



Décembre 2019

Perturbateurs endocriniens

1 Qu'est-ce qu'un perturbateur endocrinien ?

Un perturbateur endocrinien est une substance ou un mélange exogène altérant les fonctions du système endocrinien et induisant de ce fait des effets nocifs sur la santé d'un organisme intact, de ses descendants ou au niveau de (sous)-populations entières.

OMS : définition d'un perturbateur endocrinien (2002)

Les produits chimiques sont des éléments omniprésents dans notre quotidien. Certaines de ces substances peuvent, sans que cela soit intentionnel, entraîner des effets nocifs sur le système endocrinien ; on les appelle alors « perturbateurs endocriniens ». Le système endocrinien ou système hormonal est important pour la santé de l'homme et de l'animal, car les hormones sont des messagers chimiques de l'organisme qui, à des doses infimes, jouent un rôle essentiel dans le développement, la croissance, la reproduction, le métabolisme, l'immunité et le comportement. Elles sont produites par des glandes spécialisées, appelées glandes endocrines (fig. 1), et leur sécrétion est soumise à un mécanisme de régulation complexe.

De nombreuses substances chimiques peuvent influencer le système hormonal (ce sont des « substances actives sur le système endocrinien »), mais seules celles qui ont des effets négatifs sur la santé de l'ensemble de l'organisme, sur ses descendants ou sur des (sous)-populations sont considérées comme des perturbateurs endocriniens.

2 Où trouve-t-on des perturbateurs endocriniens et comment pénètrent-ils dans l'organisme ?

Les perturbateurs endocriniens peuvent être des substances ou des produits de dégradation issus de l'industrie, de l'agriculture, des produits du quotidien, des médicaments et des cosmétiques. Ils sont également présents dans la nature sous forme de composés végétaux (phytonutriments). Voici quelques exemples :

