

# Les Oufs de Science



enquêtent sur les

# PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

Aurélie Bordenave

## Édito

Cette bande dessinée a pour objectif de sensibiliser les lecteurs à la façon dont les scientifiques abordent les questions qui préoccupent la population en matière d'environnement.

Le sujet de recherche mis en avant dans cet ouvrage est : l'évaluation de l'incidence de pesticides sur la faune aquatique et la santé humaine en région Centre-Val de Loire.

Ce projet de recherche nommé INDICA, d'une durée de trois ans et financé par le Conseil régional, a été conduit par des partenaires associatifs, techniques et scientifiques.

La qualité de l'environnement est actuellement reconnue comme un des déterminants de la santé mais aussi du bien-être social des populations. Les effets délétères des contaminations environnementales sur la santé et le développement durable sont régulièrement dénoncés du niveau local jusqu'au niveau international.

L'objectif du projet INDICA était de faire un état des lieux, à l'aide d'analyses physico-chimiques, des concentrations de cinq produits phytosanitaires ayant une activité de perturbateurs endocriniens (PE) dans des masses d'eau de la région Centre-Val de Loire. Des mesures ont été faites à l'aide de bio-indicateurs biologiques, les « gammars » que l'on découvre dans ces pages, afin de déterminer les effets sur le système nerveux central et les organes reproducteurs. Il s'agissait aussi d'étudier le lien avec la fertilité humaine.

Bonnes lectures et découvertes à tous(tes).

Un mercredi midi, à la sortie du lycée



Thomas, attends-moi ! Tu viens déjeuner à la maison ?

Oui, bonne idée Marion ! Je vais m'acheter un sandwich au passage.



Où est ma boîte en plastique ?

Tu as déjà entendu parler des perturbateurs endocriniens (PE)\* ?

Oui bien sûr !

Ce matin, dans infos science, ils ont parlé d'une étude sur les PE, ces molécules qui diminueraient la population des grenouilles dans l'étang de Florette.

C'est fou ! Les PE pourraient aussi être à l'origine de la modification de couleur du plumage des oiseaux et du son qu'ils émettent.

Enquêtons pour notre chaîne YouTube !

Pourquoi pas. On pourrait aller voir Pascal, le père de Lucie. Il est chercheur à INRAE.

Ok j'envoie un SMS à Lucie pour avoir son adresse mail.



\*nous noterons parfois « PE » pour « perturbateurs endocriniens »

Bonjour, merci de nous recevoir. On vient vous interviewer pour notre chaîne YouTube « Les Oufs de science »

Bienvenue à INRAE, institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

Les perturbateurs endocriniens seraient à l'origine de la diminution de la population de grenouilles, dans l'étang de Florette, vous confirmez ?

Nous avons en effet eu des remontées de terrain...



... sur des observations de changement de sexe chez les poissons, reptiles, et batraciens qui a entraîné une diminution de cette population.



En quelques mots, c'est quoi un perturbateur endocrinien, où en trouve-t-on ?

Un perturbateur endocrinien est une molécule ou un agent chimique qui va interférer avec les fonctions de notre système hormonal. On en trouve partout !



Flippant. ça existe depuis quand, c'est nouveau?

