

UNE APPROCHE ECOSYSTEMIQUE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA SANTE

AN ECOSYSTEMIC APPROACH OF ENVIRONMENT AND HEALTH

Anne Steenhout

Groupe d'Etudes Ecotoxicologiques sur les Polluants, la Santé et les Impacts sur l'Homme
(GEEPSIH); IGEAT - Faculté des Sciences; Université Libre de Bruxelles

asteen@ulb.ac.be

Résumé

L'évolution de nos sociétés industrielles et technologiques a considérablement modifié notre rapport à l'environnement, entraînant sa contamination croissante par des substances nocives. Les activités anthropiques menacent l'intégrité des écosystèmes dont nous dépendons, la santé des populations d'aujourd'hui et celle des générations futures. La problématique environnement et santé couvre nombre de champs de connaissance et d'intervention. Des avancées ont eu lieu vers une prise de conscience institutionnelle de la nécessité de travailler de manière plus intégrée. Des programmes systématisent la collecte d'informations et des juxtapositions de celles-ci s'opèrent. Un cloisonnement historique entre les disciplines pèse cependant encore sur les modes d'évaluation. Seront discutés ici, entre autres, des facteurs et fenêtres de vulnérabilité et le degré de précaution plus grand à accorder aux groupes vulnérables, par une approche de nature écosystémique qui décroïsonne les disciplines et en conjugue les informations.

MOTS-CLEFS: Environnement et Santé, approche écosystémique, enfants et groupes vulnérables, évaluation des risques des substances chimiques

Abstract

Our technological society has deeply modified our relationship with nature. The environment is increasingly contaminated with a number of toxic substances. Human activities threaten the integrity of the ecosystems that we depend on, our health and this of the next generations. Addressing environment and health risks involves several bodies of knowledge and management. This paper shows that the level of protection that is assessed depends on the approach chosen. With an approach that remains mono - disciplinary, with frontiers as set historically between fields, the need for protection appears to be lower than when a trans - disciplinary approach is used. While agencies are increasingly aware of the need of a more integrated approach, the ecosystemic approach presented here can speed the changes. Indeed, it combines, rather than simply juxtaposes, bodies of information. Various levels of complexity are addressed, including windows and factors of vulnerability to toxicants of sensitive groups.

KEY WORDS: Environment and Health, ecosystemic approach, children and sensitive groups, risk assessment of chemical substances.

1. Introduction

L'évolution de nos sociétés industrielles et technologiques a considérablement modifié notre rapport à l'environnement, entraînant sa contamination croissante par une multitude de substances. Des émissions polluantes dans l'air, dans l'eau, dans les sédiments et sur les sols accompagnent une utilisation massive de nos ressources (usage de combustibles fossiles dans l'industrie, pour le chauffage urbain, pour le transport industriel, la circulation automobile, la métallurgie extractive et le

raffinage,... D'autres émissions résultent de la production de substances chimiques, de l'utilisation de pesticides à des fins agricoles et autres, de la manufacture de produits alimentaires, de celles de produits de consommation (textiles, produits d'entretien, cosmétiques, jouets, électronique,...). Des substances préoccupantes persistantes sont identifiées dans l'environnement ainsi que dans les organismes vivants, espèce humaine comprise. Des accidents ont montré la vulnérabilité de notre société et éveillé l'inquiétude légitime des citoyens à la sécurité de la chaîne alimentaire. Progressivement la société s'est rendue compte des implications écologiques de la production et de l'utilisation de substances chimiques¹.

Une approche écosystémique est intéressante pour traiter de cette problématique qui couvre nombre de champs de connaissance et d'intervention. Seront abordés ici quelques uns des niveaux de complexité impliqués, afin d'éclairer par des exemples le fait que les activités anthropiques sont susceptibles de menacer l'intégrité des écosystèmes dont nous dépendons, la santé des populations d'aujourd'hui et celle des générations futures.

2. Complexité: établir le rôle d'un agent chimique dans des impacts de santé

La charge des maladies liées aux facteurs environnementaux est estimée globalement à 23-33% de la charge globale de maladies (Smith et al, 1999; Unece, 2001), avec de grandes variations entre régions du monde. 43% de cette charge concerne les enfants de moins de 5 ans (qui représentent 12% de la population). Pour certaines maladies, le facteur est identifié, mais pour nombre d'entre elles, un ou des facteurs ou conditions environnementales peuvent être associés à une dégradation de la santé. A cet égard, l'EEA (European Environment Agency, 2003) a rappelé la difficulté de l'établissement du rôle d'un agent chimique dans un impact de santé. La mise en évidence d'une relation de causalité et la compréhension du mécanisme d'action sont plus complexes que l'observation d'une association entre paramètres. Disposer d'informations adéquates peut prendre un temps considérable (Tableau 1).

Tableau 1: Association entre un agent et un impact de santé, relation de cause à effet et mécanismes d'action. Clarification remise en avant par l'Agence Européenne de l'Environnement (2003).

| | | Temps pour produire l'information |
|-----------------------|---|--|
| Association | Lien faible à fort entre un impact env. ou de santé et un agent: On observe que X peut causer Y | de quelques semaines à plusieurs années ou plusieurs décennies |
| Relation de causalité | Connaissance appuyée par des données substantielles du lien entre un impact environnemental ou de santé et un agent: On sait que X engendre Y | de quelques années à plusieurs décennies |
| Mécanisme d'Action | Connaissance appuyée par des données substantielles du lien entre un impact environnemental ou de santé et un agent et compréhension des raisons du lien causal. On comprend pourquoi et comment X engendre Y | Habituellement plusieurs décennies |

3. Dose sans effets, contamination maximale admissible et exposition

Au fur et à mesure de l'amélioration des méthodes analytiques relatives à certains polluants, l'on a détecté des effets de ces polluants sur la santé à des doses de plus en plus faibles. Il est évidemment important pour la protection de la santé publique d'éviter l'apparition d'effets néfastes sur la santé. Cela nécessite de connaître les doses qui y sont éventuellement associées. Ces informations sont fournies par des études toxicologiques. Dans ces études, l'on utilise un bioindicateur pour représenter la dose. La teneur en polluant dans un fluide de l'organisme (le sang, par exemple) peut servir de bioindicateur. Se présente éventuellement une gradation des effets selon les doses de contaminant. Cette relation "dose - effet" fournit en outre une information sur la dose la plus élevée qui ne donne pas lieu à l'observation d'effet.