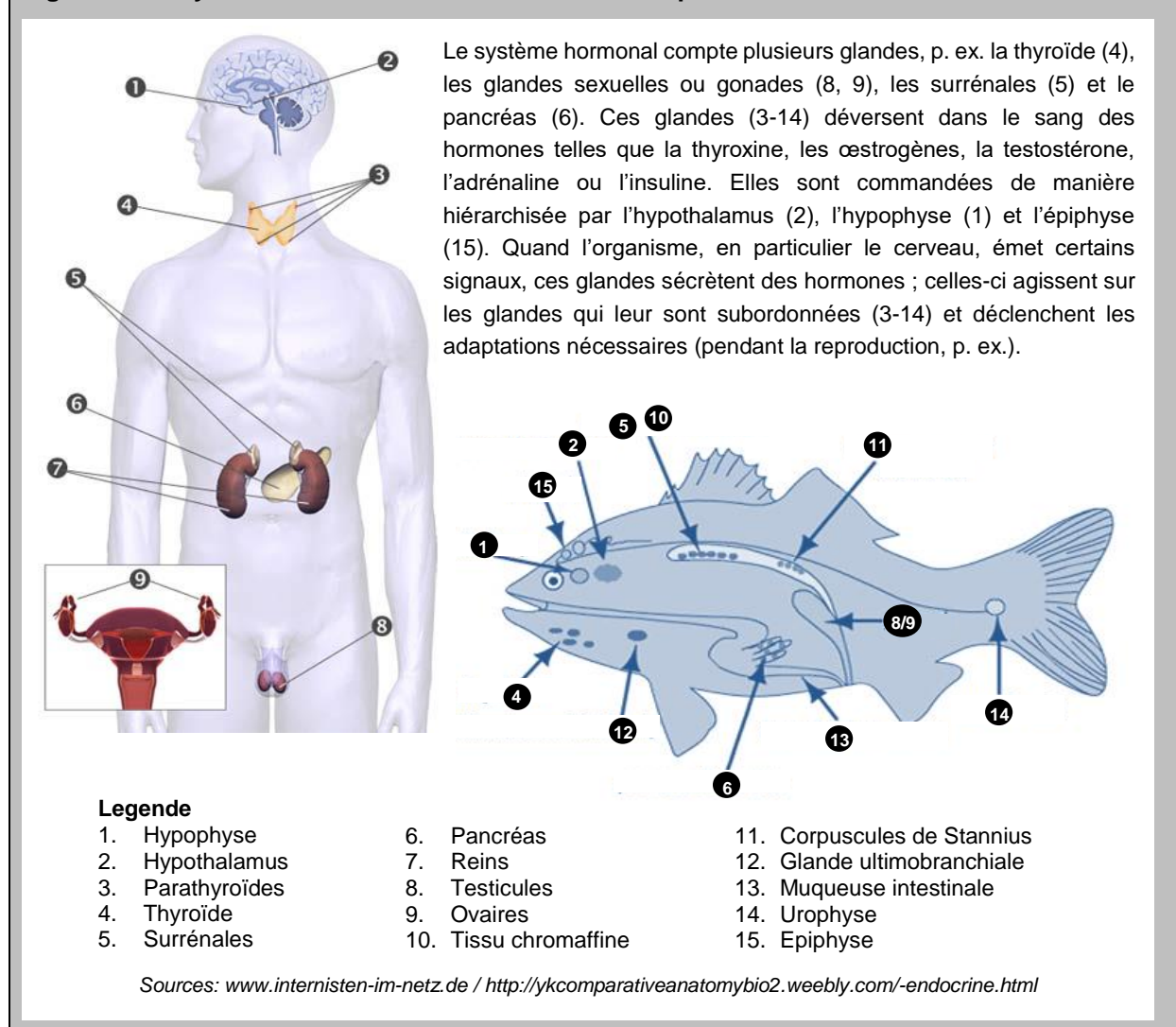
- **produits et objets usuels** : certains aliments, objets du quotidien, cosmétiques et objets usuels, mais aussi matériaux de construction, tels que peintures et matériaux d'isolation, peuvent contenir des perturbateurs endocriniens
- **médicaments** : en principe, les propriétés hormonales sont voulues, par ex. dans la pilule contraceptive, mais alors qu'elles procurent l'effet désiré pour le patient, les métabolites des médicaments excrétés dans l'urine ne sont pas totalement éliminés par les stations d'épuration et peuvent devenir des perturbateurs endocriniens indésirables pour les organismes aquatiques
- **agriculture** : les résidus de pesticides ou de médicaments vétérinaires qui peuvent se retrouver dans les aliments ou le sol, ou aboutir directement dans les cours d'eau, entraînés par les circuits d'évacuation des eaux de pluie ou les déversoirs d'eaux mixtes

- **terrains pollués et décharges** : les perturbateurs endocriniens entraînés par les eaux d'infiltration sont susceptibles d'aboutir dans les nappes phréatiques, le sol ou les eaux de surface
- **substances liées aux particules dans l'air ambiant et l'air extérieur** : les perturbateurs endocriniens peuvent être inhalés et donc absorbés via les poussières fines comme les gaz d'échappement des moteurs diesel ou d'autres poussières, par ex. celles dégagées par certaines activités professionnelles

Les expositions potentielles à des perturbateurs endocriniens résultent de nombreuses activités, telles que les processus de fabrication, l'application et l'utilisation des produits contenant de telles substances, ou le contact avec leurs produits de dégradation ou leurs sous-produits.

Les perturbateurs endocriniens pénètrent dans l'organisme par différentes voies : par la bouche (ex : aliments), la peau (ex : cosmétiques) ou la respiration (ex : poussières fines).

