

Les perturbateurs endocriniens dans l'écosystème

Marc Girondot, Université Paris Saclay
marc.girondot@universite-paris-saclay.fr

Version du 22/03/2022

1

Définitions

- Le mot "endocrinologie" est formé des termes grecs 'endon' (ἔνδον dedans, à l'intérieur) et 'krinein' (κρίνειν, sécréter).
- Le mot "hormone" quant à lui a une étrange étymologie. Le mot grec dont il est issu, "ormon" ὄρμη, évoque l'excitation, l'élan, l'ardeur.
- Le système endocrinien, avec un large éventail d'hormones (plus de 1000), est le second système de régulation de l'organisme en importance, et il travaille en synergie avec le système nerveux, qui est le premier système de régulation.
 - Le système nerveux agit très vite, en quelques millisecondes, et son action ne dure guère plus. Typiquement, le système endocrinien est beaucoup plus lent, il peut mettre quelques secondes, voire quelques jours à réagir, et son action peut se faire sentir aussi sur une période de plusieurs jours.

2

Rôle des hormones

- C'est une molécule, (un composé chimique donc) qui par définition :
 - est sécrétée en faible quantité par un tissu spécialisé
 - est sécrétée dans le sang et transportée par lui, pour que son action se produise à distance.
 - les hormones agissent sur des cellules spécifiques en produisant des effets spécifiques.
 - ce sont des régulateurs du métabolisme, qui agissent chacune en collaboration avec le plus souvent avec d'autres hormones
- Les hormones sont essentielles pour maintenir notre équilibre physiologique interne qui est le garant d'une bonne santé : c'est ce qu'on appelle l'homéostasie. Cet équilibre est fragile et est influencé par de nombreux facteurs externes comme le sommeil, le stress, l'alimentation, la lumière.

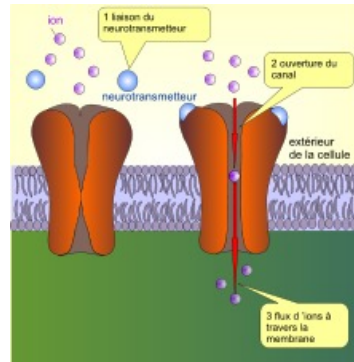
3

Structure des hormones

- Il existe 3 types d'hormones selon leur structure générale :
 - Les protéines (par exemple : l'insuline). Elles sont nombreuses, elles sont le plus souvent synthétisées dans le corps sous une forme rallongée, et devront être coupées pour être actives. Elles agissent sur des récepteurs fabriqués par leurs cellules-cibles.
 - Les stéroïdiennes (par exemple : testostérone). Elles sont produites par des structures bien définies : les reins (plus exactement le cortex surrénal, la structure la plus externe des reins donc), les gonades (qui sont des glandes faisant partie du système de reproduction) et des structures qui se développent à la grossesse : le corps jaune et le placenta.
 - Les hormones dérivées de la tyrosine (ex : thyroïdiennes, adrénaline...). Il s'agit de l'adrénaline, la noradrénaline, la dopamine et les hormones thyroïdiennes.

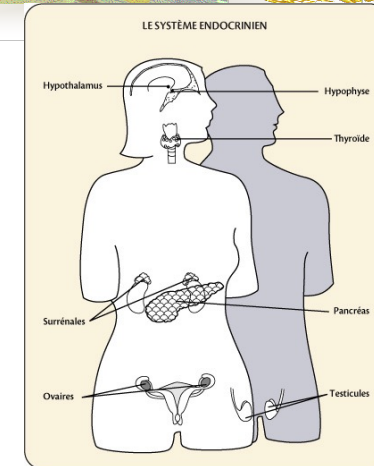
4

Les récepteurs



5

Principales glandes endocriniennes



6

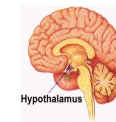
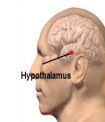
- Les glandes exocrines délivrent leur sécrétion par l'intermédiaire d'un canal excréteur (glande sudoripare: sécrètent la transpiration, glande mammaire: sécrètent le lait).
- Cela les distingue des glandes endocrines qui libèrent directement leurs sécrétions dans la circulation sanguine au niveau des capillaires sanguins

7

L'hypothalamus

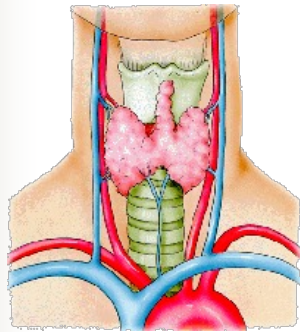
L'hypothalamus est une glande située dans une petite région du centre du cerveau. Il sécrète des hormones qui servent à la régulation de grandes fonctions comme :

- La faim;
- La soif;
- Le sommeil;
- La température corporelle: la thermorégulation;
- Il est aussi impliqué dans le comportement sexuel, et les émotions.



8

Thyroïde



De chaque côté il y a les 2 artères carotides.

- La thyroïde ou glande thyroïde est la plus volumineuse des glandes endocrines chez l'être humain.
- Elle sécrète :
- la T3 ou triiodothyronine en très faible quantité ;
- la T4 ou thyroxine ;
- la calcitonine intervenant dans le métabolisme du calcium.