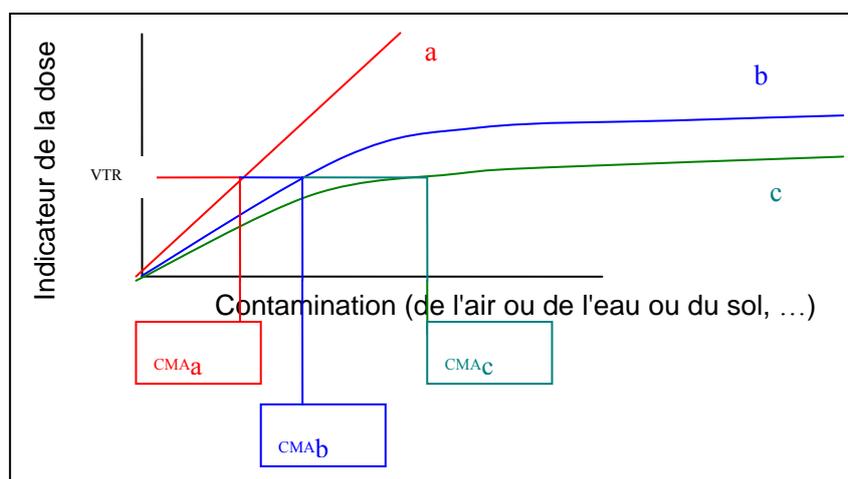
Des études épidémiologiques sur l'homme pour le polluant en question, quand elles sont disponibles, permettent de se faire une idée des doses que rencontrent certains groupes de populations et de voir si les taux de bioindicateurs représentant la dose restent ou non en - deçà des doses associées à des effets. Certaines études, plus élaborées, examinent les associations entre taux d'un bioindicateur et contamination. Elles peuvent contribuer à une estimation de la concentration en polluant P à ne pas dépasser dans un milieu. Ainsi, des "méta - analyses" tentent de couvrir un

¹ Le livre "Silent Spring" de Rachel Carson évoquait dès 1962 l'impact des activités humaines sur la nature.

large intervalle de degrés de contamination, en regroupant des données de diverses études épidémiologiques. Elles cherchent à déduire une relation générale entre imprégnation de l'organisme et contamination, en vue du dégagement d'informations prénormatives.

Examinons le cas d'une exposition chronique et le dégagement de la concentration "maximale admissible" (CMA) pour le milieu considéré. Steenhout (1987) a montré les lacunes et les enjeux de l'approche classique, dans laquelle ces informations ne sont associées qu'au niveau final de l'élaboration de normes, au travers de méta – analyses. Celles-ci juxtaposent en réalité des mesures provenant d'études épidémiologiques et toxicologiques menées sur des sujets différents, en des moments différents, relativement à des expositions présentes et passées différentes, avec des méthodes (et des variations analytiques) différentes, etc. Il n'y a pas non plus dans la littérature de consensus quant au choix des études à prendre en considération pour une telle évaluation. La figure 1 reprend divers types de relations empiriques pouvant être obtenues. Plus la curvilinearité de la courbe est prononcée, plus un plateau dans les taux d'un bioindicateur apparaît tôt par rapport aux degrés de contamination examinés (ou moins l'incrément d'imprégnation de l'organisme s'accroît, passé un certain degré d'exposition). L'enjeu est sérieux. Il peut apparaître moins nécessaire de limiter la contamination de l'environnement par P si une méta – analyse débouche sur une relation curvilinéaire.

Figure 1: Enjeux et sévérité relative de concentrations maximales admissibles (CMA) correspondant à une dose sans effet, selon le type de relation empirique (linéaire (a) ou curvilinéaires (b-c)) entre indicateur de la dose et degré de contamination d'un milieu environnemental. D'après Steenhout (1987).



Au contraire, la norme à préconiser devra être nettement plus sévère sur base d'une relation linéaire ou d'une relation dont la pente de la portion linéaire est forte². Notre approche, en prenant en compte l'imprégnation de l'organisme par diverses voies (inhalation, ingestion d'aliments et d'eau, inhalation et ingestion de poussières, voie dermique) et l'âge, a montré que le maintien dans l'organisme de taux compatibles avec l'absence d'effets et la protection de la santé publique nécessitent en réalité - et pour chacun des milieux de l'environnement -, des concentrations maximales admissibles plus basses que celles qui sont déduites de l'approche classique. L'approche classique omettait de prendre en considération, même pour un polluant isolé, l'ensemble des micro-doses auxquelles l'homme est soumis à partir de sources variées et elle admettait implicitement que la somme des doses de polluants provenant de diverses sources, même si celles-ci sont individuellement réputées tolérables, atteignait un total qui l'était encore. Les réglementations étant scindées sur certains compartiments de l'environnement, des normes d'immission pour un compartiment donné, même si elles sont individuellement respectées, peuvent conduire dans l'organisme à des teneurs qui ne respectent pas le degré de protection de la santé souhaité par les mêmes autorités. Il y a absence de compatibilité entre ce qu'on considère comme taux normaux limites dans l'organisme pour un polluant et ce que l'on fixe comme contaminations limites dans

² Sans entrer ici dans les détails, l'approche écosystémique étudie également la contribution relative de divers facteurs intrinsèques et extrinsèques susceptibles d'intervenir, par exemple, dans l'émergence d'une forme de relation linéaire ou non linéaire teneurs dans l'organisme et contamination.

l'environnement. L'approche écosystémique décloisonne les évaluations, depuis les impacts des contaminations jusqu'à l'évaluation de l'efficacité des normes. C'est notamment la conjugaison des informations et l'éclairage sur des paramètres encore souvent maintenus en boîte noire qui débouchent sur la définition de CMA plus sévères (plus basses) que ceux déduits des approches classiques pour assurer le degré de protection nécessaire.

