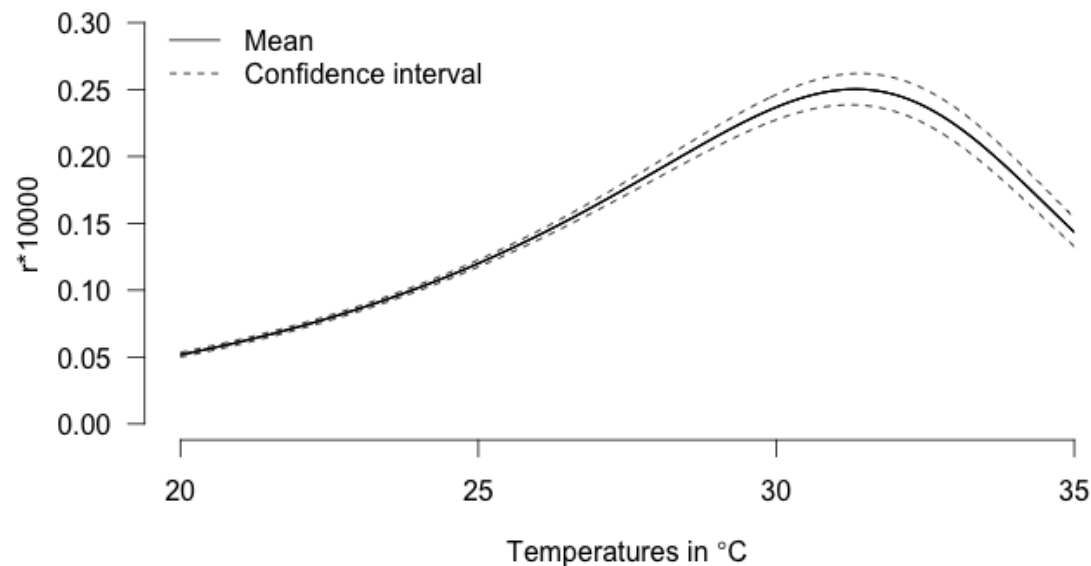
Norme de réaction thermique

- La plupart, voire l'ensemble, des réactions biologiques sont sensibles à la température.
 - ▣ Donc tous les phénomènes biologiques présente donc une norme de réaction thermique.
- Les autres facteurs sont moins bien étudiés.



Norme de réaction thermique

- De nombreux travaux ont cherché à déterminer une forme générale de la norme de réaction thermique.



Schoolfield, R.M., Sharpe, P.J., Magnuson, C.E., 1981. Non-linear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. *Journal of Theoretical Biology* 88, 719-731.

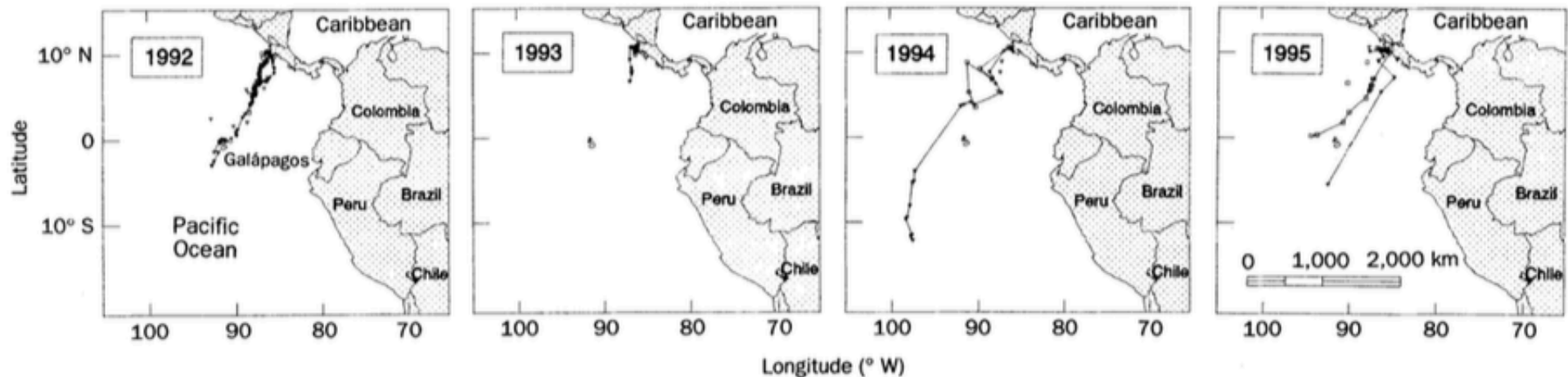


Exemples de plasticités phénotypiques

Utilisation de l'espace en mer et sur terre

Les tortues marines en mer

- A la recherche de règles pour les tortues marines dans l'océan : les « couloirs de migration ».
- ▣ Morreale, S.J., Standora, E.A., Spotila, J.R., Paladino, F.V., 1996. Migration corridor for sea turtles. *Nature* 384, 319-320.



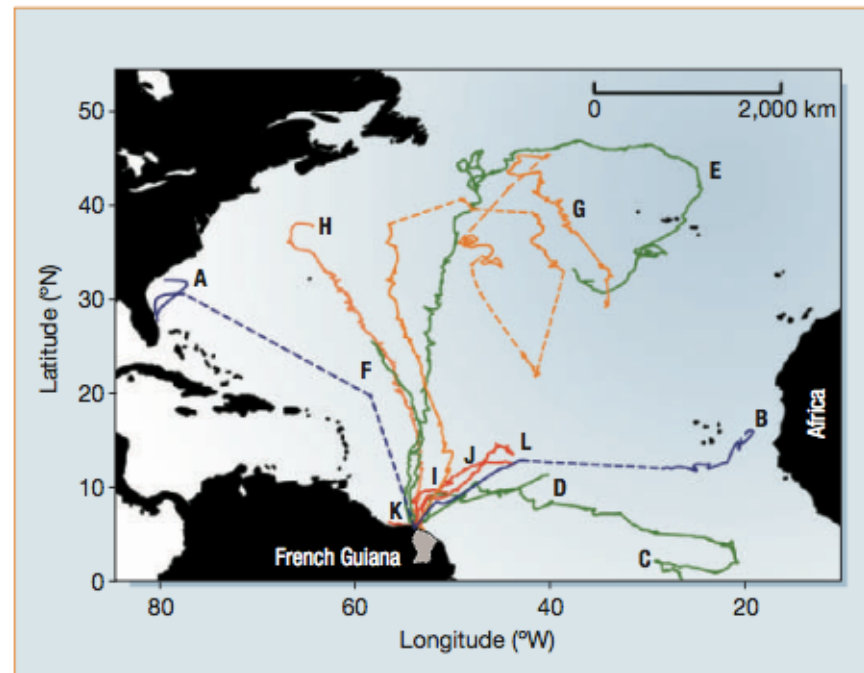
Les tortues marines en mer



- Encore des « couloirs de migration »:
 - ▣ Godley, B.J., Almeida, A., Barbosa, C., Broderick, A.C., Catry, P.X., Hays, G.C., Indjai, B., 2003. Using satellite telemetry to determine post-nesting migratory corridors and foraging grounds of green turtles nesting at Poilão, Guinea Bissau. CMS, FIBA, People's trust for endangered species, p. 26.