9

Véritable chef d'orchestre du métabolisme

Augmentation des hormones thyroïdiennes	Diminution des hormones thyroïdiennes
Accélération du rythme cardiaque	Ralentissement du rythme cardiaque
Perturbation du transit : diarrhées	Perturbation du transit : constipation
La peau est chaude et moite	La peau est froide
Perte de poids	Prise de poids
Excitation et agressivité	Trou de mémoire et signes de dépression

Les hormones thyroïdiennes agissent sur un grand nombre de fonctions de l'organisme.

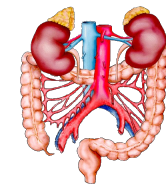
10

- La thyroïde fonctionne dès le stade de fœtus. A ce moment là, cette glande joue un rôle important dans la croissance, en particulier celle du système nerveux.
- Au moment de la puberté, en s'associant aux hormones de croissance et aux hormones sexuelles, elle permettra au corps de l'adolescent de se transformer.
- Et tout au long de notre vie, cette petite glande produira les hormones indispensables au fonctionnement de notre organisme.

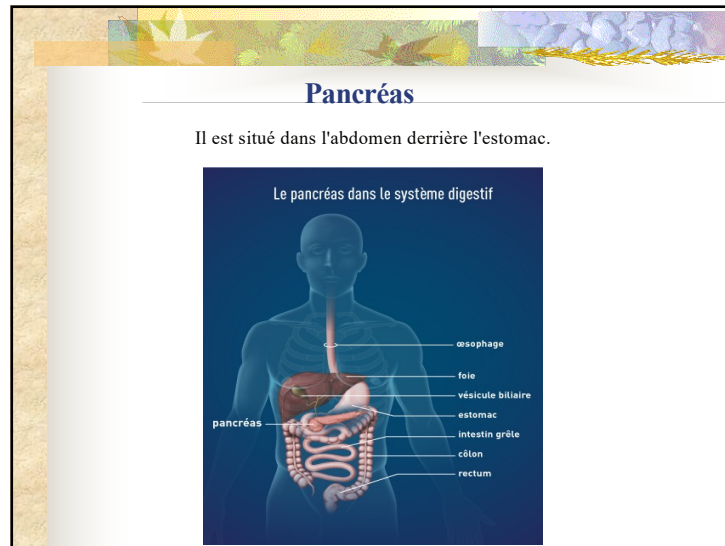
11

Les glandes surrénales

- Chez les mammifères et les reptiles, incluant les oiseaux, les glandes surrénales ou plus simplement les surrénales sont deux glandes endocrines triangulaires situées au-dessus des reins.
- Elles sont principalement responsables de la gestion des situations de stress (via la synthèse de corticostéroïdes et de catécholamines) et de l'homéostasie hydro-sodée (via la synthèse de l'aldostérone).



12



13

- Le pancréas sécrète des enzymes qui se déchargent dans le tube digestif, mais aussi des hormones qui circulent dans le sang.
 - **Insuline** : elle diminue le taux de sucre circulant dans le sang;
 - **Glucagon** : elle augmente le taux de sucre circulant dans le sang;

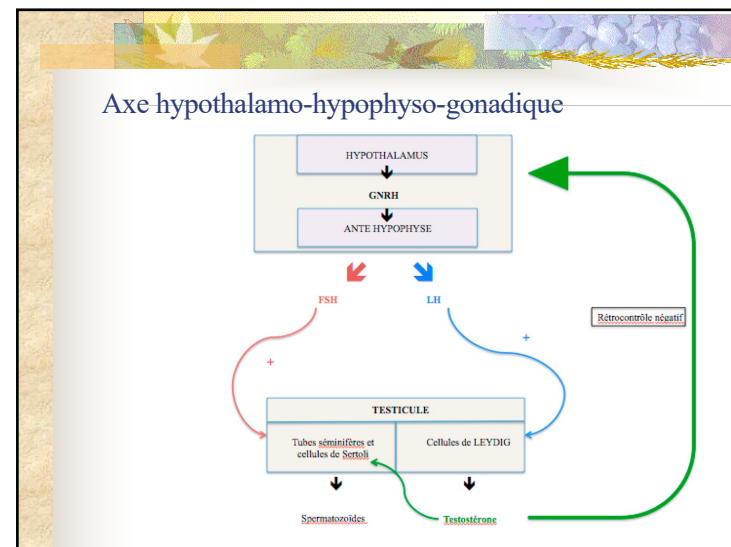
Ces 2 hormones sont sécrétées par des cellules des îlots de Langerhans dans le pancréas et permettent d'équilibrer le taux de sucre dans le sang, appelé la glycémie.

14

Le testicule

- La double fonction des testicules est importante :
 - la fonction exocrine assure la spermatogénèse à partir des cellules germinales, dans la paroi des tubes séminifères ;
 - la fonction endocrine assure la sécrétion de la testostérone par les cellules de Leydig. La concentration de testostérone maintenue est globalement constante grâce à un équilibre dynamique entre l'activité sécrétoire du testicule et la dégradation progressive de l'hormone.
- La sécrétion par l'hypophyse des gonadostimulines (figure 1) :
 - LH qui stimule la sécrétion de la testostérone par les cellules de Leydig
 - FSH qui active indirectement la spermatogénèse en stimulant les cellules de Sertoli

15



16

L'ovaire

- Les oestrogènes sont responsables du développement des organes féminins au moment de la puberté : utérus, seins et épaissement de la paroi du vagin.
- Ils agissent également sur le cerveau, participent à la consolidation des os, féminisent la voix et jouent un rôle important dans la qualité de la peau et des cheveux.

