**2 Editorial**

Alexander J.B. Zehnder

**3 METAPOLIS**Peter Baccini, Hans Daxbeck,  
Emmanuel Glenck, Georg Henseler**8 Adaptation génétique des microorganismes aux substances nocives présentes dans l'environnement**Jan Roelof van der Meer,  
Johan H.J. Leveau, Christoph Werlen**17 Formation du smog estival**Christopher Rösselet, David Stocker  
et J. Alistair Kerr**24 Gestion à long terme des ressources naturelles**Programme prioritaire de recherche  
Ueli Bundi, Peter Baccini, Markus  
Boller, Roland Schertenleib, Wolfgang  
Schilling, René Schwarzenbach et  
Alexander Zehnder**29 Formation continue**• Les cours PEAK  
• Journée d'information 1993**32 Communications intérieures**

- Le groupe d'écologie humaine à l'EAWAG
- Le prix de la Banque SNS
- La nouvelle ordonnance
- Organigramme de l'EAWAG
- La nouvelle délégation du personnel
- Une partie de l'EAWAG a déménagé
- Ilmac 1993
- Visite des représentants des services cantonaux

**41 Publications**



Chères lectrices, chers lecteurs,

Les **EAWAG news** se présentent sous une nouvelle forme. Nous espérons ainsi que vous aurez encore plus de plaisir à nous lire. La page de couverture a pour fonction de vous informer d'un seul coup d'oeil sur le contenu. Nous nous sommes longuement demandé quel titre les **EAWAG news** pourraient bien recevoir. La proposition gagnante du concours interne organisé à ce propos est la suivante: EAWAG-Impulse. Toutefois, cette solution ne se prête guère à la traduction en français. Or, notre intention est de publier deux fois par année sous le même titre une version allemande, française et anglaise. L'ancien titre a donc été maintenu. De l'avis de nos collaboratrices et collaborateurs francophones et anglophones, les équivalents de l'allemand «Impulse» ont tous d'autres significations que celle d'impulsion positive et orientée vers le progrès. Même si News n'est pas le mot idéal non plus, il s'est introduit dans toutes les langues et est bien compris de chacun.

Les **EAWAG news** vous informent sur les aspects et les développements de nos activités scientifiques. Dans le premier numéro 1993, vous trouverez trois articles de fond. Le premier porte sur les échanges de matière et les processus métaboliques au niveau des ménages d'une grande ville, sujet devenu très actuel. Dans le deuxième, un groupe de la division

de recherche de microbiologie se présente. Il a pour objectif de mettre en lumière les aspects de la biologie moléculaire dans la recherche environnementale. Quant au troisième, il concerne le smog estival et les processus photochimiques qui l'engendrent. L'EAWAG s'occupe en effet de chimie atmosphérique depuis le milieu des années quatre-vingt. Le second numéro 1993 des **EAWAG news** sera consacré à la traditionnelle journée annuelle d'information, placée cette année sous le titre suivant: «De la protection de l'environnement à la gestion de l'environnement: solutions systémiques en théorie et en pratique». A la page 31, vous trouverez de plus amples informations. Les deux numéros donnent en outre un aperçu des possibilités de formation continue et des conférences organisées par l'EAWAG ainsi que sur les développements et innovations internes.

Par ailleurs, l'EAWAG a un nouveau symbole, comme vous le voyez ci-contre ou sur la page de couverture. Les trois carrés représentent les trois domaines fondamentaux de nos activités, à savoir l'eau, le sol et l'air. Ces trois quadrilatères représentent également nos trois fonctions, à savoir la recherche, l'enseignement et la consultation. Leur mise en relation est symbolisée par les croissants de lune qui les relient, car l'interdisciplinarité est devenue une nécessité. Ce nouveau symbole permettra d'unifier notre image de marque et de mieux reconnaître nos publications.

Je vous souhaite beaucoup de plaisir à la lecture du présent numéro, et j'espère pouvoir continuer à vous compter parmi nos lectrices et lecteurs ainsi qu'au nombre des amis de l'EAWAG.

Alexander J.B. Zehnder

**EAWAG**



Les bulletins EAWAG news constituent l'organe d'information de l'EAWAG

**Editeur**

Distribution et © by EAWAG, CH-8600 Dübendorf

**Rédaction**

Diana Hornung, EAWAG

**Traduction**

Henri Chappuis, Berne

**Révision**

Hubert Joly, Paris

**Copyright**

La reproduction d'articles ou d'extraits est autorisée à condition de mentionner expressément «Extrait des EAWAG NEWS 35 F 1993», et d'en informer la rédaction ainsi que les auteurs concernés.

**Parution**

Deux fois par année en français, anglais et allemand

**Mise en page**

Peter Nadler, 8700 Küssnacht

**Impression**

sur papier recyclé 100%

**Abonnements nouveaux**

Les abonné(e)s sont les bienvenu(e)s! Le bulletin d'inscription se trouve en dernière page.

**Page de couverture**

Les agglomérations urbaines forment des réseaux anthropiques complexes. La circulation des personnes, des biens et des services est en grande partie déterminée par les ménages urbains. Dans le projet de recherche METAPOLIS, l'analyse a porté sur les échanges de matières et les procédés métaboliques au niveau des ménages de la ville de Saint-Gall.

Peter Baccini, Hans Daxbeck, Emmanuel Glenck, Georg Henseler

# METAPOLIS

## Approvisionnement et métabolisme des ménages urbains

### Introduction

Les ménages urbains sont souvent décrits sous forme de grandeurs relatives à l'économie, à la démographie, à l'habitat ou à la construction. Le présent rapport les considère toutefois sous l'angle des processus métaboliques. En effet, ils jouent un rôle important en influençant quantitativement et qualitativement le transport des personnes et le flux des biens de consommation. *Trois problèmes fondamentaux* motivent la présente étude:

- 1) Les *services de la voirie* ne doivent pas seulement «nettoyer les villes», c'est-à-dire veiller à leur hygiène et à leur propreté, mais ils se doivent aussi de livrer des produits compatibles avec l'environnement. Une telle mission ne peut être remplie que si les services compétents en la matière disposent d'un instrument leur permettant de discerner à temps le type et la quantité de matières qu'ils devront collecter et traiter (détection avancée).
- 2) Du point de vue *scientifique*, la présente étude relève le *défi méthodologique* de mettre en relation, pour la première fois, les données issues de l'analyse économique du marché pour l'approvisionnement avec celles relatives à la gestion des déchets solides, liquides et gazeux (désapprovisionnement).
- 3) Pour être durable, *le développement de systèmes urbains doit évoluer dans le sens d'une gestion à long terme des ressources*. Cela suppose une série de décisions fondamentales au niveau sociopolitique, pour lesquelles la connaissance et le contrôle des caractéristiques concernant les ressources actuellement à disposition des systèmes urbains s'avèrent indispensables.

Le projet METAPOLIS s'inscrit dans le cadre du Programme National de Recherche PNR-25 «Ville et transport».

Il a été réalisé par la Division «Gestion des déchets et des ressources» de l'EAWAG à Dübendorf, en collaboration avec la municipalité de Saint-Gall et l'Institut für Marktanalysen AG (IHA, Hergiswil).

### 1. Le système urbain, un écosystème anthropique

Les systèmes urbains sont des écosystèmes anthropiques hautement complexes caractérisés par l'habitat et les réseaux de communication [1]. Autant du point de vue de l'approvisionnement, leur fonctionnement dépend des surfaces d'exploitation régionales – le plus souvent agricoles, des écosystèmes géophysiques continentaux et des échanges de matières globaux. Ces dernières décennies, la densité des voies de communication et la mobilité ont fortement augmenté, si bien que le caractère de l'agglomération urbaine ne s'applique plus seulement aux villes, dont le noyau est historique et dont la densité de population se situe entre 1 000 et 10 000 personnes au km<sup>2</sup>. En effet, il s'étend également aux régions fortement construites dont la densité de population ne dépasse pas plusieurs centaines d'individus par km<sup>2</sup> et se caractérisant par des flux d'énergie et de matières par personne relativement élevés.

La présente étude considère la ville en tant qu'organisme biologique et culturel dont les plus petites unités ou «cellules métaboliques» sont les ménages urbains. Grâce à ses méthodes modernes, l'analyse de marché permet d'étudier et de caractériser l'approvisionnement du système urbain. Du côté du désapprovisionnement, les responsables d'installations de traitement des déchets (usine d'incinération des ordures ménagères, station d'épuration des eaux usées) disposent d'informations sur les quantités livrées. Toutefois, la composition chimique

des biens de consommation et des déchets n'est pas toujours bien connue, pas plus d'ailleurs que leur temps de séjour au sein des ménages.

### 2. Questions fondamentales

L'étude traite des questions suivantes:

- 1) Quelles sont quantitativement les biens les plus importants dont l'*homo urbanus* a besoin dans son ménage pour remplir ses principales activités, à savoir «SE NOURRIR», «NETTOYER», «HABITER», «TRANSPORTER et COMMUNIQUER»?
- 2) Dans quels biens consommés les substances, ayant une importance au niveau des ressources et de l'environnement, sont-elles transférées dans les filières de désapprovisionnement? Quelle est la répartition de ces substances entre les trois compartiments du milieu naturel, à savoir l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère? Dans quelles proportions sont-elles réintroduites dans l'anthroposphère?
- 3) Dans quelle mesure les processus métaboliques se déroulant au sein des ménages se modifient-ils en fonction du temps et quelles en sont les principales variables (variation des stocks, temps de séjour et relations entre variables)?
- 4) Est-il possible d'estimer le développement futur des installations de traitement des déchets en modélisant les processus métaboliques au niveau des ménages urbains, et d'évaluer les mesures aptes à influencer sur ledit développement (par une réglementation, des instruments économiques, des taxes, l'information et la formation)?

### 3. Aspects méthodologiques

L'objet de la présente étude a été sélectionné sur la base de trois critères: la structure d'approvisionnement, la structure de désapprovisionnement

des déchets et le contexte politique. Le choix s'est porté sur la ville de Saint-Gall. Les procédés métaboliques ont été analysés selon l'approche des bilans de matières. Dans un premier temps, sept procédés principaux ont été définis: «Ménages urbains», «Ramassage des déchets municipaux», «Collecte sélective», «Canalisations des eaux usées», «Usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM)» et «Station d'épuration des eaux usées (STEP)». Les «entrées» et «sorties» (input et output) de matières ont été déterminées pour chaque procédé; l'ensemble des flux a ensuite été intégré dans un système cohérent, ou bilan de matières (Fig.1). Pour les besoins de l'analyse, les éléments indicateurs suivants ont été retenus: les non-métaux carbone, phosphore, soufre et chlore, ainsi que les métaux aluminium, fer, cuivre et zinc. Etant donné le budget financier et le temps disponible pour mener à bien ce projet, il n'a pas été possible de prendre en compte d'autres éléments chimiques. La sélection susmentionnée intègre des critères physiques, chimiques, biologiques et méthodologiques. Un éventail suffisamment large de comportements chimiques caractéristiques au sein des procédés métaboliques a pu être ainsi considéré.

Les données concernant l'entrée dans les Ménages urbains, élément-clé du système, proviennent principalement de trois sources:

- 1) les données concernant les biens de consommation, communiquées par l'Institut für Marktanalysen AG (IHA, Hergiswil)
- 2) les données concernant les agents énergétiques, fournies par les statistiques communales et nationales
- 3) les données concernant l'approvisionnement en eau, extraites des statistiques municipales.

Les données relatives au désapprovisionnement des déchets (compositions et quantités) proviennent de statistiques communales et de résultats auxquels ont abouti les campagnes de mesures réalisées spécialement dans le cadre de cette étude. Il s'agit en particulier des analyses de flux de matières au niveau des STEP, de l'UIOM et de campagnes ponctuelles de ramassage des déchets solides provenant exclusivement des ménages de la ville.

Dans son ensemble, la description du système «METAPOLIS» a nécessité l'analyse de 43 procédés et l'étude d'environ 200 biens dont les flux massiques et les concentrations en

éléments indicateurs furent estimées ou mesurées selon le cas.

Pour des raisons de nature économique, la présente étude a dû se limiter aux biens mobiles du procédé «Ménages urbains». Tous les biens utilisés quotidiennement y figurent: l'eau, l'air, les biens de consommation à courte et à longue durée de vie (<1 an, respectivement >>1 an), les agents énergétiques, les moyens de transport privés (automobiles, bicyclettes), ainsi que les déchets sous forme gazeuse, liquide et solide. En revanche, l'environnement construit (bâtiments) n'a pas été considéré, y compris les installations sanitaires et électriques fixes, ainsi que l'ensemble des réseaux fixes d'approvisionnement et de désapprovisionnement (routes, voies de chemin de fer, distribution d'eau, évacuation des eaux usées, distribution d'énergies, communication).

#### 4. Résultats

##### 4.1 Contributions des ménages urbains aux flux de matières au niveau municipal (Fig.1)

Les ménages saint-gallois ne consomment pas moins de 100 tonnes de biens par habitant et par an, dont près de 80% correspondent à l'eau potable et

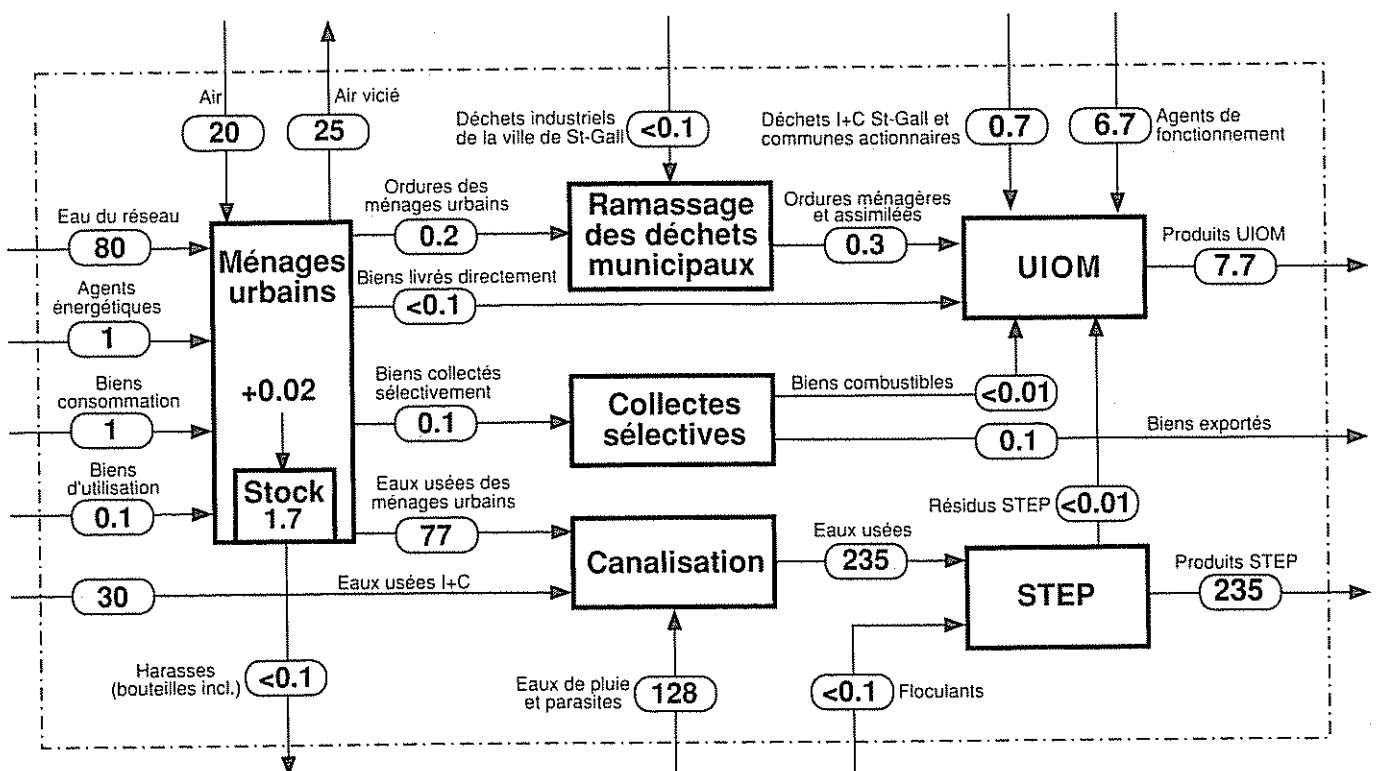


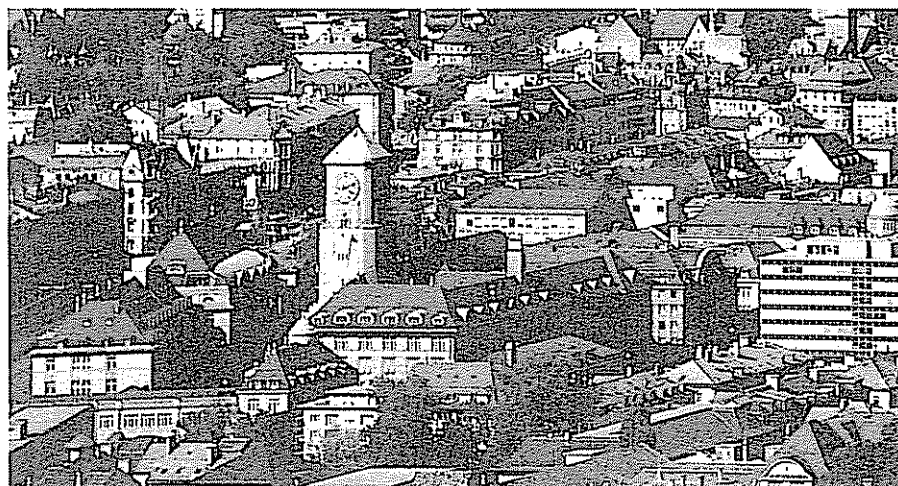
Fig.1 Les flux de biens dans le système METAPOLIS (Unité: tonne par habitant et par an; I+C: industries, commerces, exploitations agricoles et services publics)

près de 20% à l'air. Les biens destinés à la consommation immédiate et les agents énergétiques (essentiellement les produits pétroliers) représentent chacun une part de 1%. Les biens d'usage (longue durée de vie) tels que l'automobile, les meubles et les appareils électroménagers contribuent à environ 0,1% du total, soit 100 kg par personne par an (kg/p.a).

Les *ménages urbains* produisent environ les 3/4 des métabolites produits au sein de la municipalité, soit 100 tonnes/personne par an (t/p.a). La part des industries et des commerces installés sur le territoire de la ville se situe autour de 30 t/p.a. La collecte des eaux de pluie et des eaux parasites dans le réseau municipal de canalisations apporte une contribution importante dans le bilan de matières. Ceci représente près de la moitié du flux total de matières traversant la ville de Saint-Gall (système METAPOLIS) qui se monte à 270 t/p.a. Pour la fraction restante, il s'agit d'air ventilé dans les fours de l'UIOM ainsi que des déchets solides livrés par les communes actionnaires rattachées à l'UIOM. La part des ménages urbains de la ville dans la quantité totale de déchets solides incinérés atteint environ 20%. En revanche, le bassin versant des STEP se compose presque exclusivement du territoire municipal.

Par conséquent, les *eaux épurées* représentent quantitativement le bien exporté le plus important du système. Elles totalisent en effet près de 230 t/personne par an, suivies par l'*air vicié* des ménages urbains, lesquels totalisent 33 t/p.a, ainsi que par les *résidus solides provenant de l'UIOM* avec 0,7 t/p.a. Selon nos propres estimations, près de 200 kg/personne par an sont introduits dans les procédés de recyclage. Il s'agit notamment de l'automobile usagée et de ses accessoires (pneus, batteries), du vieux papier, de la matière organique biodégradable, du verre d'emballage et des métaux.

Il est à noter qu'une accumulation de certains biens de consommation s'opère dans le système et précisément dans les ménages urbains. En 1990, le *stock* de biens dits mobiles atteignait environ 2 tonnes par personne. Pour la période d'observation 90/91, l'*accrois-*



Les ménages saint-gallois jouent un rôle important dans les échanges de matières enregistrés dans leur ville.

*sement annuel* du réservoir a été estimé à environ 1%.

#### 4.2 Importance relative des activités au sein des ménages urbains

Les 3/4 du flux global de matières traversant les ménages urbains sont générés par l'activité «NETTOYER». Cette part est conditionnée par les besoins en eau avec 75 t/p.a afin de pouvoir transporter dans les égouts une quantité de déchets cent fois moins grande, soit 0,6 t/p.a d'excréments humains et de saletés diverses. Le flux de matières générés par l'activité «HABITER» est dominé par l'air nécessaire à la combustion du mazout, suivi par l'eau

et les agents énergétiques. Ce flux ne représente toutefois que 10% du total. L'activité «SE NOURRIR» requiert 9 t/p.a, dont les deux tiers se composent de l'air respiré nécessaire au métabolisme du corps humain. Le tiers restant consiste en l'eau potable soutirée au réseau de distribution. L'activité «TRANSPORTER et COMMUNIQUER» se situe dans la même gamme de valeur, à savoir 8 t/p.a. Ici également, la première place revient à l'air consommé pour la combustion des carburants.

Les *stocks en marchandises*, regroupés par activité, peuvent être caractérisés comme suit: l'automobile, appartenant à l'activité «TRANSPORTER et

	C	S	P	Cl	Al	Fe	Cu	Zn
<b>entrées</b>	[kg/p.a]							
Biens à longue durée de vie (>>1 an)	30	0.1	0.03	<b>3.1</b>	<b>3.1</b>	<b>38</b>	0.76	0.49
Biens à courte durée de vie (<1 an)	240	<b>1.7</b>	0.82	<b>5.4</b>	<b>3.5</b>	3.8	0.03	0.25
Agents énergétiques	870	1.3	0.03	0.2	0.1	0.5	<0.1	<0.01
Eau	<10	<b>0.9</b>	<0.01	1.2	<0.1	<1	<0.1	<0.01
Air	<10	0.2	<0.01	<0.1	<0.1	<1	<0.1	<0.01
Total	1150	4.2	0.89	10	6.7	42	0.79	0.75
<b>sorties</b>	[Répartition en %]							
Stock	<1	<1	1	10	13	<b>25</b>	<b>29</b>	26
Effluents gazeux	<b>90</b>	<b>34</b>	<1	2	<1	<1	<1	<1
Eaux usées	2	<b>47</b>	<b>76</b>	45	8	<1	<1	3
Biens collectés sélectivement	3	9	6	25	<b>39</b>	<b>62</b>	<b>56</b>	<b>48</b>
Ordures ménagères	5	8	17	18	<b>40</b>	13	15	<b>33</b>
<b>Etat du stock</b>	[kg/personne]							
Biens à longue durée de vie	400	21.7	0.96	<b>30</b>	33	<b>420</b>	<b>7.4</b>	<b>5</b>
Biens immobiliers	<b>2500</b>	n.d.	n.d.	<b>10</b>	<b>3000</b>	<b>800</b>	<b>10</b>	<b>5</b>

Tableau 1

Flux de matières au niveau des ménages urbains par personne et an (Les parts dominantes des éléments indicateurs sont indiquées en gras)

n.d.: valeur non déterminée

COMMUNIQUER», équivaut à la somme des stocks en meubles et appareils électroménagers requis par l'activité «HABITER», soit 0,5 tonne par personne. Mis à part le réservoir permanent d'agents énergétiques fossiles (0,5 t/p·a), l'automobile privée constitue le bien le plus important du point de vue massique puisqu'elle représente la moitié du stock global des ménages urbains.

**4.3 Flux de substances sélectionnées au niveau des ménages urbains**

Dans l'étude METAPOLIS, huit substances indicatrices ont été retenues. Les résultats des bilans de matières au niveau des ménages urbains sont représentés de manière synoptique dans la figure 2 et dans le tableau 1.

Voici les principaux constats établis concernant le *métabolisme chimique* des ménages urbains:

- Le *carbone*, introduit principalement par les agents énergétiques fossiles, est transféré à raison de 90% dans l'atmosphère par les gaz de combustion (CO<sub>2</sub>).
- Le *soufre* est avant tout importé dans les biens de consommation tels que denrées alimentaires, produits de nettoyage et agents énergétiques. Il est exporté principalement par le biais des eaux usées et des gaz de combustion.
- Le *phosphore* est introduit dans le milieu urbain à raison de 90% par les denrées alimentaires. Les eaux usées représentent 80% du flux quittant le système. Ces dernières constituent

par conséquent un excellent indicateur de l'activité «SE NOURRIR».

- Le *chlore* est principalement importé par les biens de consommation tels que les denrées alimentaires ainsi que par les biens à courte durée de vie (polymère chloré PVC). La sortie de chlore quitte le procédé «Ménages urbains» avec les eaux usées sous forme de chlorure, par le biais des collectes sélectives, et dans une proportion équivalente avec les déchets ménagers, sous forme d'emballages en matières plastiques.
- Les quatre métaux considérés, à savoir l'*aluminium*, le *fer*, le *cuivre* et le *zinc* présentent un comportement similaire. Ils sont majoritairement importés par les biens de consommation à longue durée de vie (automobile), à l'exception de l'aluminium, dont la part au niveau des emballages incinérés équivaut actuellement à celle contenue dans l'automobile usagée. De grandes quantités de métaux sont également stockées dans les ménages. En quittant le procédé «Ménages urbains», ils sont en majorité éliminés par le biais des collectes sélectives. Toutefois, les déchets des ménages urbains contiennent encore une fraction non négligeable de métaux, particulièrement en ce qui concerne l'aluminium et le zinc.

En résumé, il est permis de supposer que la collecte sélective représente d'ores et déjà la principale voie suivie par les déchets solides en terme de ressources générées par les ménages

urbains, notamment pour les métaux et les polymères organiques comme matières déterminantes. Toutefois, la question se pose de savoir si l'immobilier ne recèle pas ces mêmes matières en quantités bien plus importantes – METAPOLIS ne tient en effet pas compte de cet agent métabolique. A ce propos figurent, à la dernière ligne du tableau 1, des chiffres permettant de faire la comparaison. Les flux de matières relatifs au domaine immobilier ont été estimés dans le cadre d'enquêtes précédentes [2]. Les rapports entre les flux immobiliers et domestiques sont les suivants: 1:2 pour le fer, 1:5 pour le zinc et 1:15 pour le chlore. On voit donc que les biens destinés aux fins domestiques jouent un rôle capital dans le bilan des flux de matières.