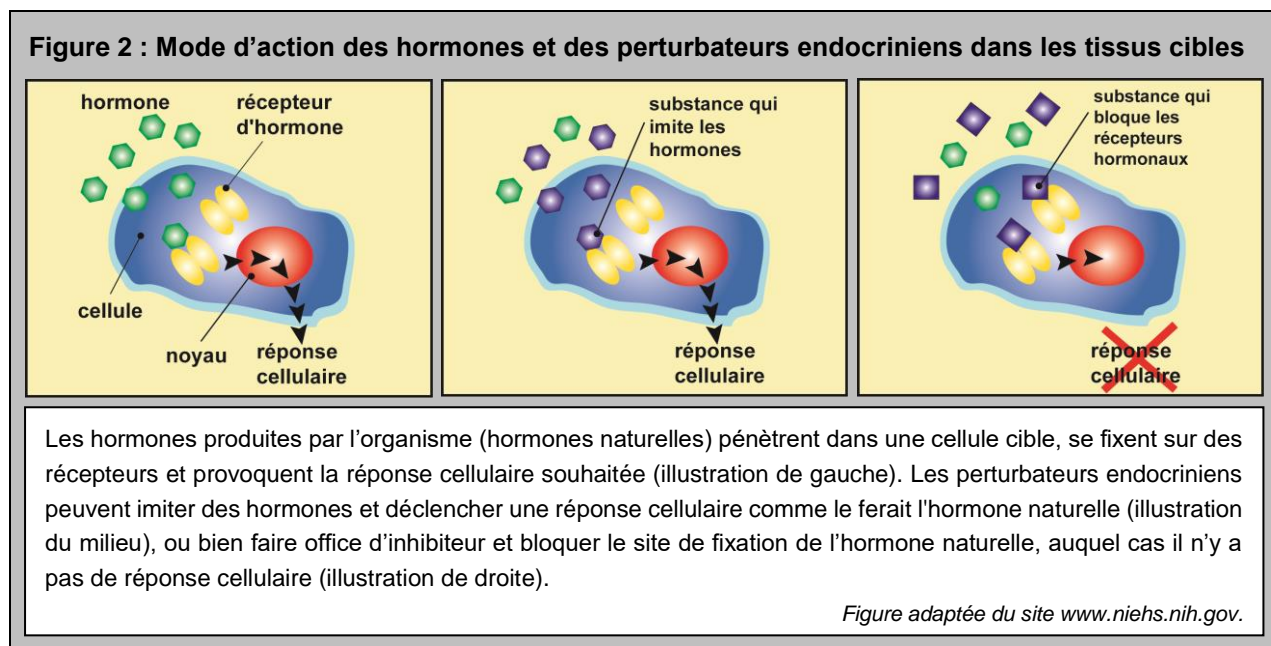
Figure 1 : Le système hormonal de l'être humain et du poisson



3 Comment les perturbateurs endocriniens agissent-ils sur le système hormonal ?

Les perturbateurs endocriniens interfèrent de différentes façons avec le système endocrinien (fig. 2). Comme les hormones naturelles, certaines de ces substances se fixent directement sur un récepteur hormonal, provoquant ou bloquant ainsi la réaction correspondante. Ils peuvent aussi s'attaquer à la synthèse des hormones ou à leur dégradation, ainsi qu'à leur transport dans l'organisme. Comme les hormones naturelles, les perturbateurs endocriniens sont métabolisés et éliminés par le corps.

Chez l'être humain et chez l'animal, l'influence des perturbateurs endocriniens au niveau cellulaire (en particulier augmentation ou diminution du taux hormonal) peut déclencher diverses réactions à tous les échelons de l'organisme (cellule, tissu ou organe).



4 Comment les perturbateurs endocriniens agissent-ils sur la santé et sur l'environnement ?

On discute actuellement du rôle que pourraient jouer les perturbateurs endocriniens dans les cancers hormonodépendants (sein, ovaires, prostate et testicules) et dans les troubles de la reproduction qui ont été observés (diminution du nombre de spermatozoïdes chez les hommes jeunes, par ex.). On les met aussi en relation avec les maladies de la thyroïde, le diabète, le syndrome métabolique, le surpoids et l'autisme.

Toutefois, le lien de causalité entre ces pathologies et l'exposition aux perturbateurs endocriniens est difficile à démontrer : en effet, en plus de ces substances, de nombreux autres facteurs pourraient être (co)responsables, comme le mode de vie (tabagisme, alimentation, stress...) et la prédisposition génétique.