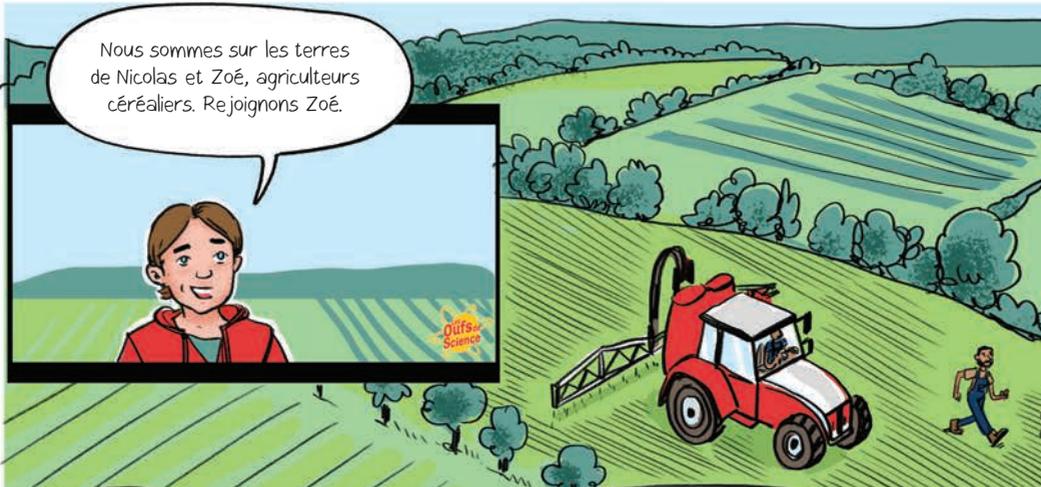
Rassurez-vous, ça a toujours existé. Les molécules dans le soja ou dans certaines moisissures sur les blés contiennent naturellement des perturbateurs endocriniens. On en rencontre fréquemment, partout, à petites doses.

Dans la pièce ici, et dehors?

Oui il peut y en avoir chez vous, dans certains récipients, bouteilles en plastique, dans certains maquillages, lors de traitements insecticides dans nos jardins et dans les champs.

D'ailleurs, nous avons lancé un programme de recherche qui étudie l'impact des PE sur les animaux et sur la population humaine.

Vous devriez aller voir un agriculteur et un médecin pour la suite de votre enquête. Rejoignez-moi demain pour des prélèvements au ruisseau des « deux chevaux ».



Nous sommes sur les terres de Nicolas et Zoé, agriculteurs céréaliers. Rejoignons Zoé.



Où s Science

Bonjour Zoé, merci de nous accueillir.



Où s Science

Bonjour Thomas, bienvenue. Nicolas termine le passage et nous rejoindra après. Quel est le sujet de votre reportage ?



Où s Science

Nous enquêtons sur les perturbateurs endocriniens et venons vous rencontrer car les produits de traitement que vous utilisez en contiendraient.

Oui, pour certains d'entre eux. D'ailleurs nous limitons ces produits phytosanitaires qui permettent de lutter contre les maladies des plantes et contre les insectes ravageurs.

Savez-vous qu'une étude émet l'hypothèse que les perturbateurs endocriniens sont en lien avec la diminution du nombre de grenouilles ?





Oui nous sommes  
au courant.  
Tiens, Nicolas  
nous rejoint !



On continue de s'informer auprès  
des scientifiques sur l'impact de ces  
perturbateurs endocriniens sur notre  
environnement mais aussi sur nous-  
mêmes, car on nous demande de  
porter plus de protections qu'avant.



Merci pour votre  
témoignage. Peut-être  
voulez-vous ajouter  
quelque chose ?



On aimerait savoir ce qu'il  
en est pour notre santé.  
Je vous laisse rejoindre  
Pascal au bord du  
ruisseau.



AAAAH



Merci, j'ai failli  
continuer le  
reportage en  
immersion !!



Venez, en route  
vers la zone de  
prélèvement



Pascal, qu'allez-vous faire aujourd'hui ?

Je souhaite vérifier la qualité de l'eau du ruisseau qui est à côté du champ et de la station d'épuration. L'eau que je prélève va être envoyée à un laboratoire pour analyse.



Ces échantillons d'eau seront analysés par spectrométrie de masse, méthode qui nous permet d'identifier les molécules présentes. On pourra en déduire si des perturbateurs endocriniens ont été transmis puisque ceux-ci sont véhiculés par l'eau et l'air.



Ces mini-crevettes qu'on aperçoit ici, c'est pour quoi faire ?

Les analyses chimiques ne permettent pas de dire si cette eau est toxique pour un être vivant. Parfois, un mélange de molécules à faible concentration peut être plus nocif que la molécule seule.



Pour compléter les analyses, nous allons donc utiliser des animaux sentinelles, ici les mini-crevettes appelées gammares. Elles resteront quelques semaines dans le ruisseau, puis nous les enverrons au laboratoire d'analyse.



Comment les utilisez-vous exactement ?