*Conclusions:* le choix d'un petit nombre de substances indicatrices permet d'identifier les principaux vecteurs du métabolisme chimique des «Ménages urbains». Alors que les biens de consommation à courte durée de vie par rapport à la problématique des déchets solides sont perçus de façon plus aiguë par l'être humain dans la vie quotidienne, les résultats de l'analyse démontrent que les biens à longue durée de vie jouent un rôle plus essentiel dans la gestion de nos ressources. La principale transformation des agents énergétiques s'effectue au niveau de la combustion (chauffage et moteur à explosion). Les déchets ménagers continuent de représenter un thème d'actualité dans la discussion politique mais ne jouent en réalité, comme en témoigne la présente analyse, qu'un rôle secondaire.

**4.4 Evolution des flux de marchandises et de substances en fonction du temps**

La présente étude sur les flux de matières et les phénomènes métaboliques s'est limitée à la description de l'état actuel. Les taux de croissance calculés ne permettent ni d'estimer les situations antérieures ni de spéculer sur les évolutions futures.

Plusieurs recherches menées dans les années 1980 portent sur la consommation en *agents énergétiques*. Elles permettent de penser que la consommation d'énergie pour l'activité

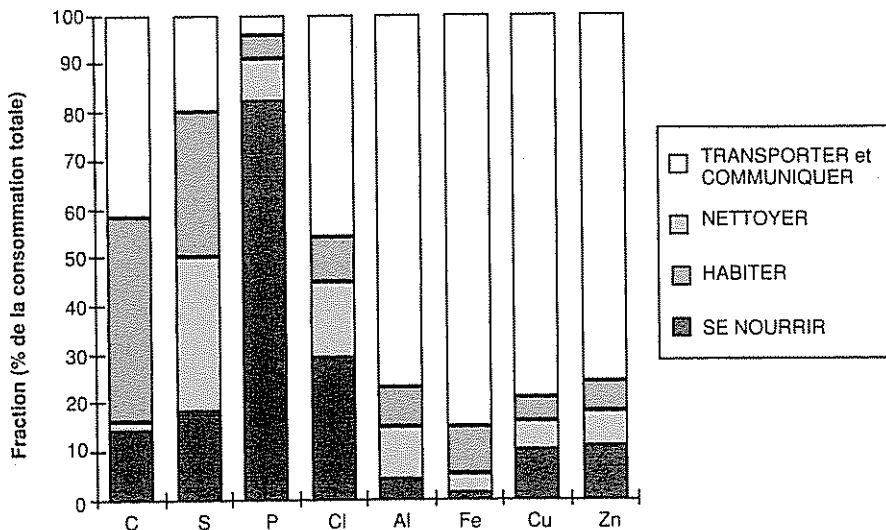


Fig.2 Contributions relatives des quatre activités «SE NOURRIR», «HABITER», «NETTOYER», et «TRANSPORTER et COMMUNIQUER» pour les éléments indicateurs

«HABITER» régresse légèrement malgré l'augmentation du volume occupé par habitant. La consommation de carburant n'a cependant pas cessé de croître (taux annuel d'env. 3%). La présente étude ne tenant pas compte de l'habitat, il n'est pas possible de vérifier cette évolution au sein du système METAPOLIS. En revanche, l'augmentation observée au niveau des flux d'approvisionnement dans l'activité «TRANSPORTER et COMMUNIQUER» correspond à l'évolution enregistrée par les statistiques au niveau suisse.

Ces dix dernières années, la consommation d'eau s'est stabilisée et la quantité de boues d'épuration est restée relativement constante. On s'attendrait donc à ce que la teneur de substances telles que le cuivre et le zinc augmentent légèrement dans les boues d'épuration (retombées atmosphériques, corrosion des surfaces construites, usure des pneumatiques de voitures). Rien n'a encore permis de démontrer ce phénomène. Il n'est cependant pas exclu de penser que le secteur de l'industrie et du commerce ait pendant la même période réduit sa quote-part de manière analogue. En revanche, on peut constater une nette diminution de la concentration en phosphore (environ 30%) dès les années 1985/86 quand le phosphore fut interdit dans les produits à lessive. Parallèlement à ceci, on observe une augmentation de la concentration d'aluminium dans les boues de STEP suite à l'introduction de zéolithes dans la fabrication desdits produits.

Durant ces dix dernières années, nous constatons une croissance générale au sein des ménages, ceci aussi bien au niveau des biens d'utilisation que des biens de consommation. Cette évolution se retrouve naturellement au niveau de la masse spécifique de déchets produits. Bien qu'ayant stagné entre 1982 et 1986, les collectes sélectives ont connu un essor intense

jusqu'en 1987, puis la production spécifique de déchets ménagers a de nouveau augmenté. En d'autres termes, le flux total de déchets solides générés par les ménages urbains (incinérés et collectés sélectivement) ne cesse de croître.

## 5. Conclusions et thèses écologiques

Les résultats obtenus permettent de tirer les conclusions et de formuler les hypothèses suivantes:

### «Les villes sont des réacteurs en système ouvert»

Dans les sociétés où l'abondance règne, les ménages urbains jouent un rôle prépondérant dans les flux de matières en milieu urbain. Du point de vue écologique, les biens dont la consommation est la plus intense sont l'eau, l'air et les agents énergétiques.

*Les agglomérations urbaines comme celle de Saint-Gall sont typiques des pays industrialisés: elles ne possèdent pas de boucles de rétroaction pour les biens consommés. Il s'agit en fait pratiquement de «réacteurs piston». C'est la raison pour laquelle les agglomérations urbaines tirent non seulement leur approvisionnement d'une région géographiquement étendue, mais nécessitent également une telle surface pour la gestion de leurs métabolites. Au niveau des biens et des substances chimiques, les flux de matières ne sont pas – ou pas encore – dans un état stationnaire. Ces deux dernières décennies, la croissance des réservoirs urbains résulte d'une augmentation des flux d'approvisionnement par habitant et non pas de la croissance démographique.*

### «Les agents énergétiques jouent un rôle capital»

Du point de vue écologique, c'est-à-dire du point de vue de l'exploitation des ressources naturelles et de l'émission de polluants dans l'environnement, les biens significatifs au niveau du métabolisme des ménages sont les agents énergétiques, lesquels interviennent dans les activités «HABITER» et «TRANSPORTER et COMMUNIQUER». Si ces flux de matières ne peuvent être réduits, tous les autres

efforts visant à ménager les ressources et à réduire l'impact sur l'environnement se voient relégués au second plan. Les émissions résultant du traitement des fumées d'incinération ne représentent plus actuellement un problème central. Notre attention devrait plutôt se porter sur un domaine en pleine expansion: l'activité «TRANSPORTER et COMMUNIQUER». L'automobile en constitue l'élément majeur du point de vue des ressources et de leur exploitation. Ces constatations exigent une *redéfinition du contexte énergétique et structurel*, sans quoi toute autre mesure s'avérerait être superficielle. *Une exploitation écologique des ressources doit donc conduire à de véritables transformations structurelles du système urbain et des relations avec son environnement.* Il faut élaborer des plans d'aménagement prévoyant des distances courtes entre les centres d'approvisionnement, les installations de désapprovisionnement, les habitations et les lieux de travail. Il se révèle capital de faire circuler nos ressources dans un espace géographiquement plus restreint. Il s'agit donc de remanier dans les décennies à venir les agglomérations urbaines selon de nouvelles stratégies autant physiques, économiques que sociales. A supposer que l'on maintienne les structures actuelles, voire que l'on renforce la tendance à faire circuler les biens sur des espaces de plus en plus étendus, le recyclage de substances non renouvelables (métaux et matières plastiques) ne pourra s'opérer que grâce à un apport accru d'agents énergétiques non renouvelables (énergies fossiles, nucléaires).

### «Collecte sélective: des potentialités encore inexplorées»

*Dans l'ensemble, la plupart de nos ressources importantes (métaux et matières plastiques) prennent en majorité, aujourd'hui déjà, le chemin de la collecte sélective. Il convient d'étudier les flux de ces matières en considérant le traitement des déchets produits par les industries et les commerces, étant donné que les ménages urbains contribuent dans tous les cas (à l'exception du carbone*

suivi à page 28

#### «METAPOLIS»

Le rapport exhaustif 34A (120 pages) et l'annexe technique 34B (300 pages) peuvent être commandés au prix coûtant à l'adresse suivante:

Programme de recherche national «Stadt und Verkehr», Direction, case postale 4925, 8022 Zurich

Jan Roelof van der Meer, Johan H. J. Leveau, Christoph Werlen

# Adaptation génétique des microorganismes aux substances nocives présentes dans l'environnement

*Les microorganismes sont en mesure de dégrader un nombre considérable de substances nocives présentes dans l'environnement; mais dans la plupart des cas, ils doivent subir une longue phase d'adaptation. Les processus grâce auxquels les microorganismes peuvent s'adapter demeurent largement inconnus. Il est indispensable de mieux les étudier si l'on veut comprendre les réactions microbiennes qui se déroulent dans l'environnement afin de pouvoir employer à bonne fin les microorganismes dans le domaine de la technologie environnementale. Il s'agit notamment de mieux prédire le destin des substances nocives et d'influencer à bon escient les réactions biologiques dans les systèmes naturels et techniques. Notre recherche repose sur deux questions de fond: 1) quels sont les mécanismes génétiques responsables des mécanismes d'adaptation? 2) Dans quelle mesure les facteurs environnementaux influencent-ils les processus d'adaptation?*

*De telles interrogations sont à la base des études concernant l'adaptation généticomoléculaire des microorganismes, sujet auquel notre nouveau groupe de la section Microbiologie se consacrera à l'avenir.*

Ces dix dernières années, la génétique moléculaire a fait de tels progrès qu'on connaît maintenant beaucoup mieux les processus grâce auxquels les microorganismes s'adaptent aux modifications des conditions environnementales. Ces connaissances viennent à l'aide de la technologie environnementale quand il s'agit d'analyser les processus de dégradation des substances nocives dont sont responsables les microorganismes. La question de savoir quels mécanismes génétiques permettent de réguler l'activité des microorganismes en fonction des modifications environnementales demeure malheureusement trop souvent sans réponse.

Le présent article a pour but d'initier le lecteur aux connaissances acquises jusqu'à présent, aux concepts fondamentaux de la génétique moléculaire ainsi qu'aux méthodes et aux techniques de recherche utilisées dans ce domaine.

## 1. Adaptation de microorganismes aux substances nocives

Lorsque des microorganismes sont introduits dans un environnement

hautement sélectif, des mutants apparaissent en très peu de temps: ils se sont adaptés aux conditions environnementales particulières. Un exemple bien connu et peu réjouissant est par exemple la résistance rapidement acquise des bactéries pathogènes face aux antibiotiques, ou l'adaptation permanente des déterminants d'antigénicité à la surface de certains germes pathogènes, comme par exemple certaines espèces de *borrelia*. Un autre exemple, moins connus, est la faculté d'adaptation des bactéries leur permettant de reconnaître et de consommer une nourriture nouvelle. En règle générale, le garde-manger des microorganismes se compose de molécules relativement simples, telles les glucoses, les acides aminés ou les lipides. Au cours de leur évolution, les bactéries ont néanmoins développé toute une série d'aptitudes à digérer les composés au carbone les plus diverses [1].

De nombreuses études en microbiologie mettent clairement en évidence que les microorganismes sont même en mesure de s'adapter à la longue aux substances nocives qu'ils peuvent utiliser comme nourriture, alors qu'elles

étaient auparavant biologiquement non dégradables ou difficilement dégradables [2]. Afin de pouvoir expliquer un tel phénomène, il faut d'abord connaître les conditions déterminantes pour l'ingestion et la digestion de molécules nutritives.

- Pour pénétrer dans la cellule microorganique, les molécules nutritives doivent être introduites par un mécanisme actif ou par un processus de diffusion passif. Parfois, certaines molécules assez grosses sont dissociées à l'extérieur de la cellule par ses enzymes pour être ensuite ingérées en petits morceaux. De ce point de vue, l'absorption de substances nocives est malheureusement très mal connue.
- Une fois la composé moléculaire ingérée, elle doit être reconnue par la cellule comme étant une source nutritive digérable. Cette fonction incombe le plus souvent à des protéines spécialisées du point de vue sensoriel ou régulateur. Celles-ci réagissent avec la molécule nutritive et stimulent ensuite l'expression des gènes contenant l'information pour les enzymes nécessaires à la digestion de la nourriture ingérée. Si la molécule parvenue dans la cellule ne déclenche pas ce processus sensoriel ou régulateur, elle est taxée de molécule indégradable.
- La digestion d'une molécule nutritive inconnue peut donner lieu à plusieurs cas de figure. Il se peut qu'une partie seulement des enzymes participant au métabolisme ne soit pas apte à catalyser la dégradation. Si la molécule inconnue présente assez de similitudes avec une autre matière connue et digérable, il est possible que les enzymes en présence dégradent cette composé au moins partiellement, même si c'est souvent avec un degré d'efficacité très réduit. Si la cellule ne dispo-

se d'aucune enzyme appropriée, même pas d'enzymes responsables de réactions secondaires non spécifiques, la composé moléculaire ne peut être utilisée par l'organisme.

Les microorganismes peuvent s'adapter de plusieurs manières aux substances nocives qu'ils trouvent dans l'environnement. A ce propos, on parlera d'*adaptation biochimique* quand tous les gènes nécessaires au processus d'ingestion et de digestion sont déjà présents et ne doivent plus qu'être exprimés. Si l'une des trois conditions susmentionnées n'est pas remplie, la cellule a besoin d'informations génétiques supplémentaires ou modifiées afin de pouvoir synthétiser de nouvelles protéines. Dans ce cas, on parlera d'*adaptation génétique*.

## 2. Rapide introduction en génétique moléculaire

### 2.1 Les gènes et GEMs (GEMMOs)

Les bactéries transportent leur information génétiques sur un chromoso-

me constitué d'une molécule d'acide désoxyribonucléique circulaire (appelée ci-après molécule d'ADN ou ADN tout court) (cf. fig. 1). L'ADN d'une molécule se compose de 2 à 4 million de paires de bases, appelées nucléotides. Dans certaines bactéries, on a découvert deux sortes de chromosomes, l'un assez grand, et l'autre plus petit, dénommé minichromosome.

L'ADN comporte plusieurs séquences génétiques qui sont les éléments de base de l'information génétique dont dispose la cellule. Ces séquences contiennent l'information codée permettant de produire les enzymes, les protéines et l'acide ribonucléique (ARN) ribosomal sans lesquels le métabolisme de la cellule n'est pas possible. La lecture de l'information génétique, appelée transcription, et la synthèse subséquente des protéines fonctionnelles, appelée traduction, sont deux processus interactifs complexes impliquant l'ADN et d'autres protéines qui se lient à la molécule d'ADN ou la modifient (fig. 2). L'ADN

contient diverses séquences pour réguler, activer ou stopper ces processus. Les plus simples sont les signaux de début et de fin pour la synthèse protéinique.

La longueur des séquences génétiques fonctionnelles peut aller de 100 à plusieurs milliers de nucléotides (par exemple quand il s'agit de coder des protases<sup>1</sup> extracellulaires de grande taille).

Mis à part la chaîne d'ADN, la plupart des bactéries disposent de molécules d'ADN supplémentaires ne faisant pas partie du chromosome. Appelées plasmagènes, elle comportent de 2 000 à 700 000 paires de bases. Notons que les grands plasmagènes ne se distinguent guère des minichromosomes.

Quelle est la fonction naturelle des plasmagènes? L'information génétique d'un chromosome suffit pour la répllication, la croissance, l'activité et la survie d'une cellule bactérienne. L'ADN plasmagénique contient en revanche des informations supplémentaires qui ne sont pas absolument indispensables au métabolisme normal de la cellule. Ce matériel génétique code par exemple la résistance aux antibiotiques ou aux métaux lourds, ainsi que certaines propriétés métaboliques spécialisées comme par exemple la dégradation du xyloène et des naphthalènes.

Les plasmagènes ont d'autres propriétés intéressantes. Par exemple, certains plasmagènes sont présents à raison de 1 à 100 copies dans la même cellule. Les plasmagènes peuvent en outre se transférer d'une cellule à l'autre, processus qui s'appelle conjugaison. On verra plus loin à quel point cette propriété est importante pour l'adaptation des microorganismes.

Après avoir isolé une molécule d'ADN hors de l'organisme cellulaire et après l'avoir nettoyée, il est possible d'en établir les caractéristiques en laboratoire, puis de la manipuler. Ces opérations sont possibles grâce à des enzymes de restriction qui coupent la chaîne d'ADN aux endroits spécifiques désirés. Pour recoller les extrémités d'une molécule d'ADN, il faut recourir aux ligases. Grâce à la première

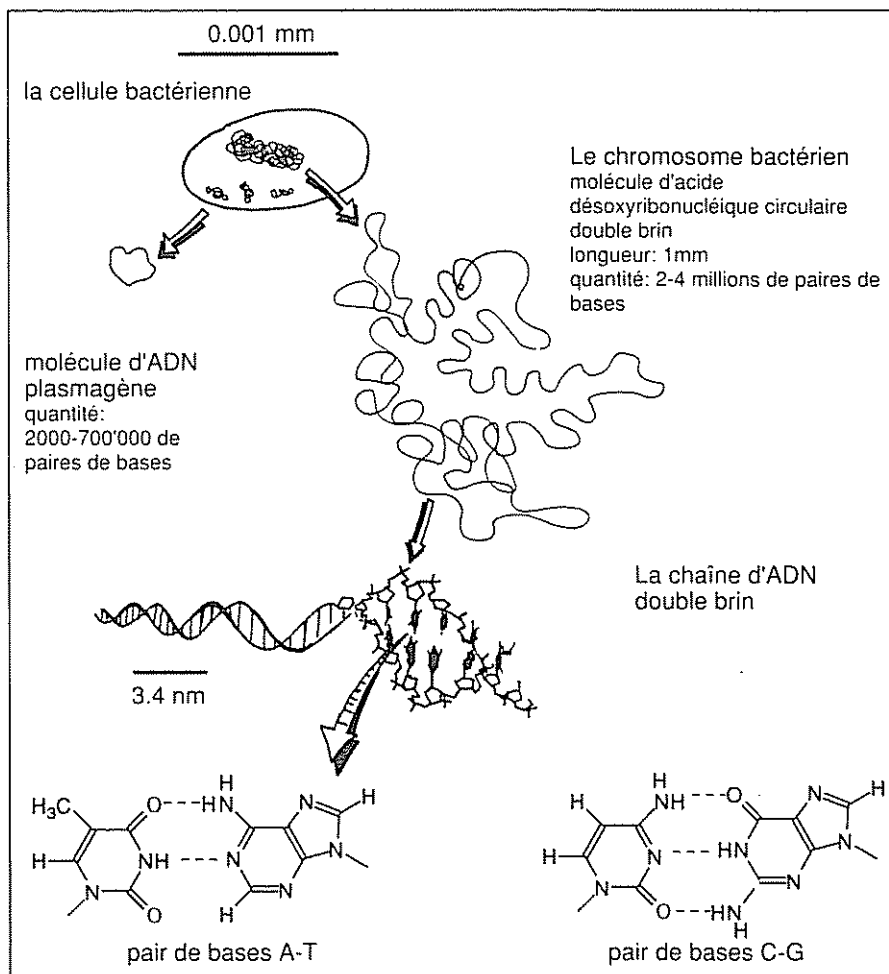
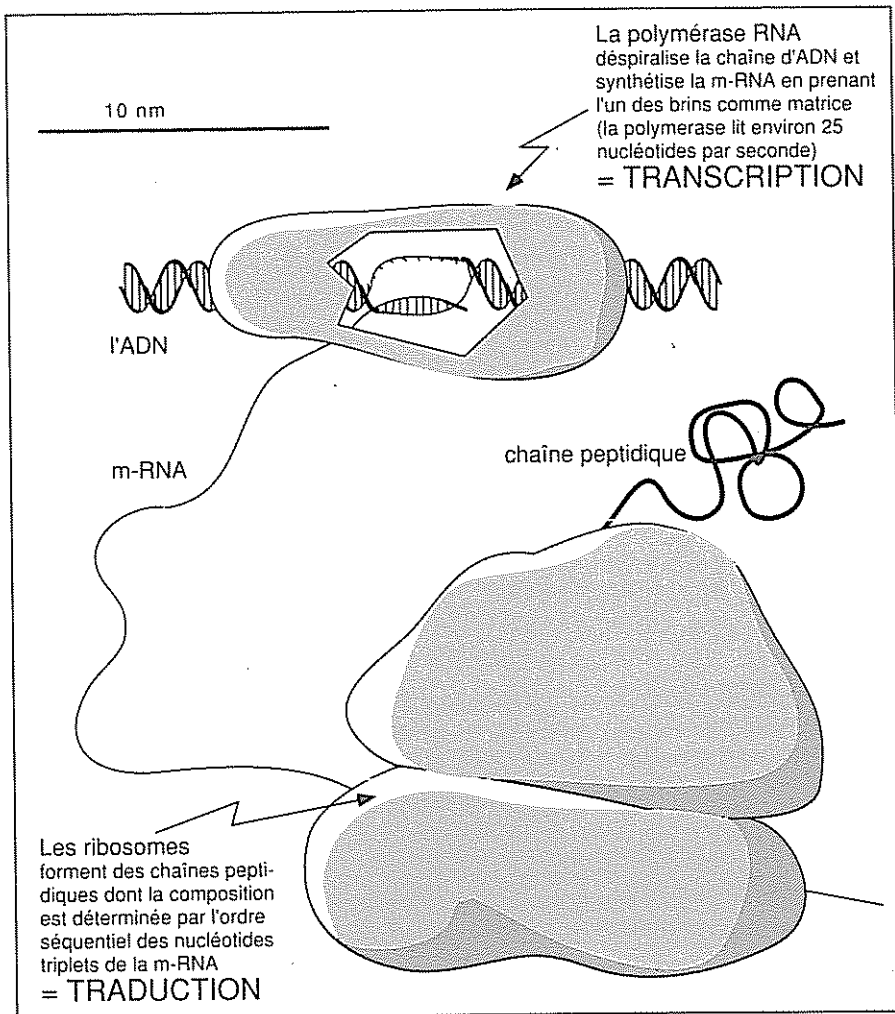


Fig. 1  
Représentation schématique des molécules constituant le bagage génétique des bactéries.

<sup>1</sup> En biochimie, le suffixe -ase indique la fonction enzymatique de la protéine considérée.



**Fig. 2**  
L'information génétique mémorisée sur la chaîne d'ADN est continuellement copiée et traduite sous forme de protéines nécessaires au métabolisme de la cellule.

catégorie d'enzymes, les chercheurs ont la possibilité d'isoler certaines séquences génétiques bien définies, par exemple la codification d'un gène particulier; grâce à une ligase appropriée, ils pourront ensuite les ajouter à un plasmagène, puis introduire le tout dans une cellule étrangère. Le plasmagène et son fragment d'ADN rajouté seront ensuite dupliqués et exprimés par la cellule réceptrice comme s'il s'agissait de son propre matériel ADN. Il est possible d'étudier ainsi les fonctions de n'importe quel gène sur un fragment d'ADN isolé. Toute bactérie comportant un fragment d'ADN provenant d'une cellule étrangère et importé grâce aux techniques de manipulation génétique *in vitro* est qualifiée de microorganisme génétiquement modifié, plus connu sous l'abréviation anglophone GEMMO ou GEM (GEnetic Modified Micro-Organism).

Ces techniques se prêtent aux utilisations les plus variées. On peut

s'imaginer une production en masse d'enzymes ou de protéines utiles jusqu'à la création de microbes nouveaux qui seraient capables de dégrader un large éventail de substances nocives [3]. Jusqu'à présent toutefois, elles n'ont servi qu'à des fins scientifiques dans le but de déchiffrer l'information génétique de certains organismes.

## 2.2 Blobs et flops<sup>2</sup> – les techniques de la génétique moléculaire

Les analyses génétiques se distinguent des méthodes physiques, chimiques et même biologiques. Bien que les expériences génétiques sont très complexes au niveau de la conception et exigent un grand nombre d'informations sous-jacentes, elles débouchent le plus souvent sur un échantillon de chaîne moléculaire. Il peut s'agir par exemple de fragments d'ADN, de protéines, de protéines en interaction

<sup>2</sup> Parfois difficiles à interpréter, les blobs peuvent aboutir à des résultats infructueux (flops).

avec une chaîne d'ADN ou de fragments d'ADN en interaction avec de l'ARN. Ces éléments peuvent être rendus visibles grâce à divers procédés tels que la coloration ou le marquage radioactif. Pour obtenir de tels échantillons, il faut disposer les fragments de protéines ou d'ADN sur un gel à base d'agarose ou de polyacrylamide par exemple, et puis séparer les séquences en mettant le gel sous tension électrique. La séparation des séquences peut être suffisamment précise pour obtenir des fragments d'ADN ne se différenciant que d'une paire de bases, c'est-à-dire des paires discrètes d'échantillons. Cette sensibilité d'analyse est particulièrement nécessaire pour pouvoir définir les séquences génétiques d'une chaîne d'ADN.

Deux méthodes couramment utilisées en biologie moléculaire sont l'hybridation ADN-ADN et la réaction en chaîne polymérasique (PCR).

L'hybridation ADN-ADN permet de tester si un fragment d'ADN inconnu présente une séquence analogue à un autre fragment d'ADN connu. Cette technique d'analyse se fonde sur le fait que deux brins d'ADN formeront une chaîne à deux brins si les nucléotides complémentaires des deux brins forment des paires de bases. De telles chaînes hybrides apparaissent dès que les deux brins séparés présentent suffisamment de nucléotides complémentaires. Mais les chaînes ainsi formées peuvent aussitôt se séparer: la stabilité de l'hybridation dépend en effet de la température et de la teneur en ions de la solution environnante. Au moment de l'hybridation, les brins soumis au test (matrice ADN) sont liés à une membrane en nylon, puis recouverts d'une solution contenant les brins d'ADN-test (sonde génétique), auparavant marqués radioactivement ou chimiquement. Après l'incubation, les segments génétiques qui ne se sont pas liés sont éloignés par rinçage. Les endroits où un fragment lié chimiquement et un fragment marqué ont réagi en formant une séquence hybride sont examinés par autoradiographie (fig. 3).