Chez les animaux sauvages, des perturbations du développement sexuel et de la reproduction, pouvant être attribuées au contact avec des perturbateurs endocriniens présents dans l'environnement, ont été observées ces dernières années. Citons notamment le décalage du sex ratio, les troubles du comportement reproducteur et la baisse de la fertilité, ainsi que l'amincissement de la paroi de l'œuf chez les oiseaux et l'apparition, en aval des stations d'épuration, de poissons intersexués (c'est-à-dire présentant à la fois des caractères sexuels mâles et femelles). Les effets observés ont entraîné dans le monde entier une diminution des populations de différentes espèces animales, comme les loutres, les alligators, certains oiseaux et des gastéropodes.

Certains perturbateurs endocriniens ont déjà des effets négatifs sur les organismes (poissons par ex.) lorsque leur concentration dans l'eau est inférieure à un nanogramme par litre (ce qui correspond à peu près à un kilogramme de substance dans le lac de Bièvre). De si faibles concentrations sont difficilement mises en évidence par les analyses chimiques.

Une autre difficulté est liée au fait que l'être humain et l'environnement peuvent, de manière générale, être exposés à un mélange inconnu de perturbateurs endocriniens provenant de différentes sources. Cela signifie, d'une part, qu'il est très difficile d'attribuer une action à une substance spécifique et d'autre part, que leur combinaison est susceptible d'entraîner des effets imprévisibles pour l'organisme (effet cocktail).

Chez l'être humain comme chez l'animal, l'exposition aux perturbateurs endocriniens pendant la période embryonnaire et fœtale puis pendant la puberté est particulièrement critique. Ce sont des phases du développement au cours desquelles l'organisme est très sensible aux perturbations de l'équilibre hormonal. Les perturbateurs endocriniens peuvent traverser le placenta et parvenir jusqu'au fœtus, ou être transmis au nourrisson par le lait maternel. Dans ce contexte, la protection de la mère et de la jeunesse occupe une place primordiale.

L'annexe 1 présente quelques exemples de cas illustrant les effets des perturbateurs endocriniens.

5 Quelle est la situation en Suisse ?

a) Population

En Suisse, certaines substances détectées dans des échantillons de lait maternel (filtres ultraviolets et agents ignifuges bromés) sont suspectées d'être des perturbateurs endocriniens. Aucune étude épidémiologique approfondie n'a toutefois pu prouver le lien entre une contamination par ces substances et d'éventuels effets sur le système hormonal.

Une récente étude a évalué la qualité du sperme de jeunes hommes suisses ([Rahban et al., 2019](#)). Les résultats ont démontré que moins de 40% des 2523 sujets examinés présentaient une bonne qualité de sperme. Dans les autres échantillons, la concentration, la motilité et/ou la morphologie des spermatozoïdes étaient inférieures aux normes de référence fixées par l'OMS. Les causes de ce phénomène sont probablement diverses (par ex. mode de vie, contamination par des produits chimiques, maladies ou traitement médical). Les auteurs de l'étude vont poursuivre leurs investigations pour évaluer l'impact sur la fertilité. Par la suite, ils évalueront s'il existe un lien entre cette dégradation de la qualité du sperme et la contamination par des perturbateurs endocriniens et d'autres facteurs.

b) Travail

Dans le cadre professionnel, il existe des valeurs limites à respecter afin de protéger les travailleurs lors de contacts avec des substances susceptibles d'avoir une influence négative sur le système hormonal. Ces valeurs sont fixées en fonction des connaissances actuelles relatives à ces substances. Pour protéger ses employés d'une exposition à des substances toxiques, l'employeur doit prendre toutes les mesures qui sont nécessaires et applicables, selon les possibilités techniques.

Lors de l'évaluation des postes de travail, il convient d'accorder une attention particulière aux femmes enceintes, aux mères allaitantes et aux jeunes, parce que ces travailleurs (de même que le fœtus) sont particulièrement sensibles aux perturbateurs endocriniens.