4. Fenêtres de vulnérabilité

Notre approche écosystémique travaille conjointement sur de multiples sources, contrairement au mode normatif institutionnel "mono-source". Elle examine des groupes socialement défavorisés vivant dans un environnement de moindre qualité. A l'examen des inéquités environnementales liées à des vulnérabilités socio-économiques, s'ajoute l'étude des différences entre taux de bioindicateurs selon l'âge. En travaillant de manière coordonnée sur des thèmes encore souvent cloisonnés, il a été possible d'étudier, sans méthode invasive, les contributions respectives, dans les teneurs de bioindicateurs observées, de l'exposition et de la cinétique des transferts de polluants dans l'organisme. Les résultats montrent qu'à exposition comparable, la cinétique des transferts de Plomb dans l'organisme est plus intense chez le jeune et se ralentit progressivement jusqu'à l'adolescence, pour atteindre ensuite la cinétique de l'adulte. Une explication biologiquement plausible est apportée de manière pionnière à l'observation de taux de bioindicateurs plus élevés à des étapes précoces de développement chez les enfants, notamment dans le cas du Plomb. Tandis que les normes sont classiquement établies pour le cas de l'adulte moyen, notre approche a mis en évidence les fenêtres de vulnérabilité chez l'enfant; les déterminants d'exposition et la nécessité d'une prise en compte jointe de ces facteurs pour élaborer des réglementations plus protectrices. L'on démontre ainsi que l'enfant n'est PAS un adulte en petit. Il joue, se comporte, agit autrement que les adultes. Son exposition est accrue par la présence de diverses sources à sa hauteur, par la mise à la bouche des doigts, par l'adhérence sur ses doigts mouillés de particules de poussière. Il mange, boit et respire dans des proportions qui, pour sa taille, diffèrent du cas des adultes. Son métabolisme est différent. La susceptibilité aux toxiques peut être accrue à des stades de développement et de la croissance sensibles aux substances chimiques. L'approche a contribué à attirer l'attention à la vulnérabilité de l'enfant. Travailler de manière intégrée ouvre également d'autres possibilités d'intérêt public et, entre autres, d'identifier les expositions, les facteurs socio-économiques et nutritionnels et les conditions d'habitat, d'évaluer en combien de temps des taux critiques de polluants sont atteints selon le degré d'exposition, l'âge et l'imprégnation antérieure de l'organisme, d'estimer quel est le temps de détoxification de l'organisme, de déterminer le degré de protection nécessaire à l'enfant et de quantifier l'efficacité relative de telle ou telle mesure de réduction de l'exposition et d'amélioration des conditions de vie dans habitats urbains en crise (Steenhout, 1987, 1988,a,b; 1989, 1991b, 1992, 1992b-94, 2001, 2007).

5. Environnement et santé - Variété des expositions

L'OMS définit la santé comme "*un état de complet bien-être physique, mental et social*" et qui "*ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité*". L'accès au logement en est une des dimensions. Le droit au logement est un droit fondamental³. Au-delà d'avoir un toit au-dessus de sa tête, c'est aussi avoir un "chez-soi" incluant l'accès à des ressources de qualité (eau potable, salubrité de l'environnement intérieur, espace par habitant, innocuité des matériaux, des produits et articles utilisés, température, humidité, ventilation, éclairage, bruit, ...), qualité de l'environnement extérieur, etc, ...). Ces déterminants de la santé rejoignent des préoccupations relevant du logement durable. Des conditions de durabilité, de soutenabilité et d'éco-efficience du logement entrent dans sa définition⁴, avec ces aspects de pérennité des matériaux, de qualité constructive et d'adaptabilité

³ Art.23 de la Constitution, complétée en 1994. "*Chacun a le droit de mener une vie conforme à la dignité humaine. Ce droit comprend le droit à un logement décent*". Divers droits économiques, sociaux et culturels sont inclus. Font partie de ceux -ci « le droit à la sécurité sociale, à la protection de la santé et à l'aide sociale, médicale et juridique ; (...) le droit à la protection d'un environnement sain ».

⁴ telle que définies en 2002 par le 3^{ème} colloque sur le logement durable tenu en même temps que la 13^{ème} conférence des Ministres Européens du Logement. Ces conférences régulières sont informelles du fait que le thème du logement n'est pas une compétence directe de l'Union et est du ressort des Etats Membres.

aux besoins des occupants, des aspects socio-économiques, de santé et de soutenabilité financière et des aspects environnementaux (type d'énergie utilisée, consommation énergétique pendant le chantier et durant tout le cycle de vie du logement, caractère renouvelable des matériaux de construction, réhabilitation des sols, respect de la biodiversité, gestion des déchets, etc).

L'abord de tous ces aspects sortirait du cadre de cet exposé. Examinons ici la question des expositions et la santé. L'on passe à l'intérieur des bâtiments un temps considérable (Tableau 2).

Tableau 2: Temps passé à l'intérieur et à l'extérieur (d'après Steenhout).

| | Adulte | Enfant: été | Enfant: hiver |
|-----------------|--------|-------------|---------------|
| Logement | 13h | 13h | 15h |
| Travail, école | 8h | 4h | 6h |
| Transport | 2h | | 1h |
| Extérieur /cour | 1h | 3h / 4h | 1h / 1h |