Réception  
des gammarès



Mise en cage  
des gammarès  
dans une zone  
du ruisseau



1 semaine  
plus tard,  
récupération  
des gammarès



Envoi au labo



Analyse de leur  
état de santé,  
de leur fertilité  
et des atteintes  
éventuelles de  
leur cerveau



Les gammarès permettent de suivre des réponses moléculaires, physiologiques et comportementales. On vérifie si elles sont en bonne santé, et si elles sont toujours capables de se reproduire après avoir vécu dans le milieu à analyser.

Par exemple, nous avons observé dans l'environnement d'une ville industrielle qu'une hormone de l'activité cérébrale est moins active chez nos crevettes. Or, cette hormone est également présente chez les êtres humains. Cela nous alerte sur la qualité de l'eau et sur la possible action de substances polluantes sur le fonctionnement de notre cerveau.



Si la présence de molécules était néfaste pour les crevettes, quelles seraient les conséquences des PE sur la santé humaine?

C'est très variable. Je vous recommande d'aller voir Rachel Kernery qui est médecin et qui s'intéresse aux infertilités. Appelez-la de ma part à ce numéro.



Bonjour et bienvenue dans mon cabinet.

Bonjour, merci de nous recevoir, pour notre enquête on aimerait connaître votre travail sur les perturbateurs endocriniens.

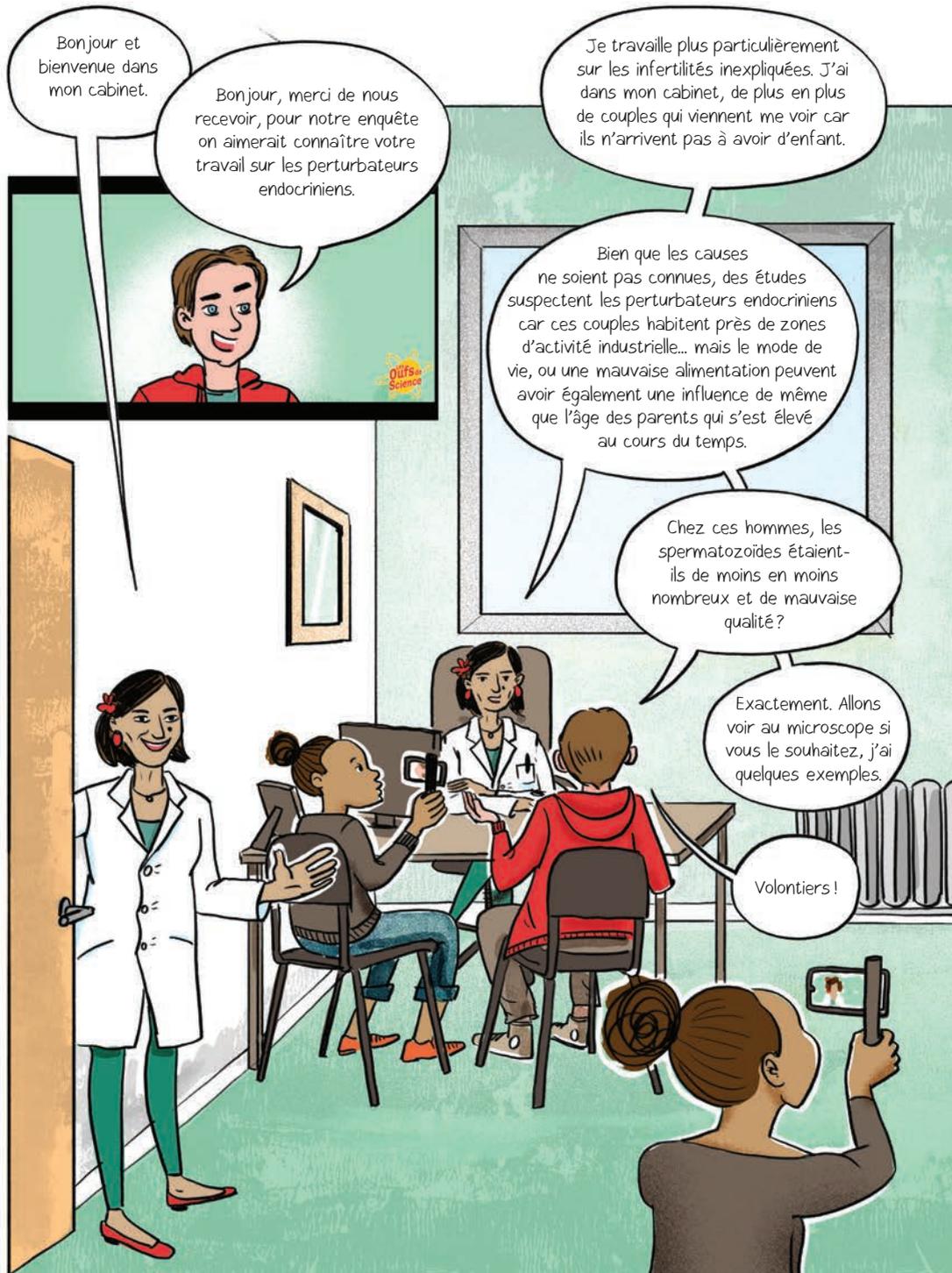
Je travaille plus particulièrement sur les infertilités inexplicables. J'ai dans mon cabinet, de plus en plus de couples qui viennent me voir car ils n'arrivent pas à avoir d'enfant.