17

L'ovaire

Les hormones sexuelles féminines sont de deux types : les oestrogènes (estradiol, estrone et estriol) et la progestérone. Elles sont sécrétées par les ovaires selon un cycle, dit "cycle menstruel", dont les règles sont la manifestation.

Durant le cycle, l'activité des ovaires est contrôlée par deux hormones produites par le cerveau : l'hormone folliculostimulante (FSH) et l'hormone lutéinisante (LH).

18

PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

leurre hormonal, xénohormone, disrupteur endocrinien

19

DEMAIN, TOUS CRÉTINS ?

- 2017 - Conseil scientifique BARBARA DEMENEIX, Laboratoire d'Évolution des Régulations Endocriniennes, CNRS / Muséum national d'Histoire naturelle
- Baisse du QI, multiplication du nombre d'enfants atteints d'hyperactivité ou souffrant de troubles de l'apprentissage : les tests les plus sérieux révèlent ce qui paraissait inimaginable il y a 20 ans : le déclin des capacités intellectuelles humaines. Serions nous entrés dans une sorte "d'évolution à l'envers" ? La question est posée par d'éminents chercheurs. Au banc des accusés, les perturbateurs endocriniens qui ont envahi notre quotidien et menacent les cerveaux des bébés. Révélation sur un phénomène inquiétant. (Et conseils pour protéger les générations futures !).

20

arte

DEMAIN, TOUS CRÉTINS ?

■ Notez que comme souvent dans les émissions pour le grand public les données présentées dans ce documentaire sont tellement simplifiées qu'elles en deviennent fausses.

- *A chaque nouvelle édition française des échelles de Wechsler (la batterie de tests de QI la plus utilisée dans le monde), l'éditeur fournit les résultats d'une comparaison avec la version précédente, sur un petit groupe de participants. Cette comparaison a toujours pointé dans le sens d'une amélioration, sauf pour la standardisation, en 2010, de l'échelle pour adultes WAIS-IV. C'est sur ce seul résultat, mesuré sur un groupe de 79 personnes, que se basent l'étude de Dutton et Lynn et le documentaire Demain, tous crétins ? pour suggérer qu'une baisse du QI serait à l'œuvre en France. Une telle conclusion, à partir d'une seule mesure sur un petit groupe non représentatif, est largement exagérée, compte tenu des erreurs possibles de mesure des scores.*

Blog de Franck Ramus, directeur de recherche au CNRS
<https://www.cerveauetpsycho.fr/sd/intelligence/demain-tous-cretins-ou-pas-13357.php>

21

Les perturbateurs endocriniens

- Les perturbateurs endocriniens sont des substances qui dérèglent le fonctionnement hormonal des organismes vivants et peuvent entraîner ainsi des effets néfastes sur la santé et l'environnement.

"Un perturbateur endocrinien est une substance ou un mélange de substances, qui altère les fonctions du système endocrinien et de ce fait induit des effets néfastes dans un organisme intact, chez sa progéniture ou au sein de (sous)- populations". OMS 2002

- Les perturbateurs endocriniens peuvent interférer avec toutes les grandes fonctions des organismes vivants : croissance, reproduction, comportement, nutrition, métabolisme, système nerveux...

22

Effets des perturbateurs endocriniens

- Ces molécules interfèrent avec le fonctionnement des glandes endocrines ou des organes cibles par trois types d'effets.
 - Effet mimétique (ou agoniste) : imitation de l'action d'une hormone naturelle (comme une fausse clé dans les « serrures biologiques » qui existent dans les organes et cellules) ;
 - Effet de blocage (ou antagoniste) : blocage de l'action d'une hormone naturelle (en saturant les récepteurs cellulaires, par exemple) ;
 - Effet perturbant (ou d'interférence) : perturbation, soit gêne ou blocage de la production, du transport, ou du métabolisme des hormones ou des récepteurs, induite par une action hormonale anormale dans l'organisme qui interfère avec les processus métaboliques ou de croissance et division cellulaire.

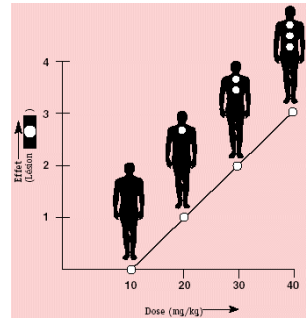
23

RELATION DOSE RÉPONSE EN ÉCOTOXICOLOGIE

24

Principe en toxicologie

- Un principe important en toxicologie veut que toutes les substances chimiques soient toxiques, car il existe toujours une dose pouvant causer un effet nocif. Mais le fait d'inhaler, de toucher et même d'ingérer des substances chimiques n'entraîne pas nécessairement l'apparition d'un tel effet.



25

Relation dose-effet

- La notion de seuil toxique est importante, car elle peut servir à fixer des normes.
- La valeur seuil représente la quantité minimale sous laquelle il ne se produit pas d'effet. Au-dessus de ce seuil, l'effet observé dépend de la dose.