La réaction en chaîne des polymérasés est une réaction enzymatique utilisée pour multiplier des fragments d'ADN grâce à la catalyse d'un enzyme

thermostable, la polymérase. Une telle opération s'appelle *amplification*. Les polymérases en question sont capables de synthétiser pour chaque brin d'ADN (matrice) un brin complémentaire, pour autant qu'un signal de départ soit disponible et qu'il y ait assez de nucléotides correspondants. Le signal de départ est souvent donné par un petit brin d'ADN comptant 18 à 25 nucléotides, synthétisés chimiquement sur la base d'une séquence connue. Lorsqu'on veut faire une PCR, on introduit en général deux signaux de départ afin que seule la matrice d'ADN se trouvant entre les deux soit copiée. Pour obtenir une multiplication des brins synthétisés, il suffit de faire que la réaction se répète de façon cyclique (fig. 4).

Après environ 30 cycles, les séquences spécifiques ont été dupliquées des millions de fois, ce qui facilite leur mise en évidence. La spécificité de la composé signal de départ/matrice influence naturellement aussi la spécificité de la réaction d'amplification. Une des caractéristiques les plus remarquables de la PCR réside dans le fait qu'elle permet de révéler une séquence d'ADN donnée présente en très petite quantité. Cette propriété ouvre la porte à de multiples applications. Ainsi, on peut par exemple révéler la séquence génétique d'un seul microorganisme contaminateur dans de la nourriture ou dans des traces de sang prélevées pour les besoins de la médecine légale.

### 3. Evolution horizontale et verticale

#### 3.1 Modification ou création de nouvelles enzymes et protéines

Quelles sont les mécanismes génétiques intervenant dans l'évolution des spécificités enzymatiques et quels sont par conséquent ceux qui permettent l'adaptation de la cellule à de nouvelles substances «nutritives»? La production d'enzymes nouvelles ou adaptées repose sur la modification du matériel génétique; on parlera de mutation verticale à ce propos. Les plus simples de ces mutations concernent une seule paire de bases et peuvent surgir de manière spontanée lors de la duplication de l'ADN. Très rares, de telles mutations se produisent à raison de

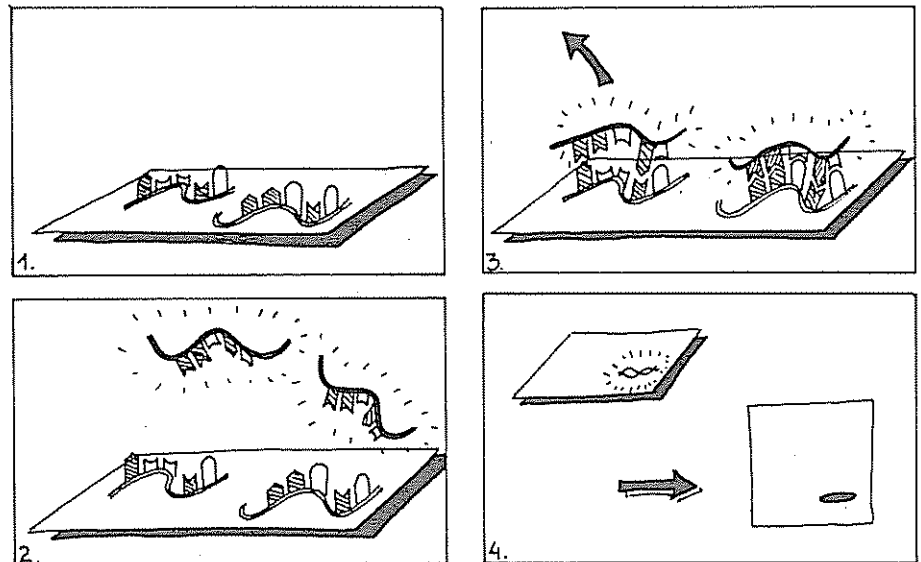


Fig.3

#### Hybridation ADN-ADN

- 1) Des brins d'ADN sont chimiquement liés à une membrane en nylon. Les symboles géométriques représentent divers nucléotides.
- 2) La molécule d'ADN-test est dissociée en brins, lesquels sont marqués puis ajoutés en solution sur la membrane.
- 3) les nucléotides complémentaires des brins-test forment des paires de base avec les nucléotides des matrices d'ADN. Si le nombre de paires de bases est insuffisant, la molécule hybride est éliminée au moment du rinçage.
- 4) Les endroits où des hybrides stables se sont formés peuvent être mis en évidence grâce au marquage radioactif de l'ADN-test sur un film à rayons X, sur lequel se dessineront des tâches noires (fig. 8).

1–10 possibilités par nucléotide et par cycle de duplication. La probabilité d'une mutation spontanée unique dans l'ensemble du génome microorganique se situe par conséquent entre 0,1 et 1% par génération. La plupart des générations spontanées se produisent d'abord sans qu'on le remarque. Puis les mutants se multiplient, ce qui aboutit à une sélection des individus selon leurs propriétés. Ce processus est connu sous le nom de divergence. Certaines mutations peuvent être directement profitables à la cellule (voir ci-après). D'autres sont désavantageuses, voire mortelles quand elles interrompent par exemple la séquence de gènes vitaux. Les mutations peuvent être induites, par exemple par le biais de substances nocives qui se lient à l'ADN. Par ailleurs, chacun sait que certaines influences, tels les rayons UV, ont une influence directement nuisible sur l'ADN. Ce genre de mutation est beaucoup plus fréquent, même si la cellule a divers moyens pour réparer sa chaîne d'ADN. Les modifications n'interviennent pas toujours que sur une seule paire de bases. Il se peut également que des séquences d'ADN plus grandes soient détrui-

tes, dupliquées ou découpées pour se recoller en sens inverse.

Pouvons-nous trouver maintenant des exemples d'enzymes qui se sont nouvellement développés dans des bactéries parce qu'elles disposaient des spécificités nécessaires leur permettant de dégrader des substances xénobiotiques? Les effets que la modification d'une paire de bases peut engendrer sont faciles à illustrer grâce à l'exemple de la dégradation du toluène et du xylène par la bactérie *Pseudomonas putida* mt-2. Cet organisme possède un plasmagène relativement gros contenant les gènes nécessaires à la dégradation du benzène méthylé [4]. Le plasmagène peut être capable de s'autotransférer sur d'autres cellules bactériennes sans qu'elles doivent être forcément de la même espèce. Le type de bactérie susmentionné a fait l'objet de nombreuses recherches en laboratoire quant à leur potentiel génétique en matière de dégradation du toluène. Il a été relativement facile de produire et de sélectionner des mutants de cette famille bactérienne capables de dégrader le toluène, c'est-à-dire de produire des enzymes spécifiques pour ce

## Principe de la réaction en chaîne de la polymérase (PCR)



molécule de l'ADN double brin

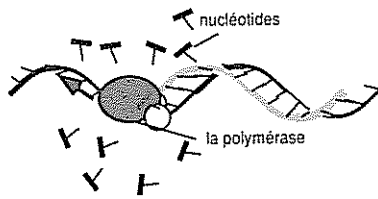


1. Dissociation de la molécule en brins simples



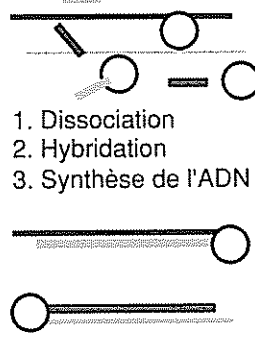
oligonucléotide synthétisée

2. Formation des paires de bases entre les oligonucléotides et chaque brin de l'ADN matrice



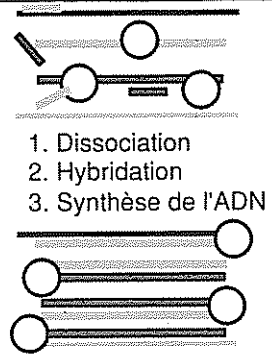
3. Synthèse d'un brin complémentaire par la polymérase

Cycle 1



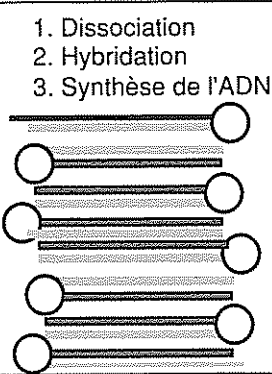
1. Dissociation
2. Hybridation
3. Synthèse de l'ADN

Cycle 2



1. Dissociation
2. Hybridation
3. Synthèse de l'ADN

Cycle 3(etc.)



1. Dissociation
2. Hybridation
3. Synthèse de l'ADN

Fig. 4 Une séquence d'ADN peut être dupliquée des millions de fois grâce à l'utilisation d'un processus enzymatique appelé PCR (réaction en chaîne de la polymérase). A gauche, on voit le principe d'un cycle de réaction, à droite l'état de la duplication après trois cycles.

substrat [5]. De plus, ces recherches ont permis d'isoler des bactéries dont la capacité à reconnaître de substrats différait de celle dont étaient doués les représentants de la souche bactérienne. Ces nouvelles propriétés se sont révélées être la conséquence de modifications au niveau de la protéine régulatrice XylS. Celle-ci catalyse l'expression des gènes nécessaires à la dégradation du toluène lorsque les molécules nutritives «normales» sont présentes dans la cellule – elles servent alors d'élément inducteur. Fait remarquable, on a pu trouver des protéines XylS mutées répondant à d'autres inducteurs ou exprimant les gènes propres à dégrader le toluène sans aucune induction. Des observations semblables à propos d'autres enzymes bactérielles

permettent de supposer que la modification des enzymes dégradantes d'une part, et des protéines responsables de la reconnaissance des substances nutritives d'autre part permettrait de convertir les substances nocives en nouvelles sources nutritives. Les analyses permirent de démontrer que toutes les protéines modifiées étaient le produit de gènes qui avaient subi des mutations (dont certaines ne concernent qu'une seule paire de bases!).

Les effets produits par des séquences d'ADN modifiées ne sont pas toujours directement observables. Actuellement, nos recherches sont consacrées en bonne partie à l'étude d'une enzyme spécifique halogène: la dioxygénase-1,2-chloropyrocathéchine, appartenant à la famille des intradiol-

dioxygénases (fig. 6). Ces enzymes sont produites par un groupe de gènes apparentés qui ont été tellement modifiés que leur séquences respectives ne se correspondent plus qu'à raison de 30 à 60% maximum. Ces différences entraînent des spécificités très variées au niveau des substrats par exemple. La dioxygénase-1,2-chloropyrocathéchine catalyse la transformation de la chloropyrocathéchine de manière beaucoup plus efficace que la dioxygénase-1,2-pyrocathéchine, plus fréquente dans les bactéries aérobies. Nous étudions en outre une protéine nécessaire à l'expression des gènes capables de dégrader la chloropyrocathéchine. Cette protéine régulatrice appartient à la famille des agents de transcription LysR, lesquels présentent de larges similitudes au niveau de leur séquence d'acide aminé, de leur taille, de leur fonction et de leurs effets. A la faveur d'un long processus évolutif, ces agents se sont toutefois développés de manière si différente que chacun d'eux assume un rôle bien spécifique du point de vue de l'expression des gènes.

### 3.2 Transfert génétique et création de processus métaboliques

Par opposition aux mutations verticales, on parlera de mutation horizontale (fig. 5) à propos des processus qui n'entraînent pas la modification d'une séquence de nucléotides au sein d'un fragment d'ADN, mais bien au contraire la modification de la position du fragment d'ADN sur la chaîne désoxyribonucléique, ou son transfert sur une autre molécule d'ADN. Ce transfert peut avoir lieu au sein d'un seul et même organisme. Lorsque l'ADN est transféré d'un organisme à l'autre, ce dernier est en quelque sorte équipé de l'information génétique contenue dans le fragment d'ADN transféré. La cellule réceptrice peut donc maintenant synthétiser des protéines qu'elle ne pouvait pas produire auparavant. Ci-après, nous voulons expliquer comment ce genre de transfert peut conduire à l'adaptation de microorganismes à de nouveaux substrats.

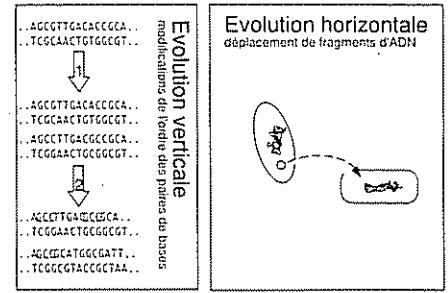
Le transfert de fragments d'ADN sur une autre molécule d'ADN ou à un autre endroit de la même chaîne d'ADN peut être catalysé par des

enzymes de recombinaison. Certains des gènes comportant l'information codée pour lesdites enzymes se trouvent sur des éléments génétiques pour ainsi dire amovibles, appelés transposons ou séquences d'insertion. Ces éléments peuvent se dupliquer et introduire une copie à un autre endroit de la chaîne d'ADN. Nous supposons que deux séquences d'insertion sont capables de se saisir des gènes qui se trouvent entre elles pour les rendre mobiles.

Nos recherches fournissent des indices patents (fig. 7) allant dans ce sens [6]. La souche de pseudomonases que nous avons principalement étudiée est capable de dégrader le benzène méthylé. Une partie des gènes catabolisants de cette bactérie se trouve sur un transposon. Les gènes contenant l'information codée nécessaire à la production de l'enzyme spécifique «dioxygénase chlorobenzénique» et «déhydrogénase benzénoglycosique» sont flanqués de part et d'autre de séquences d'insertion. Nos expériences ont montré que l'élément d'ADN se composant des séquences d'insertion et des gènes cataboliques est susceptible de s'insérer dans d'autres molécules d'ADN; par conséquent, on peut le considérer comme un élément mobile. Fait remarquable, cet élément particulier se trouve sur un plasmagène sur lequel nous avons pu également localiser d'autres gènes jouant également un certain rôle dans la dégradation de chlorobenzènes. La combinaison des informations génétiques se trouvant sur le plasmagène et sur le transposon joue un rôle décisif pour la dégradation complète des molécules de chlorobenzène. Jusqu'à présent, nous ignorons la provenance de ce transposon. Nous supposons néanmoins que les gènes catabolisants proviennent de microorganismes capables de dégrader le toluène. La première enzyme intervenant dans la dégradation du toluène est la toluodioxygénase, relativement non spécifique. En effet, elle est susceptible d'oxyder non seulement le toluène, mais aussi de nombreux autres substrats, parmi lesquels figure le chlorobenzène. L'analyse que nous poursuivons actuellement permet d'ores et déjà d'affirmer que les séquences génétiques contenant l'in-

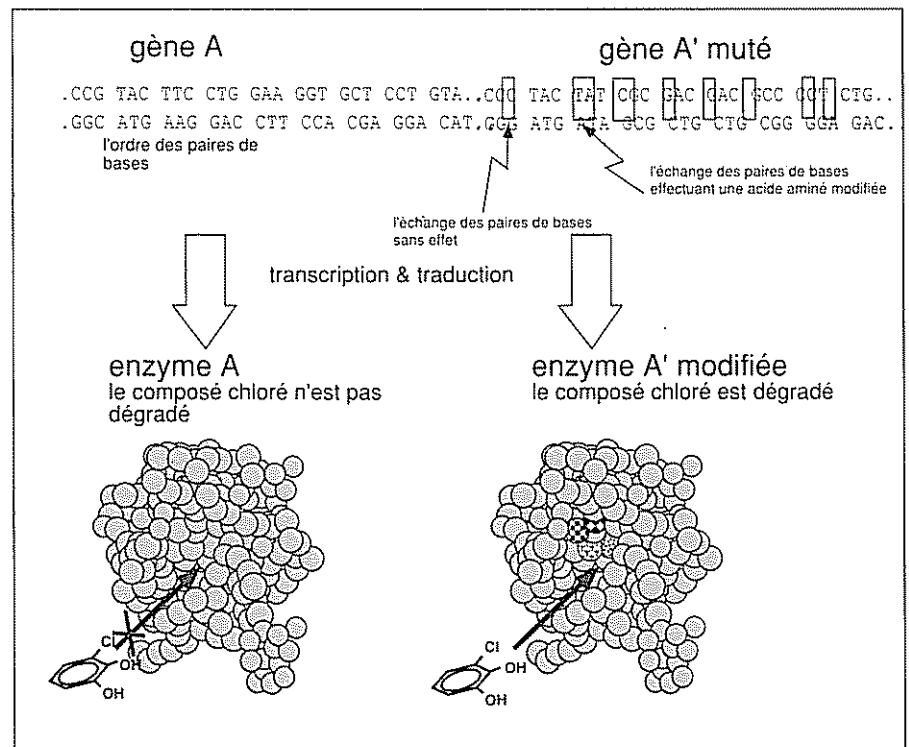
formation codée pour la dioxygénase chlorobenzénique correspondent dans une large mesure aux gènes permettant de produire la dioxygénase toluénique.

Les mécanismes d'échanges génétiques ne se limitent pas à la molécule d'ADN au sein d'un organisme. Il y a beaucoup d'autres éléments qui peuvent transférer des séquences d'ADN sur d'autres cellules de la même espèce ou sur des organismes d'espèces différentes. Présent dans de nombreuses bactéries, les plasmides jouent à cet égard un rôle important. Mais tous les plasmides ne se ressemblent pas. Certains, de taille petite, ne peuvent être transférés dans d'autres cellules; d'autres, en revanche, sont susceptibles de se transférer par eux-mêmes. De plus, il existe des plasmides qui s'associent à d'autres plasmides capables de se transférer eux-mêmes, on parlera de co-transfert. Enfin, quelques plasmides ont la capacité d'opérer un rétrotransfert: ils vont chercher des gènes appartenant à d'autres bactéries pour les intégrer dans leur cellule d'origine. Le transfert génétique ne se limite pas à l'ADN



**Fig. 5**  
**Evolution horizontale et verticale**  
Le terme d'évolution verticale désigne plusieurs processus génétiques qui engendrent une modification au niveau de l'ordre des paires de bases. Par exemple, les fautes de duplication peuvent conduire à l'échange de certaines paires de bases (flèche 1) ou à de petites disparitions (flèche 2). Par évolution horizontale, on entend les processus génétiques qui engendrent un déplacement de fragments d'ADN, soit au niveau de la molécule d'ADN de la cellule en question, soit par transfert vers une autre molécule d'ADN. Ce phénomène peut avoir lieu de manière intracellulaire ou intercellulaire.

plasmagénique, mais se produit également grâce aux transposons et aux bactériophages (virus). De nombreux plasmagènes autotransférables disposant de l'information génétique nécessaire à la dégradation de molécules benzéniques ou halogénées ainsi que



**Fig. 6**  
Suite à l'accumulation de modifications au niveau des séquences d'ADN, deux enzymes apparentés ont acquis des spécificités différentes (évolution verticale). Les enzymes sont représentés de manière schématique comme un collier de perles ramassé sur lui-même (les perles représentant les acides aminés des polypeptides). Les acides aminés qui se sont modifiés par suite de l'échange des paires de bases dans leur séquences d'ADN sont représentés d'une autre hachure.

de pesticides ont été découverts ces dernières vingt années. Ces plasmides sont intéressants pour nos recherches, étant donné que l'information génétique présente sur les plasmides peut être répartie par transfert sur un large

spectre d'espèces bactériennes différentes. Le plasmide mentionné plus haut, capable de dégrader le chlorobenzène, a également été trouvé dans d'autres bactéries vivant sur le même lieu et dans le même environnement,

ce qui semble indiquer la propagation du plasmide au sein de cette population microbienne. D'autres scientifiques ont cherché des plasmides contenant l'information nécessaire à la dégradation du toluène dans des bactéries en milieu naturel [7], et ont pu trouver ces plasmides dans plusieurs microorganismes différents. Les plasmides en question n'étaient pas strictement identiques, mais tous contenaient l'information nécessaire à la dégradation du toluène. Certains plasmides comportaient certes les gènes en question, mais ceux-ci étaient soit dupliqués soit orientés en sens inverse. Ces résultats montrent à l'évidence que les processus génétiques qui permettent le transfert de séquences d'ADN au sein d'une molécule d'ADN ou entre organismes différents se produisent également en conditions naturelles.

Par ailleurs, tout porte à croire que les processus métaboliques s'effectuent grâce à une succession de «cassettes génétiques» de provenances diverses [8]. Des études de génétique comparative portant sur plusieurs bactéries aérobies ont permis de postuler l'existence de telles «cassettes», comme par exemple les gènes avec l'information codée pour les dioxygénases de cycles benzéniques, ainsi que deux groupes de gènes, responsables respectivement du métafractionnement et de l'orthofractionnement de la pyrocatéchine. Est-il possible de combiner de telles cassettes? Jusqu'à présent, nous ne disposons que de preuves très peu nombreuses. Comme nous l'avons déjà dit, nous croyons néanmoins que la présence d'éléments génétiques mobiles encadrant certains groupes de gènes et susceptibles de les transférer permet d'expliquer l'apparition de nouvelles combinaisons génétiques.

### 3.3 Le facteur temps et l'évolution génétique

L'étude de l'évolution des espèces bute sur un problème fondamental: il n'est pas possible d'observer un seul microorganisme assez longtemps, c'est-à-dire jusqu'à qu'il ait fini de s'adapter à la présence de composés chimiques au départ xénobiotiques. Une grande partie de notre recherche est consacrée à la description d'espè-

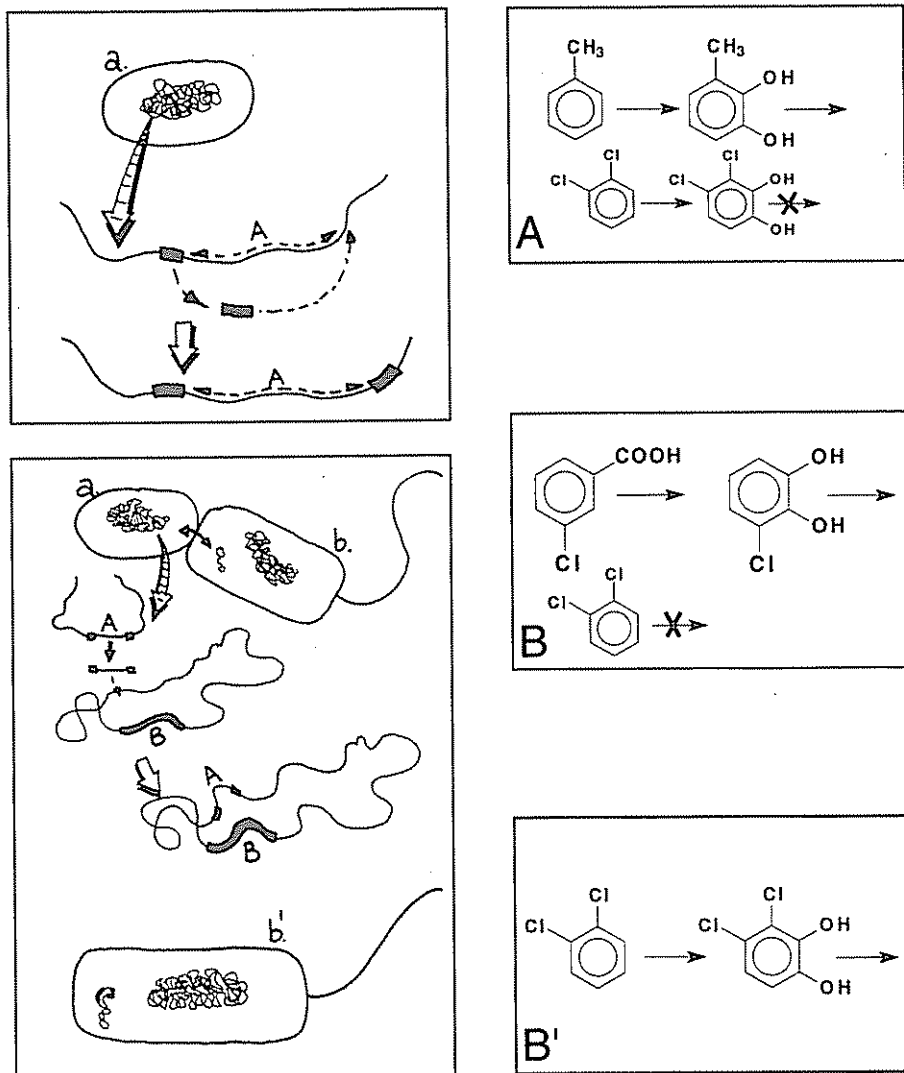


Fig. 7  
Événements possibles dans l'évolution des solutions métaboliques permettant de dégrader le chlorobenzène.

La bactérie «a» (en haut à gauche) dégrade le toluène (réaction chimique, voir encadré A). Les enzymes qui catalysent les premiers pas de cette réaction peuvent également oxyder le dichlorobenzène. Toutefois, cette bactérie ne peut pas dégrader le résultat intermédiaire dichloré de la première réaction chimique.

La bactérie «b» peut dégrader la molécule acide chlorobenzoïque, méta (réaction chimique, voir encadré B). Les résultats intermédiaires sont monochlorés et peuvent par conséquent être dégradés sans problèmes par les enzymes disponibles. Cette bactérie ne possède toutefois pas les enzymes nécessaires à l'oxydation du dichlorobenzène.

Les représentations à gauche illustrent le transfert possible de l'information génétique de la bactérie «a» sur la bactérie «b».

Les gènes comportant l'information codée pour la dégradation du toluène sont localisées sur le chromosome de la bactérie «a» (segment chromosomique «A»). Un élément d'insertion (bloc noir) se duplique spontanément; la copie s'insère à l'autre extrémité du secteur chromosomique «A». La bactérie «b» contient un plasmide qui peut se transférer dans une autre bactérie puis revenir dans la cellule d'origine. Les gènes nécessaires pour la dégradation du chlorobenzène (segment chromosomique «B») sont localisés sur ce plasmide.