Bien que les causes ne soient pas connues, des études suspectent les perturbateurs endocriniens car ces couples habitent près de zones d'activité industrielle... mais le mode de vie, ou une mauvaise alimentation peuvent avoir également une influence de même que l'âge des parents qui s'est élevé au cours du temps.

Chez ces hommes, les spermatozoïdes étaient-ils de moins en moins nombreux et de mauvaise qualité?

Exactement. Allons voir au microscope si vous le souhaitez, j'ai quelques exemples.

Volontiers!



(1) Pour en savoir plus : Le Moal J et coll., Eur J Endocrinol. 2018;178(1):33-41 ; Kim et coll., J Pediatr 2019;208:221-8 3- Bräuner et coll JAMA Network Open. 2020;3(10):e2015665

Dans plusieurs pays, y compris en France, le nombre d'enfants qui présentent une puberté précoce dès 9 ans sans cause connue est en constante augmentation et peut être douze fois plus important selon les régions, notamment chez les enfants vivant dans les zones agricoles, c'est pour cela que les chercheurs suspectent un effet de perturbateurs dans l'environnement. (1)

D'ailleurs dans les années 70, des mères ont été exposées au diéthylstilbestrol ou Distilbène®, un perturbateur endocrinien qui, en prenant la place des hormones féminines a conduit à des malformations génitales du fœtus. Cette période est très sensible à ces molécules et cela peut avoir des conséquences à l'âge adulte telle qu'une réduction de la fertilité. (2)

Fort heureusement, il n'y a pas de conséquence la plupart du temps.

Je vois que ce spermatozoïde a deux têtes, est-ce qu'il reste fertile chez ce patient ?

Hélas, non. Cette baisse de fertilité peut avoir plusieurs origines, mais limitons déjà celle des perturbateurs !

Allons maintenant chez notre amie Inès pour découvrir les compositions des produits du quotidien.



(2) Pour en savoir plus : Fénichel et coll. Ann Endocrinol (Paris). 2015 Jul;76(3):253-9

Salut inès !  
Merci de nous accueillir chez toi. On termine notre enquête dans ton studio. Suite à nos entretiens avec des spécialistes, nous allons identifier et lister les PE présents dans notre environnement quotidien.

Bienvenue, je ne vous attendais pas si tôt !  
Je vous laisse faire l'inventaire et... pardon pour le bazar !



**Parabènes et phénoxyéthanol**  
Cosmétiques, certains médicaments...

**Phtalates**  
Bouteilles en plastique, emballages alimentaires, jouets en plastique, cosmétiques...



Grâce à cette enquête et par précaution, nous préférons utiliser des pots et bouteilles en verre, par exemple.



Lorsqu'on fait nos courses, on peut éviter d'acheter des produits contenant du bisphénol ou des phtalates. Il suffit de reconnaître les pictogrammes que vous trouverez dans les références.