26

Paracelse, né Philippus Theophrastus Aureolus Bombast von Hohenheim en 1493 à Einsiedeln (en Suisse centrale) et mort le 24 septembre 1541 à Salzbourg



- **Avancées:** Analyse réductionniste des maladies, extraction des principes actifs des substances, usage interne des médicaments chimiques.
- La pensée de Paracelse est le point de départ du long processus de séparation de la chimie de l'alchimie.
 - L'alchimie est une discipline qui peut se définir comme « un ensemble de pratiques et de spéculations en rapport avec la transmutation des métaux ». Cet objectif se fonde sur la théorie que les métaux sont des corps composés (souvent de soufre et de mercure).
 - Un autre objectif classique de l'alchimie est la recherche de la panacée (médecine universelle) et la prolongation de la vie via un élixir de longue vie.

27

La dose et le poison

Vénus



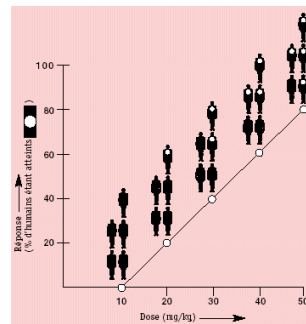
- La syphilis (ou vérole), une maladie nouvelle qui avait explosé en Europe à la fin du XV^{ème} siècle, était traitée par les charlatans, barbiers et chirurgiens, avec le mercure. Paracelse réagit d'abord en déclarant qu'elle était due à la licence sexuelle des hommes et à une configuration astrale de Vénus qui transmutait les anciennes maladies en nouvelles maladies.
- Pour atténuer les symptômes cutanés, il utilisait un onguent mercuriel, remède connu dès le Moyen-Âge. Paracelse a vu que le mercure mal dosé, tue.
- La citation célèbre, du médecin (al)chimiste est:
Toutes les choses sont poison, et rien n'est sans poison ; seule la dose fait qu'une chose n'est pas poison.

Aphrodite, dite Vénus de Milo

28

Application à une population

- Le même principe s'applique à une population d'individus, car l'effet ou les nombreux effets possibles peuvent se manifester différemment chez plusieurs personnes exposées à une même dose d'un toxique. C'est ce qu'on appelle la relation dose-réponse ou exposition-réponse, soit la relation entre l'exposition et le nombre d'individus qui présentent un effet donné.



29

Synthèse

- Une augmentation de la dose peut entraîner une augmentation des effets chez un individu ;
- Une augmentation de la dose peut augmenter la proportion des individus affectés.

30

Faibles doses d'exposition

- Habituellement, en dessous d'un certain niveau d'exposition, les mécanismes de défense de l'organisme permettent d'éviter l'apparition d'effets sanitaires. On parle alors d'effet de seuil.
- Pour certaines substances dangereuses comme des molécules cancérogènes, on observe qu'il n'y a parfois pas d'effet de seuil, au moins à l'échelle d'une population donc, des effets possibles même à faible dose.
- Les perturbateurs endocriniens sont suspectés d'agir de même.
 - Très compliqué à démontrer car on peut être en dessous des seuils de détection.

31

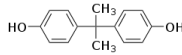
Les relations dose-réponse non monotones

- Traditionnellement, les effets nocifs des substances chimiques sont décrits, dans les études de toxicologie comme proportionnel à la dose testée. Typiquement, une faible dose ne produit pas d'effet, la dose médiane produit de faibles effets toxiques alors que la forte dose testée induit des effets plus prononcés ou plus délétères.
- Mais, certaines substances chimiques peuvent suivre des courbes inversées, c'est-à-dire avoir des effets plus importants à faible dose à ceux observés à fortes doses, on parle alors de dose réponse non-monotone – DRNM.

32

Exemple du bisphénol A

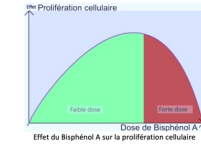
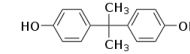
- Le bisphénol A (BPA) est un composé organique de la famille des aromatiques, utilisé principalement dans la fabrication de plastiques et de résines.
- En juin 2017 le comité des États-membres de l'Agence européenne des produits chimiques (AEPC) a classé à l'unanimité le bisphénol A parmi les « substances extrêmement préoccupantes » du règlement REACH, en tant que perturbateur endocrinien.
- C'est un perturbateur endocrinien œstrogéno-mimétique capable de se lier, entre autres, aux récepteurs α et β des œstrogènes. Son action est environ 1 000 fois inférieure à celle de l'œstradiol, mais il est très présent dans notre environnement.



33

Comment ça marche...

- On pense que le BPA a deux cibles avec des effets biologiques différents dans la cellule. La première cible est activée dès les faibles concentrations et entraîne une augmentation de la prolifération qu'on observe. La deuxième cible, qui n'est activée qu'à des doses fortes de BPA, entraîne une diminution de la prolifération et entraîne la mort des cellules. Donc, à des doses élevées de BPA, on a la combinaison des 2 cibles et de leurs effets biologiques d'où l'aspect de la courbe que vous pouvez observer.