Lorsque les deux bactéries «a» et «b» entrent en contact, le plasmide se transfère sur la bactérie «a», le segment génétique A est copié et intégré dans le plasmide grâce aux éléments d'insertion. Le plasmide regagne sa cellule d'origine avec la copie du segment A. La bactérie «b» modifiée, «b'», a acquis ainsi la faculté de dégrader complètement les chlorobenzènes (réaction chimique, voir encadré B')

ces bactériennes qui ont été extraites de leur environnement et qui peuvent dégrader une substance nocive déterminée. La comparaison de telles bactéries au niveau génétique forme la source d'information principale en ce qui concerne leur degré de parenté. Le critère déterminant en la matière réside le plus souvent dans la similitude des séquences d'acides aminés constituant les protéines bactériennes. Toutefois, on ne peut que supposer *a posteriori* que les protéines en question ont probablement eu des antécédents communs. Mais nous ne disposons que de très peu d'informations concernant les mécanismes qui participent effectivement à leur évolution génétique. L'avantage méthodologique des microorganismes réside dans leur faculté de reproduction extrêmement rapide. Ainsi, pour repérer les mutants, il suffit de passer au crible les grandes populations obtenues en laboratoire, un procédé aussi aisé que rapide. La sélection artificielle des souches bactériennes mutées, c'est-à-dire ayant des activités enzymatiques modifiées, correspond à une évolution en accéléré. Les expériences de transfert génétique se déroulent de manière analogue. On peut ainsi étudier le transfert de plasmides d'une souche à l'autre. La même méthode s'applique également aux nouvelles combinaisons génétiques au sein d'une même bactérie – il s'agit ici d'observer si le fonctionnement métabolique de la cellule s'élargit.

Il faut maintenant se demander si les mécanismes génétiques permettant aux bactéries de s'adapter déroulent de manière purement spontanée ou s'ils sont régulés par certaines conditions environnementales. Cette question est au centre des préoccupations actuelles en génétique moléculaire. Récemment, on a pu montrer que des bactéries vivant dans une situation de stress, notamment en présence de substances nocives ou en période de carence nutritive, sont beaucoup plus sujettes aux mutations. Certains indices permettent d'affirmer que les mutations affectant une seule paire de bases ainsi que l'activité de séquences d'insertion sont induites dans une certaine mesure par les conditions environnementales [9]. Cette assertion

repose par conséquent sur l'hypothèse qu'il existe des systèmes régulateurs et sensoriels permettant aux microorganismes d'augmenter leur taux de mutation en présence de conditions difficiles. Ainsi croît la probabilité que l'espèce survive grâce à une mutation appropriée. A ce propos, certains chercheurs suggèrent la présence d'évolutionases, des enzymes ou des régulateurs ayant pour fonction de favoriser les modifications du matériel désoxyribonucléique [10].

Les scientifiques se demandent également si les souches bactériennes adaptées aux substances nocives présentes dans l'environnement ont été sélectionnées pour leur métabolisme élargi après que lesdites substances aient commencé à se répandre dans la nature. Les résultats des expériences menées sur les microorganismes capables de dégrader des composés chlorobenzéniques, indiquent que de telles souches ont pu s'adapter aux cycles aromatiques chlorés à la suite de la pression sélective que ces composés chimiques ont exercé sur les cellules. L'encadrement des gènes nécessaire à la production de toluoldioxygénase par les éléments d'insertion, tel qu'il a été décrit plus haut, pourrait être le résultat d'une évolution récente. Par ailleurs, nos recherches, de même que celles d'autres groupes, montrent que les enzymes spécifiques susceptible de dégrader les composés halogénés sont apparues vraisemblablement à une

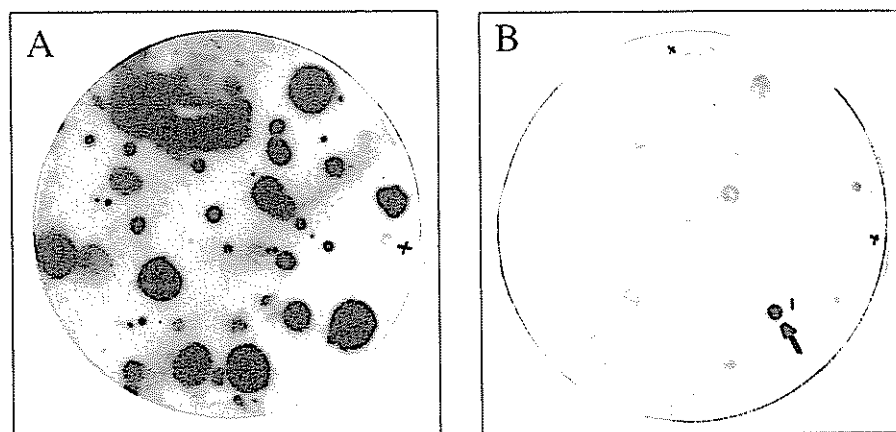
époque plus reculée de l'évolution. Ces enzymes se sont peut-être développées à la faveur d'une adaptation à des composés chlorés présentes naturellement dans l'environnement.

La dioxygénase-1,2-chloropyrocatechine ainsi que la protéine qui en régule la production continuent d'être pour notre groupe des modèles pour l'étude des mécanismes génétiques intervenant dans le développement de protéines spécialisées susceptibles de dégrader les composés chlorés.

Ces modèles nous permettront en outre d'examiner l'influence du stress environnemental sur l'adaptation des protéines jouant un rôle-clé au niveau de la dégradation biologique des substances nutritives.

#### 4. A la recherche des microorganismes dans l'environnement

Jusqu'à présent, la plus grande partie des informations concernant le potentiel de dégradation des microorganismes provient des études effectuées sur des souches bactériennes prélevées dans l'environnement et enrichies en laboratoire. La masse des données génétiques ne cesse de croître si bien qu'il est de plus en plus facile de rechercher et d'isoler une bactérie donnée dans des échantillons prélevés en milieu naturel. Nous assistons ainsi à la naissance d'un domaine particulier de l'écologie microbienne, à savoir l'étude de la génétique des popula-



**Fig. 8**  
Révélation d'une colonie bactérienne donnée en présence de diverses autres types de colonies grâce à la méthode de l'hybridation ADN-ADN. L'image A montre une autoradiographie de colonies bactériennes qui proviennent d'un échantillon prélevé dans l'environnement et qui ont été cultivées sur les plaques. L'image B montre seulement les colonies qui se sont hybridées avec un élément d'ADN test comportant les gènes nécessaires à la production de dioxygénase chloropyrocatechine. Les hybridations non spécifiques, encore visibles sur l'image A, ont été éliminées par rinçage.

tions et de la variabilité génétique. A l'heure actuelle, il est possible d'isoler des souches bactériennes non seulement sur la base de leurs caractéristiques phénologiques ou extérieures, mais aussi grâce à leurs propriétés génétiques.

Comment ces études se déroulent-elles? Dans un certain nombre de laboratoires, y compris dans le nôtre, des techniques de criblage ont été testées, puis optimisées grâce à l'application de l'hybridation ADN-ADN et de la PCR (voir plus haut) [11, 12]. Notre attention se porte actuellement avant tout sur les bactéries comportant l'information génétique nécessaire pour la dégradation de composés chloroaromatiques. Voilà pourquoi nous essayons d'isoler des bactéries provenant de zones principalement contaminées par ce genre de composés chimiques (fig. 8). Ensuite, nous avons isolé les gènes portant l'information codée pour les enzymes jouant un rôle-clé dans la dégradation des cycles benzéniques, tels par exemple les gènes correspondant à la dioxygénase chlorobenzénique ou toluénique ainsi que la dioxygénase chloropyrocatechine. L'hybridation de ces fragments d'ADN est faite avec l'ADN de colonies fraîchement isolées. Les bactéries réagissant positivement sont sélectionnées en vue d'études ultérieures. Ces fragments d'ADN ont également servi à synthétiser des oligonucléotides servant de signal de départ pour les réactions en chaîne des polymérase – ces expériences ont pour but de découvrir et de quantifier les séquences cataboliques présentes dans les échantillons prélevés en milieu naturel. La fréquence de ces séquences peut également être étudié par rapport au degré de pollution des échantillons. Nous espérons pouvoir ainsi mettre en évidence le fait que le stress dû à la présence de substances nocives dans la nature influe sur la sélection de bactéries mutantes.

### 5. Perspectives d'avenir – les capacités autorégénératrices de lieux pollués

Quelle importance revêt le rôle de l'adaptation génétique bactérienne en ce qui concerne la dégradation de

substances nocives? D'une part, il est clair que les bactéries présentes dans l'environnement n'ont que des possibilités limitées en matière de dégradation des substances nocives aussi longtemps que l'information génétique nécessaire à cet effet leur manque. D'autre part, les substances nocives ne sont pas nécessairement dégradées à une vitesse optimale même quand les bactéries adéquates sont présentes sur les lieux. Dans la nature, l'activité des microorganismes dépend en fait d'un grand nombre de facteurs physico-chimiques tels que concentration du substrat, température, etc. [13]. Si l'on considère les coûts toujours plus élevés consacrés à l'assainissement conventionnel des décharges pour déchets spéciaux, il est avantageux de se pencher sur des solutions plus pratiques et plus acceptables. Les avantages qu'offrent les microorganismes sont évidents. Il existe diverses possibilités d'utiliser les microorganismes. Soit on pratique la bio-amélioration des lieux contaminés: Dans ce cas, l'activité microbienne est favorisée *in situ* par un apport adéquat de substances nutritives, et les substances nocives sont de ce fait dégradées par les microorganismes comme dans un réacteur. Soit on pratique la bio-augmentation: Dans ce second cas, des microbes spécialisés sont introduits dans la zone contaminée, ce qui permet d'optimiser le processus de dégradation. La question de la fabrication en laboratoire de microorganismes modifiées a été également évoquée comme solution possible pour accélérer le processus d'évolution. De la sorte, il serait possible de produire des bactéries capables de résorber des substances nocives difficilement biodégradables. Mais de telles solutions soulèvent certains problèmes d'ordre technique, politique et éthique. Une autre solution plus longue à réaliser consisterait à supprimer toute nouvelle pollution de l'environnement et à attendre que les microorganismes dégradent *in situ* et de manière spontanée les substances nocives qui se trouvent dans l'environnement. Ce genre de solution suppose que le potentiel autorégénérateur du lieu en question soit connu de manière exacte. Pour arriver à une appréciation

correcte de telles stratégies, il convient par-dessus tout de bien étudier la multiplicité des gènes catabolisants présents dans les populations de microorganismes ainsi que les processus d'adaptation auxquels les conditions environnementales donnent lieu.

- [1] Margulis, L. (1993) Symbiosis in cell evolution. Freeman Co., New York.
- [2] Barkay, T. and Pritchard, H. (1988) Adaptation of aquatic microbial communities to pollutant stress. *Microbiol. Sci.* 5, 165–169.
- [3] Rojo, F., Pieper, D.H., Engesser, K.-H., Knackmuss, H.-J. and Timmis, K.N. (1987) Assemblage of ortho cleavage route for simultaneous degradation of chloro- and methylaromatics. *Science* 238, 1395–1398.
- [4] Burlage, R.S., Hooper, S.W. and Saylor, G.S. (1989) The TOL (pWW0) catabolic plasmid. *Appl. Environ. Microbiol.* 55, 1323–1328.
- [5] Ramos, J.L. and Timmis, K.N. (1987) Experimental evolution of catabolic pathways of bacteria. *Microbiol. Sci.* 4, 228–237.
- [6] van der Meer, J.R., Zehnder, A.J.B. and de Vos, W.M. (1991) Identification of a novel composite transposable element, Tn5280, carrying chlorobenzene dioxygenase genes of *Pseudomonas* sp. strain P51. *J. Bacteriol.* 173, 7077–7083.
- [7] Williams, P.A., Assinder, S.J., De Marco, P., O'Donnell, K.J., Poh, C.L., Shaw, L.E. and Winson, M.K. (1992) Catabolic gene duplications in TOL plasmids. In: *Pseudomonas: Molecular biology and biotechnology* (Galli, E., Silver, S. and Witholt, B., Eds.), pp. 341–353. American Society for Microbiology, Washington, DC.
- [8] van der Meer, J.R., de Vos, W.M., Harayama, S. and Zehnder, A.J.B. (1992) Molecular mechanisms of genetic adaptation to xenobiotic compounds. *Microbiol. Rev.* 56, 677–694.
- [9] Cairns, J., Overbaugh, J. and Miller, S. (1988) The origin of mutants. *Nature (London)* 335, 142–145.
- [10] Harayama, S. and Timmis, K.N. (1992) Aerobic biodegradation of aromatic hydrocarbons by bacteria. In: *Degradation of environmental pollutants by microorganisms and their metalloenzymes* (Sigel, H. and Sigel, A., Eds.), pp. 99–157. Marcel Dekker, Inc., New York.
- [11] Steffan, R.J. and Atlas, R.M. (1991) Polymerase chain reaction: applications in environmental microbiology. *Annu. Rev. Microbiol.* 45, 137–161.
- [12] Saylor, G.S. and Layton, A.C. (1990) Environmental application of nucleic acid hybridization. *Annu. Rev. Microbiol.* 44, 625–648.
- [13] van der Meer, J.R., Bosma, T.N.P., de Bruin, W.P., Harms, H., Holliger, C., Rijnaarts, H.H.M., Tros, M.E., Schraa, G. and Zehnder, A.J.B. (1993) Versatility of soil column experiments to study biodegradation of halogenated compounds under environmental conditions. *Biodegradation* 3, 265–284.

Christopher Rösselet<sup>1</sup>, David Stocker et J. Alistair Kerr

# Formation du smog estival

## Modélisation chiffrée de la formation d'ozone, de PAN et de peroxyde d'hydrogène au-dessus du Plateau suisse.

### Le smog estival d'origine photochimique

Le smog d'origine photochimique se forme lorsque les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et les hydrocarbures fugitifs (VOC) entrent en réaction sous l'influence des rayons solaires. De hautes concentrations d'ozone ( $\text{O}_3$ ), de nitrate de peroxyacétyle (PAN), et de peroxyde d'hydrogène  $\text{H}_2\text{O}_2$ , ainsi qu'une réduction de la visibilité en sont les conséquences. L'augmentation de la concentration des agents photooxydants peut porter atteinte aux voies respiratoires des êtres humains ainsi qu'à la végétation [1,2]. De plus, on sait que le PAN peut provoquer des irritations oculaires, alors que  $\text{H}_2\text{O}_2$  joue un rôle important dans la formation de pluies acides. Les processus les plus importants contribuant à l'apparition et à la dégradation des agents photooxydants susmentionnés sont représentés schématiquement en fig. 1.

La formation photochimique du smog estival est déterminée par la fréquence d'émission des substances polluantes primaires, les conditions météorologiques et les processus chimiques qui se déroulent dans l'atmosphère. Sur le Plateau suisse, des programmes d'envergure ont été mis sur pied pour mesurer les paramètres météorologiques et chimiques de l'atmosphère. Il s'agit d'une part de POLLUMET (Pollution and Meteorology in Switzerland) et de NABEL (réseau national d'observation des polluants atmosphériques) [3]. Les mesures effectuées sur le terrain dans le cadre de POLLUMET servent à mettre en évidence le transport et la transformation chimique des polluants atmosphériques durant les périodes de smog estival. Quant à NABEL, il s'agit d'un réseau de mesure automatique permettant d'observer la qualité de l'air et

d'analyser la formation de polluants atmosphériques en Suisse. NABEL est exploité par l'EMPA (Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche), à la demande de l'OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage). Le réseau NABEL compte 16 stations (en 1990, 10 stations étaient déjà en service) à des endroits judicieusement implantées et donnant ainsi une image juste de la situation atmosphérique en Suisse.

Les agents photooxydants sont des composés chimiques secondaires présents dans l'atmosphère. Ils se forment durant le transport des polluants primaires sous l'action des rayons solaires. Le trafic automobile, les transports, l'entreposage et l'utilisation de dissolvants sont autant de sources de pollution atmosphérique primaire. Les émissions proviennent en outre de la combustion stationnaire d'agents énergétiques, des processus de production industrielle et de sources naturelles. Durant l'été, les zones de

haute pression empêchent la mixtion verticale et la dilution des gaz polluants émis à la surface terrestre. La densité des rayons solaires durant les jours d'été sans nuage provoque la formation du smog estival. Le potentiel d'une substance organique à produire de l'ozone dépend d'une part de la vitesse à laquelle ladite substance est oxydée ainsi que de la présence d'oxydes d'azote, mais aussi des propriétés dont disposent les résultats chimiques de l'oxydation.

Les rapports entre la formation du smog et les taux d'émission des substances précurseurs ne sont pas linéaires. Pour pouvoir étudier ces rapports, il faut recourir à des modèles adéquats, tenant aussi bien de la météorologie que de la chimie des masses d'air. Dans les modèles d'Euler, les concentrations de polluants sont calculées à des points géographiques bien précis dans l'espace (grille) et peuvent être attribués à certains effets locaux et restreints. La mise en place et l'exploita-

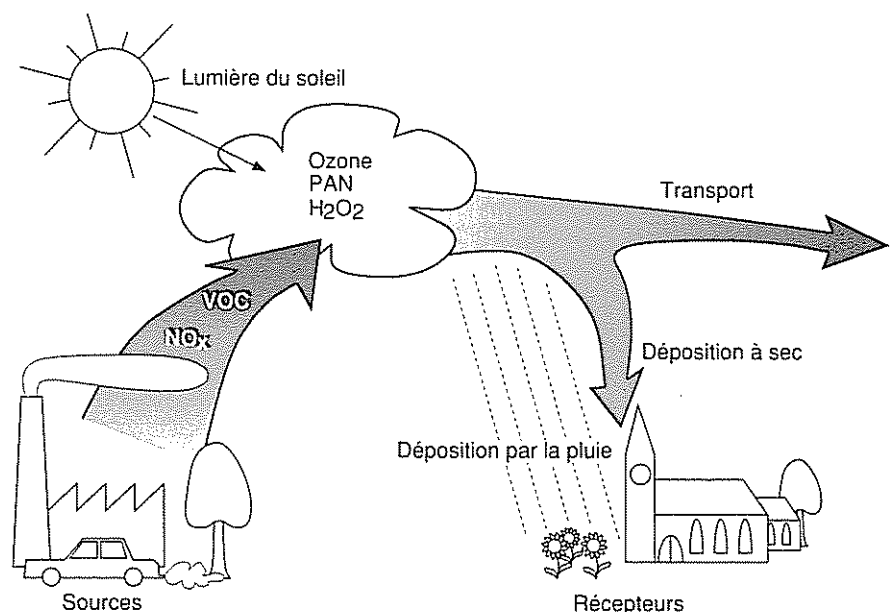


Fig. 1

Représentation schématique de la formation photochimique du smog estival.

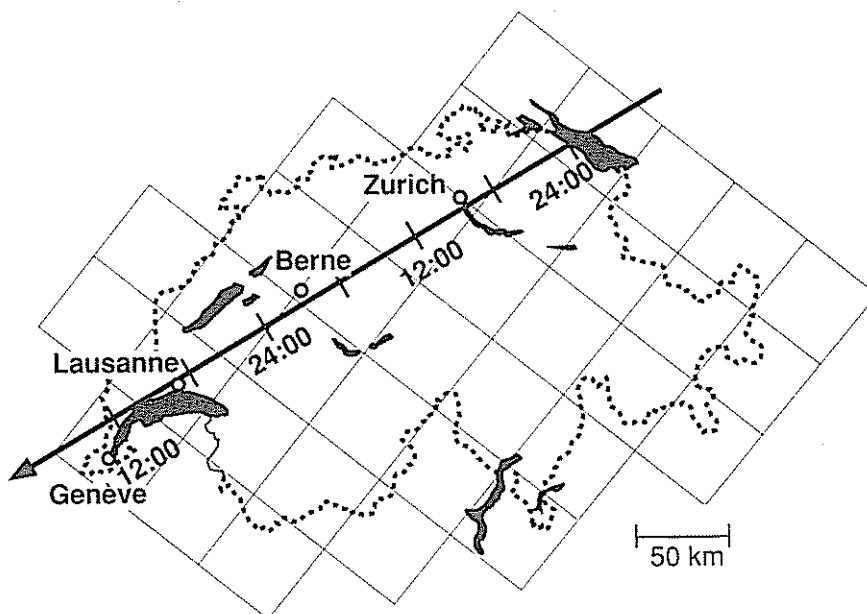
Les substances nocives primaires proviennent aussi bien des activités humaines que de sources naturelles. La déposition à sec et par la pluie constitue un poste négatif au bilan des concentrations. La déposition à sec est assimilable au transport et au dépôt superficiel de matières et de particules gazeuses (en l'absence de toute pluie).

<sup>1</sup>Paul Scherrer Institut, CH-5232 Villigen.

tion de modèles d'Euler coûtent autant de temps que d'argent. En revanche, dans les modèles de Lagrange, les concentrations de polluants sont calculées dans une colonne d'air en mouvement; les points de mesure sont situés le long de la ligne de vol de cette colonne d'air (on parlera ci-après de trajectoire). La trajectoire correspond à la direction principale des vents. Les comparaisons entre les mesures effectuées par les différentes stations ne sont valables que si la colonne d'air passe au-dessus des points de mesure. Les deux genres de modèles permettent de conjecturer sur l'évolution de la formation d'agents photooxydants sur la base de divers scénarios de réduction des émissions. Les exigences, les limites et les possibilités d'application des divers modèles sont discutées à la lumière d'un exemple portant sur le développement d'un modèle de Lagrange susceptible de simuler la formation d'agents photooxydants au-dessus du Plateau suisse. Le modèle discuté est conçu en 2 dimensions; il servira de base partielle au développement de modèles 3D plus exhaustifs. En ce sens, les résultats exposés ci-dessous ont un caractère provisoire. Une description exhaustive du modèle se trouve dans [4] et dans un ouvrage conjoint de Rösselet et Kerr en cours d'élaboration.

**Le modèle**

Le modèle utilisé par les auteurs décrit la formation photochimique de gaz nocifs secondaires dans une masse d'air de la couche atmosphérique inférieure. A l'origine, ce modèle a été développé pour pouvoir simuler la formation d'agents photooxydants au-dessus de l'Angleterre du sud [5]. Le modèle a été adapté aux conditions typiques régnant en Suisse durant les périodes de smog estival. Des zones de haute et de basse pression sont nécessaires en Europe pour que la bise souffle chez nous; il s'agit d'un vent faible du nord-est longeant la chaîne du Jura. La masse d'air a commencé sa trajectoire le 25 juillet 1990 à 18 heures sur le fuseau horaire européen moyen, à environ 15 kilomètres de Ravensburg. A une vitesse de 7,2 kmh, la masse d'air en question a suivi une



**Fig. 2**  
Carte de la Suisse: la trajectoire de la colonne d'air part du Lac de Constance le 25 juin 1990, vers 18h00, pour arriver aux environs de Genève le 27 juin 1990, vers 16h00. Le cadastre des émissions établi par l'OCDE sert de grille analytique.

trajectoire allant du lac de Constance au Lac Léman en passant par Zurich, Berne et par dessus le Plateau suisse (fig. 2). Durant le transport le long de cette trajectoire, la masse d'air a ramassé les émissions de NO<sub>x</sub> et de VOC de la ville de Zurich durant les heures de pointe matinales. Les variations journalières de la température et de l'humidité de l'air ainsi que du rayonnement solaire ont été prises en compte dans le modèle.

Verticalement, la masse d'air est divisée en deux couches. L'extension horizontale de la masse d'air est de 50 km<sup>2</sup>. La mixtion de l'air dans les deux couches a lieu de manière complète et homogène. Au lever du soleil, la couche inférieure commence à se mélanger de manière turbulente. Haute de 300 mètres maximum, la couche d'inversion stable qui s'était instaurée durant la nuit devient une couche en pleine mixtion. La couche supérieure, haute de 1000 mètre environ, sert de réservoir aux gaz nocifs qui y demeurent isolés du sol à la faveur de l'inversion nocturne. Durant la matinée, les courants de convection de la couche inférieure en font monter le niveau supérieur jusqu'à 1300 mètres au début de l'après-midi. Simultanément, l'air de la couche supérieure s'écoule et pénètre dans la couche inférieure. Au coucher du soleil, l'épaisseur de la couche inférieure est ramenée vers trois cents mètres et l'air

situé au-dessus redevient une couche réservoir isolée loin du sol. La mince couche d'air inférieure redevient stable jusqu'au matin suivant. Le processus décrit ci-dessus se reproduit quotidiennement, alors que la hauteur absolue de la colonne d'air se maintient toujours à 1300 m. Le choix des concentrations initiales des diverses composantes est très important, car il s'agit de paramètres pouvant influencer les réactions chimiques. Ces valeurs initiales ont été estimées sur la base d'un précalcul pour le Sud de l'Allemagne.

**Emissions**

Le modèle tient compte des taux d'émission des NO<sub>x</sub> ainsi que de 68 VOC différents. Sur la base du cadastre de l'OCDE, représentant un quadrillage de 50 km<sup>2</sup> par carré, P. Filliger et R. Ballaman (OFEFP, communication privée) ont établi un inventaire des

Sources	VOC	NO <sub>x</sub>
Moteurs à explosion (combustion)	115.4	211.2
Moteurs à explosion (évaporation)	62.93	
Moteurs diesel (combustion)	38.2	118.3
Combustion stationnaire	57.6	113.6
Industrie	23.8	23.1
Solvants	493.3	
Gaz (pertes)	9.92	

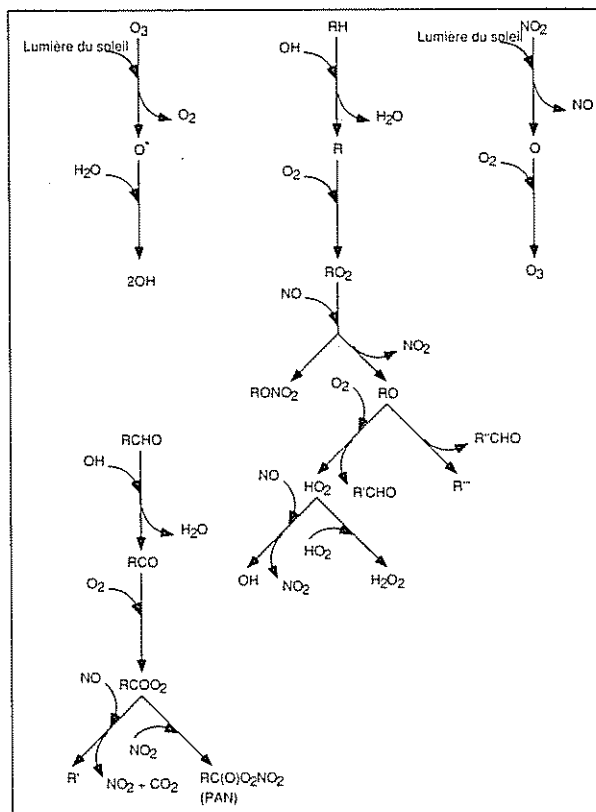
**Tableau 1**  
Emissions en kt par jour au-dessus du Plateau pendant une période de smog estival en 1990.