Les tortues marines en mer

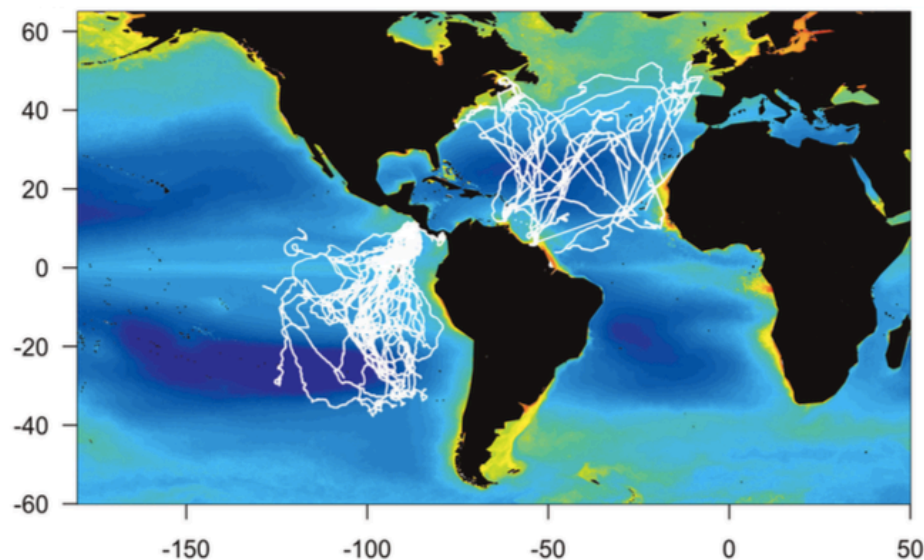
- D'où l'idée qu'on peut savoir où les tortues sont:
 - ▣ Ferraroli, S., Georges, J.-Y., Gaspar, P., Le Maho, Y., 2004. Where leatherback turtles meet fisheries. Nature 249, 521-522.



Les tortues marines en mer

□ Mais quand on a suffisamment de données, un autre patron émerge:

- ▣ Bailey, H., Fossette, S., Bograd, S.J., Shillinger, G.L., Swithenbank, A.M., Georges, J.-Y., Gaspar, P., Strömberg, K.H.P., Paladino, F.V., Spotila, J.R., Block, B.A., Hays, G.C., 2012. Movement patterns for a critically endangered species, the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*), linked to foraging success and population status. PLoS One 7, e36401.



Conférence à Dalaman: R. Reina



- A partir d'une série d'exemples, Richard Reina a montré que les tortues marines en mer réagissaient aux conditions océanographiques, par exemple:

- ▣ Saba, V.S., Shillinger, G.L., Swithenbank, A.M., Block, B.A., Spotilac, J.R., Musick, J.A., Paladino, F.V., 2008. An oceanographic context for the foraging ecology of eastern Pacific leatherback turtles: Consequences of ENSO. Deep-Sea Research II 55, 646–660.

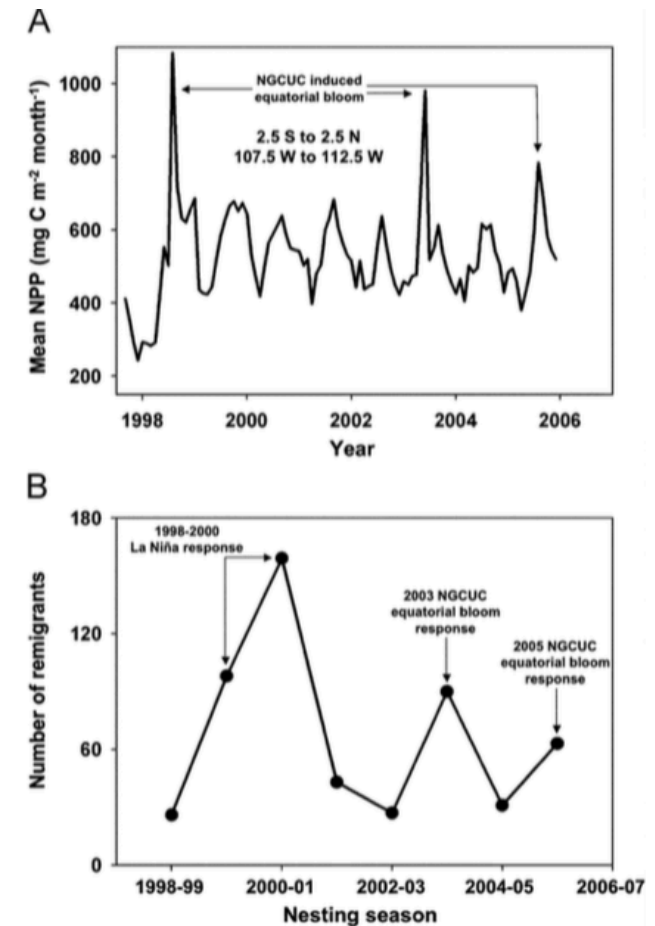
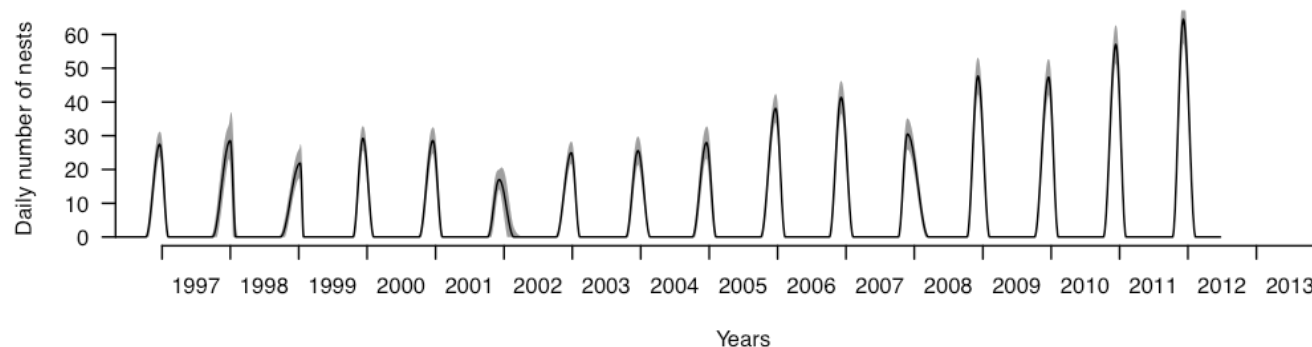


Fig. 6. (A) Mean monthly NPP at the most pronounced area of the NGCUC induced bloom along the equator encompassing 110°W. (B) Number of remigrant turtles at Playa Grande, PNMB, from 1998–1999 to 2005–2006 (October–February of each season) and their response to ENSO and NGCUC induced primary production transitions in the eastern equatorial Pacific.