## Bisphénols

Boîtes de conserves, bouteilles plastiques, pots de yaourt...



## Alkylphénols

Détergents, lingettes, lessives, cosmétiques...



## Formaldéhydes

Peinture, colle à bois...



Quelques semaines plus tard...

Je note que tu as pris une boîte en verre maintenant pour ton repas du midi !

Oui je vais être plus vigilante pour éviter le surdosage de PE. Tu as vu, nos amis ont aimé notre reportage et vont eux aussi changer leurs habitudes.

D'ailleurs ta boîte de Kebab, là... c'est pas terrible, si ?



Oui, c'est vrai je pourrais y aller avec ma propre boîte en verre, on verra ce qu'il en pense le vendeur ?

Grave, ce serait mieux pour l'environnement en plus, tu limites l'usage du jetable.

On pourrait enquêter sur le recyclage des emballages dans la prochaine vidéo ?

Super bonne idée, je vais appeler Léo pour avoir des contacts, commencer à rédiger le scénario et...

Hey, mec. Tranquille... on a le temps. Mange, tes frites vont être froides !

Je vais finir par croire que tu es hyperactif, je vais demander à ta mère si les perturbateurs endocriniens y sont pour quelque chose !



# C'est quoi, les hormones ?

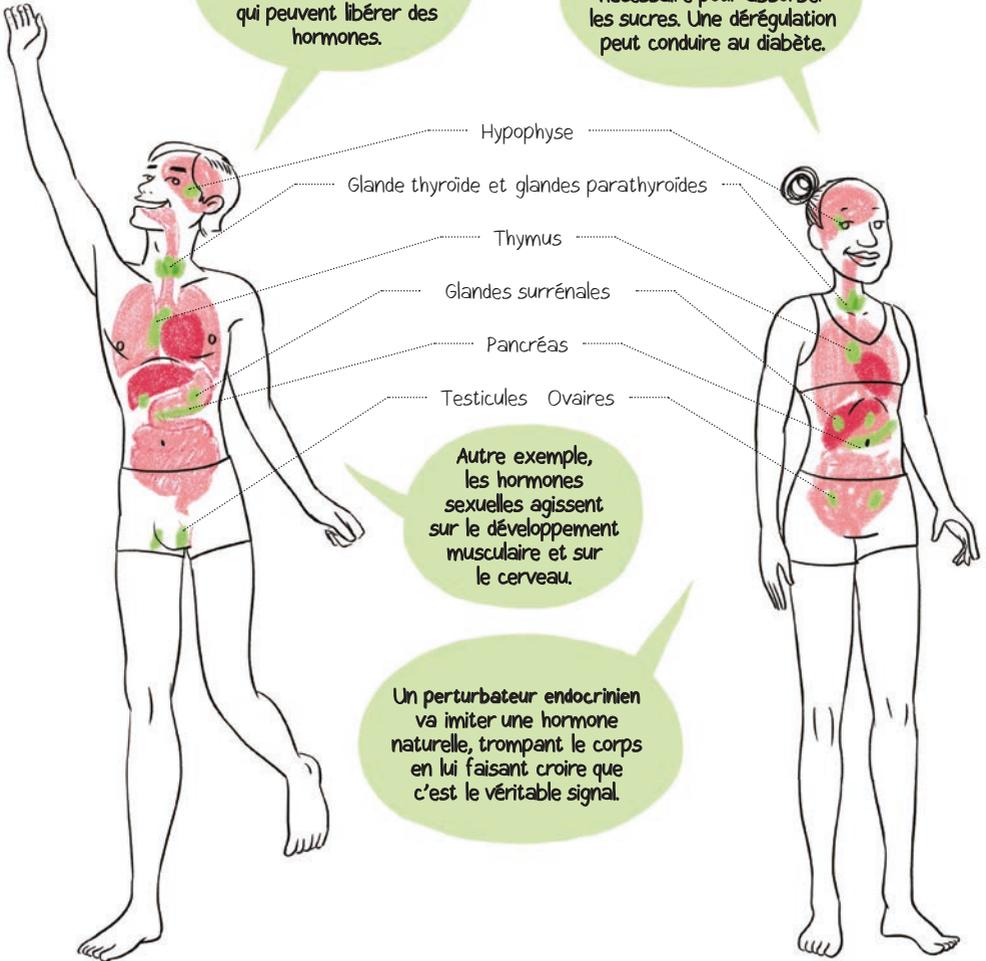
Le système endocrinien humain est composé de glandes : elles produisent des hormones qui vont transférer une information sur des cellules cibles.