34

Modéliser l'effet

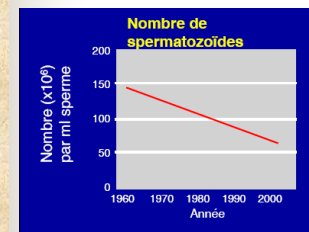
- Comme signalé précédemment, les dosages des faibles doses présentent une marge d'erreur importante et par ailleurs l'étude des effets sont aussi plus difficiles à mettre en œuvre car ils sont rares.
- Il existe donc une hétéroskélasticité importante...

L'hétéroskélasticité correspond à une non-indépendance entre la moyenne et la variance. Cela s'oppose à l'homoskélasticité.

35

Les perturbateurs endocriniens de l'individu à la population

- **Cancers hormono-dépendants** (cancer de la prostate, du sein, des ovaires, des testicules, de la thyroïde)
- **Obésité**
- **Maladies neuro-dégénératives**
- **La fertilité humaine en danger**
- **Des anomalies constatées** dans les milieux aquatiques:
 - Féminisation des poissons mâles (production de VTG)
 - Masculinisation (imposex gastéropodes marins)
 - Troubles du système immunitaire
- **Des Effets retrouvés** chez certaines espèces au sommet de la chaîne alimentaire → bioaccumulation
 - conséquence: réduction de la fertilité, voire infertilité
 - effets néfastes voire irréversible pour certaines population: déclin ?



Santé humaine

Ecosystèmes

36

Discover

Transsexual Frogs

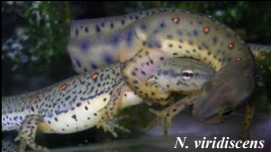
Sex & Drugs Don't Mix



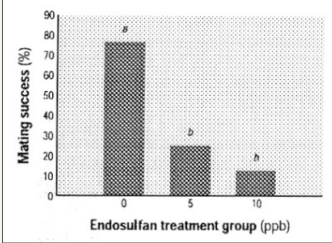
EFFET DES PE EN CONDITIONS NATURELLES

37

Impact reproducteur des



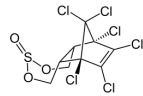
N. viridescens



Mating success (%)

Endosulfan treatment group (ppb)


L'endosulfan est une substance active de produit phytosanitaire (ou produit phytopharmaceutique, ou pesticide), qui présente un effet insecticide, et qui appartient à la famille chimique des organochlorés. L'endosulfan est interdit dans plus de 80 pays à cause de ses effets nocifs sur la santé.



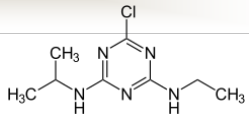
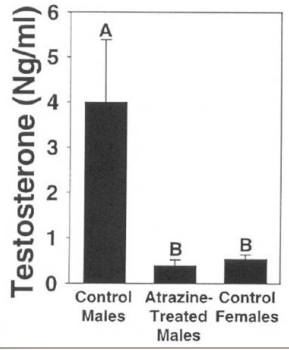
Le femelle exposée ne sont plus réceptives aux phéromones des mâles suite à une exposition à l'endosulfan.

38

Effet feminisant de l'Atrazine (herbicide)



Xenopus laevis

Testosterone (Ng/ml)

Control Males Atrazine-Treated Males Control Females

L'atrazine est la substance active d'un pesticide qui présente un effet herbicide. L'Atrazine est un compétiteur de certaines hormones en tant qu'inhibiteur de la phosphodiesterase, mais sans affecter les récepteurs aux oestrogènes (Toxicol Lett. 2004;154:61-68)

39

Les alligators du lac Apopka




■ Louis Guillette et d'autres chercheurs de l'Université de Floride avaient remarqué une diminution importante des alligators au niveau du lac Apopka en Floride à partir de 1980.



Alligator mississippiensis

40

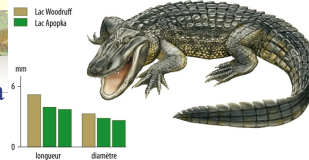
Les alligators du lac Apopka



- Ce lac a été pollué par les produits agricoles régulièrement épandus sur les champs voisins. En outre, un mélange de dicofol (pesticide), de DDT et de DDE (dichlorodiphényldichloréthylène), provenant d'un établissement industriel, a été déversé accidentellement dans ce lac en 1980.

41

Les alligators du lac Apopka



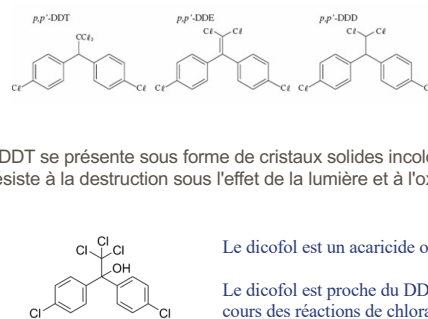
- Durant les années 1980, un déclin spectaculaire de la population d'alligators de ce lac a été observé, dû à une forte mortalité des embryons : seuls 20 p. 100 des œufs pondus donnaient des jeunes viables.
- Ensuite, les chercheurs ont constaté que les alligators du lac Apopka présentaient effectivement de graves anomalies des organes reproducteurs : les mâles possédaient le plus souvent un pénis de très petite taille et les femelles étaient pourvues d'ovaires anormaux.
- Ces animaux présentaient également des taux anormaux d'hormones impliquées dans la reproduction, ce qui montre bien qu'ils étaient affectés d'un déséquilibre hormonal majeur.