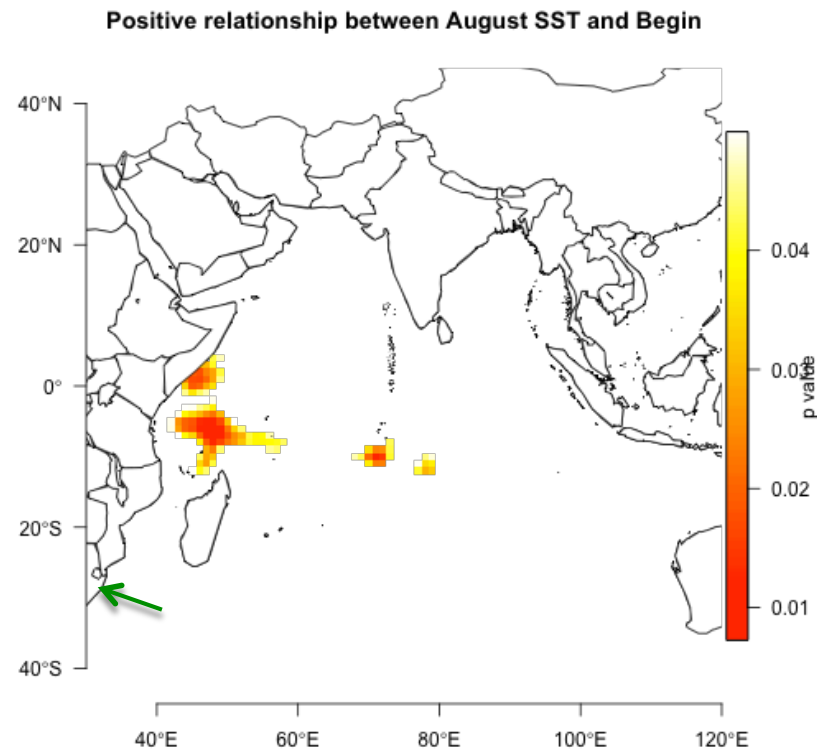
La phénologie de la ponte

- Estimation du début de la saison de ponte de *Caretta caretta* en Afrique du Sud grâce à une méthode de reconstruction de la saison de pontes (collaboration avec Ronel Nel et Jenny Tucek):
 - ▣ Girondot, M., 2010. Estimating density of animals during migratory waves: application to marine turtles at nesting site. *Endangered Species Research* 12, 85-105.



La phénologie de la ponte

- Relation entre le début de la saison de ponte en Afrique du Sud et la température moyenne de l'Océan Indien au mois d'août:



En conclusion,



- A la fois le comportement en mer et le comportement à terre dépendent des conditions océanographiques.
- Donc les tortues marines sont sensibles au changement climatique qui induit des changements océanographiques.

Mais est-ce grave ?

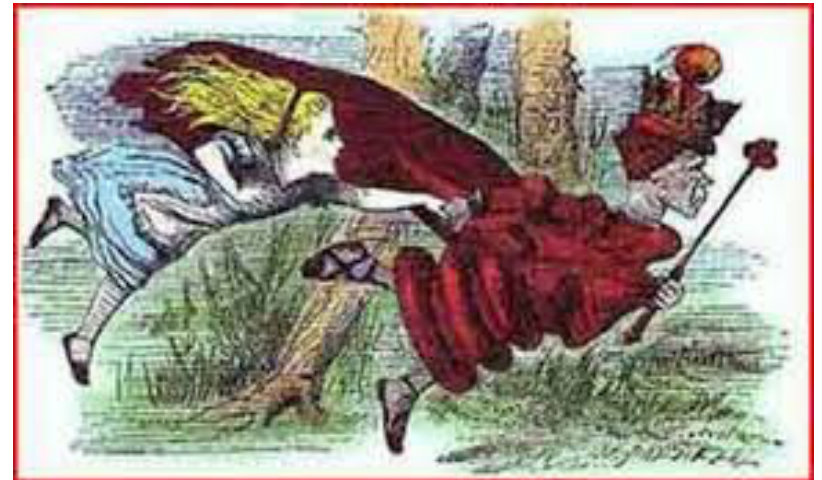
Caractéristiques d'une espèce sensible au changement climatique

- Espèce au comportement stéréotypé,
- Espèce dont le comportement est insensible à des facteurs de l'environnement,
- Espèce ayant des capacités de déplacement faible,

Les tortues marines ne présentent aucune des caractéristiques des espèces potentiellement menacées par le changement climatique.

Au contraire

- Le fait que les tortues marines réagissent aux conditions océanographiques est un bon signe car, quand les conditions changent, elles se déplacent pour rester dans un espace climatique compatible avec leur niche écologique.
- ▣ Dans un monde qui bouge, il faut se déplacer pour rester à la même place !