L'environnement intérieur comporte diverses sources d'émission, dont les matériaux utilisés dans la construction, les produits et les articles de rénovation, de nettoyage et de maintenance du bâti, ainsi que d'autres activités intérieures telles que la cuisson des aliments, des activités de loisirs, le fait de fumer, etc. De nombreux agents sont susceptibles de contaminer l'air intérieur du logement, du lieu de travail ou de l'école (CO (monoxyde de carbone), NO_x (oxydes d'azote), COVT (composés organiques volatils totaux) ou COV individuels (hydrocarbures aromatiques, cétones, alcools, éthers, ...) dont des agents cancérigènes (nicotine, benzène, formaldéhyde,...), particules (de diamètre $\leq 10\mu\text{m}$ (PM10), $\leq 2.5\mu\text{m}$ (PM2.5) ou $\leq 1\mu\text{m}$ (PM1)). La contamination de l'air intérieur dépend de divers facteurs tels que le manque de ventilation et de renouvellement d'air, certaines isolations pour économiser l'énergie et lutter contre le bruit, la transformation de diverses substances en d'autres composés, certains pouvant changer de phase, l'adsorption de certaines substances sur des particules, le dépôt de particules sur des surfaces (sol, mobilier, ...) et la remise en suspension dans l'air avec le mouvement de masses d'air, le piégeage de certaines substances dans les textiles et les fournitures et leur relargage plus ou moins différé, l'étanchéité relative des châssis et ouvertures et l'infiltration de contaminants provenant de l'extérieur, certaines tailles de particules pénétrant plus aisément dans les bâtiments, les systèmes de conditionnement d'air facilitant la diffusion d'agents physiques, chimiques ou biologiques, l'exfiltration de l'air, etc...). Les polluants sont bien souvent plus concentrés à l'intérieur qu'à l'extérieur. De plus, diverses voies contribuent à l'exposition: l'inhalation mais également l'ingestion de poussières, la voie dermique, l'alimentation, la consommation d'eau et d'autres boissons, l'usage de produits d'hygiène et de soins, etc. Des activités anthropogènes (trafic, industries, ...) contribuent également à la contamination de l'air ambiant, de l'eau destinée à la production d'eau à usage alimentaire, des sols, etc) et participent à l'exposition globale subie. Des expositions à des cocktails de diverses substances se produisent.

L'approche écosystémique s'est intéressée, entre autres, à l'évaluation de déterminants de l'exposition et de facteurs de vulnérabilité, à celle de l'exposition à divers métaux et à des combinaisons d'expositions au Plomb, à certains composés organiques et au bruit (Steenhout, 1987, 1988b, 1992-94, 2005, 2007).

6. Contamination des écosystèmes – reconcentration dans la chaîne alimentaire

L'écosystème est un système ouvert qui échange énergie et matière avec l'extérieur. C'est l'association d'une communauté vivante (la biocoenose) à un environnement physico-chimique spécifique (le biotope) (Figure 2). Le biotope est caractérisé par un ensemble de facteurs abiotiques physiques ou chimiques (localisation géographique, intensité du flux solaire, vent, température, hygrométrie, concentration en éléments minéraux). La biocoenose est l'ensemble des êtres vivants (microorganismes, plantes, animaux) qui peuplent un même biotope. Un écosystème est défini par un ensemble de facteurs et la conjonction de ceux-ci en fait l'originalité.

Après émission, il y a diffusion du polluant. Des facteurs physico-chimiques et/ou biologiques contribuent à la dispersion des polluants libérés dans l'air, les sols, les eaux continentales ou océaniques, les sédiments loin des lieux d'émission. Le polluant peut être absorbé dans les organismes et s'accumuler. Un phénomène d'amplification biologique de la pollution existe dans les écosystèmes contaminés, pour de nombreux polluants organiques et des éléments-traces

métalliques. L'exposition à un polluant résulte en des effets aigus ou chroniques sur les êtres vivants. Des transformations des substances peuvent également se produire dans des milieux variés, avec la possibilité pour les organismes qui y vivent, d'une neutralisation, d'une réduction ou, au contraire, d'une exaltation de la toxicité. Mais au-delà de réponses des individus - réponses qui, selon les doses, incluent éventuellement la mort d'une partie d'entre eux -, les conséquences au plan écologique sont toujours supérieures aux effets induits sur les individus isolés. Des effets sub-létaux sur certaines populations peuvent s'avérer plus importants que des effets létaux, modifier les relations entre prédateurs et proie, affecter le potentiel biotique d'espèces ainsi que la structure de l'écosystème et son fonctionnement. Divers impacts sont également susceptibles de donner lieu à des perturbations globales des cycles d'éléments biogènes⁵, notamment lorsque la capacité de décomposition de la matière organique est atteinte et les transformations entre formes minérales et organiques, inhibées. La pollution de l'environnement: ne se réduit jamais au rejet d'un contaminant dans un milieu ou un habitat donné près de la source d'émission et à ses effets directs dans la zone d'émissions.

Pour illustrer les relations entre prédateurs et proies dans les chaînes alimentaires, citons l'usage du DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane), en particulier dans les années 50 et 60. Les effets du DDT touchent de multiples espèces⁶. Un exemple avec des impacts catastrophiques en cascade ayant résulté de la dispersion de DDT par avion au-dessus de Bornéo en vue d'éradiquer les moustiques vecteurs de la malaria⁷. Parmi les autres effets, la chute des toits de chaume: le DDT avait détruit les larves de guêpes parasites qui pondaient leurs œufs dans le chaume. Or ces guêpes contrôlaient les effectifs de chenilles. Celles-ci, se trouvant sans prédateurs, avaient alors proliféré et dévoré le chaume. Sans toit, les maisons ont été envahies de mouches. Du DDT a été réutilisé, pour détruire celles-ci et ce faisant, des surfaces et les murs intérieurs ont pu être contaminés. Les lézards gecko dont ces mouches étaient la proie se sont avérés accumulateurs du toxique, fort sensibles au DDT et plus facilement capturables par les chats domestiques. Les chats ont donc ingéré du DDT en mangeant les lézards (et il semblerait en outre que les chats aient également pu s'intoxiquer de manière aiguë en léchant leur fourrure imprégnée de DDT par frottement contre des surfaces traitées). Empoisonnement et mort des chats. Les chats étaient prédateurs des rats. Ceux-ci, en absence des chats, ont pu se multiplier de manière exponentielle. Trois autres menaces très sérieuses sont alors intervenues. Les rats étaient porteurs de la peste bubonique. Et du typhus. En plus, ils sont entrés en compétition avec la population dont ils mangeaient les réserves de céréales. En fin de compte, pour venir à bout des problèmes induits par l'introduction du DDT, il a fallu capturer de nouveaux chats ailleurs. Transportés par avion et munis d'un parachute, ils ont été largués au-dessus de l'île!