c) Environnement

En Suisse, certaines substances suspectées d'être des perturbateurs endocriniens sont mesurées dans l'environnement depuis les années 1970. Des alkylphénols éthoxylés, du dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), du lindane, des PCB, des filtres ultraviolets et des phtalates ont été détectés dans les cours d'eau, les sédiments et les poissons. Des composés organostanniques ont été trouvés dans des échantillons d'eau prélevés dans des ports, et des résidus d'agents ignifuges bromés dans les boues d'épuration ainsi que chez les poissons et les renards des villes. Certaines de ces substances (notamment le DDT, les PCB et les retardateurs de flamme bromés), difficilement biodégradables, sont probablement à l'origine des baisses de population observées chez les oiseaux indigènes dans les années 1970. La chasse intensive jusque dans les années 1950 et l'exposition aux PCB ont provoqué la disparition de la loutre indigène en 1990. L'usage de ces substances a été limité ou interdit par la loi depuis plusieurs années. Malgré tout, on en retrouve toujours dans l'environnement et dans la chaîne alimentaire, car ils s'accumulent dans le tissu grasseux des animaux, dans les organes de stockage des végétaux et dans les micro-organismes.

Des mesures effectuées dans les cours d'eau suisses, en particulier en aval des stations d'épuration, mais aussi dans des petits ruisseaux, ont mis en évidence un mélange de divers perturbateurs endocriniens. Chez

les truites mâles vivant dans les ruisseaux du Plateau, de la vitellogénine a été détectée. Cette protéine est normalement formée par les poissons femelles pendant la reproduction sous l'influence des hormones femelles. Si l'on en trouve chez les poissons mâles, cela signifie que ceux-ci ont été exposés à des substances actives sur le système endocrinien, ce qui peut affecter leur capacité à se reproduire. Mais on ne dispose toujours pas de données montrant que les perturbateurs endocriniens nuisent à la reproduction des organismes aquatiques indigènes et on ne sait pas précisément dans quelle mesure ils jouent un rôle dans le recul de la population de poissons observé depuis déjà plusieurs années.

6 Quelle est la réglementation relative aux perturbateurs endocriniens ?

La problématique des perturbateurs endocriniens étant connue depuis le début des années 1990, des organisations telles que l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la Commission européenne et quelques organisations non gouvernementales ont établi des listes de substances dont l'activité perturbatrice sur le système endocrinien chez l'être humain et chez l'animal a été observée ou suspectée. L'usage de certaines de ces substances a déjà été limité au niveau législatif en raison d'autres propriétés particulièrement dangereuses (effet cancérigène ou biodégradabilité limitée).

a) Dans l'Union européenne

Entre 1996 et 2000, l'UE a élaboré une [stratégie](#) applicable aux perturbateurs endocriniens, qui a entraîné une adaptation des lois régissant les produits chimiques industriels ([REACH](#)), les [produits biocides](#) et les [produits phytosanitaires](#), et ainsi une première réglementation des perturbateurs endocriniens par l'introduction de critères provisoires. Depuis cette introduction, les substances chimiques qui présentent des caractéristiques de perturbateur endocrinien ne sont plus autorisées ou sont fortement limitées.

Etant donné que ces critères provisoires n'ont pas été déterminés sur des bases scientifiques, la Commission européenne a été chargée de préparer et publier des critères scientifiquement valables pour l'identification des perturbateurs endocriniens. Cette préparation a duré bien plus longtemps que prévu et a mené à un retard conséquent. Après des discussions intensives, la [Commission européenne](#) a publié en novembre 2017 un règlement pour l'identification des perturbateurs endocriniens dans les produits biocides. Ces critères se basent sur la définition de l'OMS (2002). Ce règlement est entré en vigueur le 7 décembre 2017 et est appliqué depuis le 7 juin 2018. Un règlement équivalent pour l'identification des perturbateurs endocriniens dans les produits phytosanitaires est appliqué depuis le 20 octobre 2018.

A long terme, toutes les réglementations concernées devraient appliquer des critères harmonisés pour l'identification des perturbateurs endocriniens (réglementation des produits chimiques industriels et des cosmétiques, pour la protection des eaux, etc.).

b) En Suisse

La Confédération se préoccupe des [perturbateurs endocriniens depuis 1999](#) déjà et a notamment soutenu entre 2002 et 2007 un programme de recherche national sur ce sujet ([PNR 50](#) – Perturbateurs endocriniens : Importance pour les êtres humains, les animaux et les écosystèmes).