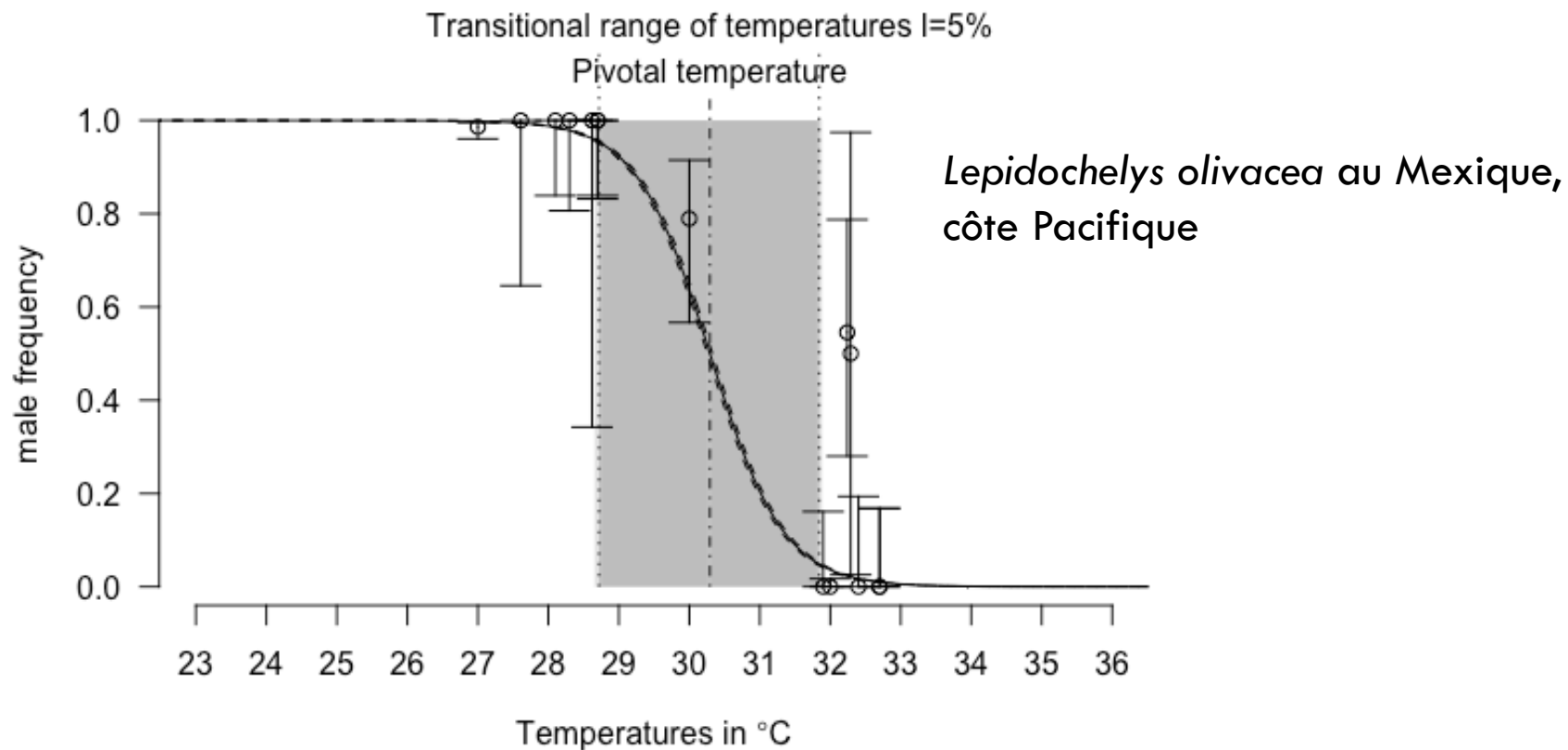


Disparition des plages

- Quid de la disparition des plages par l'érosion ?
 - ▣ Là encore, les tortues marines ne sont pas des robots revenant pondre bêtement sur une plage qui n'existe plus !
- Leur stratégie de pontes est au contraire particulièrement subtile:
 - ▣ « Je reviens pondre dans la région où je suis née car si j'y suis née, c'est que les conditions y étaient propices pour l'incubation des œufs »,
 - ▣ « Je reviens pondre où j'ai pondu précédemment car si je suis encore vivante, c'est que la zone n'est pas trop dangereuse »,
 - ▣ « De temps en temps, j'effectue des pontes dans d'autres endroits ce qui me permet d'utiliser la stratégie de ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier »,
 - ▣ « Si ma zone de ponte favorite devient inhospitalière, je connais donc déjà d'autres endroits où aller ».

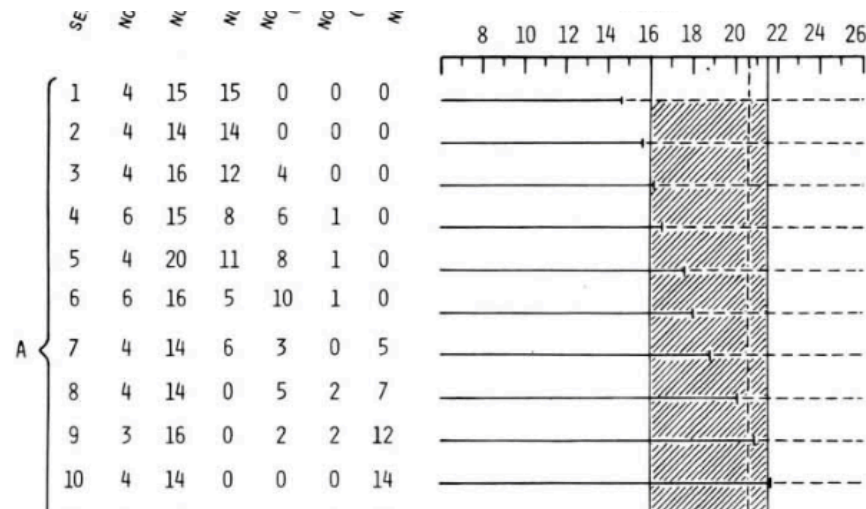
Mais...

- Quid de la détermination du sexe sensible à la température ?



La période thermosensible du développement pour la détermination du sexe

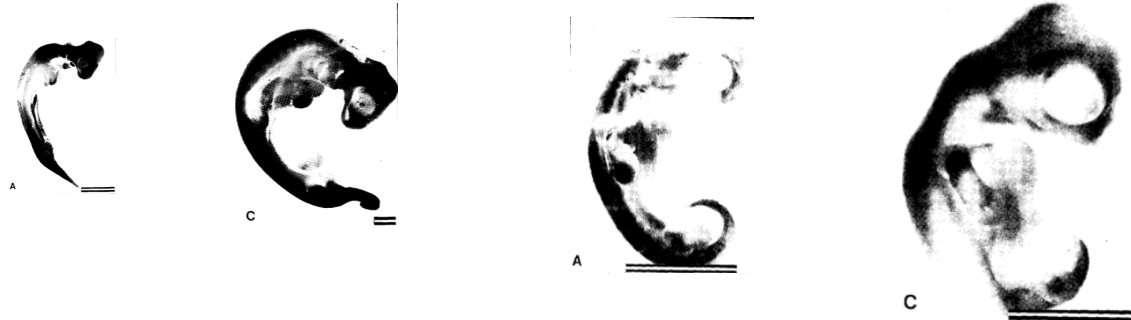
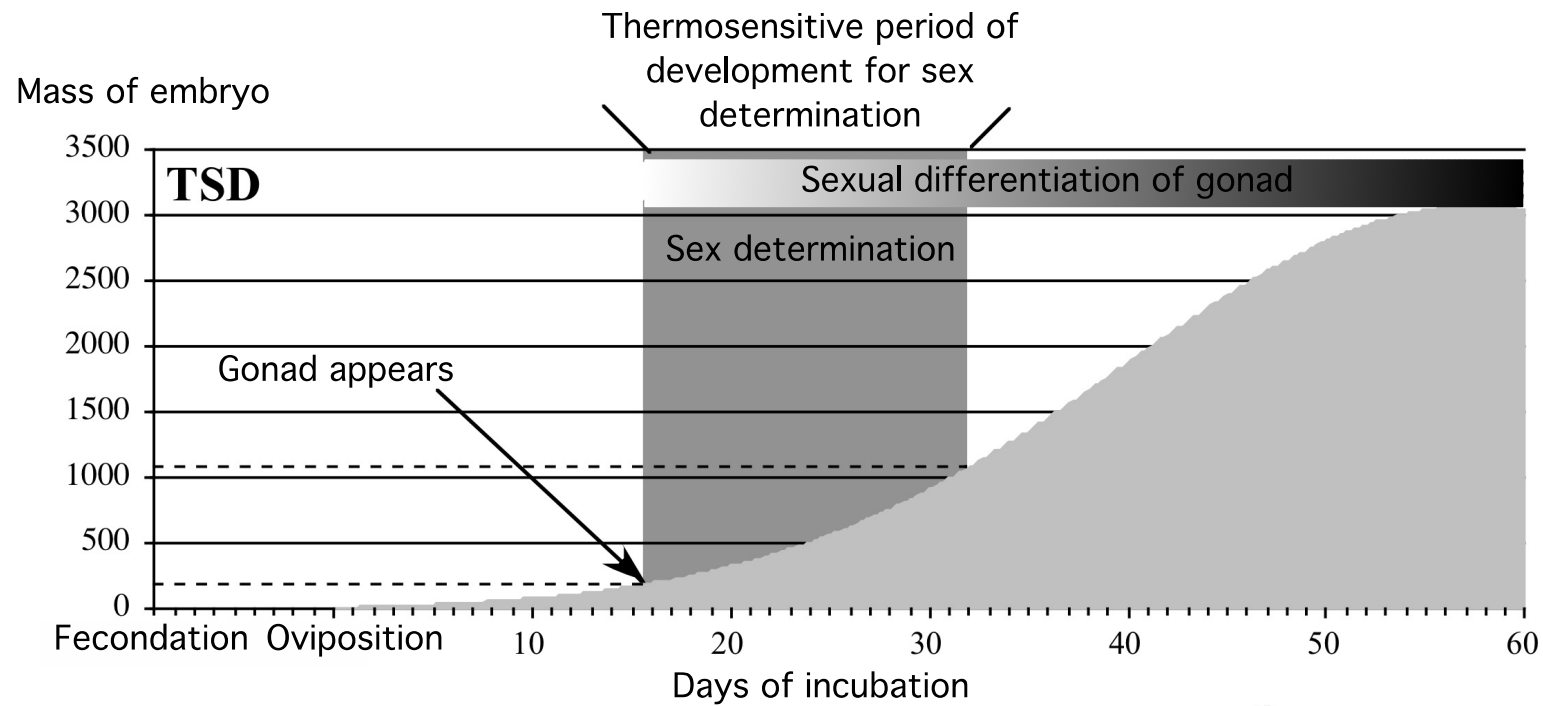
La position de la TSP durant le développement embryonnaire a été déterminée grâce à des expériences de transfert des oeufs de températures masculinisantes à des températures féminisantes au cours du développement.