42

Contamination par le DDE et DDT

- L'analyse des sédiments du lac devait révéler leur contamination par des pesticides organochlorés notamment le DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) et le DDE (dichlorodiphényldichloréthylène).
- Les recherches montrèrent que le DDE se retrouvait à des niveaux 10 à 20 fois plus élevés dans le sang des alligators de ce lac que dans celui des animaux des lacs voisins et 100 fois plus dans les œufs.

43



- Le DDT se présente sous forme de cristaux solides incolores.
- Il résiste à la destruction sous l'effet de la lumière et à l'oxydation.

Le dicofol est un acaricide organochloré.

Le dicofol est proche du DDT, il est produit au cours des réactions de chloration du DDT.

44

Propriété	Paramètre	Unité	Valeur	Conclusion
Point de fusion		° C	108	
Pression de vapeur		mPa	0,025	
Densité		g/cm ³	1,56	
Dégradation	DT50 sol	années	4-30	très légèrement dégradable
Solubilité	Sw	mg/litre	0,0033	non soluble
Mobilité	Log Koc		5,18	non mobile
Hydrophile/lipophile	Log Kow		6,91	Lipophile

Le Log Koc est le coefficient de partage entre la fraction de carbone organique et l'eau dans le sol ou le sédiment. Il est par conséquent fonction de la teneur en carbone organique (foc) du milieu. Pour les substances non ionisées en particulier, il indique approximativement le degré d'adsorption d'une substance sur le milieu considéré et permet d'effectuer des comparaisons entre différents produits chimiques. On peut considérer qu'à partir de log Koc>3, la substance est significativement adsorbable.


45

Propriété	Paramètre	Unité	Valeur	Conclusion
Point de fusion		° C	108	
Pression de vapeur		mPa	0,025	
Densité		g/cm ³	1,56	
Dégradation	DT50 sol	années	4-30	très légèrement dégradable
Solubilité	Sw	mg/litre	0,0033	non soluble
Mobilité	Log Koc		5,18	non mobile
Hydrophile/lipophile	Log Kow		6,91	Lipophile


Si le Log Kow est positif et très élevé, cela exprime le fait que la molécule considérée est bien plus soluble dans l'octanol que dans l'eau, ce qui reflète son caractère lipophile, et inversement, si le Log Kow est négatif cela signifie que la molécule considérée est hydrophile. Le log Kow rend compte de la tendance d'une molécule à s'accumuler dans les membranes biologiques des organismes vivants. S'il est élevé, le risque de bioaccumulation est important.

46


• Insecticide organochloré le + utilisé le plus fabriqué au monde



• Prix Nobel de médecine en 1948 pour Paul Hermann Müller 1899-1965



• Utilisation contre les moustiques vecteurs de la malaria, la mouche tsé tsé, les poux, les tiques, les puces



• Aussi largement utilisé sur diverses cultures agricoles et pour lutter également contre les vecteurs de maladies (3 millions de tonnes entre 1943-1980)

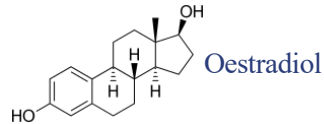
47



48

Les alligators du lac Apopka

- Le DDE et le DDT ont une action oestrogénique et anti-androgénique. Il agissait en perturbant le système endocrinien des alligators.



49

Découverte de TSD chez les reptiles

Gabon, mai 2008

L'incubation de ces œufs a été pratiquée de deux façons: soit laissés dans la cage où ils avaient été pondus, au laboratoire, sous 10 cm de sable environ, de sable; la température enregistrée au niveau de ces œufs se maintenait entre 26 et 27° ; soit déposés en étuve, réglée à 29°.

Sur les 46 œufs ayant achevé leur développement dans le sable des cages, un seul a donné un mâle, les 45 autres ont donné naissance à des femelles.

Les 58 œufs incubés à l'étuve ont donné naissance il 81 % de mâles et 19 % de femelles.



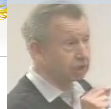
Madeleine Charnier, 1919-2002

Charnier M, 1966. Action de la température sur la sex-ratio chez l'embryon d'*Agama agama* (Agamidae, Lacertilien). C. R. Soc. Biol. Paris 160: 620-622.

50

TSD chez les chéloniens

Claude Pieau



- Pieau C, 1969. Sur une anomalie des conduits génitaux observée chez des embryons de Tortue grecque (*Testudo graeca* L.) traités par le benzoate d'oestradiol. C. R. Acad. Sci. (Paris) **268**: 364-367.
- Pieau C, 1970. Effets de l'oestradiol sur l'appareil génital de l'embryon de tortue mauresque (*Testudo graeca* L.). Arch. Anat. Microsc. Morph. Exp. **59**: 295-318.
- Pieau C, 1971. Sur la proportion sexuelle chez les embryons de deux Chéloniens (*Testudo graeca* L. et *Emys orbicularis* L.) issus d'œufs incubés artificiellement. C. R. Acad. Sci. Paris **272(D)**: 3071-3074.
- Pieau C, 1972. Effets de la température sur le développement des glandes génitales chez les embryons de deux Chéloniens, *Emys orbicularis* L. et *Testudo graeca* L. C. R. Acad. Sci. Paris **274(D)**: 719-722.