émissions de  $\text{NO}_x$  et de VOC durant une période de smog estival en 1990. Le calcul des taux d'émission des différentes sortes de VOC s'est basé sur une catégorisation en huit sources de VOC, après estimation des émissions totales pour chacune desdites catégories au niveau suisse (P. Filliger et R. Ballaman, OFEFP, communication privée). Le tableau 1 montre les émissions totales de chaque catégorie sur le Plateau suisse. Ces résultats ont ensuite été répartis en fonction des diverses composantes selon Derwent et Jenkin [6]. Les émissions de  $\text{NO}_x$  et de VOC au-dessus du sud de l'Allemagne, nécessaires au précalcul, ont été reprises au cadastre de l'OCDE [7]. Les gaz nocifs primaires parviennent dans la couche inférieure du modèle, proche du sol. Selon le genre de la source, on admet un certain profil journalier spécifique des émissions, comme par exemple pour le trafic et l'industrie. Les émissions de CO sont en étroite corrélation avec les émissions de  $\text{NO}_x$  [8]. Dans la présente étude, les concentrations de CO ont été calculées selon un facteur fixe à partir des concentrations de  $\text{NO}_x$ . Les émissions naturelles n'ont pas été prises en compte dans cette étude, étant donné qu'elles ne sont pas connues avec précision. Les sources naturelles correspondent à 10% du total des émissions de VOC [7].

### Le mécanisme photochimique

La dégradation photochimique des hydrocarbures fugitifs se produit soit par le biais d'une réaction avec des radicaux  $\text{OH}^\cdot$  soit par photodissociation. Les radicaux hydroxydes se créent à la faveur de la réaction de la vapeur d'eau avec des atomes d'oxygène instables que libère la photolyse de l'ozone. Dans les deux cas, une réaction en chaîne s'instaure, engendrant des produits intermédiaires sous forme de radicaux hautement réactifs. A la faveur de cette réaction en chaîne, le monoxyde d'azote est transformé en dioxyde d'azote. La photolyse de ce dernier composé est la seule source connue d'ozone dans la couche atmosphérique inférieure. Le mécanisme de réaction chimique entraînant l'oxydation des substances organiques est expliqué en fig. 3. A divers endroits du

**Fig. 3**  
**Représentation schématique de l'oxydation photochimique d'un hydrocarbure fugitif quelconque (RH), de la formation de produits intermédiaires réactifs et de l'oxydation de monoxyde d'azote (NO) et de dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ).**  
 Les radicaux  $\text{OH}^\cdot$  sont régénérés de sorte que le cycle réactif peut se répéter. Voici les autres produits de ces réactions: eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), aldéhydes (RCHO), nitrates organiques ( $\text{RONO}_2$ ), peroxyacétylnitrates ( $\text{RC(O)O}_2\text{NO}_2$ ) et peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).  
 Voici aussi d'autres produits intermédiaires: atomes d'oxygène (O), radicaux alkyles (RO), radicaux alkylperoxy ( $\text{RO}_2$ ), radicaux alkoxy (RO), radicaux peroxyhydrogéné ( $\text{HO}_2$ ), radicaux acyles (RCO) et peroxyacyles ( $\text{RCOO}_2$ ).



schéma, les réactions peuvent suivre plusieurs cheminements. La fréquence des diverses réactions influence la répartition des molécules produites et par conséquent la formation d'ozone. L'oxydation des substances organiques donne naissance à des composés carbonyles secondaires. La photooxydation de ces produits secondaires permet la formation de peroxyacétylnitrates (PAN). Le peroxyde d'hydrogène naît de la réaction entre deux radicaux  $\text{HO}_2$ . Ce processus est en concurrence avec les réactions entre les radicaux  $\text{HO}_2$  et l'oxyde d'azote.

Le modèle tient compte de 384 substances chimiques, y compris les produits intermédiaires (radicaux réactifs), ainsi que de 684 réactions. Les vitesses des réactions sont dérivées de données acquises par simulation en laboratoire des conditions atmosphériques [9]. Les vitesses de photodissociation sont une fonction de l'angle zénithal du soleil.

La précipitation des substances chimiques dans les gouttes de pluie n'est pas prise en compte, étant donné que le modèle simule une situation sans nuage. En revanche, l'abaissement à sec des substances chimiques vers la surface terrestre est estimée sur la base de la vitesse journalière moyenne.

### Possibilités d'application et limites du modèle

Un grand nombre de processus relatifs à la chimie et à la physique atmosphérique influence la formation du smog estival. Tous intercorrelés, ces processus ne peuvent être modélisés dans leur ensemble à cause des capacités limitées des ordinateurs actuels. Voilà pourquoi ces modèles sont simplificateurs. Ils requièrent un grand nombre de données importantes concernant les conditions météorologiques et les émissions dans la région étudiée. Les incertitudes concernant les conditions initiales et les paramètres adjacents, les simplifications et les hypothèses de départ peuvent engendrer une grande imprécision au niveau des résultats. Malgré ces réserves, les modèles fournissent une aide précieuse quand il s'agit d'interpréter les mesures faites sur le terrain. De même, ils sont utiles quand on veut faire des prédictions à propos des concentrations de photooxydants résultant de divers scénarios de réactions entre  $\text{NO}_x$  et VOC. Telle qu'elle est appliquée dans la présente étude de modélisation, l'expression mathématique du transport des substances chimiques est une simple modélisation physique de la couche atmosphérique inférieure pou

Fig. 4

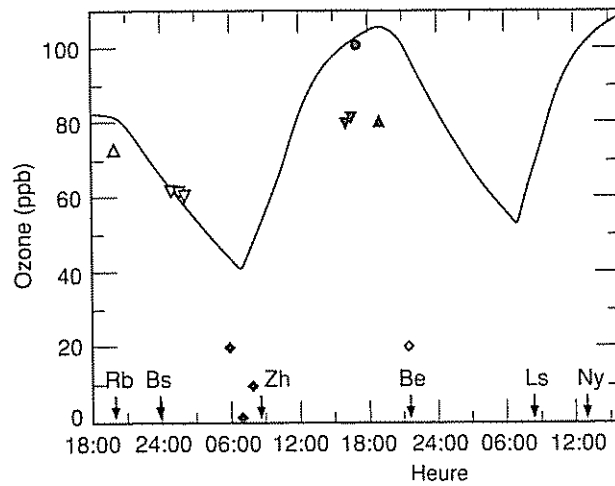
Concentrations d'ozone calculées par modélisation et mesurées dans le cadre de POLLUMET, le long de la trajectoire de la colonne d'air.

Lieux de mesure:

- △ Friedrichshafen, [D. Ahren, Baden-Württemberg, D, communication privée],
- ▽ Bichelsee, [B. Buchmann, EMPA Dübendorf, communication privée],
- ◆ Dübendorf [11],
- ▼ Langenthal [12],
- Günsberg, [R. Stampfli, Soleure, communication privée],
- ▲ Granges [R. Stampfli, Soleure, communication privée] et
- ◇ Berne [12].

1 ppb d'ozone correspond à  $1,96 \mu\text{g m}^{-3}$  à une température de  $25^\circ\text{C}$  et à une pression de 1 atu.

Abréviations: Rb, Ravensburg; Bs, Lac de Constance; Zh, Zurich, Be, Berne; Ls, Lausanne; Ny, Nyon.



certaines conditions bien spécifiques. Les écarts par rapport aux conditions actuelles peuvent être très grands surtout au lever et au coucher du soleil, c'est-à-dire quand la couche nocturne proche du sol entre en turbulence ou redevient stable.

La modélisation livre comme résultat des valeurs de concentration moyenne pour les gaz nocifs dans la couche de mixtion, laquelle est considérée comme étant entièrement mélangée. La qualité de l'air dans les villes et à leurs abords immédiats ainsi qu'aux sources d'émission ne peuvent pas être calculées à l'aide du modèle, étant donné qu'en réalité, les gradients de concentration horizontaux et verticaux peuvent jouer un rôle significatif. En ce qui concerne les agglomérations homogènes et les régions de campa-

gne, il semble justifié d'admettre une mixtion homogène de l'air chargé de substances nocives. Bien que les émissions naturelles ne représentent qu'une faible proportion des émissions totales de VOC, elles se caractérisent par la présence d'hydrocarbures hautement réactifs, tel l'isoprène, si bien que le fait de ne pas en tenir compte pourrait réellement fausser les résultats.

Il n'est pas possible d'intégrer l'ensemble des mécanismes de réaction chimique dans le modèle. Les plus importantes vitesses de réaction ont été mesurées. Mais nous ne disposons d'aucune donnée expérimentale pour de nombreuses réactions. Les marges d'erreur des constantes de réaction mesurées se situent entre 20 et 30%. Par ailleurs, les données cinétiques ont

été établies grâce à des expériences de laboratoire simulant les conditions atmosphériques. Suite à des limitations d'ordre analytique, les concentrations utilisées dans ces expériences peuvent être jusqu'à mille fois plus élevées que les concentrations présentes dans l'atmosphère. Il n'est donc pas possible d'exclure toute erreur systématique. Les vitesses réelles de déposition à sec ont un profil journalier caractéristique avec des valeurs maximales durant la journée. Pour les besoins du modèle, il faut faire la moyenne sur 24 heures; pour cette raison, on obtient des valeurs diurnes trop basses et de valeurs nocturnes trop hautes. De même, la moyenne des vitesses de déposition à sec a été calculée pour toute la trajectoire de la masse d'air, alors que la déposition à sec est plus ou moins rapide selon les surfaces [10], ce dont le modèle ne tient également pas compte. Toutes ces approximations inhérentes à la modélisation limitent l'application du modèle. Les modèles servent en premier lieu à prédire la modification relative des concentrations d'agents photooxydants par rapport à des modifications hypothétiques des taux d'émission. Les résultats de notre modélisation ont une signification qualitative et se limitent à la trajectoire modélisée durant les périodes de smog estival.

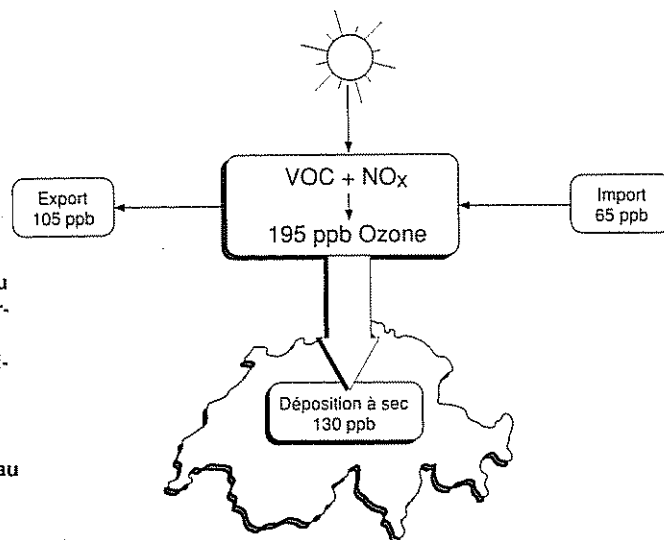
## Résultats chiffrés du modèle

### Ozone

La fig. 4 montre la formation d'ozone le long de la trajectoire modélisée à travers le Plateau suisse. Le modèle permet de calculer la concentration d'ozone dans la colonne d'air vers minuit, au moment où la masse d'air atteint la Suisse, à savoir: 65 ppb (part per billion, unité de concentration volumique). Cette concentration décroît au cours de la nuit suite aux réactions entre l'ozone, les oxydes d'azote et les oléfines, ainsi que suite à la déposition à sec; elle atteint son niveau le plus bas, soit 40 ppb, juste avant le lever du soleil. Durant les heures matinales, la hauteur de la couche de mixtion augmente ainsi que sa concentration d'ozone. L'ozone qui est resté au-dessus de la limite d'inversion nocturne est réintégré dans la

Fig. 5

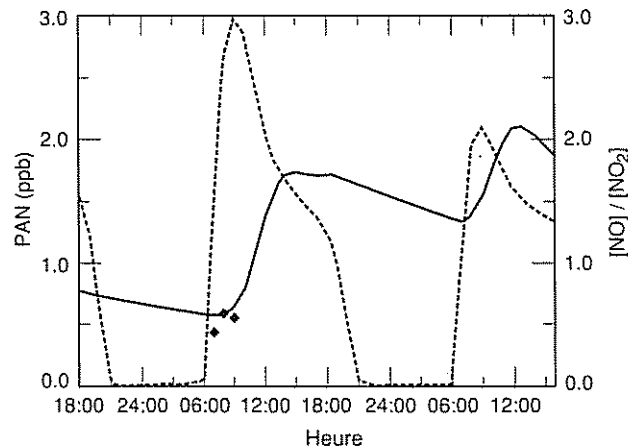
Bilan de l'ozone calculé pour la Plateau suisse avec les proportions d'immission, de production, de déposition et d'exportation. Le budget de l'ozone, calculé par le modèle, est consolidé au niveau suisse de 10%, ce qui reste dans la marge d'erreur.



couche inférieure au moment de son expansion matinale. En outre, le rayonnement solaire amorce des réactions photochimiques produisant de l'ozone. La concentration d'ozone atteint sa valeur journalière maximale de 106 ppb vers 19h00 aux environs de Burgdorf (BE). La concentration d'ozone diminue au fur et à mesure que le soleil descend à l'horizon et que la couche inférieure a repris son état de stabilité nocturne.

Les calculs effectués sur la base de notre modèle aboutissent à une production nette d'ozone le long de la trajectoire modélisée à travers le Plateau suisse (fig. 5). Après que la plus grande partie de l'ozone créé photochimiquement s'est déposé à sec le long de la trajectoire, la concentration d'ozone augmente de 60% entre le moment où la masse d'air est importée et le moment où elle est exportée.

La comparaison des résultats de la modélisation avec les mesures réalisées durant la phase d'observation intense en 1990 pour POLLUMET et NABEL révèle une concordance relativement bonne. Par rapport aux valeurs calculées avec le modèle, les valeurs mesurées aux abords des villes sont un peu plus petites, probablement à cause des réactions entre l'ozone et l'oxyde d'azote. Les concentrations d'ozone calculées sont des moyennes valables pour l'ensemble de la couche de mixtion. En revanche, les mesures de concentration d'ozone effectuées au sol sont fortement influencées par les sources avoisinantes d'oxyde d'azote. Ce phénomène est particulièrement visible à Berne et à Dübendorf. L'évolution de la concentration d'ozone près de Berne est en plus influencée par la naissance d'une couverture nuageuse dont le modèle ne tient pas compte. Suite à la modification des conditions météorologiques, il n'est plus possible de comparer les valeurs mesurées avec les valeurs obtenues par modélisation sur le reste de la trajectoire. Notons ici que la concordance entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées n'implique pas forcément que le modèle est juste. Elle permet seulement d'affirmer que, dans certaines conditions idéales, le modèle est susceptible de simuler la réalité.



**Fig. 6**  
— Evolution de la concentration calculée du PAN et du rapport  $\text{NO}/\text{NO}_2$   
--- Est également rapportée la mesure de la concentration du PAN près de Dübendorf ( $\diamond$ ) dans le cadre de la campagne d'observation intensive 1990 [11].  
1 ppb de PAN correspond à  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  à une température de  $25^\circ\text{C}$  et à une pression d'1 atu.

### Nitrates de peroxyacétyle (PAN)

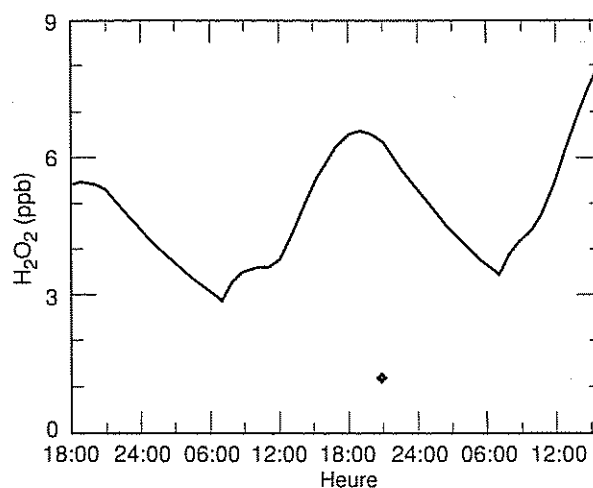
Les concentrations de PAN le long de la trajectoire présentent également un profil journalier caractéristique (fig. 6), avec des valeurs maximales au cours de l'après-midi. Vers le soir et durant la nuit, la concentration des PAN diminue lentement jusqu'à atteindre un point minimum avant le lever du soleil. Le maximum absolu est atteint durant l'après-midi du second jour. Lorsque l'intensité du rayonnement solaire est la plus forte, la concentration des radicaux peroxyacétyliques atteint son maximum. La réaction entre lesdits radicaux et le dioxyde d'azote produit les PAN et concurrence la réaction entre les radicaux en question et le monoxyde d'azote, engendrant du  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  et un radical d'alkyle (fig. 3). Par conséquent, la formation de PAN dépend non seulement de la concentration des radicaux peroxyacétyliques, mais aussi du rapport entre les concentrations de NO et de  $\text{NO}_2$ . Dans le modèle, ledit rapport a été fixé comme le montre la fig. 6. Dans la région de Zurich, la masse d'air a absorbé les émissions maximales de

NO au début de la journée. Cette circonstance est peut-être responsable du fait que les valeurs journalières maximales du PAN sont déplacées vers l'après-midi du 16 juillet.

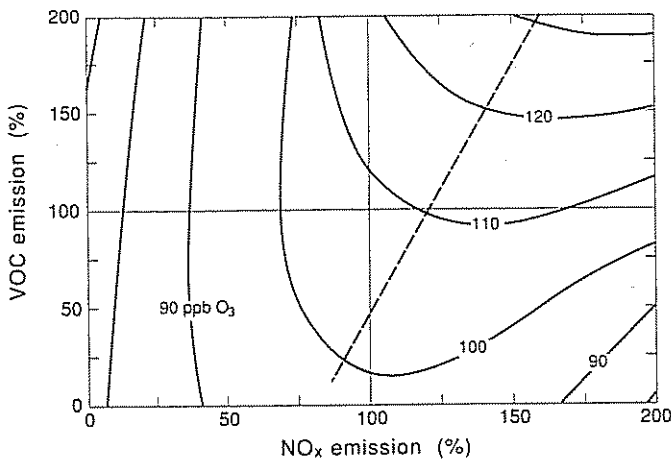
La comparaison avec les résultats obtenus par POLLUMET [11] le long de la trajectoire montre une concordance convaincante par rapport aux mesures effectuées à Dübendorf. Les mesures de la concentration du PAN à Dübendorf et sur les hauteurs de Lägern durant les mois de juillet, août et septembre entre 1987 et 1988 [13] ont abouti à des valeurs mensuelles moyennes se situant entre 0,28 et 0,45 ppb. Les valeurs maximales mesurées varient entre 1,43 et 4,40 ppb. Par conséquent, les résultats de la modélisation viennent étayer les observations *in situ*.

### Peroxyde d'hydrogène

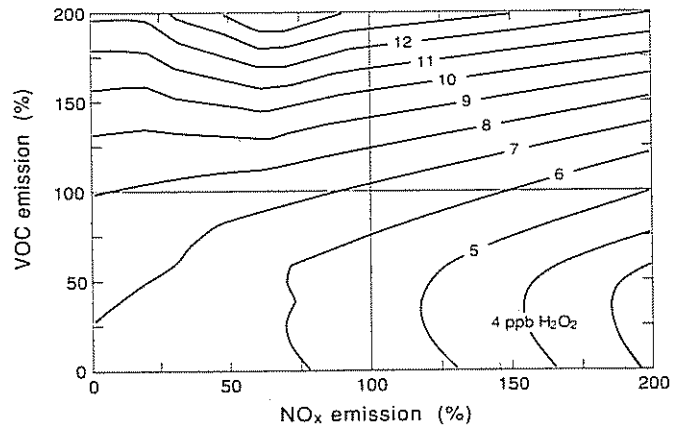
La fig. 7 montre le profil de la concentration de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Assez large, le maximum de la concentration est atteint vers la fin de l'après-midi et dure jusqu'au début de la soirée. Le 27 juillet, les concentrations de peroxyde



**Fig. 7**  
Evolution de la concentration calculée de  $\text{H}_2\text{O}_2$  le long de la trajectoire de la colonne d'air. Les mesures de concentration de  $\text{H}_2\text{O}_2$  réalisées par Schupberg ( $\diamond$ ) sont également marquées [14].  
La moyenne quotidienne de concentration du  $\text{H}_2\text{O}_2$  atteint son maximum au Rigi aux environs de 15h00 pour atteindre 2,5 ppb.  
1 ppb  $\text{H}_2\text{O}_2$  correspond à  $1,4 \mu\text{g m}^{-3}$  à une température de  $25^\circ\text{C}$  et à une pression de 1 atu.



**Fig. 8**  
Représentation isopléthique des concentrations maximales journalières de l'ozone (ppb) en fonction des émissions de VOC et de NO<sub>x</sub> le 26 juin 1990, autour de 19h00.



**Fig. 10**  
Représentation isopléthique des concentrations maximales journalières de peroxyde d'hydrogène (ppb) en fonction des émissions VOC et NO<sub>x</sub> le 26 juin 1990, vers 19h00.

d'hydrogène sont plus élevées que le 26 juillet parce que l'émission maximale de NO<sub>x</sub> dans la région de Zurich a probablement réprimé et retardé la formation de la concentration maximale d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Enfin, ladite concentration diminue en même temps que le rayonnement solaire.

Les concentrations de peroxyde d'hydrogène modélisées présentent le même profil journalier, mais sont plus élevées que les valeurs mesurées près du sol par Schüpberg au nord-ouest de Berne [14]. Les maxima de concentration mesurés vers la fin de l'après-midi se situent entre 1 et 2 ppb. Durant la nuit, la concentration tombe vers zéro. Des mesures selon l'axe vertical montrent que la concentration de peroxyde d'hydrogène augmente en fonction de l'altitude [15]. A l'instar des concentrations d'ozone, les concentrations de peroxyde d'hydrogène mesurées à proximité du sol dépendent largement des sources locales de NO et de la

déposition à sec, une influence à laquelle les valeurs obtenues par modélisation échappent.

### Scénarios hypothétiques pour la réduction des émissions

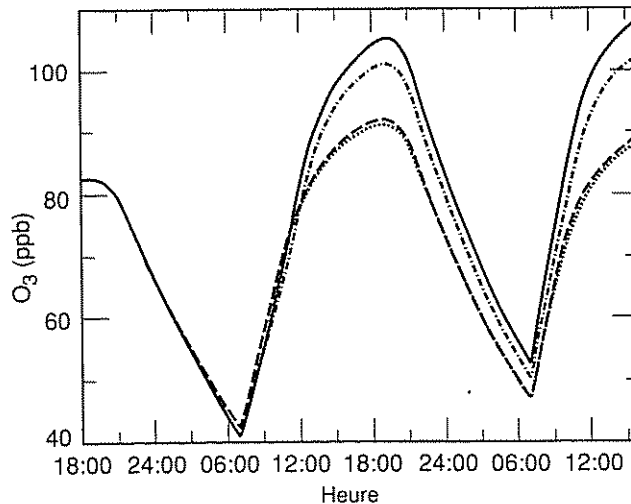
La formation d'ozone et de peroxyde d'hydrogène dépend en premier lieu du volume absolu d'émission des VOC et NO<sub>x</sub>. La formation du PAN dépend en plus du rapport NO:NO<sub>x</sub>. Lesdits rapports peuvent facilement être mis en évidence grâce aux diagrammes d'isoplèthes. L'interprétation de tels diagrammes peut servir à l'appréciation des mesures de réduction des émissions sur le Plateau suisse. Dans les scénarios de réduction, les émissions totales de VOC sont réduites, sans tenir compte du potentiel de formation des photooxydants dont les diverses substances organiques disposent et tout en admettant un rapport NO<sub>x</sub>:CO constant. Si les isoplèthes

étaient représentés en trois dimensions, on pourrait observer le long des droites diagonales une crête.

La représentation isopléthique des concentrations journalières maximales d'ozone (fig. 8) au-dessus du Plateau suisse montre une crête le long de la droite diagonale dessinées. Lorsque les émissions de NO<sub>x</sub> et de VOC diminuent le long de cette droite, la concentration d'ozone diminue également. Au-dessus de cette droite, c'est-à-dire quand le rapport VOC:NO<sub>x</sub> augmente, comme c'est le cas dans cette étude, les émissions de VOC n'entraînent qu'une limitation marginale de la concentration d'ozone. En revanche, la réduction des émissions de NO<sub>x</sub> dans le modèle entraîne une réduction marquée des concentrations journalières maximales d'ozone. Si le rapport d'émission VOC:NO<sub>x</sub> se trouve au-dessous de la diagonale, les concentrations journalières maximales d'ozone diminuent lorsque les émissions de VOC diminuent et que les émissions de NO<sub>x</sub> augmentent. La fig. 9 représente les effets calculés des diverses mesures de réduction des émissions sur la concentration d'ozone le long de la trajectoire modélisée.