Desvages, G., Girondot, M., Pieau, C., 1993. Sensitive stages for the effects of temperature on gonadal aromatase activity in embryos of the marine turtle *Dermochelys coriacea*. *General and Comparative Endocrinology* 92, 54-61.

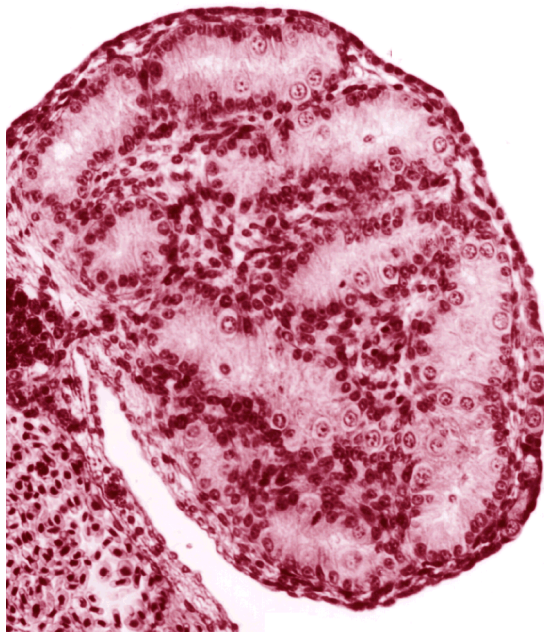
Merchant-Larios, H., Ruiz-Ramirez, S., Moreno-Mendoza, N., Marmolejo-Valencia, A., 1997. Correlation among thermosensitive period, estradiol response, and gonad differentiation in the sea turtle *Lepidochelys olivacea*. *General and Comparative Endocrinology* 107, 373-385.

Développement embryonnaire



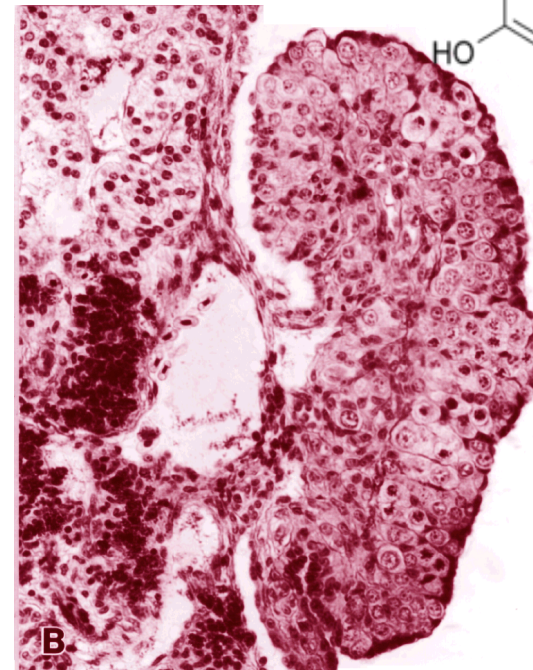
Estradiol at male-producing temperature in *Emys orbicularis*