Nous avons dans notre corps plusieurs glandes endocrines. Ce sont des organes qui produisent et sécrètent les hormones.

Ici sont représentées les principales glandes endocrines. Il existe aussi des cellules isolées qui peuvent libérer des hormones.

Une hormone est une molécule messagère qui va être libérée dans la circulation sanguine pour coordonner les fonctions du corps.

Par exemple, le pancréas produit de l'insuline nécessaire pour absorber les sucres. Une dérégulation peut conduire au diabète.



Autre exemple, les hormones sexuelles agissent sur le développement musculaire et sur le cerveau.

Un perturbateur endocrinien va imiter une hormone naturelle, trompant le corps en lui faisant croire que c'est le véritable signal.

## Comment agit un PE?

**En faisant croire à la cellule cible qu'il est la véritable « clé » de la serrure, le perturbateur endocrinien va créer des réactions indésirables dans l'organisme, pouvant entraîner des maladies.**

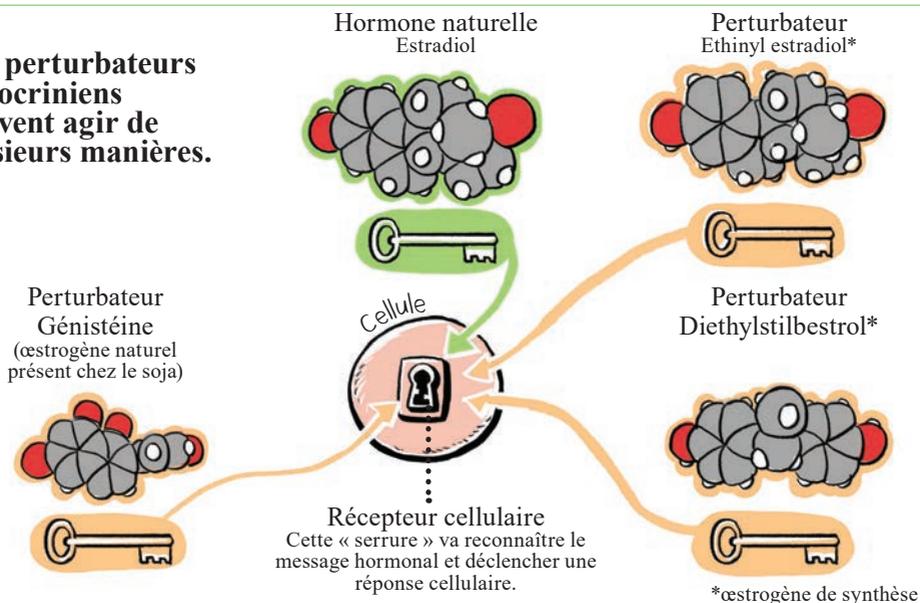
Certains perturbateurs endocriniens sont impliqués dans des dysfonctionnements comme l'obésité, le diabète, les troubles du comportement, les malformations génitales, une puberté précoce, le cancer testiculaire...

La perturbation endocrinienne n'est pas seulement un problème de santé humaine. Elle peut être une cause de la chute de la biodiversité à cause d'une baisse de fertilité de la faune sauvage.

Certains perturbateurs endocriniens peuvent bloquer le récepteur cellulaire. C'est le cas des molécules serrures « anti-androgéniques » qui vont bloquer la clé « hormone mâle », ce qui conduit à favoriser la clé « hormone femelle ».