Comme nous l'avons déjà dit plus haut, la formation de PAN est réprimée lorsque le rapport entre les concentrations NO/NO<sub>2</sub> augmente. Etant donné la nature cyclique des mécanismes de réaction atmosphérique (fig. 3), il n'est pas judicieux de vouloir influencer la formation du PAN par la modification du rapport NO/NO<sub>2</sub>. En outre, les concentrations du PAN diminuent lors-

**Fig. 9**  
Mesures hypothétiques de réduction des émissions au niveau des VOC et des NO<sub>x</sub> et leurs effets sur l'évolution de la concentration d'ozone le long de la trajectoire traversant le plateau suisse.  
— Emissions 100% VOC et 100% NO<sub>x</sub>  
--- Emissions 50% VOC et 100% NO<sub>x</sub>  
- - - Emissions 100% VOC et 50% NO<sub>x</sub>  
... Emissions 50% VOC et 50% NO<sub>x</sub>



que les émissions de VOC et de  $\text{NO}_x$  diminuent.

Les valeurs maximales des concentrations de peroxyde d'hydrogène apparaissent lorsque les émissions de VOC sont élevées et celles de  $\text{NO}_x$  basses (fig. 10). Cette relation provient du fait que, plus les émissions de VOC augmentent, plus la formation de  $\text{HO}_2$  s'amplifie; en outre, la réaction entre deux radicaux  $\text{HO}_2$ , donnant lieu à du  $\text{H}_2\text{O}_2$ , est en concurrence avec la réaction entre  $\text{HO}_2$  et  $\text{NO}$  (voir fig. 3). Les résultats de la modélisation montre que la réduction du peroxyde d'hydrogène est le plus sûrement atteinte grâce à la réduction des émissions de VOC.

Au niveau de la modélisation, les mesures visant à réduire les émissions n'ont que peu d'effet sur les concentrations de photooxydants. Si on réduit de moitié les émissions de VOC et de  $\text{NO}_x$  par exemple, la concentration journalière maximale d'ozone baisse seulement de 13% et la concentration journalière maximale du peroxyde d'hydrogène ne varie quasiment pas. A supposer qu'il n'y ait aucune émission de VOC et de  $\text{NO}_x$  sur le Plateau, la concentration d'ozone ne descendrait pas au-dessous de 70 à 89 ppb. Les résultats obtenus par modélisation montrent clairement que la réduction des émissions de substances nocives primaires doit être coordonnée au niveau européen.

Les résultats que nous livre cette étude de modélisation numérique ne s'appliquent qu'aux périodes de smog estival sur le Plateau suisse. Toute modification des conditions météorologiques peut entraîner des changements au niveau des concentrations de polluants fugitifs, suite à l'apport d'autres masses d'air. Ainsi, en situation de foehn, les substances nocives qui se trouvent en Italie du nord peuvent être amenées sur le Plateau suisse.

## Conclusions

Les résultats que nous livre le modèle considéré à propos des concentrations de photooxydants correspondent de manière satisfaisante aux mesures effectuées durant la période d'observation intensive de POLLUMET, en 1990.

Le modèle est susceptible de rendre compte avec une assez grande précision de l'évaluation journalière de la concentration des photooxydants. En revanche, les concentrations mesurées sur le terrain et calculées par le modèle correspondent moins bien. Les calculs concernant les scénarios possibles de réduction des émissions montrent à l'évidence que la réduction des concentrations maximales d'ozone, du PAN et du peroxyde d'hydrogène ne peut aboutir que si on arrive à coordonner au niveau européen la réduction des VOC et  $\text{NO}_x$ .

Il convient de souligner que les résultats susmentionnés et les conclusions qui en découlent ne s'appliquent qu'aux périodes de smog estival quand les zones de haute et de basse pression font passer une légère brise sur le Plateau.

Dans le modèle, la concentration d'ozone diminue en fonction de la réduction des émissions de  $\text{NO}_x$  alors que la concentration du peroxyde d'hydrogène augmente. Si l'on veut améliorer la qualité de l'air en été, il faut donc aussi bien réduire les émissions de  $\text{NO}_x$  que celles de VOC.

Les prédictions du modèle ne valent que pour les zones de campagne. Le modèle n'a pas de valeur prédictive en ce qui concerne les régions urbaines, étant donné que les concentrations de substances nocives primaires peuvent fortement varier suivant les environnements. S'il s'agit de trouver la meilleure méthode pour lutter contre le smog estival, il faut surveiller la manière dont chaque substance photochimique se forme. En effet, il se peut que la réduction d'un composé chimique entraîne l'augmentation d'un autre.

## Remerciements

Les auteurs remercient P. Filliger, R. Ballamann, D. Ahrens, B. Baumann et R. Stämpfli pour les données qu'ils ont aimablement fournies, ainsi que J. Dommen et J. Hoigné pour les discussions intéressantes qu'ils ont bien voulu entretenir, J. Beer pour ses remarques critiques à propos du présent exposé et enfin Ms H. Chapuis et P.-A. Rösselet pour la traduction en français. Ce projet a reçu le soutien de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEP).

- 1 BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), Ozon in der Schweiz, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 101, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1989.
- 2 Sakugawa, H., I. R. Kaplan, W. Tsai, and Y. Cohen, Atmospheric hydrogen peroxide, *Environ. Sci. Technol.*, **14**, 1452-1462, 1990.
- 3 BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), Luftbelastung 1989, Messresultate des nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL), Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 122, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1990.
- 4 Rösselet C. M., and J. A. Kerr, Photochemical modelling of photo-oxidant levels over the Swiss Plateau and emission reduction scenarios, PSI Report No. 93-03, Paul Scherrer Institute, CH-5232 Villigen.
- 5 Hough A. M., and R. G. Derwent, Computer modelling studies of the distribution of photochemical ozone production between different hydrocarbons, *Atmos. Environ.*, **21**, 2015-2033, 1987.
- 6 Derwent R. G., and M. E. Jenkin, Hydrocarbon involvement in photochemical ozone formation in Europe, AERE-Report R-13736, H. M. Stationary Office, London, 1990.
- 7 Lübkert B., and S. de Tilly, The OECD-MAP inventory for  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , and VOC in western Europe, *Atmos. Environ.*, **23**, 3-15, 1989.
- 8 Buhr M. P., M. Trainer, D. D. Parrish, R. E. Sievers, and F. C. Fehsenfeld, Assessment of pollutant emission inventories by principal component analysis of ambient air measurements, *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 1009-1012, 1992.
- 9 Atkinson R., D. L. Baulch, R. A. Cox, R. F. Hampson Jr., J. A. Kerr, and J. Troe, Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry. Supplement IV, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **21**, 1125-1568, 1992.
- 10 Davidson C. I., and Y.-L. Wu, Dry deposition of particles and vapors, in *Acidic Deposition, volume 3: Sources, Deposition, and Canopy Interactions*, edited by S. E. Lindberg, A. L. Page, and S. A. Norton, pp 103-216, Springer Verlag, New York, 1990.
- 11 Buchmann, B., and P. Filliger, Das nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL), presented at 1. Pollumet-Kolloquium, Zürich, 19 April 1991.
- 12 Neu, U., H. Wanner, T. Künzle, T. Brunner, B. Steisslinger, G. Baumbach, K. Baumann, A. Neftel, B. Lehmann, M. Lehmann, A. Sigg, H. Mathys, and G. Nejedly, Berner Querschnitt: zur Meteorologie und Luftchemie der IOP 90, presented at 1. Pollumet-Kolloquium, Zürich, 19 April 1991.
- 13 Wunderli S., and R. Gehrig, Influence of temperature on formation and stability of surface PAN and ozone. A two year field study in Switzerland, *Atmos. Environ.*, **25A**, 1599-1608, 1991.
- 14 Sigg A., A. Neftel, B. Lehmann, and M. Lehmann, Peroxide als Tracer für Luftchemie und Transportvorgänge, presented at 1. Pollumet-Kolloquium, Zürich, 19 April 1991.
- 15 Sigg A., A. Neftel, B. Lehmann, W. Graber, W. Portmann, H. J. Fröhlin, and B. Neisinger, Gasballon-Fahrten, presented at 1. Pollumet-Kolloquium, Zürich, 19 April 1991.

Programme prioritaire de recherche<sup>1</sup>

# Gestion à long terme des ressources naturelles

## Les eaux naturelles et les sédiments anthropiques

### Etat de la question

Dans les pays actuellement considérés comme industrialisés, on se préoccupe des problèmes environnementaux depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle environ. Longtemps, seuls les problèmes spécifiques géographiquement limités étaient à l'ordre du jour, tels l'hygiène de l'habitat, la pollution des eaux naturelles ou la pollution atmosphérique locale. Ces problèmes furent en partie résolus avec succès grâce à des mesures d'ordre technique. Mais la formidable dynamique de l'économie et de la technologie provoqua sans cesse de nouvelles conséquences imprévues et néfastes pour l'environnement.

Plus récemment, les problèmes écologiques prirent une dimension à la fois mondiale et illimitée dans le temps comme dans l'espace. On s'est rendu compte que le développement des dernières décennies avait eu de fortes répercussions négatives sur l'état des ressources naturelles. Plusieurs régions du monde vivent d'ores et déjà dans des conditions environnementales déplorable et souffrent en particulier de la famine. De plus, l'humanité entière est menacée par les conséquences globales de changements environnementaux. L'explosion démographique et ses effets économiques soumettent notre milieu à des pressions encore plus élevées qu'auparavant. Il faut s'attendre à de nouvelles catastrophes écologiques dans d'autres régions si nous ne réussissons pas à changer le cours de cette évolution.

Aujourd'hui, il semble parfaitement admis que la protection de l'environnement requiert des stratégies globales visant à instaurer un développe-

ment durable des activités humaines. Cependant, la plupart des efforts fournis dans ce domaine tentent toujours de parer sectoriellement aux menaces encourues. On s'interroge en particulier sur le fond et la forme dudit développement durable ainsi que sur les solutions permettant de satisfaire à court et à long terme les besoins fondamentaux de l'ensemble des êtres vivants. Il est évident que de nouvelles solutions doivent être trouvées si l'on veut tenir compte des rapports mutuels entre toutes les exigences imposées par l'environnement, les ressources naturelles et la société.

En matière de durabilité, plusieurs principes ont déjà été énoncés, notamment du point de vue de l'utilisation des ressources et de la pollution de l'environnement (voir à ce propos Herman Daly):

- Le taux d'utilisation des ressources renouvelables ne doit pas dépasser leur taux de régénération,
- Le taux d'utilisation des matières premières exploitées ne doit pas dépasser le taux de régénération des réserves en matières premières,
- Le taux d'émissions polluantes ne doit pas dépasser la capacité de l'environnement à résorber cette pollution.

### Motivation et objectif

Le postulat de durabilité et les principes sur lequel il se fonde sont valables du niveau planétaire à l'échelle régionale. La région joue toutefois un rôle capital, car c'est à ce niveau que les êtres humains entrent en contact direct avec leur environnement. Toute solution visant à instaurer une gestion durable des ressources devrait plutôt se développer dans le cadre des

### Programme prioritaire de recherches de l'EAWAG pour la période 1993-1997

*Certains problèmes environnementaux exigent une solution urgente. L'EAWAG entend y contribuer en concentrant ses recherches sur la gestion durable des ressources et sur la manière de la réaliser. Les travaux prévus touchent certes de très près au domaine de l'EAWAG, mais requièrent également des connaissances dépassant de loin le cadre de notre institution. Nous nous efforçons donc de collaborer étroitement avec les spécialistes des centres de recherche, des services publics et de l'économie privée. Ce partenariat nous semble indispensable afin de parvenir à des solutions modernes et réalisables en matière de protection et d'exploitation des ressources naturelles.*

*Vu la complexité du sujet traité, les lignes suivantes n'ont pas l'ambition de le considérer en détail, mais seulement d'en situer le cadre. La matière se concrétisera et se précisera au fur et à mesure des travaux qui ont d'ores et déjà débuté. Une intense collaboration entre la direction des projets et les responsables des travaux permettra de concevoir et de mener à terme des recherches interdisciplinaires. Au regard de l'objectif visé, ce processus d'élaboration revêt une importance capitale.*

*Ueli Bundi*

régions qu'au niveau mondial. Une exploitation effrénée des ressources dans une région donnée provoquera des conséquences directes sur les régions avoisinantes. De même, si les ressources sont gaspillées dans un ensemble de régions, cela aura un impact au niveau des écosystèmes nationaux, voire mondiaux.

<sup>1</sup> Le programme prioritaire de recherche est l'œuvre des MM. Ueli Bundi (rédaction), Peter Baccini, Markus Boller, Roland Schertenleib, Wolfgang Schilling, René Schwarzenbach et Alexander Zehnder

Les 3 domaines		Partie intégrative
Domaines	Thèmes de recherche	Les points communs consistent dans ...
Formation, assainissement et utilisation de sédiments anthropiques	Nouvelles et anciennes décharges, sols et résidus pollués	<ul style="list-style-type: none"> <li>• les régions communes étudiées</li> <li>• l'élément Eau, élément-clé pour saisir les relations êtres humains-environnement</li> <li>• dans les activités humaines, causant des problèmes environnementaux et concernées par les mesures de protection de l'environnement</li> <li>• dans la définition commune des questions relatives aux sciences sociales et humaines</li> <li>• dans l'échange de connaissances acquises et dans la conception de stratégies régionales de développement.</li> </ul>
Détérioration, protection et utilisation des eaux souterraines	Eaux souterraines et leurs relations avec les milieux environnants	
Rôle des eaux naturelles dans l'écosystème et dans les rapports entre l'environnement et les personnes	L'eau en tant que milieu vivant, composante du bilan régional et système d'exploitation anthropique	

Tableau 1

Subdivision du programme prioritaire de recherche «Gestion à long terme des ressources naturelles: les eaux naturelles et les sédiments anthropiques» en trois domaines de recherches et une partie intégrative.

Derrière le concept de développement durable se cache donc une problématique très complexe et fondamentale pour notre civilisation. Le plus grand défi que devront relever notre société et le monde scientifique consistera à proposer des solutions concrètes et réalisables. En concentrant ses recherches sur ce problème, l'EAWAG entend contribuer à l'effort général consenti dans ce domaine. Le sujet dépasse certes son champ d'investigations habituel, mais celui-ci s'élargira grâce à la participation d'autres institutions et groupes de spécialistes. Les recherches portent sur des régions de tailles limitées (10 à quelques 100 km<sup>2</sup>). L'objectif des recherches consiste à éclaircir, à la lumière du concept de développement durable, les aspects relatifs à l'environnement, au génie et aux sciences humaines et sociales.

*Définition générale de la recherche prioritaire à l'EAWAG:* Parmi les nombreux facteurs déterminant le développement durable d'une région, l'EAWAG se consacrera plus particulièrement à l'étude spécifique des problèmes environnementaux et des principes de gestion des décharges, des sols et sédiments chargés de substances nocives, des eaux souterraines et des systèmes d'eaux naturelles. D'une manière générale, les analyses envisagées poursuivent les buts suivants:

- développement de mesures directement applicables et de méthodes

généralisables permettant de résoudre, voire d'éviter certains problèmes environnementaux grâce à une gestion régionale et à long terme des ressources naturelles

- amorce globale d'une gestion durable des ressources au niveau régional.

### Contenu et subdivision des thèmes de recherches

Les études envisagées ont toutes une région suisse pour objet. Des contacts scientifiques intensifs seront en outre entretenus avec les milieux aussi bien helvétiques qu'étrangers menant des recherches similaires. Toutes les régions étudiées doivent répondre aux critères suivants:

- présence de sous-régions à l'état quasi-naturel et soumises à une exploitation intensive
- présence de problèmes typiques au niveau des eaux souterraines ou résultant d'émissions antérieures, présence de problèmes d'exploitation au niveau des eaux naturelles
- influence minimisée de la part des régions avoisinantes
- base d'informations satisfaisante concernant les activités anthropiques et les ressources naturelles ainsi que leur évolution historique respective
- intérêt de la part des autorités régionales et des services cantonaux respectifs

- participation potentielle des services publics et d'entreprises importantes au niveau régional.

D'autres régions seront prises en considération seulement dans la mesure où un contrôle des résultats d'études s'avérerait nécessaire du point de vue de leur applicabilité générale.

Les enquêtes se subdivisent en trois domaines de recherche et une partie intégrative selon le tableau 1.

### Partie intégrative

Cette partie renseigne de manière générale sur l'état des recherches, comprenant notamment les aspects relatifs à la direction générale du projet et à la coordination globale des études, la définition objective des principes généraux de l'organisation, les enquêtes nécessaires pour avoir une vue complète des régions étudiées, les conclusions et les solutions résultant de chaque secteur de recherche, l'établissement de stratégies globales pour la gestion à long terme des ressources et le développement durable des régions. En particulier, on mentionnera:

- la déduction de principes généraux pour la gestion à long terme des ressources,
- l'analyse de cas passés et présents illustrant une utilisation des ressources et un développement régional non-durable,
- l'analyse systémique de la région étudiée – description quantitative du développement des activités anthropiques, des ressources naturelles, de leur exploitation ainsi que du cycle de l'eau et des cycles de matières,
- la description globale des interrelations régionales entre les activités humaines, les besoins de la société, l'état des ressources naturelles, le cycle de l'eau et les cycles de matières,
- la mise en relation des conclusions issues des divers secteurs de recherche, afin de parvenir à une compréhension globale de la gestion à long terme des ressources naturelles,
- la formulation d'options et de stratégies globales propres à assurer un développement régional durable.

## **Premier domaine de recherche: Formation, assainissement et utilisation de sédiments anthropiques**

### **Motivation et objectifs**

Ces dernières décennies, toutes les sociétés industrialisées ont évacué leurs déchets dans des décharges et ne se sont pas préoccupées de la charge nocive des sols. Le potentiel d'émission est devenu par conséquent un danger latent ou aigu selon les cas, et ce aussi bien pour la ressource Eau que pour la biosphère tant au niveau local que régional. Selon de premières estimations sommaires, il faudrait entre 1 000 et 10 000 sFr. par personne pour l'assainissement des pollutions antérieures persistantes (p. ex. décharges non-contrôlées). A l'heure actuelle, un large éventail de méthodes de traitement et de solutions relevant du génie civil est proposé à cet effet sur le marché. Toutefois, il n'existe pas encore suffisamment de méthodes et de critères scientifiques permettant d'évaluer l'applicabilité et l'efficacité des divers procédés techniques pris individuellement ou combinés.

De nombreux pays créent sans cesse de nouvelles sources de pollution potentielles en ne maîtrisant pas suffisamment la technologie du traitement des déchets pour être en mesure d'entreposer uniquement des résidus possédant une qualité de stockage à long terme. Les moyens à disposition sont généralement engagés pour résoudre les problèmes aigus du moment (programme américain Superfund par exemple). Les problèmes à moyen et à long terme sont par conséquent sous-estimés. L'élimination des zones de pollution risque ainsi de devenir une tâche permanente soumise à une croissance exponentielle. En outre, le milieu scientifique continue de négliger l'aspect de l'acceptabilité sociale des projets d'assainissement et des implantations de nouvelles décharges.

Les recherches de l'EAWAG doivent permettre d'aboutir à des conclusions scientifiquement valables, sur la base desquelles pourront être formulés:

- des règles pour l'entreposage de matériaux dans un environnement adéquat et des critères permettant

d'apprécier les diverses méthodes techniques d'assainissement

- des méthodes et des stratégies, d'une part pour la conception de décharges compatibles avec l'environnement dont le contenu puisse à nouveau être utilisé comme ressource, et d'autre part pour le développement de techniques d'assainissement.

### **Déroulement des travaux**

Les objets d'études seront d'anciennes zones de pollution ou de nouvelles décharges en cours d'installation intéressant pour les scientifiques des hautes écoles, les groupes de concepteurs et de réalisateurs venant de l'industrie privée ainsi que le maître d'ouvrage (en principe la collectivité publique). Le processus itératif de recherche consiste à alterner pendant plusieurs années les observations sur le terrain, les études en laboratoire et la simulation des phénomènes analysés. Enfin, il conviendra de créer un certain rapprochement entre les deux groupes «Assainissement» et «Nouvelles décharges», actuellement encore séparés, afin d'en exploiter les synergies.

### **Résultats et effets attendus**

Le produit des recherches menées se doit de fournir:

- des documents de base pour l'assainissement d'anciennes zones polluées et pour la création de nouvelles décharges, se basant sur des critères et des méthodes scientifiquement éprouvées du point de vue technique et des sciences naturelles, humaines et sociales
- une série d'études de cas concrets servant d'outil pédagogique et montrant les lignes directrices de la gestion des sédiments anthropiques.

## **Deuxième domaine de recherche: Détérioration, protection et utilisation des eaux souterraines**

### **Motivation et objectifs**

La nappe phréatique est alimentée par infiltration naturelle ou artificielle des eaux de pluie et des eaux naturelles superficielles. En bien des endroits, il s'agit de l'unique ressource en eau potable. L'air, le sol et les eaux superficielles sont de plus en plus

chargés de substances organiques et minérales d'origine anthropique, raison pour laquelle la qualité des eaux souterraines se dégrade considérablement. De plus, l'alimentation de la nappe est, en maints endroits, entravée quantitativement. En effet, de nombreuses surfaces d'infiltration perdent leur perméabilité par la construction de routes, de bâtiments ou colmatage des lits de rivières.

L'impact des apports de matières anthropiques sur la qualité des eaux souterraines dépend de nombreux processus physiques, chimiques et biologiques interdépendants. Ceux-ci ne sont pas encore connus de manière satisfaisante pour pouvoir réellement apprécier le risque représenté par les diverses sources de pollution.

Les études planifiées possèdent pour objectif d'approfondir les principes théoriques et les méthodes permettant de mieux évaluer les pollutions d'origine anthropique et de protéger les eaux naturelles en conséquence. Il s'agit en particulier de:

- mieux comprendre les mécanismes et les effets conjugués des processus relatifs au comportement des substances nocives présentes dans le sous-sol,
- proposer des méthodes permettant d'apprécier l'impact de divers types et de diverses sources de pollution sur les eaux souterraines,
- définir les critères permettant de juger de l'impact de différents types d'utilisations et de pollutions du sol sur les eaux souterraines dans des conditions naturelles diverses
- formuler des mesures visant à assurer la protection des eaux souterraines et l'assainissement des nappes phréatiques polluées.

### **Thèmes de recherche**

Les recherches examineront en particulier les sujets suivants:

- les processus chimiques et biologiques intervenant au niveau des interfaces, tels que processus de sorption, de dissolution et de précipitation, transformations abiotiques et biologiques,
- les caractéristiques des transferts souterrains d'eau et des zones d'infiltration du point de vue géologique, géochimique et hydrodynamique.

mique en milieu saturé et non-saturé,

- les influences de l'utilisation et de la pollution des sols sur les processus physiques, chimiques et biologiques se déroulant dans les zones d'infiltration,
- l'impact de l'utilisation des sols sur l'alimentation de la nappe phréatique,
- les modèles permettant de décrire les processus chimiques et biologiques qui ont lieu dans le sous-sol et leur couplage avec les modèles de transport hydrophysiques.

#### Applications pratiques

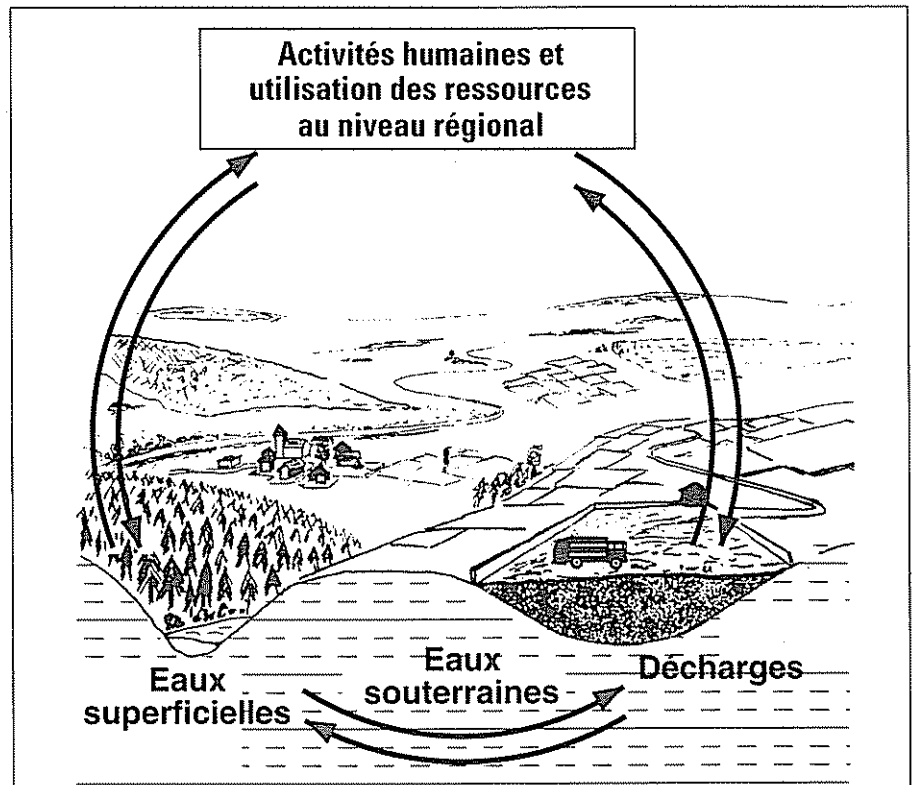
- mise à disposition d'une documentation de référence en matière d'infiltration artificielle des eaux météoriques,
- encadrement scientifique lorsqu'il s'agit d'apprécier et d'analyser les risques de pollution pour les eaux souterraines en cas d'accident ou à proximité des décharges et des eaux naturelles pollués, et lorsqu'il s'agit de planifier les mesures de protection ou de réaliser l'assainissement des eaux souterraines,
- mise en évidence des exigences que doit remplir la gestion des sols pour demeurer sans effet négatif sur les eaux naturelles.

### Troisième domaine de recherche: Rôle des eaux naturelles dans l'écosystème et dans les rapports entre l'Homme et l'environnement

#### Motivation et objectifs

L'eau, et plus particulièrement les eaux naturelles, jouent un rôle essentiel dans le bon fonctionnement de l'écosystème naturel, de l'économie et dans le bien-être des habitants. Au cours du temps, les activités humaines ont gravement perturbé le bilan hydrique, la qualité de l'eau et le réseau des eaux naturelles. Jusqu'à présent, la protection des eaux naturelles s'est bornée à réduire et à éviter les problèmes locaux. Les fonctions et la maîtrise du cycle de l'eau et des bassins versants n'ont jamais été envisagés en vue d'assurer un développement durable au niveau régional.