En Europe et aux USA, la malaria a été éradiquée mais des études ont montré que du DDT se retrouvait dans le lait maternel et les tissus humains (Egan et al, 1965; Bouwman et al, 1992;

⁵ Les éléments biogènes sont ceux constitutifs de la matière vivante. Certains éléments-traces peuvent être essentiels à faible dose et toxique à forte dose; d'autres être toxiques sans seuil.

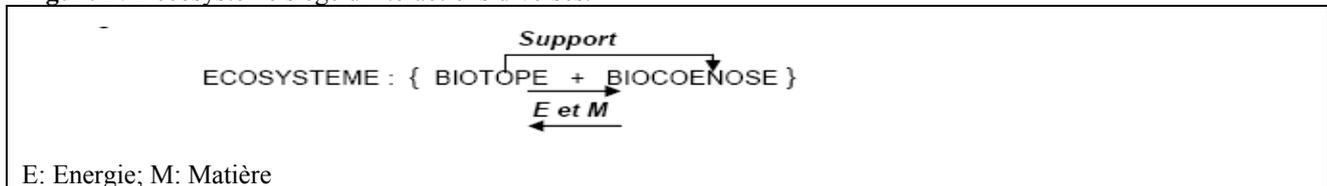
⁶ Cet insecticide a affecté les effectifs de nombreuses populations aviaires. Il fragilise les œufs par réduction de l'épaisseur des coquilles. Suite aux traitements en 1949-1957 par le DDD (insecticide voisin du DDT) pour éliminer un moucheron, le facteur de concentration de DDD dans les tissus d'oiseaux piscivores à Clear Lake (Californie) est de 178 500 fois par rapport aux eaux du lac. La contamination des eaux marines du plateau continental par les organochlorés et autres pesticides affecte la productivité primaire. La diminution de la biomasse phytoplanctonique conduit à une réduction des effectifs de poissons. Le DDT a progressivement été banni des usages agricoles en Europe (Dir. 79/117 et 83/131). Son usage comme intermédiaire de la production en système fermé d'un autre pesticide, le dicofol, est alors autorisé. Mais suite à un relargage de dicofol en Floride dans les années 80, des perturbations du système endocrinien et la féminisation du système reproducteur des alligators ont été observées. Comme le DDT, le dicofol est très toxique pour les organismes aquatiques. Il est hautement bioaccumulatif et se dégrade lentement dans le sol et les sédiments. Le dicofol est utilisé sur une grande diversité de fruits, légumes, plantes ornementales et cultures de plein champ comme miticide et acaricide.

⁷ G.Harrison (1968. *Ecology: the new great chain of being*. Natural History, 77(10), Dec:8-16) attribue l'histoire à un biologiste (non nommé) ayant travaillé 5 ans à Bornéo. Il pourrait s'agir de Gordon Conway, un entomologiste expert des insectes tropicaux qui s'est trouvé au nord de l'île en 1960-1966 et qui a lui-même évoqué l'histoire dans sa propre publication en 1972.

Nous ne discutons pas ici du problème du paludisme lui-même ni de la légitime recherche de traitements efficaces et sans danger.

Dorner et al, 2002). Divers pays ont pris des initiatives de bannissement du DDT à partir de 1972. Au niveau international, certaines utilisations du DDT à des fins de santé publique restent autorisées⁸. D'autre part, les moustiques ont des temps de génération rapides, les traitements éradiquent diverses autres espèces, dont des espèces utiles (des pollinisateurs, par exemple), tandis que des souches de moustiques encore plus résistantes sont sélectionnées. Le réchauffement climatique lui-même favorise des modifications de la biodiversité et l'arrivée d'espèces à potentiel invasif, dont des moustiques.

Figure 2: L'écosystème siège d'interactions diverses.



7. Evaluation des risques, ampleur de l'effort

De 1 million de tonnes en 1930, la production mondiale de substances chimiques est passée à plus de 400 millions de tonnes de nos jours. En Europe, une distinction a été introduite entre substances nouvelles et existantes. Pour les substances "nouvelles" (sur le marché après septembre 1981), un système de notification a été mis en place. Des résultats de tests doivent être soumis à l'autorité compétente. Le degré d'informations requis est d'autant plus important que le volume de production (ou d'importation) annuelle est élevé. D'autre part, quelques 100116 substances "existantes" avaient été répertoriées comme présentes sur le marché avant septembre 1981. De grandes lacunes subsistent dans les connaissances relatives à la toxicité, l'écotoxicité, les usages, l'exposition et le devenir de ces substances (Allanou, 2003). L'indépendance des acteurs émetteurs de considération sur ces CMA est évidemment primordiale.

Il n'y a pas si longtemps, on comptait encore sur les processus de dilution "inerte" d'une quantité définie de polluant dans un milieu donné pour calculer, par simple proportion, un taux de contamination paraissant apte à assurer un facteur de protection raisonnable. Or, en dépit de la rapidité de la dispersion des contaminants dans l'ensemble de l'écosystème, il se produit des reconcentrations à l'intérieur de la chaîne alimentaire, jusqu'à l'homme (voir *infra*). La non prise en compte de ces reconcentrations conduit à des sous-estimations des impacts et à des normes non suffisamment protectrices.