25°C

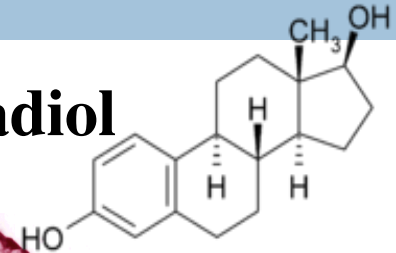


Testicule

25°C+Oestradiol

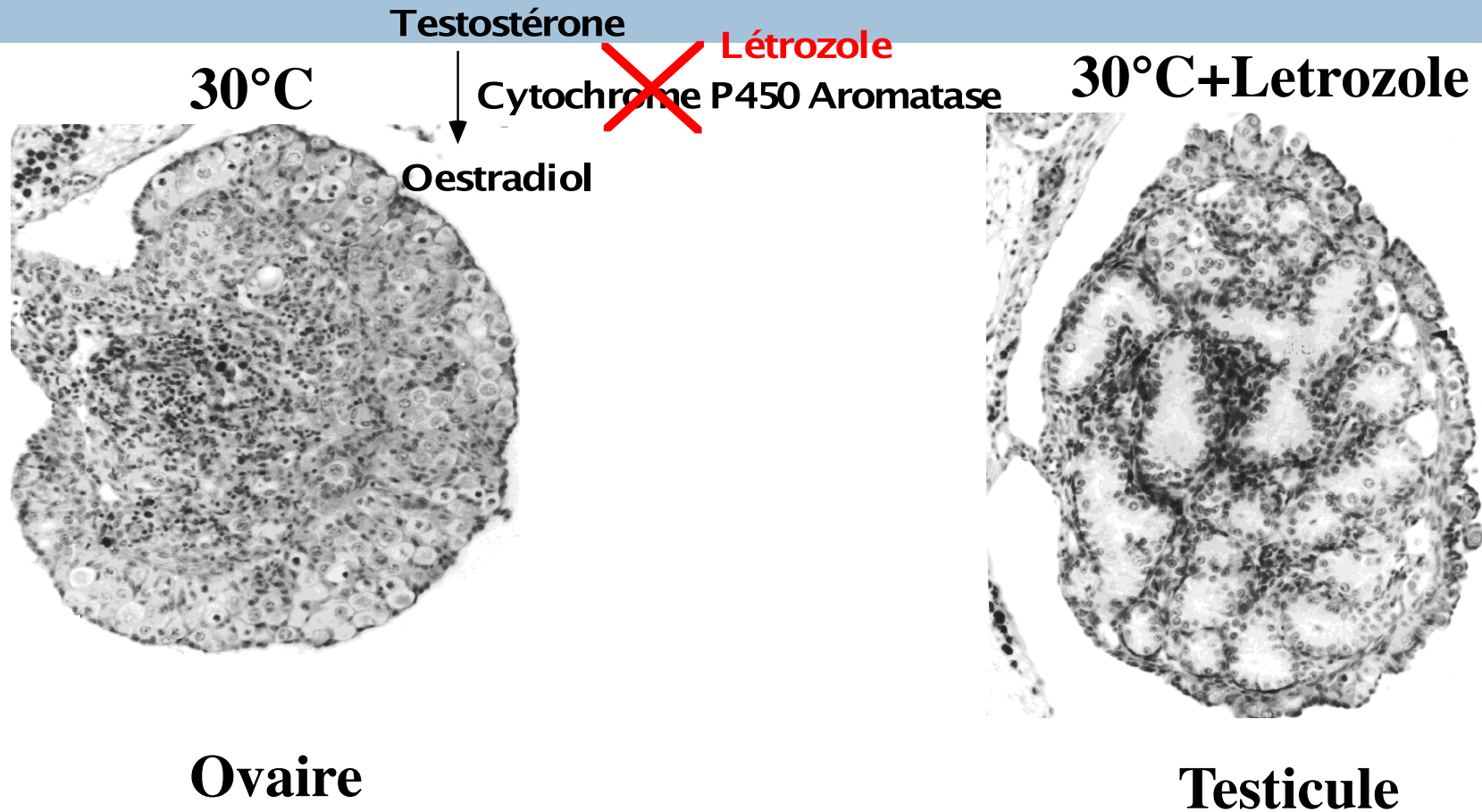


Ovaire



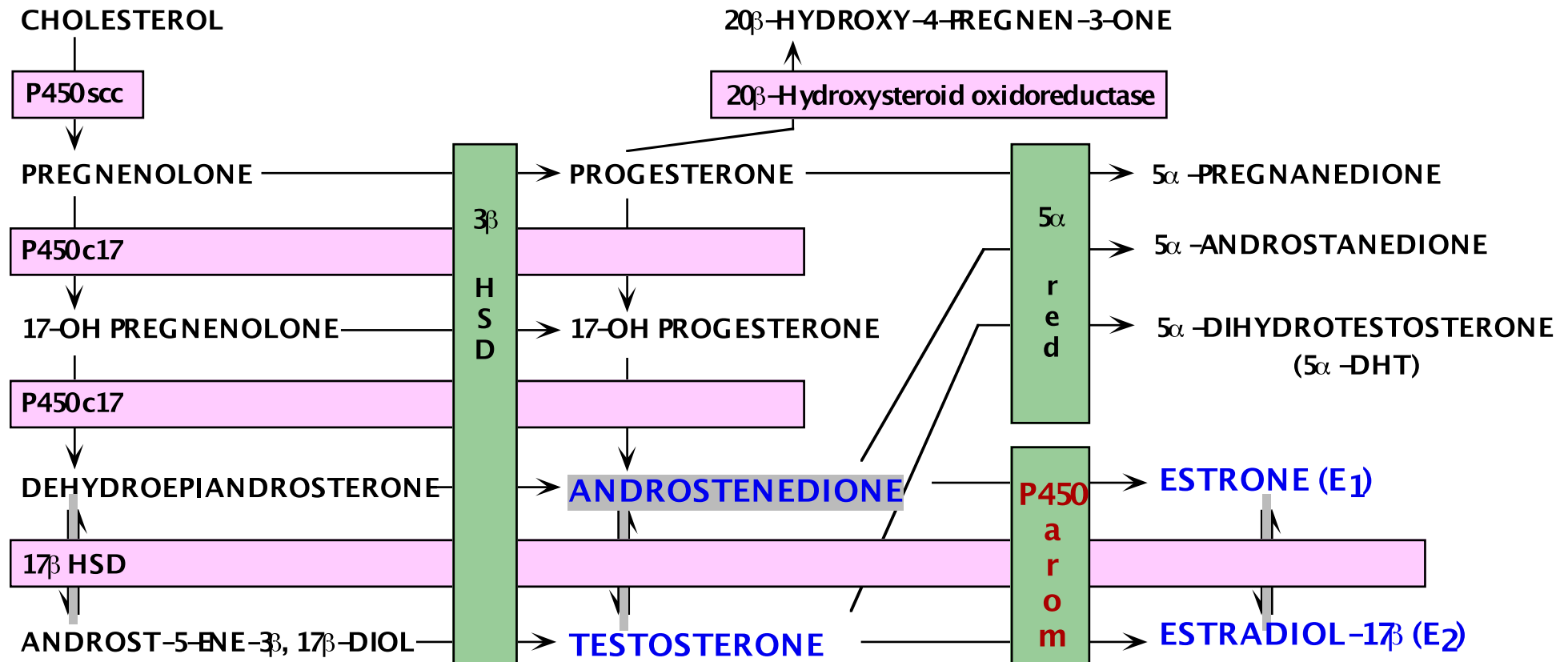
Pieau, C., 1974. Différenciation du sexe en fonction de la température chez les embryons d'*Emys orbicularis* L. (Chélonien); effets des hormones sexuelles. Ann. Embryol. Morphog. 7, 365-394.

Letrozole at female-producing temperature in *Emys orbicularis*



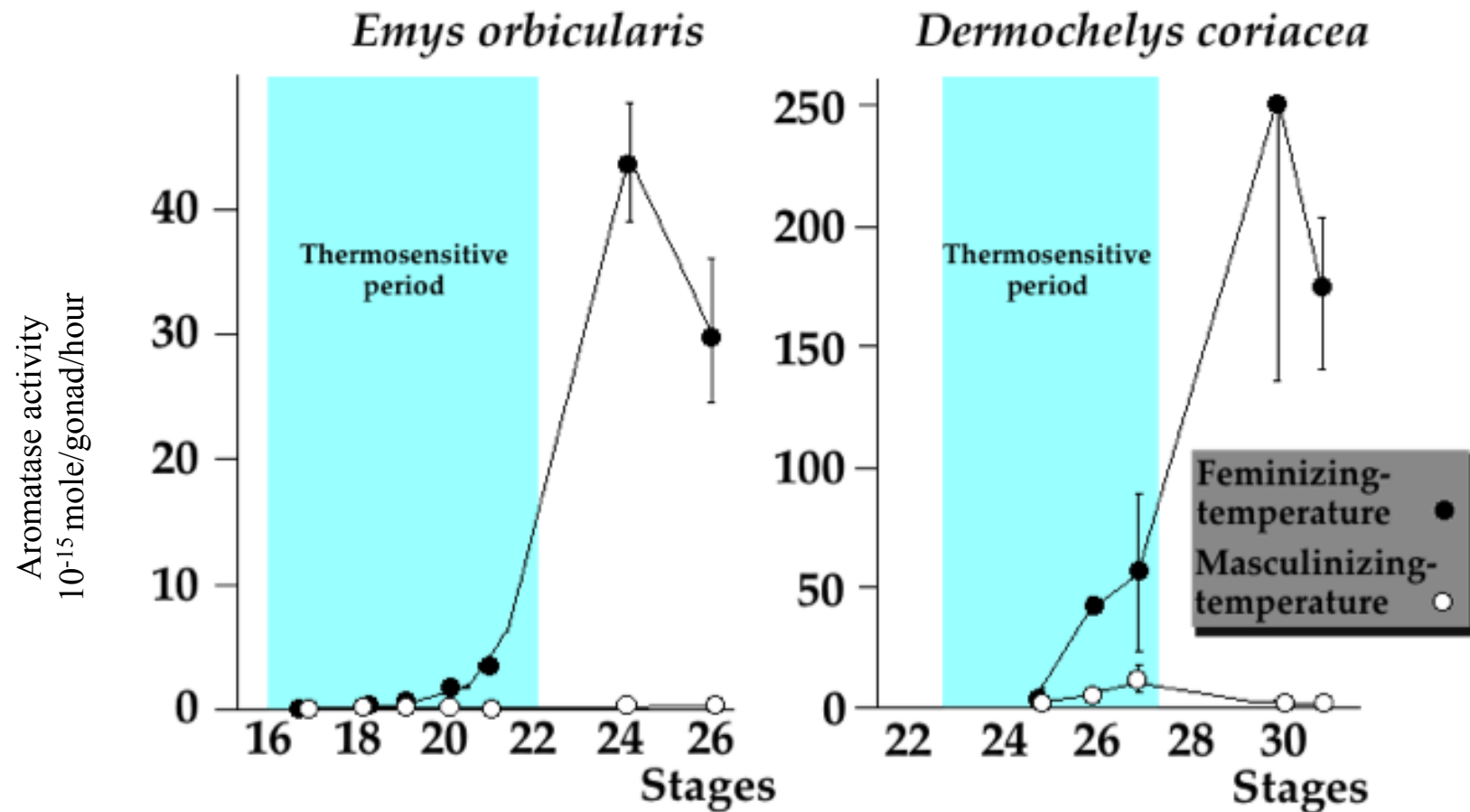
Richard-Mercier, N., Dorizzi, M., Desvages, G., Girondot, M., Pieau, C., 1995. Endocrine sex-reversal of gonads by the aromatase inhibitor Letrozole (CGS 20267) in *Emys orbicularis*, a turtle with temperature-dependent sex determination. *General and Comparative Endocrinology* 100, 314-326.