La Suisse dispose déjà d'une législation comportant des prescriptions relatives aux perturbateurs endocriniens, qui sont pour la plupart harmonisées avec la législation européenne. C'est le cas des ordonnances régissant les produits chimiques, la réduction des risques liés aux produits chimiques, les biocides, les produits phytosanitaires, les dispositifs médicaux, les cosmétiques, les denrées alimentaires et les objets usuels.

En raison de l'accord entre la Suisse et l'Union Européenne pour la reconnaissance mutuelle des produits biocides (MRA), la Suisse est tenue d'harmoniser sa réglementation des produits biocides avec celle en vigueur dans l'Union Européenne. La dernière révision de l'ordonnance sur les produits biocides (OPBio) a intégré les critères d'identification des perturbateurs endocriniens en se référant au règlement délégué de l'Union Européenne 2017/2100. Cette révision est entrée en vigueur le 1^{er} mars 2018 pour les produits

biocides. L'ordonnance pour les produits phytosanitaires (OPPh) a été révisée de façon similaire et est appliquée depuis le 1^{er} janvier 2019.

Lorsque des critères d'identification entreront en vigueur dans les autres législations européennes, les règlements suisses seront révisés et adaptés le cas échéant afin d'intégrer ces changements.

Les dispositions générales relatives à la protection de la santé au travail tiennent également compte des perturbateurs endocriniens. Les prescriptions et les recommandations visant à protéger la santé au travail ainsi qu'à prévenir les accidents et les maladies professionnelles sont déjà en vigueur. L'ordonnance sur la protection de la maternité et l'ordonnance sur la protection des jeunes travailleurs protègent en outre les femmes enceintes, les mères allaitantes et les jeunes dans le maniement des produits chimiques (dont les perturbateurs endocriniens) sur le lieu de travail.

7 Quelles sont les activités et mesures prises par la Confédération en matière de protection contre les perturbateurs endocriniens ?

Au vu des développements dans l'Union Européenne et du large intérêt public En 2015, la commission de coordination des produits chimiques des offices fédéraux a mis sur pied un groupe de travail interdépartemental concernant les perturbateurs endocriniens avec des représentants tous les offices concernés (OFSP, OFEV, OFAG, OSAV, SECO et Swissmedic). Son objectif est de partager les informations relatives aux perturbateurs endocriniens et de coordonner les activités entre les divers offices. Le groupe doit fournir à la population suisse des informations pertinentes et des conseils compétents concernant les perturbateurs endocriniens. Il suit également les avancées dans le domaine au niveau international et ses membres font partie de différentes commissions internationales.

La Confédération suit activement les développements scientifiques et encourage la recherche dans le domaine des perturbateurs endocriniens. Elle soutient par ex. le développement de méthodes standardisées au niveau international afin d'identifier les perturbateurs endocriniens (lignes directrices de l'[OCDE](#)), pour contrôler la qualité de l'eau (normes ISO), ainsi que la mise au point de critères de qualité relatifs aux perturbateurs endocriniens dans l'eau (EQS). Enfin, elle est représentée dans des groupes d'experts de l'UE (notamment l'[ECHA-EDEG](#)). La Confédération participe ainsi activement aux débats scientifiques et réglementaires au niveau international.

La Confédération assure la protection de la population et de l'environnement contre les perturbateurs endocriniens par les mesures suivantes :

- La plupart des lois suisses régissant les produits chimiques sont harmonisées avec la législation européenne en la matière en le reprenant de manière autonome. L'évolution du droit relatif aux perturbateurs endocriniens au sein de l'UE continuera à influencer directement la réglementation suisse.
- La Suisse a ratifié en 2003 la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (convention POP), qui a entraîné entre autres l'interdiction sur le plan international de quelques perturbateurs endocriniens difficilement biodégradables. La convention POP est entrée en vigueur en 2004.
- Pour la protection des ressources en eau potable et des animaux aquatiques, la Confédération a décidé de financer l'ajout d'une étape de traitement supplémentaire dans des stations d'épuration (STEP) sélectionnées, ce qui permettra de réduire nettement la quantité de perturbateurs endocriniens dans les eaux traitées. Ces mesures s'appliqueront là où elles sont les plus urgentes. Afin de mieux protéger les animaux et les végétaux, elles seront mises en œuvre en priorité dans les STEP placées sur des cours d'eau qui charrient beaucoup d'eaux usées, ainsi que dans les STEP les plus grandes et dans les STEP situées sur le bassin versant de lacs. La Suisse, château d'eau de l'Europe avec sa situation en amont, est donc responsable d'améliorer la protection des ressources en eau potable et la qualité des eaux de baignade des lacs.
- On connaît mal l'émission et la diffusion des hormones stéroïdiennes naturelles provenant de l'agriculture. Ces hormones sont disséminées directement dans l'environnement, ce qui peut