La mise en place de l'évaluation des risques des substances chimiques s'est historiquement focalisée d'abord sur les dommages potentiels sur l'homme. Mais à partir des années 90, on a vu grandir l'intérêt pour l'application de principes analogues pour l'évaluation des risques écologiques⁹ des substances

⁸ En 1998, dans le cadre des négociations de la Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants (POP), les PCB ont été bannis mais le traité a suivi l'OMS en ce qui concerne le DDT. Selon l'OMS, il était prématuré de renoncer au DDT, cela conduirait à un accroissement de la morbidité et de la mortalité en l'absence d'autres moyens de lutte efficace contre les vecteurs de la malaria dans mains pays où elle est endémique. Pour l'OMS, un usage du DDT à l'intérieur des habitations, strictement réglementé pour réduire l'entrée des moustiques poserait peu de problèmes environnementaux et d'autres solutions seraient développées internationalement. Selon l'OMS, la bioaccumulation et les dangers du DDT pour l'environnement étaient liés à son usage massif antérieur dans l'agriculture et en comparaison, les quantités de DDT pour le contrôle des maladies sont négligeables. La convention acceptée en 2001 par 90 pays et d'application depuis mai 2004 autorise le DDT et diverses autres substances pour cet usage. Aussi serait-il nécessaire d'étudier les extensions du phénomène de résistance des insectes aux pesticides et l'efficacité de lutttes anti-vectorielle par des substances issues de la décomposition des litières végétales dans les hydrosystèmes et toxiques pour les larves, de suivre les quantités de DDT réellement utilisées, les modes d'application, les contaminations, etc...

⁹ En 1983, le National Research Council (USA) définit l'évaluation des risques pour la santé humaine (Human Risk Assessment, HRA) comme "la caractérisation des effets potentiellement dangereux pour la santé suite aux expositions humaines à divers dangers présents dans l'environnement". En 1992, l'US. Environmental Protection Agency (US.EPA) décrit l'évaluation des risques écologiques (Ecological Risk Assessment, ERA) comme "un processus évaluant la probabilité que des effets écologiques dangereux puissent se produire ou résultent de l'exposition à un ou plusieurs agents de stress". En 1993, le NRC élargit sa définition initiale à "la caractérisation des effets écologiques dangereux d'expositions environnementales à des dangers imposés par les activités humaines". Des procédures ont été proposées. En Europe, le Règlement du Conseil 793/93 et le Règlement 1488/94 de la Commission pour les substances "existantes" et la Directive 93/67/EEC pour les substances "notifiées". Les étapes sont établies (1) l'identification des

chimiques, puis depuis 2001, une évolution vers le système REACH regroupant le cas des substances nouvelles et des celui des substances existantes¹⁰.

8. Approches de la complexité et continuum Environnement - Santé

Le besoin d'une approche liant Environnement et Santé a émergé progressivement dans les politiques internationales et ces liens occupent une place de plus en plus centrale dans la formulation et l'exécution de la politique environnementale des pouvoirs publics.¹¹ Au niveau institutionnel, la volonté de protéger les groupes vulnérables s'est développée essentiellement avec la préparation de la 4^{ème} conférence de l'OMS en 2004 et la coopération croissante avec la Commission Européenne. L'OMS - Région Europe a défini des objectifs prioritaires pour un CEHAPE (Children's Environment and Health Action Plan for Europe). D'autre part, en 2003, en vue de la proposition par la Commission d'une Stratégie Européenne Environnement et Santé, la DG Environnement lance l'initiative SCALE (Scientific evidence, focused on Children, meant to raise Awareness, improve the situation by use of Legal instruments & ensure a continual Evaluation of progress made; European Commission, 2003) et des groupes de travail dont les rapports et recommandations viennent appuyer la stratégie en préparation (par exemple pour les métaux lourds ou le biomonitoring des enfants (SCALE-TWG, 2004 a,b). Une approche plus globale et une attention accrue aux groupes particulièrement vulnérables comme, par exemple, les enfants, sont requises par la Commission Européenne (6ème programme d'action communautaire en matière d'environnement), pour prendre en considération les relations réciproques entre différents risques pour la santé liés à l'environnement. Pour plusieurs problèmes écologiques, des stratégies dites "thématiques" (par exemple la qualité de l'air) prônent de combiner différentes mesures en vue d'atteindre les objectifs environnementaux, de surveiller l'efficacité des normes existantes et d'identifier lacunes et priorités futures.

L'interdisciplinarité progresse. Les secteurs de la santé et de l'environnement développent des thématiques communes de manière plus intégrée. La conférence de 2004 a débouché sur une déclaration en faveur d'une approche systématique pour évaluer et minimiser les effets néfastes de polluants dans l'environnement, construire des systèmes d'information et de monitoring et compiler les mesures politiques adéquates. Le cloisonnement historique entre les disciplines et les

dangers, (2) l'évaluation dose effet, (3) l'évaluation des expositions, (4) la caractérisation du risque, en faisant si nécessaire intervenir des facteurs de sécurité pour tenir compte de la qualité relative de données ou de l'existence de lacunes dans les connaissances. Les conclusions (nécessité de réduction des risques, de davantage d'information; ...) interviennent dans le processus de gestion des risques. Des documents techniques de guidance (TGD) encadrent les évaluations. Les substances très préoccupantes sont l'objet d'attentions particulières, en particulier celles qui sont persistantes, bioaccumulatives et toxiques (PBT), très persistantes et très bioaccumulatives (VPVB), et cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR).

¹⁰ La Commission Européenne a élaboré en 2001 un *Livre Blanc* relatif à une stratégie communautaire des substances chimiques. La proposition révisé le système applicable aux substances "nouvelles" pour le rendre plus efficace et unifier les efforts d'évaluation des substances "existantes" et "nouvelles". La finalité de la proposition de la Commission est le développement durable. Le règlement REACH 1907/2006 du Parlement Européen et du Conseil ("Registration, Evaluation et Authorisation of Chemicals") est adopté fin 2006, avec des amendements et des compromis qui réduisent certaines des exigences de la proposition, après 7 années de débats notamment quant à la manière d'assurer l'équilibre entre la protection de la santé publique et de l'environnement et le maintien de la compétitivité du secteur de la chimie. Depuis, une nouvelle Agence européenne des produits chimiques (ECHA) a entrepris l'implémentation de REACH avec une approche par paliers et un effort proportionné aux quantités produites ou importées, aux propriétés intrinsèques, à l'exposition et/ou à l'utilisation des substances chimiques.