Les travaux de recherche doivent permettre de:



#### La mise en relation des trois secteurs de recherches

- mettre en lumière les rapports existant entre les activités humaines, le bilan hydrique, l'état et les fonctions des eaux naturelles dans des régions se distinguant par leurs caractéristiques géographiques, économiques et socioculturelles,
- définir les exigences que doit remplir le développement durable de l'utilisation des eaux naturelles,
- développer des méthodes visant à assurer la protection intégrale des eaux naturelles et une utilisation de l'eau compatible avec l'environnement.

#### Contenus des recherches

- Importance des eaux naturelles en tant que milieu vivant mobile et interdépendant; rôle des eaux naturelles dans le bilan écologique des régions; importance de l'eau pour l'économie et le bien-être des enfants et adultes; exigences d'ordre écologique et éthique auxquels doivent satisfaire les eaux naturelles et les bassins hydrologiques
- Effets directs et indirects de l'utilisation des eaux naturelles et des activités anthropiques sur les bilans hydriques régionaux, sur l'état et les fonctions des eaux naturelles; impact des modifications intervenant

- au niveau des eaux naturelles sur l'organisation des activités humaines et sur le bien-être des habitants,
- Implications économiques et socioculturelles des solutions visant à garantir un développement durable de l'utilisation des eaux naturelles,
- Options durables au niveau des échanges entre la société et les eaux naturelles.

Dans un premier temps, chaque recherche débutera dans une région suisse. Ensuite, des études analogues débuteront et se poursuivront dans des régions étrangères (Europe de l'Est, pays en voie de développement).

#### Résultats et effets escomptés

- Définition concrète des critères et des paramètres permettant d'évaluer l'utilisation des eaux naturelles du point de vue du développement durable; critères permettant d'apprécier l'impact environnemental de l'utilisation des eaux naturelles au niveau régional,
- Définition des principes structurels pour la mise en place de réseaux écologiques régionaux,
- Encouragement pour les mesures et les stratégies en matière de protection et d'utilisation durable des eaux naturelles au niveau régional.

## Déroulement et coût des opérations

- 1993 Constitution des commissions de recherche. Sélection des régions servant d'objet d'étude et approbation des propositions de recherche. Constitution des groupes de recherche, y compris les participations externes. Demandes de crédits complémentaires. Début des travaux de recherche, établissement des avant-projets et des projets pour les trois domaines de recherche et incorporation dans la partie intégrative.
- 1994-1996 Réalisation des projets avec développement en parallèle de leurs relations dans la partie intégrative.
- 1997 Synthèse des résultats et formulation de méthodes et de stratégies globales pour la gestion à long terme des ressources et pour le développement durable des régions.

L'EAWAG a l'intention d'investir environ 1 à 2 millions de francs pour l'ensemble des recherches prioritaires envisagées (soit 10 à 15 personnes-années par an, à quoi s'ajoutent les frais de matériel). Par ailleurs, des crédits de projets pour un montant allant de 0,3 à 0,5 millions de francs seront demandés auprès des institutions d'encouragement à la recherche, des services publics et des milieux privés intéressés. En ce qui concerne les parties de projet dépassant le cadre de ses compétences, l'EAWAG entend inviter les chercheurs et chercheuses appartenant aux institutions spécialisées, aux services publics et à l'économie privée à participer activement à ce programme. Les contributions des partenaires extérieurs seront toutefois considérées comme prestations individuelles.

## Collaboration et participation

Les recherches sont lancées par l'EAWAG, dont toutes les divisions

participent au moins à l'un des domaines de recherche.

La participation de tierces personnes s'avère absolument indispensable. Il s'agit en particulier d'instituts universitaires, de centres de recherche, de services publics et d'entreprises privées. Il est de plus prévu d'établir des contacts de nature scientifique avec des projets similaires se déroulant à l'étranger.

Les partenaires extérieurs financent eux-mêmes leur participation aux recherches. Ils doivent être représentés dans les diverses commissions assurant la direction générale du projet et la direction des domaines de recherche.

Pour tous renseignements s'adresser à M. Walter Wagner (823 54 21).

## suite de page 7 METAPOLIS

ques), dans une moindre part au flux total des diverses substances. Les procédés de recyclage n'ont pas encore suffisamment fait l'objet d'études précises pour en déterminer les caractéristiques économiques et les impacts écologiques. Le domaine de la construction devrait également être pris en considération, ce qui n'a pas été possible dans notre étude. *Avant de pousser plus loin le triage différencié des déchets au niveau des unités domestiques (= jet séparatif), il conviendrait tout d'abord de mettre l'accent sur le développement des procédés de recyclage eux-mêmes, afin d'en améliorer l'efficacité.* Les démarches politiques auxquelles nous assistons actuellement s'expliquent par le fait que l'individu perçoit la problématique des déchets solides principalement par le biais des biens de consommation à courte durée de vie.

### «Il faut remettre en question la manière dont l'eau est utilisée».

Grâce au réseau d'égouts urbain et à l'épuration des eaux usées, il est

possible de procéder à une *concentration chimique* des rejets liquides par les ménages. Cette technique ne s'avère cependant *efficace que dans le cas du phosphore* et joue un rôle secondaire pour les autres substances chimiques analysées. Elle ne sert donc qu'à garantir la sécurité de l'hygiène et la protection des eaux. Il faudrait néanmoins examiner d'un œil plus critique la manière indifférenciée dont l'eau est utilisée. En effet, il s'avère impossible d'améliorer la qualité des boues d'épuration et des eaux épurées si par ailleurs on ne modifie pas la structure de l'habitat du point de vue de l'approvisionnement, du traitement des déchets, des techniques de construction et des installations sanitaires.

### «Il est indispensable d'établir des bilans annuels aux flux d'énergie et de matières»

*La présente étude démontre de manière explicite que la modélisation des procédés métaboliques au sein des ménages peut servir à caractériser l'évolution d'écosystèmes urbains complexes et à prendre les dispositions infrastructurelles qui s'imposent. Tou-*

*tefois, un tel outil nécessite l'établissement renouvelé de bilans annuels pour l'énergie et diverses substances chimiques indicatrices.* L'approche sera basée sur les analyses de marché effectuées dans les diverses régions étudiées, ainsi que sur la comptabilité de matières des diverses filières de traitement des déchets (rapports de gestion). La présente étude n'a pu, pour les raisons susmentionnées, couvrir qu'une brève période. Par conséquent, les observations présentées ci-dessus ne permettent pas d'établir des pronostics valables sur l'évolution à moyen terme de la région concernée.

[1] RESUB (1990): Der regionale Stoffhaushalt im unteren Bünztal, P.H. Brunner (Ed.), Die Entwicklung einer Methodik zur Erfassung des regionalen Stoffhaushaltes. Division de Gestion des déchets et des ressources, EAWAG, 8600 Dübendorf

[2] Baccini P. und Brunner P.H. (1991): Metabolism of the Anthroposphere, édition Springer, Berlin-New York

# Les cours PEAK<sup>1</sup>

## Le programme de formation continue offert par l'EAWAG à l'intention des spécialistes praticiens

*Trait d'union entre la recherche et les applications pratiques, l'EAWAG offre, en collaboration avec l'EPFZ, une série de cours en formation continue destinés aux spécialistes des milieux économiques et administratifs. Les cours en question se basent sur les recherches et les expériences de l'EAWAG et reflètent par conséquent les activités courantes de l'EAWAG. Le but de ce programme est de fournir les connaissances et les outils nécessaires à la pratique. En outre, pour parvenir à une protection globale de l'environnement, il faut favoriser la collaboration au delà des limites des disciplines et des institutions.*

**Public-cible:** le programme PEAK s'adresse aux spécialistes de l'environnement travaillant dans les administrations, les bureaux de conseil et les bureaux d'ingénieurs, ainsi qu'aux enseignants des grandes écoles spécialisées.

**Objectifs et thèmes:** le programme PEAK a pour objectif d'augmenter le savoir et les compétences des praticiens en vue de parvenir à une protection globale de l'environnement. Ce n'est possible que grâce au renforcement de la collaboration par delà les frontières de nature scientifique et institutionnelle. Quant au sujets traités, ils reflètent les activités courantes de l'EAWAG. L'enseignement porte sur les travaux de recherche et les expériences faites à l'EAWAG.

**Participation et attestation:** les participants sont appelés à collaborer de manière active. Les cours doivent ainsi leur permettre d'échanger leurs idées. Chaque cours offre la possibilité de passer des épreuves qui, en cas de réussite, donnent droit à une attestation sous forme de points calculés selon la norme internationale (1 point pour 10 heures de cours environ).

**Organisation:** conçu de manière modulaire, chaque cours peut être suivi indépendamment des autres, pour autant que les conditions inhérentes à un tel cours soient remplies. Une documentation est distribuée pour chaque cours. Le programme PEAK prévoit trois

types de cours: cours fondamentaux, cours d'approfondissement et cours pratiques.

### Les différents types de cours

#### Cours fondamentaux

**Durée et forme d'enseignement:** 1 à 3 jours, enseignement surtout *ex cathedra*, plus une soirée informelle pour favoriser la communication entre tous les participants.

**Objectif:** ces cours doivent permettre de comprendre les problèmes environnementaux ainsi que les structures et les processus des systèmes naturels et artificiels. Le contenu des cours correspond en partie à une présentation résumée de la matière traitée dans les études environnementales actuelles.

**Public-cible:** Spécialistes de divers secteurs souhaitant disposer d'une vue d'ensemble sur l'état actuel des recherches en environnement.

#### Cours d'approfondissement

**Durée et forme:** 2 à 5 jours. De plus, un nombre limité de participants pourra suivre un cours de travaux pratiques durant une semaine. Les cours se composent de leçons *ex cathedra*, de travaux de groupes et de travaux individuels ainsi que d'excursions selon les possibilités.

**Objectif:** l'étude d'exemples concrets et de cas types doit permettre d'obtenir une vue d'ensemble sur la problématique environnementale. En partant de la reconnaissance et de la compréhension d'une influence sur l'environnement, on peut développer des approches préventives et des mesures techniques de correction.

**Public-cible:** praticiens spécialisés dans le domaine environnemental, intéressés par les problèmes concrets et l'étude des relations complexes dans les systèmes naturels.

#### Cours pratiques

**Durée et forme:** 1 à 2 semaines, leçons *ex cathedra* et travaux pratiques. Le nombre des participants est limité à environ 20 personnes.

**Objectif:** rendre les participants capables de reconnaître, de combattre ou d'éliminer un problème environnemental. Les notions fondamentales nécessaires sont enseignées, puis mises en pratique avec un certain nombre d'exemples concrets.

**Public-cible:** les sujets des cours sont prévus sur mesure, en fonction d'un groupe restreint de spécialistes qui peuvent directement mettre à profit les connaissances et le savoir-faire acquis durant les cours.

### Les thèmes enseignés

Ci-dessous figurent les thèmes généraux du programme des cours. Chaque année, 2 à 4 cours parmi des thèmes sont proposés. Si nécessaire, les cours seront répétés. Alors qu'en 1993/1994, les sujets traités auront trait avant tout aux sciences naturelles, le génie

<sup>1</sup> PEAK est l'acronyme de l'expression allemande: Praxisorientierte EAWAG-Kurse. En même temps, peak signifie *sommet* en anglais ....Notre ambition est grande!

## Programme PEAK 1993/1994

- 13-17 septembre 1993** **Importance de la morphologie et de la typologie des lacs et des cours d'eau pour les organismes aquatiques**  
Cours pratique A1/93 Des leçons et des travaux pratiques sur le terrain permettront de constater l'importance de la morphologie des cours d'eau pour le peuplement biotique et de leur imbrication avec les autres conditions environnementales. L'exemple des poissons permettra de montrer leur dépendance du type de lac et de son degré de développement trophique.  
Direction du cours: Tom Gonser, Rudolf Müller, Armin Peter
- 14-16 septembre 1993** **Développement et concrétisation de nouvelles exigences qualitatives pour la gestion des déchets**  
Cours d'approfondissement V1/93 Etat des connaissances actuelles sur la qualité des déchets destinés à un dépôt permanent, comme par exemple les scories provenant de l'incinération des déchets.  
Direction du cours: Peter Baccini
- 21 septembre 1993** **De la protection de l'environnement à la gestion de l'environnement: solutions systémiques en théorie et en pratique**  
Journée d'information 1993 Direction: Theresa Büsser, Peter Huggenberger
- 16-17 novembre 1993** **Structures et processus dans les systèmes aquatiques**  
Cours fondamental B1/93 Ce cours sert à mettre à jour les connaissances de base en chimie, physique, biologie et microbiologie  
Direction du cours: Elisabeth Meyer, Alfred Wüest
- 23-25 mars 1994** **Analyse chimique de l'environnement: méthode et théorie**  
Cours pratique A2/94 Ce cours donne un aperçu des dernières nouveautés dans le domaine de l'analyse chimique de l'eau, du sol et de l'air, de l'échantillonnage à l'interprétation des données.  
Direction du cours: Renata Behra, Annette Johnson, Laura Sigg
- 12-14 avril 1994** **Les métaux dans le milieu aquatique**  
Cours d'approfondissement V2/94 Notions de base concernant la chimie et l'écotoxicologie des métaux dans les systèmes aquatiques. Comportement des métaux lourds dans les cours d'eau et les décharges et évaluation des charges en métaux.  
Direction du cours: Renata Behra, Annette Johnson, Laura Sigg
- 15-16 juin 1994** **Protection intégrée de l'environnement: notions de base, incertitudes et solutions pratiques**  
Cours fondamental B2/94 Principes des sciences naturelles et des sciences sociales. Ces principes sont mis en relation entre eux et avec les expériences faites en matière de protection des eaux, dans le but de parvenir à une nouvelle conception de l'environnement.  
Direction du cours: Ueli Bundi, Giulio P. Genoni, Bernhard Truffer
- 20 Septembre 1994** **Sujet: Sédiments d'origine naturelle et antropogène comme archive et comme facteur important dans la gestion de l'environnement**  
Journée d'information 1994
- 6-8 septembre 1994** **Substances organiques nocives dans l'environnement**  
Cours d'approfondissement V3/94 L'observation de certaines substances chimiques permet d'illustrer les processus de transport et de réaction qui se déroulent dans les cours d'eau. Le cours portera sur la modélisation mathématique, mais aussi sur les processus photochimiques et microbiens de transformation. En outre seront enseignées les éléments d'écotoxicologie permettant de comprendre les effets des substances chimiques sur les populations et les écosystèmes.  
Direction du cours: Werner Angst, Hanspeter Kohler

de l'environnement s'y ajoutera dès 1995.

**1. Structures et processus des systèmes naturels et de leurs modifications d'origine anthropogène**

Connaissances de base en sciences naturelles permettant de comprendre les écosystèmes de nature aquatique ou autre.

**2. Problèmes, objectifs et stratégies de la protection de l'environnement**

Etudes de cas exemplaires, mise en oeuvre de solutions, buts qualitatifs, législation, contrôle des résultats, information du public, instruments économiques.

**3. Connaissances de base dans le domaine de la protection de l'environnement**

Chimie, physique, biologie et microbiologie du domaine aquatique, modélisation, statistique, écologie, écotoxicologie, génie de l'environnement et

génie agricole, techniques de mise en oeuvre.

**4. Méthodes d'analyse et d'évaluation des eaux et de l'eau en général**

Echantillonnage pour analyse chimique, biologique et microbiologique, évaluation des bilans de matières et d'énergie, mesures physiques, interprétation des résultats.

**5. Technologies environnementales**

Aménagement des systèmes d'approvisionnement et d'évacuation des eaux, techniques de traitement des déchets, épuration des eaux, traitement de l'eau potable.

**6. Problèmes actuels en matière de protection de l'environnement et de la protection des eaux**

Accidents et catastrophes (analyse scientifique), révision des textes de loi, questions actuelles au niveau politique et social,

projets de solution pour des problèmes concrets.

**Informations générales**

Les cours ont été publiquement annoncés en juillet 1993. Il est également possible de s'informer par le programme de formation continue de toutes les hautes écoles suisses et des écoles d'ingénieurs ETS accessible par Videotex (\*6622# ou \*agora#) ou par le programme «ezinfo» de l'EPFZ. Pour tout renseignement supplémentaire, veuillez vous adresser à:

**Direction:** Herbert Güttinger  
Tél. 01/823 50 23

**Secrétariat:** Heidi Gruber  
Tél. 01/823 53 93  
Fax 01/823 53 98

**Adresse:** EAWAG  
Secrétariat PEAK  
Überlandstr. 133  
8600 Dübendorf

**Journée d'information EAWAG 1993:**

**«De la protection de l'environnement à la gestion de l'environnement: solutions systémiques en théorie et en pratique»**

Cette année également, l'EAWAG a organisé une journée d'information – il s'agira bientôt d'une tradition. C'est l'occasion pour les scientifiques de l'EAWAG de communiquer leurs dernières découvertes dans le domaine des sciences naturelles et de la protection de l'environnement. L'EAWAG tient ainsi à jouer son rôle d'agent de liaison entre la théorie et la pratique en informant aussi bien les praticiens que les spécialistes des milieux scientifiques, économiques et politiques.

Etant donné l'évolution de l'environnement et de la société, il faut trouver de nouvelles solutions pour la gestion des ressources naturelles et pour l'aménagement de notre environnement. L'atten-

tion a porté de longues années sur des problèmes isolés. Aujourd'hui, les idées changent: il s'agit de voir les problèmes de manière globale, par delà les frontières de nature scientifique ou institutionnelle. Les premiers éléments scientifiques pour une gestion durable des ressources seront illustrés par des exemples étudiés dans le cadre de l'EAWAG.

- La journée d'information EAWAG a eu lieu le 21 septembre 1993 à l'EPFZ.
- Le numéro EAWAG NEWS du décembre contiendra le résumé des exposés tenus à cette occasion et sera envoyé à tous les participants et participantes.

**Programme de la journée d'information 1993**

Développement environnemental: thèses et hypothèses

Alexander J.B. Zehnder

Communication des risques: exemple des changements climatiques

Claudia Pahl, Carlo Jaeger

Dans quelle mesure les organismes et les écosystèmes supportent-ils le stress?

Considérations écotoxicologiques

Herbert Güttinger

Importance écosystémique des facteurs physiographiques des cours d'eau

Tom Gosser

Premiers pas vers une gestion durable des ressources au niveau régional

Peter Baccini

Etablissement de buts qualitatifs concernant la charge en métaux dans les cours d'eau

Renata Gehra, Guilio P. Genoni, Laura Sigg

Possibilités et limites des biotechniques d'assainissement environnemental

Jan Roelof van der Meer

Produits de lessive et de nettoyage: de l'attitude réactionnaire à l'attitude préventive en matière de protection d'environnement

Walter Giger, Alfredo Alder

Protection de l'environnement dans les pays en voie de développement: une question de survie

Roland Schertenleib

Comprendre, c'est vouloir agir – Conséquences pour l'EAWAG

Ueli Bundi

## Nouvellement à l'EAWAG

## Le groupe d'écologie humaine à l'EAWAG

Il était une fois une équipe de scientifiques parcourant les territoires gelés de l'Antarctique. Aussi courageux les uns que les autres, ces femmes et ces hommes cherchèrent à comprendre l'atmosphère. Un jour, ils y découvrirent le trou d'ozone. Ils publièrent donc le résultat de leurs recherches, lequel fit immédiatement sensation. Aussitôt, on mit sur pied un peu partout des équipes de scientifiques avec pour mission d'étudier les causes et les effets possibles de ce trou d'ozone. Les scientifiques arrivèrent à la conclusion que le trou d'ozone était provoqué par les CFC et qu'il entraînait de graves troubles pour la santé. Par conséquent, les puissants de ce monde se réunirent dans le cadre d'une grande conférence pour décider de l'interdiction immédiate des CFC au niveau planétaire. Grâce à ces mesures, le trou d'ozone se referma peu à peu, si bien que tout le monde put continuer à vivre et à étudier en toute quiétude.

Comme chacun sait, le conte diffère de la réalité. Mais personne n'est à même d'expliquer le comment de la situation actuelle. Concrètement, il s'agit de déterminer pourquoi l'environnement subit des atteintes au niveau planétaire et comment on pourrait passer à une forme d'économie et de bien-être compatible avec l'environnement. La plupart des gens ont parfois l'impression que la faute vient des autres. Les scientifiques estiment que les résultats de leurs recherches ne sont pas bien compris des politiciens; ces derniers déplorent que la population ne réserve pas un accueil favorable aux solutions des scientifiques. Quant à l'opinion publique, elle ne comprend plus le jargon des scientifiques et encore moins leurs déclarations contradictoires. Voilà un cercle vicieux, dans lequel personne ne se sent responsable et

continue à appliquer les bonnes vieilles méthodes, même si c'est avec de plus en plus de suspicion. Pour un effort particulier fourni ici ou là dans le but de résoudre un problème environnemental donné, deux nouveaux problèmes environnementaux apparaissent ailleurs.

#### Les interrogations de l'écologie humaine

Voilà pourquoi il ne faut pas seulement envisager les problèmes environnementaux du point de vue de l'environnement proprement dit, mais aussi du point de vue des individus: ceux-ci ressentent les problèmes qu'ils provoquent et sont peut-être en mesure de les résoudre. Notre groupe d'écologie humaine part de ce point de vue pour tenter de répondre à des questions du genre: à partir de quand et par qui un phénomène est-il ressenti comme étant un problème d'environnement? Quel est l'accueil réservé aux informations concernant l'environnement? A partir de quel moment les individus se mettent-ils à agir en faveur de l'environnement? Dans quelles conditions faut-il mettre en place des processus innovateurs plus favorables à l'environnement? Toutes ces questions portent sur les systèmes socio-écologiques, à savoir l'ensemble des individus, des structures sociales et des règles culturelles qui se sont développées dans un certain berceau géophysique. Ces systèmes représentent en fait la multitude d'échanges qui se produisent entre l'Homme et l'environnement.

De tels systèmes sont plus faciles à étudier si l'on considère des problèmes environnementaux concrets. A l'heure actuelle, nous étudions les aspects sociaux en rapport avec les changements climatiques menaçants; certains

points sont particulièrement intéressants: actions en condition d'insécurité, comportement face à des risques globaux, processus innovateurs visant à éviter les problèmes environnementaux. Par nos recherches, nous voulons assurer à l'EAWAG une place dans le débat mondial sur les transformations globales de l'environnement («Changement Global») en présentant des études sérieuses et en contribuant ainsi, dans la mesure du possible, à résoudre les problèmes qui se posent. Nous sommes conscients du fait qu'un petit groupe se consacrant aux études sociales, situé dans l'ombre d'un grand institut de recherche sur l'environnement, court le danger de servir d'alibi et de demeurer improductif, à moins de présenter nos propres résultats. Voilà pourquoi nous avons décidé de nous consacrer au problème des risques climatiques.

Nous partons de l'hypothèse que les changements climatiques imminents sont certes un problème d'envergure mondiale, mais que les solutions réelles audit problème ne peuvent qu'en partie naître de décisions globales. Le fait est que la solution des problèmes environnementaux actuels n'est possible que si nous passons à un régime économique permettant un développement durable; une telle solution ne saurait être dessinée ni sur la planche à dessin ni à l'écran. Il convient bien plus d'essayer les solutions les plus diverses et, à la faveur d'un processus dialectique, d'aider les idées prometteuses à s'imposer. Or, l'initiative est souvent plus facile à prendre par une nation ou par une région que par la Communauté dite mondiale.

Le principe des solutions régionales s'intègre parfaitement dans le programme de recherche quinquennal de l'EAWAG; des collaborations avec d'autres divisions de

l'EAWAG peuvent donc être envisagées. Nous travaillons déjà avec la Division de Physique de l'environnement pour notre recherche sur les risques climatiques. Mais nous avons également des préoccupations semblables à nos collègues travaillant pour l'IRCWD (Eau et assainissement dans les pays en voie de développement), division avec laquelle nous partageons l'étage C du bâtiment de Chriesbach. L'IRCWD se préoccupe également des problèmes environnementaux dans leurs rapports avec les populations concernées.

### Projets de recherche en cours

Jusqu'à présent, deux projets concrets de recherche à propos des risques climatiques ont été mis en chantier dans le cadre du groupe d'écologie humaine. Le premier s'inscrit dans le cadre du programme de recherche national no 31 et étudie la perception des risques climatiques dans le Tessin du nord et dans la Surselva. Trois groupes, à savoir les ménages, les entreprises et les institutions politiques, vont être interrogés dans le but de déterminer s'ils réagissent de manière systématiquement différente face aux risques environnementaux et de découvrir quels sont, cas échéant, les paliers de communication qui permettent aux mondes politique, économique et privé de joindre leurs efforts pour arriver à des solutions communes.

Un deuxième projet de recherche enquête sur les processus innovateurs, à la lumière de deux exemples, l'auto électrique et le télétravail; dans les deux cas, il s'agit d'expériences très importantes en regard de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Pour ce projet également, la base de recherche est régionale. Il fait partie intégrante du programme de recherche intitulé «CLEAR – Climate and Environment in Alpine Regions» – étudiant les changements climatiques –, lui-même intégré dans le module 1 du programme prioritaire environnement du fonds national Suisse de la recherche. L'EAWAG,

les EPF, les Hautes Ecoles cantonales ainsi que divers centres de recherches participent à ce deuxième projet dans le cadre duquel collaborent des spécialistes de la physique atmosphérique, de la climatologie, de la biologie, de l'écologie systémique, des sciences humaines et sociales. Le groupe d'écologie humaine de l'EAWAG s'est chargé de la coordination du module entier.