Major steroid pathways in gonads of *Emys orbicularis* embryos



Desvages, G., Pieau, C., 1991. Steroid metabolism in gonads of turtle embryos as a function of the incubation temperature of eggs. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 39, 203-213.

Aromatase activity within the gonad during its formation



Desvages, G., Pieau, C., 1992. Aromatase activity in gonads of turtle embryos as a function of the incubation temperature of eggs. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 41, 851-853.

Pauvre bête ! Il faut les aider !

- Hill, J.E., Paladino, F.V., Spotila, J.R., Tomillo, P.S., 2015. Shading and watering as a tool to mitigate the impacts of climate change in sea turtle nests. PLoS One 10, e0129528.



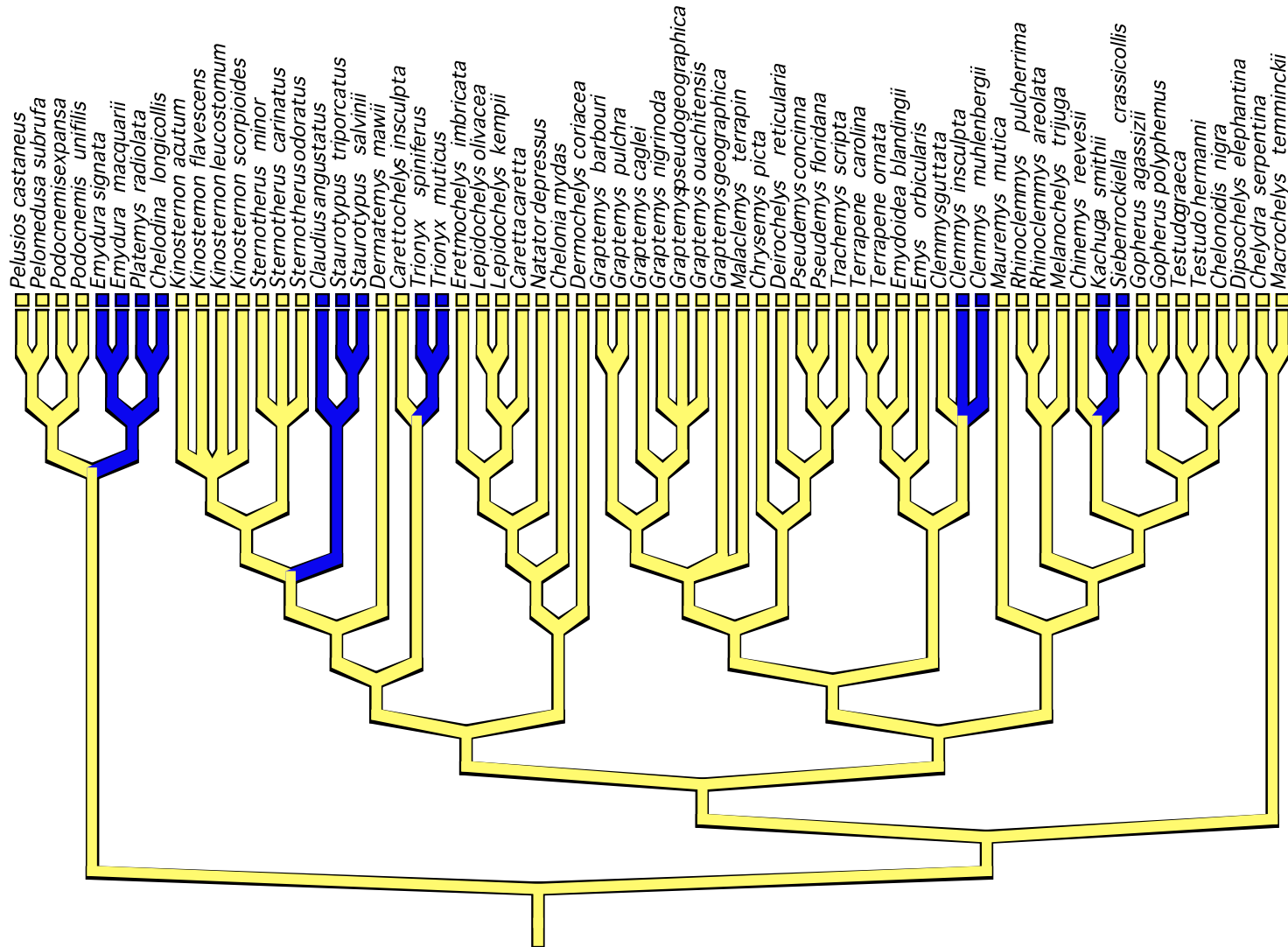
Chez l'homme...

- Jusqu'au milieu du XX^{ème}, on pensait que le sexe de l'embryon humain dépendait des facteurs de l'environnement :
 - ▣ Regnault, J., 1936. Fille ou Garçon - Comment avoir fille ou garçon Editions Médicis, Paris.
 - ▣ Regnault, J., 1942. Fille ou garçon. Comment avoir fille ou garçon. Reconnaître la grossesse dès son début. Connaître le sexe avant la naissance Médicis, Paris.
 - ▣ Regnault, J., 1947. Fille ou garçon. Comment avoir fille ou garçon. Reconnaître la grossesse dès son début. Connaître le sexe avant la naissance Médicis, Paris.
 - ▣ Regnault, J., 1955. Fille ou garçon. Comment avoir fille ou garçon. Reconnaître la grossesse dès son début. Connaître le sexe avant la naissance Médicis, Paris
- Chez l'homme il faut attendre 1959 pour que l'implication du chromosome Y dans la masculinisation soit comprise.

Depuis combien de temps ces espèces ont TSD ?

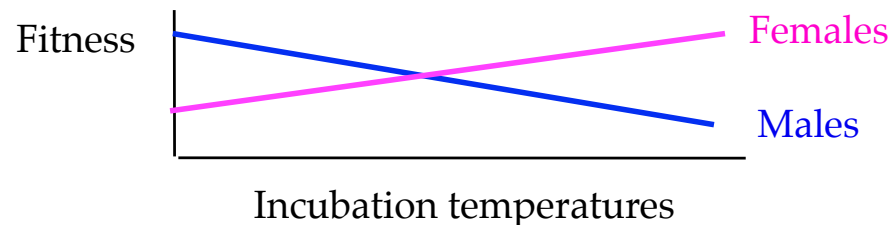
- TSD est un caractère ancestral chez les tortues et donc bien sûr chez les tortues marines. Cela fait environ 300 millions d'années qu'elles ont TSD mais 5 groupes ont acquis indépendamment des chromosomes sexuels sans pour autant avoir un succès évolutif particulier.