¹¹ En 1989 à la conférence de l'OMS - Europe, qui suit le rapport Bruntland. Au vu de recommandations de l'Agenda 21 issus de la Conférence des Nations - Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) en 1992 à Rio, la 2ème conférence OMS (1994) introduit le concept d' "Environmental Health Action Plan for Europe"(EHAPE), avec la volonté *d'utiliser une démarche plus globale et plus intégrée pour créer des cadres de vie sains et écologiquement rationnels au niveau local et de comprendre beaucoup mieux les relations réciproques entre les nombreux facteurs qui contribuent au bien-être de ceux qui y vivent.* En 1998, les Etats membres de l'OMS Europe adoptent "Santé 21". Le but 10 concerne la réduction des expositions des populations à des contaminants et la santé. La 3ème conférence OMS soutient l'implémentation de plans nationaux (NEHAP) et l'intégration de préoccupations relatives à l'environnement et à la santé. Les actions nationales se situent également dans le contexte de la stratégie de l'OCDE et des problèmes d'environnement en rapport avec la santé, l'équité, l'emploi, l'information, la démarche participative, l'accès à la justice en matière d'environnement, l'éducation à l'environnement, l'urbanisation et l'aménagement de l'espace.

apprentissages pèse cependant encore sur les modes d'évaluation. De longue date, les structures de recherche se sont développées davantage par domaines distincts que de manière transdisciplinaire. Les langages des uns et des autres restent encore étrangers. Outils et méthodes ne sont pas toujours prévus pour relier des visions séparées. La complexité est divisée en parcelles.

L'approche écosystémique a anticipé et anticipe encore de plusieurs degrés de liberté les demandes d'intégration actuelles des stratégies européennes. Des conclusions et recommandations issues des travaux sont intervenues dans des prises de mesures ou parfois ont initié ces décisions (cfr SCALE-TWG, 2004a,b, notamment). Elle étudie le continuum Environnement – Santé et propose une solution élégante pour la distinction des contributions des uns et des autres facteurs. Elle considère l'espèce humaine comme une composante de l'écosystème (Tableau 3). Une autre caractéristique est la prise en compte ici des variations dans le temps des paramètres, une autre différence avec la démarche des approches classiques qui postulent souvent (et implicitement) que le système est à l'état stationnaire.

"Il faut relier les visions fournies par différents champs de connaissance, opérer des synthèses transdisciplinaires et non de simples juxtapositions" (Kourilsky, 2002). Travaillant par conjonction et non par simple juxtaposition, notre approche quantifie les processus et contribue à une analyse de la causalité des associations. Notre approche coordonnée apporte également des critères pour l'utilisation de données épidémiologiques pour l'évaluation des risques chimiques sur la santé et des modes de validation (Steenhout, 1987, 1991; 2007). Des préoccupations semblables ont vu le jour depuis (WHO, 2000; SCHER/SCCP/SCENIHR, 2009). L'approche écosystémique pourrait être en mesure de faire gagner du temps à l'élaboration concrète de politiques coordonnées de l'environnement et de la santé.

Tableau 3: Complexité des facteurs et continuum Environnement et Santé (d'après Steenhout, 1987, 1992)

| | |
|--|--|
| Des activités industrielles et autres, contaminant le milieu naturel | Facteurs et déterminants de l'exposition et fenêtres diverses de vulnérabilité interviennent. L'approche écosystémique propose une solution élégante pour la distinction des contributions des uns et des autres |
| La vulnérabilité sociale (les conditions de vie, le statut nutritionnel, ..) | |
| Une multiplicité de sources d'exposition au même polluant, des expositions "cocktail" à plusieurs polluants | |
| Des variations spatiales des expositions (environnement, milieu de vie, logement, travail, école) | |
| Des variations temporelles de ces expositions, en intensité, fréquence et durée | |
| Des expositions survenant dès la conception et à des stades sensibles du développement et de la croissance, en des états de santé ou de maladies, chez des individus plus ou moins sensibles (statut immunitaire, les différences génétique,...) | |
| Des sources donnant lieu à des absorptions de polluant(s) par diverses voies (inhalation, ingestion, voie dermique) | |
| Des doses atteignant des tissus, des organes, des fonctions - cibles | |
| Des effets immédiats ou différés, éventuellement irréversibles | |
| La possibilité de synergies magnifiant les impacts, ou celle d'antagonismes | |
| Etc | |

References

- ALLANOU R, HANSEN B AND VAN DER BILT Y (2003) *Public availability of data on EU high production volume chemicals*. Part 1 p91-95, June 2003; Part 2 p59-64, July-Aug 2003. *Chimica Oggi* (Chemistry Today).
- BOUWMAN H, BECKER P. J, COOPAN R M and REINECKE A.J (1992). *Transfer of DDT used in malaria control to infants via breast milk*, p 241–250, *Bull World Health Organization*, 70(2).
- DÖRNER G and PLAGEMANN A (2002). *DDT in human milk and mental capacities in children at school age: an additional view on PISA 2000*. p 427-431; *Neuro Endocrinol Lett*. 2002 Oct-Dec; 23(5-6).
- EGAN H, GOULDING R, ROBURN, TATTON J.O'G. (1965). *Organo-chlorine Pesticide Residues in Human Fat and Human Milk*. p 66–69, *Br Med J.* , July 10; 2(5453).
- EUROPEAN COMMISSION (2003 and 2004) *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament and the European Economic and Social Committee. A European Environment and Health Strategy*. 37p. June 11th, 2003 [Decision COM:2003-338 final] and *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament and the European Economic and Social Committee. The European Environment and Health Action Plan 2004–2010*, [I: COM: 416 final].
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY - EEA (2003). *A Framework for Evaluating Complex Scientific Evidence on Environmental Factors in Disease Causation*, 16p. October 2003. *European Environment Agency*. Copenhagen.
- KOURILSKY François (2002) *Ingénierie de l'interdisciplinarité, un nouvel esprit scientifique*. 153 p, Ed. L'Harmattan, Paris, ISBN 2 7475 3547 9.