localement provoquer une augmentation de leur élimination dans les eaux de surface. Ce thème fait actuellement l'objet d'un projet de recherche financé par l'OFEV et mené conjointement par l'Agroscope et le centre Ecotox.

- La Confédération et les cantons veillent à l'assainissement des sites pollués, notamment là où les eaux d'infiltration pourraient entraîner des substances dangereuses dans les eaux de surface ou les nappes phréatiques. Sous certaines conditions, la Confédération participe aux coûts de cet assainissement. De plus, seuls les déchets qui satisfont à certains critères peuvent être déposés dans des décharges, conformément à la législation.
- L'exposition de l'humain à des produits toxiques, et notamment les perturbateurs endocriniens, devrait être évaluée en Suisse. Une [étude de biosurveillance humaine \(BSH\)](#) au niveau national permettrait de rechercher des substances toxiques (dont des perturbateurs endocriniens) dans des échantillons récoltés sur les participants à l'étude (urine, sang, cheveux, etc.), tout en interrogeant ces derniers sur leur mode de vie et leurs antécédents médicaux. Les effets des perturbateurs endocriniens dans le collectif de l'étude, représentatif de toute la population suisse, pourraient alors être déterminés en comparant les données relatives à la contamination avec les données médicales. Avec de telles informations, des réglementations pourraient être introduites à long terme dans le domaine des perturbateurs endocriniens.

8 Pour de plus amples informations

Office	Domaine de compétence	Site Internet	Contact	Adresse électronique
Office fédéral de la santé publique (OFSP)	Produits chimiques et santé humaine (produits chimiques et biocides)	OFSP - Perturbateurs endocriniens	OFSP, division Produits chimiques, 3003 Berne +41 58 462 96 40	bag-chem@bag.admin.ch
Office fédéral de l'environnement (OFEV)	Produits chimiques dans l'environnement (produits chimiques et biocides)	OFEV - Produits chimiques	OFEV, division Protection de l'air et produits chimiques, 3063 Ittigen +41 58 462 69 70	chemicals@bafu.admin.ch
	Micropolluants et qualité de l'eau	OFEV - Eaux	OFEV, division Eaux, 3063 Ittigen +41 58 462 69 69	wasser@bafu.admin.ch
Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV)	Denrées alimentaires, objets usuels, matériaux en contact avec les denrées alimentaires, jouets, cosmétiques, produits phytosanitaires (toxicologie)	OSAV - Sécurité des aliments	OSAV, division Evaluation des risques, 3003 Berne +41 58 463 30 33	info@blv.admin.ch
Office fédéral de l'agriculture (OFAG)	Agriculture, produits phytosanitaires (autorisation)	OFAG - Produits phytosanitaires	OFAG, 3003 Berne +41 58 462 25 11	info@blw.admin.ch
Secrétariat d'Etat à l'économie (SECO)	Conditions de travail, produits chimiques et travail	SECO - Produits chimiques et travail	SECO, 3003 Berne +41 58 462 56 56	abch@seco.admin.ch
Suva	Département Protection de la santé	Suva	Suva, Contact, 6002 Lucerne 0848 820 820	Contact sur la page d'accueil de la Suva
Swissmedic	Produits thérapeutiques / médicaments	Swissmedic - Surveillance du marché	Swissmedic, 3000 Berne 9 +41 58 462 02 23	Anfragen@swissmedic.ch