Phylogeny of chelonians with TSD or GSD



Pourquoi TSD ?

- Neutre par rapport à GSD chez les espèces longévives
- Avantageux par rapport à GSD si les embryons incubés à basse température deviennent soit des bons mâles (par rapport à la moyenne des mâles) soit des mauvaises femelles (par rapport à la moyenne des femelles) et inversement à haute température



Pourquoi TSD ?

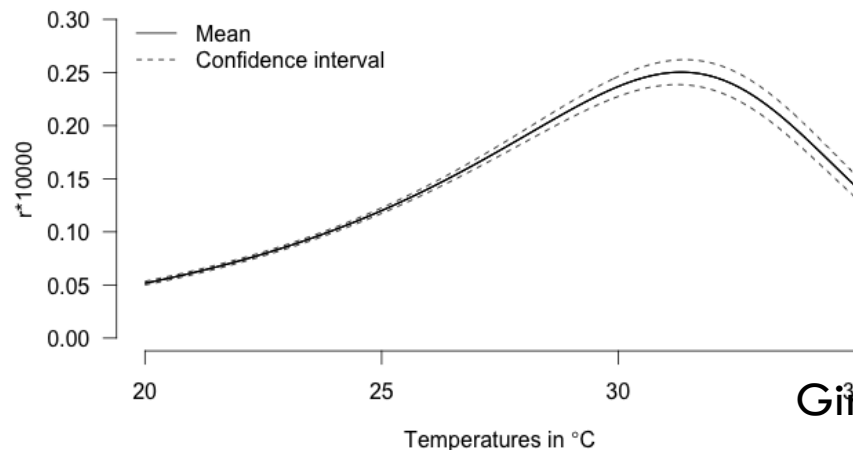
- Donc la plasticité phénotypique du sexe ratio en fonction de la température est soit neutre, soit avantageuse !

Ce n'est donc pas la peine de s'affoler pour TSD !

- En plus les données les plus récentes indiquent que deux facteurs interagissent de façon complexes pour neutraliser l'effet des températures sur le sex-ratio:
 - ▣ une contribution génétique non négligeable
 - ▣ une régulation comportementale de la saison de pontes en fonction de la température.

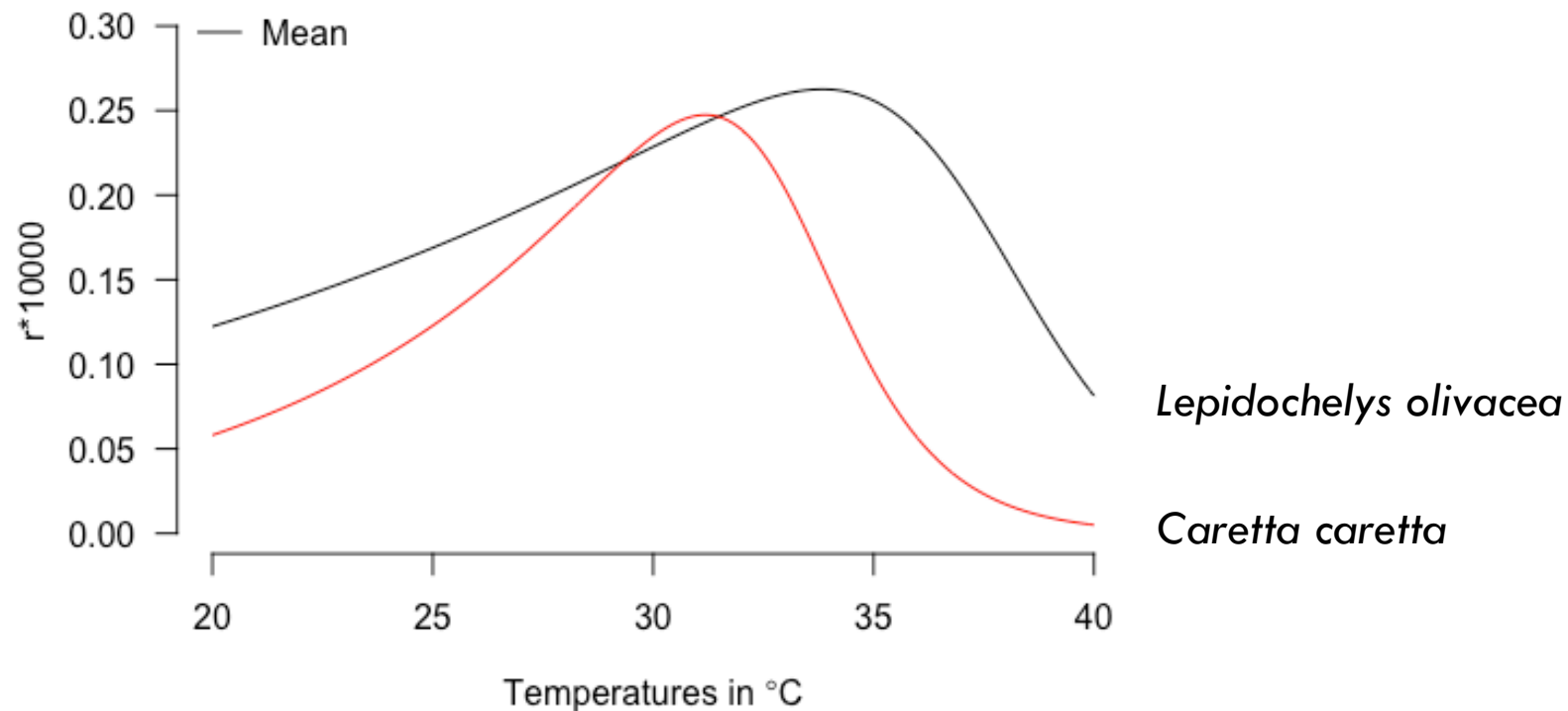
Croissance de l'embryon

- Il est connu depuis très longtemps que la croissance de l'embryon dépend de la température: plus c'est chaud, plus le développement est rapide... mais pas trop chaud quand même:



Girondot, M., Kaska, Y., 2014. A model to predict the thermal reaction norm for the embryo growth rate from field data. *Journal of Thermal Biology* 45, 96-102.

Croissance de l'embryon



Paradoxe: le caractère déterminé par la norme de réaction n'est pas soumis à la sélection mais la norme de réaction elle-même est soumise à sélection

Les normes de réaction

- Les normes de réaction sont le produit de la sélection; elles déterminent donc un pattern qui est passé au crible du processus de survie/reproduction pendant toutes les générations précédentes.
- ▣ On peut donc s'attendre à ce que les caractères déterminés par ces normes de réaction soient adaptés aux changements puisque une des caractéristiques de la terre est de subir des changements régulièrement !

Conclusions



- ❑ Les tortues marines ne sont pas des pauvres créatures issues du temps des dinosaures ayant besoin de nous pour survivre,
- ❑ Si on veut faire de la bonne biologie de la conservation, il vaut mieux s'occuper de limiter notre impact sur le milieu que de chercher à s'occuper des tortues marines,
- ❑ La notion de « statut d'une population dépendant de la conservation » indique un échec de la stratégie de conservation.