D'autres vont simplement imiter l'action d'une hormone et provoquer des réactions inappropriées : gêner la synthèse, le transport ou la dégradation d'une hormone et

### Les perturbateurs endocriniens peuvent agir de plusieurs manières.



Plusieurs exemples ont été trouvés menant à des extinctions d'espèces. C'est le cas des alligators du lac Apoka en Floride qui présentent des concentrations de pesticides élevées, des mollusques marins proches des ports où est utilisée une peinture au tributylétain, ou de la fragilisation de la coquille des oiseaux suite à une exposition au DDT (insecticide).

modifier sa concentration dans l'organisme. La troisième catégorie de perturbateurs endocriniens va permettre d'ouvrir la serrure plus rapidement et fournir un message sur-puissant. C'est l'exemple des œstrogènes de synthèse qui vont avoir une action plus forte que l'hormone naturelle estradiol.



## L'interview

**Pascal Froment est chercheur à INRAE, il a participé à l'écriture de cette bande dessinée et en a assuré la validation scientifique. Découvrons son travail de recherche.**

### **Pourquoi faire des recherches sur les perturbateurs endocriniens ?**

La qualité de l'environnement est actuellement reconnue comme un des déterminants de la santé humaine, de la faune sauvage et des élevages en plein-air qui sont « exposés » également à des pollutions environnementales.

Les effets des contaminations ont aussi des conséquences sur la vie en société. Le travail des scientifiques consiste à observer l'environnement, collecter des informations pour identifier les sources de ces contaminations, mesurer et connaître objectivement leurs impacts.

### **Comment agissent ces produits de traitement ?**

Parmi les contaminants chimiques qui ont pu être détectés dans les eaux de la région, il y a des pesticides, des médicaments et leurs résidus, retrouvés dans les eaux de surface et qui peuvent avoir une action sur la faune sauvage et la flore, mais qui peuvent aussi contaminer les êtres humains et ainsi avoir un impact avéré sur la santé. Les milieux qui nous entourent agissent donc quotidiennement sur notre santé. Le fait d'être exposé à de multiples polluants, même à faible dose, fait qu'avec le temps, ces expositions sont susceptibles de s'accumuler (notamment dans le gras) et d'induire des pathologies et possiblement de réduire notre espérance de vie.

### **En quoi l'agriculture est-elle concernée par ces perturbateurs ?**

L'agriculture est largement représentée dans la région Centre-Val de Loire avec une occupation de plus de 60% du territoire. Comme évoqué dans cette bande dessinée, les produits phytosanitaires sont une des sources de contaminations de l'environnement et leurs effets sur des espèces animales, qui fréquentent naturellement les espaces agricoles, sont maintenant avérés.

Plus globalement, le nombre d'espèces d'oiseaux sauvages en voie de disparition ne cesse d'augmenter pour des raisons de modifications d'habitat, de climat mais aussi par des expositions à des produits chimiques qui sont soit toxiques soit qui perturbent des fonctions comme la reproduction, ou la formation de la coquille de l'œuf...

Dans notre région, la perdrix grise en est un exemple. Mais les insectes pollinisateurs sont également touchés et représentent un des groupes les plus menacés de contamination et de mortalité dues aux pesticides qui agissent en perturbant leurs messages nerveux. Mais attention, certaines de ces molécules ne sont pas utilisées qu'en agriculture, puisqu'elles sont aussi présentes dans les insecticides que nous utilisons chez nous.

## Comment développer les connaissances sur l'impact environnemental des perturbateurs endocriniens ?

Pour le centre INRAE Val de Loire, l'objectif du projet de recherche régional INDICA est de mesurer dans des masses d'eau de la région Centre-Val de Loire une activité de type perturbateurs endocriniens à l'aide de bio-indicateurs biologiques tels que les crevettes développées par la société BIOMAE. Ces mesures sont associées à des analyses chimiques pour faire un état des lieux des concentrations des cinq produits phytosanitaires les plus utilisés et ayant une activité de perturbateur endocrinien (PE). Nous mettrons en relation ces données avec les bases de données des espèces patrimoniales et sentinelles des zones humides préparées par les associations environnementales (SNE, SePant).