Emys orbicularis



Testudo graeca

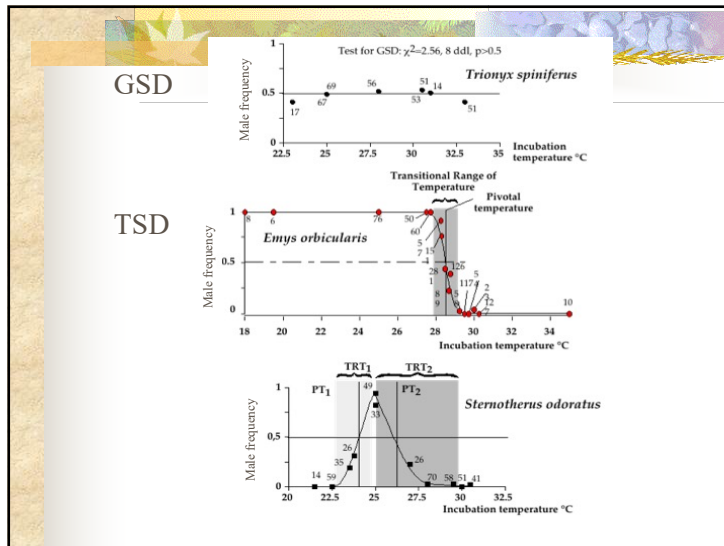
51

TSD chez les crocodyliens

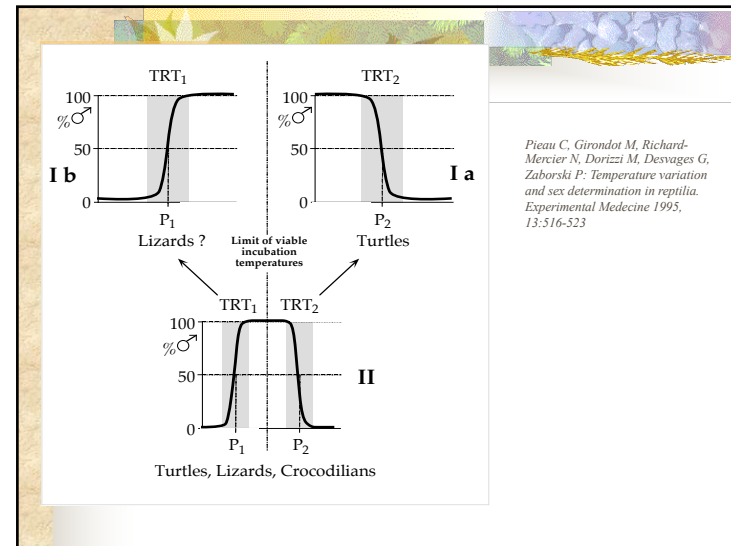
- Ferguson MWJ, Joanen T, 1982. Temperature of egg incubation determines sex in *Alligator mississippiensis*. Nature **296**: 850-853.