- SCALE TWG (2004 a, b) *Baseline and Final Report, Actions and recommendations for Integrated Monitoring of Heavy Metals*. By alphabetical order: R AERTGEERTS; I ALLEGRINI (CHAIR); L BARREGARD, G BIDOGLIO, M BIESIADA (CO-CHAIR); C BOREIKO, C BOUDET, A CASTANO, N CLAEYS, A FREUDENSCHUSS, S GALLOTTI, B GAWLIK, B HAZEBROUCK, L MIGLIORE, F NADER, S NILSSON, A PIETRODANGELO, B PITIÉ, M DE FÁTIMA REIS, C SAMPAIO, G SCHONING, A STEENHOUT (Assistant-Chair), I TODOROVA, G TRINGHAM, B WALTERS, U ZIELONKA. 56p. and *Baseline Report on an Action Plan and Options for Action for Biomonitoring of Children*. By alphabetical order: L BLOEMEN; E BRITS; P BOOGAARD; S CANNA MICHAELIDOU; L CASTELEYN (chair); N FRÉRY; A FUCIC; P HARRISON; M JAKUBOWSKI; L KNUDSEN (CO-CHAIR); M LEHNERS; C LORENTE ; J RAMET; M REIS; C SALA (co-chair); B SEIFERT; G SCHOETERS, A STEENHOUT; G TUSSCHER; C WATTIEZ; J VAN WIJNEN. 21p and Appendices, 378p. Technical WG on Integrated Monitoring, Editor for DG ENV, providing the Commission with technical assistance in developing an Action Plan 2004-2010, under the framework of the Environment and Health Strategy [Decision COM (2003) 338 final].
- SCHER/SCCP/SCENIHR (2009) *Opinion on Risk assessment methodologies and approaches for genotoxic and carcinogenic substances*. Scientific Committee on Health and Environment Risks - Scientific Committee on Consumer Products and Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Working Group by alphabetical order: H AUTRUP, J BRIDGES, G DEGEN, W.DEKANT, H GREIM, W HANKE, I MANGELSDORF, T PLATZEK, K RYDZYNQSKI, T SANNER, A. STEENHOUT, M VILUKSELA [and external experts I. ANUNDI , A. KNAAP , U. ANDRAE]. 47p. Editor: Health and Consumer Protection Directorate-General - DG SANCO, European Commission., Brussels. http://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scher/docs/scher_o_113.pdf
- SMITH R.K., CORVALÁN C.F.AND KJELLSTRÖM T.(1999). *How much global ill health is attributable to environmental factors?* *Epidemiology*, 10 (5).
- STEENHOUT A (1987). *Etude écotoxicologique de la circulation et de l'accumulation du Plomb chez l'homme et dans son environnement*. 398 p. Thèse de Doctorat en Sciences (Ph. D), 2 volumes, Université Libre de Bruxelles.
- STEENHOUT A (1988a). *Panorama de l'exposition au Plomb*. p 175-191. On invitation of Prof. L. Roche, Editor. *J. Toxicol. Clin. Environ.* , vol 8 n° 3.
- STEENHOUT A. (1988b). *How clean is clean? An ecotoxicological method for getting guidelines (air, dust, deposition, water) for lead, keeping children tooth and blood lead levels in the normal range*. p. 283-285. In: *Heavy Metals in the Environment*, vol 2. CEP Editor, for European Commission, Edinburgh.
- STEENHOUT A (1989). *Lead dose profiles and the response times of the human body: A crucial Pb kinetics information to be related to effects*. p. 402-405. In: *Heavy Metals in the Environment*, vol 1. CEP Editor, for European Commission, Edinburgh.
- STEENHOUT A (1991). *The ecotoxicological risk assessment model for human exposure: The case of lead*; vol 1, 81p; vol 2 (including validation exercises),77p, Dept of Environmental Health, University of Cincinnati, OH, for the National Center for Risk Assessment, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, USA.
- STEENHOUT A (1992). *Body lead distribution in children: Physiological significance of biomarkers values vs. age and curvilinear or linear relations with a first order kinetic*, p. 29-54. In: *Impact of Heavy Metals on the Environment* (J-P Vernet, Editor); Elsevier Trace Metals in the Environment Series (on invitation of J.O.Nriagu, Series Editor), vol 2, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- STEENHOUT A (1992-94). *Directions for a methodology applicable to various elements & ecotoxicological studies on pollutants, safety & impacts on humans*. [In French: 1992, 40p, Fondation Roi Baudouin, Belgique - In English: 1994, 27p, National Center for Risk Assessment, US Environmental Protection Agency, RTP, NC., USA].
- STEENHOUT A (2001). *A health approach to urban areas in difficulties: focus on heavy metals*. p.85-112. In: "Neighbourhoods in Crisis and Sustainable Urban Development", Monograph, SCOPE series (Scientific Committee on Problems of the Environment, Belgian Royal Academy of Sciences, Literature and Fine Arts of Belgium), VUB University Press, Brussels.
- STEENHOUT A (2005). *An integrated approach to reliably predict European Consumer Exposure to Pollutants*. Handbook. Long-Term Research Initiative Cefic, vol 1-9.
- STEENHOUT A (2007). *Epidemiological methods and risk assessment models of combined effects: An approach to complexity*. p 137-173. *Workshop Invited Background Paper and Review*. In: " Combined Environmental Exposure: Noise, Air Pollution and Chemicals". Joint Research Center (JRC) Scientific and Technical Reports - EUR 22883 EN 2007; ISBN 978-92-79-06542-2. Editors: S. Kephelopoulos; K Koistinen, M Paviotti, D. Schwela, D Kotzias (Institute for Consumer Protection, IHCP - Joint Research Center, ISPRA, European Environment Agency and World Health Organization). Luxembourg.
- WHO (2000). *Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment*. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- WHO 2005: *Fourth Ministerial Conference on Environment and Health Budapest, Hungary, 23–25 June 2004*. EUR/04/5046267. World Health Organization. Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- UNECE (2001). *Information for Decision-Making in Health and Environment. Joint ECE/Eurostat Work Session on Methodological Issues of Environment Statistics (Ottawa, Canada, 1-4 October 2001)*. Working Paper Nr 1, 16 p. Statistical Commission and Economic Commission for Europe (ECE), Commission of the EU Communities, Eurostat.