Annexe 1. Exemples

a) *Médicaments : Le diéthylstilbestrol chez l'être humain*

Les conséquences de l'administration du diéthylstilbestrol (DES), un œstrogène non stéroïdien de synthèse, sont bien décrites. Le DES a été prescrit aux femmes enceintes entre 1940 et 1970 aux Etats-Unis et dans certains pays européens, pour réduire les risques de complications durant la grossesse (prévention des fausses-couches et des accouchements prématurés). Plus tard, des études épidémiologiques ont montré que les filles des femmes traitées par le DES présentaient un risque très élevé de contracter une forme rare de tumeur vaginale et un cancer du sein.

b) *Métaux dans le contexte professionnel*

De nombreux métaux agissent sur le système endocrinien, en particulier le plomb, l'argent, le cadmium, le chrome et le manganèse. Les effets induits par le plomb sont les mieux décrits, et diverses publications montrent un effet indésirable sur la fertilité masculine. Une étude a notamment permis de déterminer que les travailleurs ayant un taux sanguin $>400 \mu\text{g/L}$ (ce qui, en Suisse, correspond à la valeur biologique tolérée en milieu professionnel – valeur BAT –, autrement dit la valeur indicative d'un risque pour la santé au travail) présentent une diminution de la concentration en spermatozoïdes et de la qualité de ces derniers, et par conséquent une baisse de la fertilité.

c) *Polychlorobiphényles chez la loutre*

Les populations de loutres sauvages ont fortement diminué ou disparu dans une grande partie de l'Europe du nord-ouest et de l'Europe centrale. On suppose que cette évolution est principalement due aux polychlorobiphényles (PCB), employés jusque dans les années 1980 surtout comme lubrifiants dans les transformateurs et les condensateurs électriques, et comme plastifiants dans les laques et d'autres matériaux. Des études ont prouvé l'existence d'un lien direct entre la charge en PCB des poissons (principale source d'alimentation des loutres), l'accumulation de PCB dans le tissu graisseux des loutres et la diminution des populations de celles-ci. Seules les populations ayant une faible charge en PCB comportaient encore des animaux jeunes. On en a déduit que les PCB empêchaient la reproduction des loutres ou du moins la limitaient considérablement. Les PCB sont présents dans le monde entier, aussi bien dans l'atmosphère, dans l'eau et dans le sol. Ils comptent parmi les douze toxiques organiques connus – les « douze vilains » – qui ont été interdits au niveau international par la convention de Stockholm du 22 mai 2001 en raison de leur persistance et leur capacité de bioaccumulation.

d) *Tributylétains (TBT) dans l'environnement*

Dans les années 1980, on a observé en plusieurs endroits une masculinisation des gastéropodes d'eau douce et de mer. De faibles concentrations de tributylétains (TBT), utilisés dans les peintures sous-marines pour bateaux en raison de leur effet biocide, suffisaient pour que les mollusques femelles développent des organes sexuels mâles et ne puissent plus se reproduire. La découverte de ces effets indésirables a amené en 2008 à interdire partout dans le monde l'utilisation de TBT dans les peintures pour bateaux.

e) *Contamination des poissons par des mélanges de perturbateurs endocriniens*

Ce ne sont pas seulement les substances isolées, mais souvent aussi les mélanges de perturbateurs endocriniens, qui posent des problèmes. Au début des années 1990, en Grande-Bretagne, on a trouvé à plusieurs reprises, dans les effluents des stations d'épuration, des poissons mâles qui présentaient à la fois des organes sexuels mâles et des organes sexuels femelles (organismes intersexués). Des études réalisées par la suite ont montré que ces eaux, quoique traitées, contenaient des substances qui avaient une action œstrogénique sur les poissons, entraînant ainsi la féminisation des mâles. Les soupçons reposent sur un mélange d'hormones naturelles, l'œstradiol et l'œstrone, avec une hormone de synthèse, l'éthinylœstradiol, ainsi qu'avec le nonylphénol et l'octylphénol. Ces deux dernières substances sont des métabolites d'alkylphénols polyéthoxylés, employés autrefois dans les détergents. L'utilisation d'octylphénols, de nonylphénols et de leur éthoxylates est interdite depuis 2006 en Suisse pour toutes les utilisations en milieu aquatique.