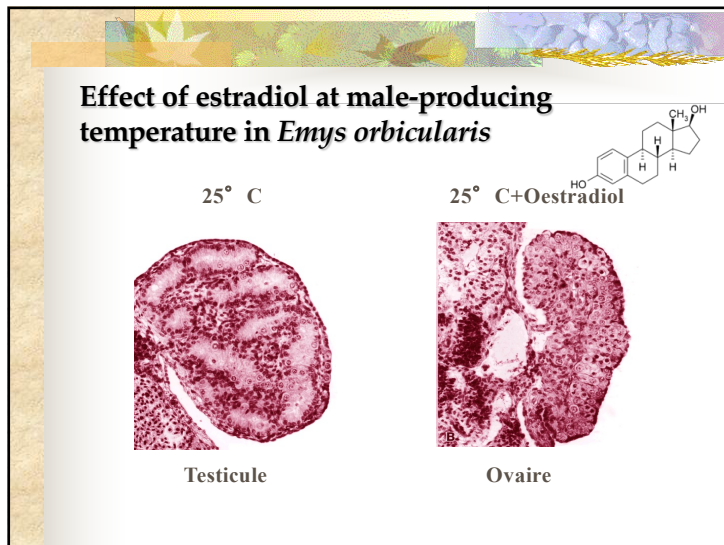
52



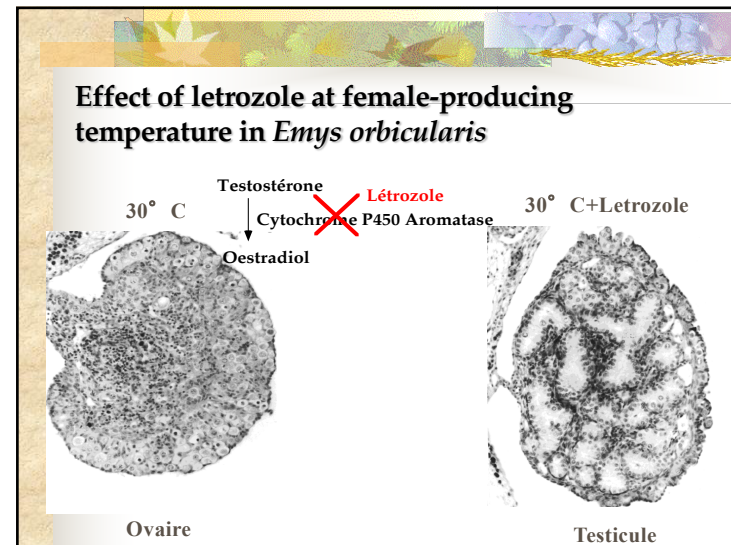
53



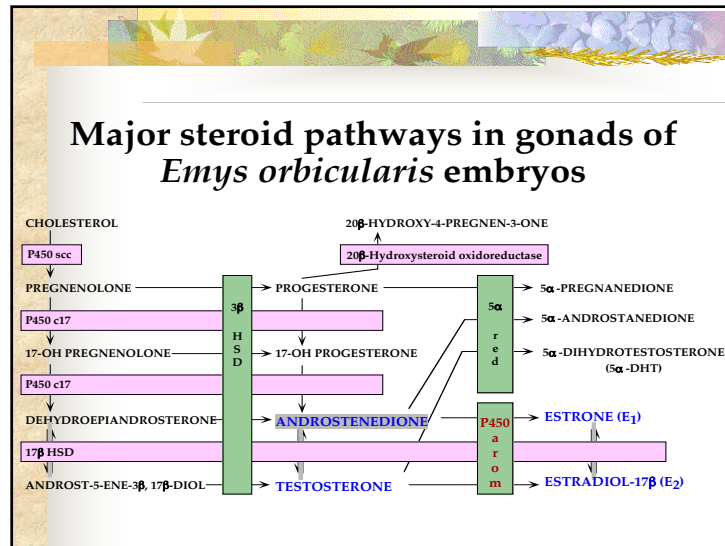
54



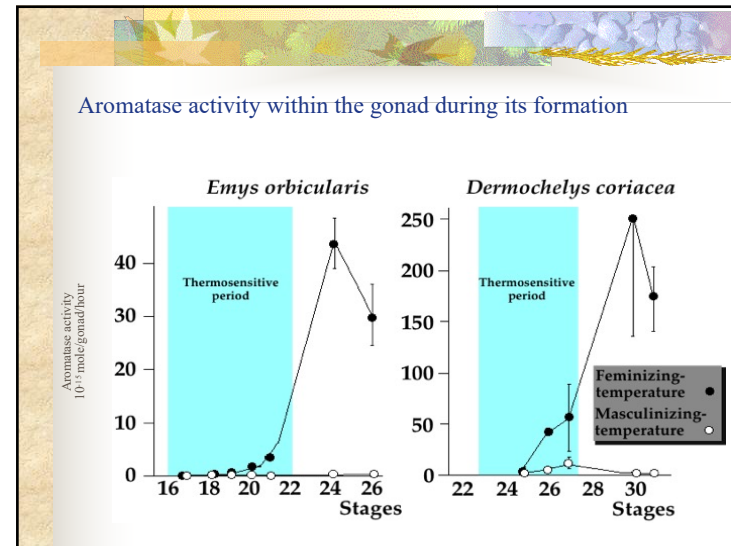
55



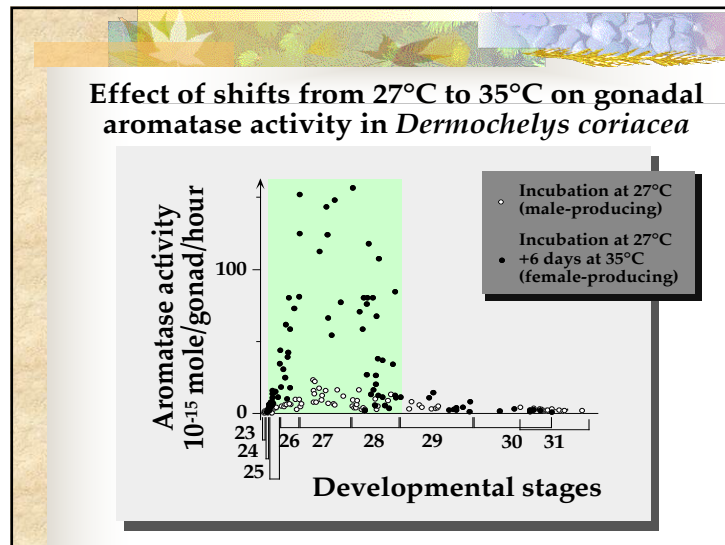
56



57



58



59

Les alligators du lac Apopka

- Contamination du lac par du DDE et du DDT
- Bioamplification chez les alligators
- Transfert des polluants dans les œufs
- Interaction entre DDT/DDE et les hormones oestrogènes impliqués dans la féminisation des embryons par la température
- Malformation gonadique et des canaux de Müller et de Wolff
- Stérilité
- Déclin des populations

Transverse sections through Wolffian duct (WD) and Müllerian duct (MD) of *Emys orbicularis* embryos at stage 23, incubated at male-producing temperature (25°C).
Girondot et al. 1998. Conserv. Biol.

60



Conséquences : 1970 sévères restrictions du DDT / ou interdiction

Aujourd'hui : 34 pays ont interdit le DDT
34 autres ont sévèrement restreint l'utilisation

Malgré tout !!

Recommandation de l'OMS « Le DDT ne doit être pulvérisé qu'à l'intérieur des maisons et il faut prendre toutes les mesures nécessaires pour empêcher qu'il soit détourné vers l'agriculture »