## Comment évaluer l'impact sur la santé humaine ?

Pour déterminer le niveau d'exposition des populations à ces molécules, nous analyserons une banque de liquides biologiques

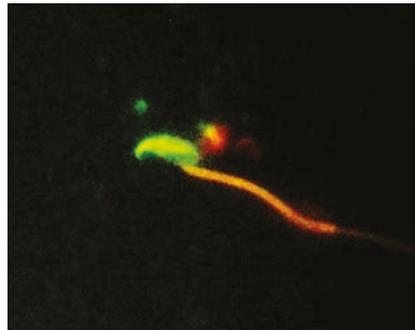
issus de patients pris en charge pour infertilité. Le dosage de ces molécules permettra d'évaluer le degré d'exposition humaine en région Centre-Val de Loire.

## Qu'attendez-vous des études menées sur les perturbateurs endocriniens ?

Les études permettront de commencer à faire un état des lieux de la présence de certains perturbateurs endocriniens liés à l'utilisation de pesticides et de leur impact sur la santé humaine, notamment la fertilité.

Ces informations seront diffusées auprès du grand public, auprès des collectivités afin de mettre au point des actions de sensibilisation et des programmes de gestion de ces risques.

L'intérêt de ces études est également de confronter des analyses chimiques utilisées actuellement qui sont fines mais coûteuses avec l'utilisation d'espèces sentinelles qui peuvent nous renseigner sur la qualité des eaux.



Crédit: INRAE

À gauche, vue de profil d'une mini-crevette, appelée un « gammare ». Taille: 10 mm.  
À droite, photographie d'un spermatozoïde de souris avec un marquage jaune de sa tête qui contient l'ADN (patrimoine génétique qui sera transmis aux enfants) et du flagelle (en orange) qui va permettre le déplacement du spermatozoïde.

# Références des études



- Le Moal J et coll., Eur J Endocrinol. 2018; 178(1): 33-41
- Kim et coll., J Pediatr 2019; 208: 221-8
- Bräuner et coll., JAMA Network Open. 2020; 3(10): e2015665
- Delbès et coll., La revue médecine/sciences. 2005; 21: 1083-8
- Fénichel et coll., Ann Endocrinol (Paris). 2015 Jul; 76(3): 253-9

## Retenez bien ces pictos!



Les plastiques sûrs ci-dessus sont le polyéthylène à basse densité, le polyéthylène à haute densité et le polypropylène. Les plastiques ci-dessous peuvent contenir des PE : le chlorure de vinyle (ou polyvinyle), le polystyrène, les mélanges « autres » et le polyéthylène téréphtalate.

Scénario : Aurélie Bordenave, Béatrice Saulnier (Centre•Sciences), Laurent Cario et Pascal Froment (INRAE). Illustration, mise en couleur & conception graphique : Aurélie Bordenave, designer indépendante.

Merci à Catherine Beaumont, ex-Présidente du Centre INRAE Val de Loire.

Ce projet a été rendu possible grâce au financement du Conseil régional Centre-Val de Loire (APR-IR INDICA).

Licence : cette bande dessinée est mise à disposition sous licence " Attribution - Pas d'utilisation commerciale - Pas de modification 2.0 France ".

Pour voir une copie de cette licence, visitez [creativecommons.org](https://creativecommons.org)

Achevé d'imprimer et relié en juillet 2021 par Prevost Offset Groupe Inprimis, 45770 SARAN (France).





enquêtent sur les

# PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

Venez découvrir les aventures de Marion et Thomas, deux lycéens qui réalisent un reportage sur les perturbateurs endocriniens pour leur chaîne YouTube « Les Oufs de science ». À travers des interviews avec des agriculteurs, un scientifique, un médecin... nous les suivons dans leur quête d'informations sur un sujet complexe qui touche à l'environnement, à la santé de chacun et à nos modes de vie. Petit à petit ils découvrent les méthodes d'investigation des scientifiques pour mettre en évidence l'impact des perturbateurs endocriniens.



Pôle Santé  
LÉONARD DE VINCI



CHRU  
HÔPITAUX DE TOURS

BIOME  
Biomonitoring Aquatic Environment

Sciences pour une Terre durable  
brgm

SYSAAF



Sologne Nature  
Environnement

Loiret  
Nature  
Environnement

DREAM  
Eau & Milieux

MIDI  
Milieux & Diversité  
Réseau National de Recherche  
en Région Centre-Nord de France