### Le groupe d'écologie humaine se présente

Le groupe lui-même s'est constitué de manière interdisciplinaire. Nous avons pour objectif de dépasser la juxtaposition des connaissances pour arriver à l'édification d'un savoir-faire complexe dont il faut à notre avis disposer avant de vouloir s'attaquer aux problèmes d'écologie humaine. Notre équipe se compose actuellement de neuf personnes, dont quatre femmes et cinq hommes. Nous vous les présentons ci-après:

*Carlo Jaeger*, chef du groupe d'écologie humaine, a fait des

études de sociologie, puis un doctorat en économie pour arriver au grade de professeur en écologie humaine. Dans le cadre de plusieurs projets, il s'est préoccupé des aspects sociaux relatifs aux nouvelles technologies d'information et s'intéresse depuis longtemps à la théorie sociale. Dans le cadre de l'EPFZ, il dirige la commission d'enseignement de la Section des sciences environnementales et est également engagé dans la direction de cette Section. Marié et père de deux enfants, il apprécie la collaboration avec des gens sympathiques.

*Gregor Dürrenberger* est responsable de la direction opérative du groupe d'écologie humaine. Il a étudié la géographie à l'EPFZ. Après avoir soutenu sa thèse sur le thème de la territorialité, il a passé une année de postdoctorat à l'Université de Newcastle upon Tyne (Royaume-Uni). Il a concentré ses recherches sur les aspects régionaux des problèmes climatiques globaux. Ces dernières années, il s'est occupé des questions relatives au développement urbain et à



Les dames (de gauche à droite): Lisbeth Bieri, Silvia Rothen, Joan Davis, Marina Hubbuch.

Les messieurs (de gauche à droite): Bernhard Truffer, Gregor Dürrenberger, Matthias Wächter, Urs Dahinden, Carlo Jäger.

l'évolution culturelle. Privat-docent à la Section XB de l'EPFZ, il n'en étudie pas moins les aspects pratiques de l'oenologie durant son temps libre.

*Marina Hubbuch* assume les multiples tâches de secrétariat pour le groupe. Elle veille en particulier au bon déroulement des activités du groupe. Après avoir fait son Ecole de commerce, elle a travaillé dans divers secrétariats, le plus souvent dans le domaine médical. Après quatre ans d'interruption pour pouvoir s'occuper de son enfant, elle travaille depuis la fin de 1992 au sein du groupe d'écologie humaine.

*Bernhard Truffer* est géographe de formation et était assistant à l'Institut de géographie de l'Université de Fribourg (CH). Fraîchement achevée, sa thèse de doctorat traite de la détermination théorique des prix fonciers et de son rôle dans le développement actuel des villes. Son intérêt de scientifique est dévolu aux potentiels de transfert économiques, technologiques et sociaux qui permettraient d'instaurer un développement durable des régions. Ses travaux de recherches actuels sont consacrés aux potentiels de modification de la mobilité individuelle, au regard des risques climatiques.

*Urs Dabinden* est sociologue et coordinateur du projet CLEAR. Consacré à l'informatisation des bureaux, son travail de licence va tantôt paraître sous le titre de «Chamäleon Computer». A l'heure actuelle, il travaille à sa thèse

consacrée aux aspects sociaux de l'effet de serre. Ses hobbies sont le cyclisme et le parapente.

*Silvia Rothen* est économiste de formation. Après avoir obtenu sa licence, elle a passé une année à l'Office fédéral des questions conjoncturelles, temps durant lequel elle a développé l'organisation du programme d'impulsion consacré à la micro-électronique. Ensuite, pendant trois ans et demi, elle était titulaire d'un poste d'assistante auprès du Professeur Gunter Stephan, de l'Institut de micro-économie appliquée à l'Université de Berne. Grâce à ce poste, elle a accumulé des expériences aussi bien au niveau des recherches que de l'enseignement dans le domaine de l'économie environnementale. Récemment parue, sa thèse de doctorat traite des possibilités qu'a la Suisse de diminuer à long terme ses émissions de CO<sub>2</sub>.

*Lisbeth Bieri* est collaboratrice scientifique du groupe d'écologie humaine. A l'heure actuelle, elle travaille dans le cadre d'un projet du Fonds national suisse de la recherche scientifique, portant sur les changements climatiques et le développement régional dans les zones de montagne. Depuis de nombreuses années déjà, elle s'est intéressée aux possibilités de la télématique pour les régions non urbaines. Elle a ainsi participé à la création du «bureau par satellite» Sumvitg. Par ailleurs, elle s'intéresse aux méthodes quantitatives et qualitatives appliquées en sciences sociales. Lisbeth Bieri adore la

nicotine et le café, mais ne peut s'empêcher de détester les bancs d'essai pour revêtements asphaltés quand ils se trouvent sous ses fenêtres.

*Joan Davis* a fait ses études de chimie aux USA, après quoi elle est venue en Suisse pour des études de postdoctorat. Elle a ensuite commencé à travailler à l'EAWAG dans le domaine de la chimie des cours d'eau. Afin de mieux comprendre les causes de la pollution chimique, et de mieux transmettre ses découvertes aux autres, elle s'est jointe cette année au groupe d'écologie humaine. Mis à part ses recherches, elle donne des cours consacrés à la problématique des cours d'eau, ainsi qu'aux systèmes environnementaux aussi bien à l'EPFZ qu'à l'Université de Zurich.

*Matthias Wächter* est chimiste et a écrit son travail de diplôme à l'EPFZ à propos des questions d'interprétation de la mécanique quantique chez Hans Primas. Il doit à ce dernier de l'avoir rendu attentif aux atouts, aux faiblesses, mais surtout aux limites des sciences naturelles modernes; il a ainsi pu comprendre quel était leur mythe et leur responsabilité dans les problèmes écologiques actuels. Sa thèse de doctorat traite de ces problèmes ainsi que d'autres sujets apparentés. Au demeurant, il profite de la vie en dosant avec beaucoup d'à-propos le côté social, la littérature, les montagnes et les lacs.

## Le prix de la Banque SNS sera attribué à un collaborateur de l'EAWAG

Le 9 septembre 1993, M. Jan Roelof van der Meer recevra à Wageningen (Pays-Bas) le prix de la Banque SNS. Sur la proposition de l'Université Agricole de Wageningen, la Banque SNS récompense chaque année de jeunes doctorantes ou doctorants en début de carrière dont les recherches constituent un progrès scientifique marquant. Collaborateur à la sec-

tion de microbiologie de l'EAWAG depuis août 1992, M. van der Meer a fait sa thèse sur l'adaptation génétique des bactéries aux substances nocives présentes dans l'environnement. A l'occasion de la cérémonie de remise, un symposium d'une demi-journée a été consacré à la microbiologie et à l'environnement.



## L'EAWAG a une nouvelle ordonnance

Le 4 octobre 1991, les Chambres fédérales ont édicté une nouvelle loi sur les Ecoles polytechniques fédérales (EPF), laquelle est entrée en vigueur le premier février 1993. Cet intervalle a permis, outre l'observation du délai référendaire, de réviser et d'adapter le droit d'exécution du Conseil fédéral en ce qui concerne le Domaine des EPF.

A ce propos, voici les ordonnances qui ont été modifiées:

- Ordonnance sur le Domaine des écoles polytechniques fédérales (Ordonnance sur le Domaine des EPF)
- Ordonnance sur les Ecoles polytechniques fédérales (Ordonnance sur les EPF)
- Ordonnance sur le Corps des maîtres des écoles polytechniques fédérales (Ordonnance sur le Corps des maîtres des EPF)
- Ordonnance concernant le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherches (Ordonnance sur l'EMPA)
- Ordonnance concernant l'Institut fédéral de recherches sur la forêt (Ordonnance sur le WSL)
- Ordonnance concernant l'Institut Paul-Scherrer (Ordonnance sur le PSI)
- Ordonnance concernant l'Institut fédéral pour l'aménagement,

l'épuration et la protection des eaux (Ordonnance sur l'EAWAG)

L'ordonnance concernant l'EAWAG, figurant dans le Recueil officiel du droit fédéral, no 8, 2 mars 1993, RO 414.162 est reproduite ci-dessous. La nouvelle position de l'EAWAG à l'intérieur du Domaine des EPF et par rapport à l'administration fédérale est explicitée par le schéma figurant ci-dessous.

### Commentaires sur la nouvelle ordonnance

Le droit réglementaire du Conseil fédéral afférant à la loi sur les Ecoles polytechniques fédérales relève purement du droit organisationnel. Il fixe le cadre organisationnel dans lequel l'EAWAG pourra remplir sa tâche dans des conditions optimales. L'ordonnance sur l'EAWAG n'intervient pas au niveau scientifique: il s'agit là d'un domaine réservé à la compétence du Conseil des EPF. Le Parlement a volontairement adopté une attitude réservée en légiférant en la matière. Il en va de même pour les ordonnances réglementaires. Celles-ci assurent à l'EAWAG toute son autonomie au niveau de la recherche. Elles ne règlent pas ce qui a déjà été déterminé au niveau

de la loi, mais seulement ce que le Conseil fédéral doit régler en vertu de la loi. Les ordonnances sont allées dans le sens de la loi partout là où celle-ci prévoit une délégation des compétences au Conseil des EPF.

### Article premier Statut juridique

A l'instar des deux EPF et des trois autres établissements de recherche, l'EAWAG est doté de la personnalité juridique.

### Article 2 Tâches

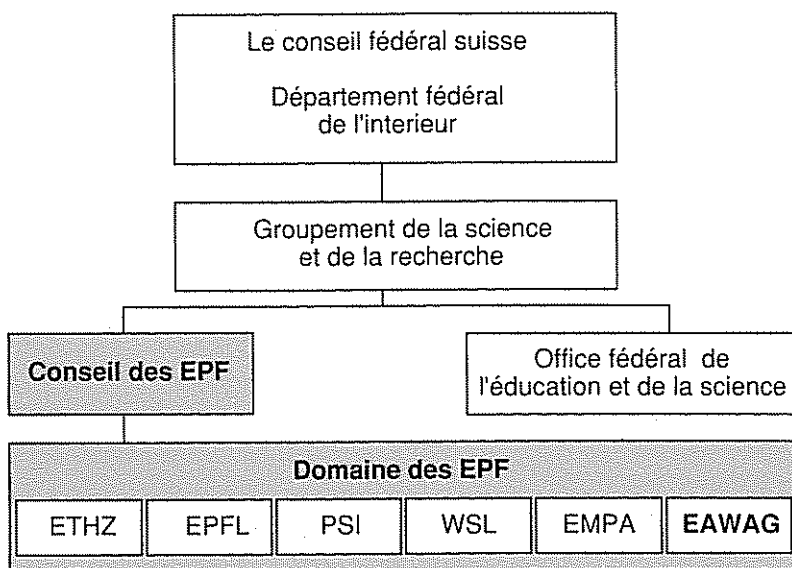
Le premier alinéa circonscrit les domaines d'activité de l'EAWAG en termes relativement généraux. Aux alinéas 2 à 4, les tâches de l'EAWAG sont définies: l'Institut doit d'une part soutenir les EPF et autres institutions d'enseignement universitaire par ses activités d'enseignement et de recherche, d'autre part, offrir des cours d'enseignement et de formation continue. Il lui incombe également de fournir des prestations de service relevant des domaines dans lesquels il est spécialisé.

### Article 3 Collaboration avec les grandes écoles (institutions de niveau universitaire)

Grâce à cet article, la collaboration entre établissements de recherche, écoles polytechniques fédérales et universités cantonales est juridiquement ancrée.

### Article 4 Collaboration avec des administrations publiques et l'économie

L'alinéa 1 énonce le principe de collaboration entre l'EAWAG et les administrations publiques ainsi que les milieux économiques dans le cadre de projets de recherche. L'alinéa 2 tient compte du fait que l'EAWAG est en premier lieu un institut de recherche et d'enseignement et ne peut par conséquent être tenu d'accepter tous les mandats, notamment ceux qui



Incorporation de l'EAWAG dans le domaine des EPF et de l'organisation de la Confédération

peuvent être assumés par d'autres organismes publics ou privés.

#### Article 5 Collaboration internationale

Les recherches de l'EAWAG doivent atteindre un haut niveau internationalement comparable.

#### Article 6 Transfert de connaissances, transfert technologique et diffusion de résultats de recherches

L'alinéa 1 fonde le rôle de l'EAWAG en tant que vecteur de connaissance entre la recherche et la pratique. La disposition limitative de l'alinéa 2 ne vise pas à restreindre la liberté d'enseignement ou de recherche, ni à introduire une censure. Elle a seulement pour but de respecter la propriété intellectuelle.

#### Article 7 Formation et postformation

Cet article définit la forme dans laquelle l'EAWAG doit remplir les tâches qui lui incombent en vertu de l'article 2, alinéa 2 de la présente ordonnance.

#### Article 8 Structure

Le Conseil fédéral ne prescrit plus que la structure fondamentale de l'Institut et délègue les questions de détail au Conseil des EPF. Cette délégation de compétence va dans le sens de la loi sur les EPF.

#### Article 9 Direction

De même, cette disposition n'est pas spécifique à l'EAWAG, mais correspond au régime que con-

naissent les directions des autres établissements de recherche et des écoles polytechniques fédérales.

#### Article 10 Commission consultative

A l'instar des autres établissements de recherche, l'EAWAG dispose d'une commission consultative dont le nombre de membres a été réduit de 15 à 9 personnes au maximum.

#### Article 11 Participation

En vertu de la loi sur les EPF, le personnel a le droit de participer à la gestion de l'établissement. Dans le cas des écoles polytechniques, la composition des groupes est définie au niveau de la loi (corps enseignant, assistantes et assis-

### Ordonnance concernant l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux

(Ordonnance sur l'IFAGPE)

du 13 janvier 1993

Le Conseil fédéral suisse,

vu l'article 39, 2<sup>e</sup> alinéa, de la loi fédérale du 4 octobre 1991<sup>1)</sup> sur les écoles polytechniques fédérales (Loi sur les EPF),

arrête:

#### Article premier Statut juridique

<sup>1</sup> L'Institut fédéral de recherches pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (IFAGPE) est un établissement de recherche de droit public de la Confédération, autonome et doté de la personnalité juridique.

<sup>2</sup> Il est subordonné au Conseil des EPF.

#### Art. 2 Tâches

<sup>1</sup> L'IFAGPE est un établissement de recherche national à vocation multidisciplinaire pour les sciences de l'environnement, qui s'occupe en particulier de l'écologie, de la technologie des eaux et de la recherche relative aux relations entre les eaux, le sol, l'air, la biosphère et l'anthroposphère.

<sup>2</sup> Il contribue à l'enseignement dispensé dans les hautes écoles et d'autres établissements d'enseignement ainsi qu'à la recherche qui y est effectuée.

<sup>3</sup> Il organise des cours de formation et de postformation dans son domaine d'activités.

<sup>4</sup> Il fournit des services relevant de son domaine d'activités.

#### Art. 3 Collaboration avec les hautes écoles

<sup>1</sup> L'IFAGPE collabore avec les hautes écoles fédérales et cantonales.

<sup>2</sup> Il peut convenir avec les autorités compétentes d'exploiter des installations en commun avec des hautes écoles.

#### Art. 4 Collaboration avec des administrations publiques et l'économie

<sup>1</sup> L'IFAGPE peut exécuter des projets de recherche en commun avec des administrations publiques et avec l'économie.

RS 414.162

<sup>1)</sup> RS 414.110; RO 1993 210

Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux

<sup>2</sup> Il fournit des services scientifiques et dispose des moyens nécessaires.

Art. 5 Collaboration internationale  
L'IFAGPE collabore avec la com-  
mune dans le cadre de programmes

Art. 6 Transfert de connaissances  
résultats de recherches

<sup>1</sup> L'IFAGPE favorise le transfert de

<sup>2</sup> Il publie les résultats de recherche  
privés prépondérants ne s'y oppose

Art. 7 Formation et postformation  
L'IFAGPE participe à la formation  
hautes écoles et dans d'autres étal  
l'enseignement et aux travaux de d:

#### Art. 8 Structure

<sup>1</sup> L'IFAGPE est divisé en secteurs

<sup>2</sup> Le Conseil des EPF règle l'organi

#### Art. 9 Direction

<sup>1</sup> La direction est composée du dire-  
cteur subordonnés et qui sont responsab  
Conseil des EPF.

<sup>2</sup> Le directeur dirige l'IFAGPE et as-  
siste l'établissement. Il répond de sa ges

<sup>3</sup> Le Conseil des EPF règle les tâc-  
hacun de ses membres.

#### Art. 10 Commission consultative

<sup>1</sup> La Commission consultative con-  
sulte toutes les questions fondamentales

<sup>2</sup> Elle comprend cinq à neuf memb

<sup>3</sup> Le Conseil des EPF nomme le pr-  
sident pour quatre ans.

tants, étudiantes et étudiants, personnel administratif et technique). Pour les établissements de recherche, la participation du personnel est un élément nouveau. Les représentantes et représentants du personnel\* sont les interlocuteurs de la direction et du Conseil des EPF et ont en outre une voix consultative. Si la représentation du personnel était confiée à une commission, celle-ci disposerait de droits de participation bien plus limités en vertu de la loi sur les commissions.

#### Article 12 Collaboration avec les associations du personnel

Complémentaire à l'article 11, cette disposition permet d'aligner tous les établissements du domai-

ne des EPF sur un pied d'égalité en ce qui concerne la collaboration avec les associations du personnel.

#### Article 13 Utilisation des installations

Les dispositions des articles 3 et 4 concernant la collaboration trouvent ici leur forme concrète au niveau de l'infrastructure. L'article en question définit en effet l'utilisation de l'infrastructure de l'EAWAG par les chercheurs des hautes écoles et des instituts publics de recherche suisses. Il définit également la collaboration avec les milieux économiques dans le cadre de projets de recherche communs.

#### Article 14 Indemnités pour prestations de service

Cette disposition correspond au régime que connaissent en la matière les autres établissements de recherche et s'en tient au principe de la couverture des frais.

(Hans Wasmer)

\* La commission du personnel de l'EAWAG a été dissoute au 31.1.93 et un nouveau corps représentant le personnel a été élu pour assumer sa tâche à partir du 1.2.93, date de l'entrée en vigueur de la loi sur les EPF.

la protection des eaux RO 1993

de mandats, dans la mesure où il

ientifique internationale, en parti-  
che et de développement communs.

t technologique et diffusion de

de recherches dans la pratique.  
mesure où des intérêts publics ou

ostformation dispensées dans les  
d'enseignement en collaborant à  
le doctorat.

ie et en secteurs administratifs.

IFAGPE.

que d'autres membres qui lui sont  
urs particuliers déterminés par le

onsabilité globale de la gestion de  
le Conseil des EPF.

ompétences de la direction et de

seil des EPF et la direction sur  
ité de l'IFAGPE.

es membres pour une période de

Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux RO 1993

#### Art. 11 Participation

<sup>1</sup> Le Conseil des EPF et la direction consultent le personnel par le biais de ses représentants avant de prendre des décisions d'intérêt général concernant l'IFAGPE, telles que notamment la planification, la création ou la suppression de secteurs ainsi que les structures. Le Conseil des EPF procède aux consultations par le biais de la direction.

<sup>2</sup> Le personnel de l'IFAGPE désigne lui-même ses représentants.

<sup>3</sup> La direction veille à assurer une information suffisante afin que tous les collaborateurs puissent exercer leurs droits de participation.

#### Art. 12 Collaboration avec les associations du personnel

L'IFAGPE collabore avec les associations du personnel dans les questions relatives au personnel, selon les directives du Conseil des EPF.

#### Art. 13 Utilisation des installations

<sup>1</sup> L'utilisation des installations de l'IFAGPE est gratuite pour les chercheurs des hautes écoles et des instituts publics de recherche suisses.

<sup>2</sup> Lorsqu'une industrie participe à un projet de recherche de l'IFAGPE, sa contribution financière est fixée proportionnellement aux frais entraînés par le projet.

<sup>3</sup> Au surplus, le directeur fixe les conditions d'utilisation des installations.

#### Art. 14 Indemnités pour prestations de services

<sup>1</sup> Les services fournis donnent lieu à des émoluments qui doivent couvrir les frais.

<sup>2</sup> Le Conseil des EPF édicte des dispositions sur les émoluments à prélever, après avoir entendu le Département fédéral des finances.

#### Art. 15 Abrogation du droit en vigueur

L'ordonnance du 21 décembre 1970<sup>1)</sup> concernant l'organisation et le fonctionnement de l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux est abrogée.

#### Art. 16 Entrée en vigueur

La présente ordonnance entre en vigueur le 1<sup>er</sup> février 1993.

13 janvier 1993

Au nom du Conseil fédéral suisse:  
Le président de la Confédération, Ogi  
Le chancelier de la Confédération, Couchepin

<sup>1)</sup> RO 1970 1679

## Nouvel organigramme de l'EAWAG



EAWAG

Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux

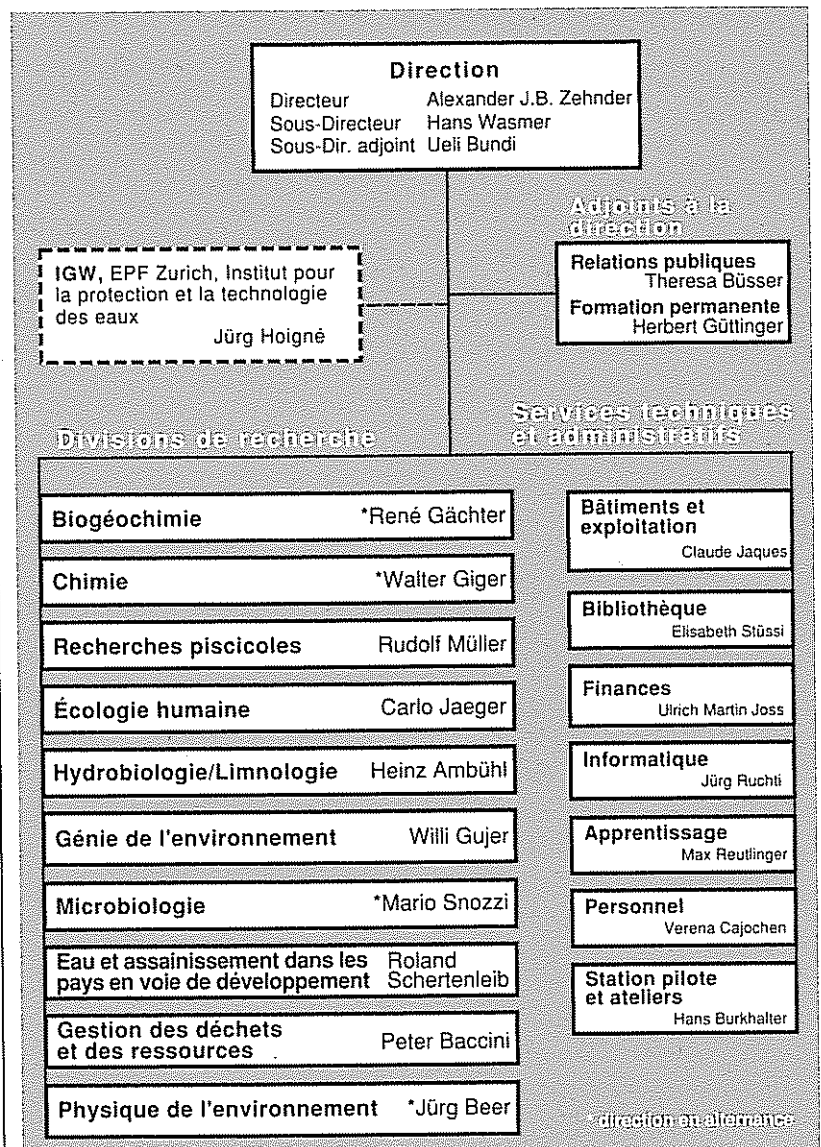
L'an dernier, l'EAWAG s'est restructuré et a changé quelques désignations de secteurs. Conformément à la nouvelle ordonnance, l'EAWAG est maintenant structuré en *divisions de recherche* et *services techniques et administratifs*, comme en rend compte l'organigramme figurant à droite. Les nouveautés sont brièvement commentées dans la suite de cet article.

Les groupes de recherche de la division «Chimie», y compris le secteur de l'analyse chimique, ainsi que la division «Recherche limnologique multidisciplinaire» ont été réorganisés. Suivant leurs objets d'étude, les groupes de recherche ont rejoint les divisions «Chimie» ou «Biogéochimie».

La division de recherche «Chimie» se consacre à l'étude du comportement environnemental de substances essentiellement organiques. Les recherches menées dans ce secteur ont lieu aussi bien en laboratoire que sur le terrain et visent à mettre en lumière les processus de transformation. L'effort principal du domaine «Biogéochimie» (BGC) porte sur les cycles de matières et leur mise en rapport avec les cours d'eau naturels ainsi que leur rôle du point de vue de la qualité de l'eau.

Deux divisions de recherche ont modifié leur nom. Comme cela a déjà été annoncé dans le dernier numéro, le domaine de recherche «Biologie technique» a été rebaptisé «Microbiologie» afin d'englober le groupe de travail de biologie moléculaire, nouvellement constitué.

La division «Gestion des déchets et bilans des matières» (AWS) s'appelle maintenant «Gestion des



Le nouvel organigramme de l'EAWAG (juillet 1993)

déchets et des ressources» (S+E) et porte en allemand par conséquent le même titre que la chaire correspondante à l'EPFZ.

En outre, l'EAWAG compte une nouvelle division, à savoir le groupe «Écologie humaine», qui se présente lui-même dans ce numé-

ro. Ce groupe promet d'apporter un nouveau souffle à la collaboration interdisciplinaire entre sciences humaines, génie de l'environnement, sciences naturelles aussi bien au-dedans qu'au-dehors de l'EAWAG.

### Cours de 3<sup>e</sup> cycle en génie sanitaire et protection des eaux 1992/93

Younes Hassib, Martin Häfliger, Max Maurer, Michael Nay, Jianhua Lei, Ivana Vancarkova, Peter Hunziker, Ines Conrad, Christa Hayoz, Monika Kriens, Hans Lamp, Andreas Hurni, Agostini Clericetti

(Photo dans la version allemande)



## La nouvelle délégation du personnel de l'EAWAG

La nouvelle délégation du personnel de l'EAWAG, en fonction depuis février 1993, est l'organe chargé de la coopération du personnel et agissant comme interlocuteur entre la direction et le personnel. Elle a succédé au comité du personnel qui jouissait d'une autorité plus restreinte.

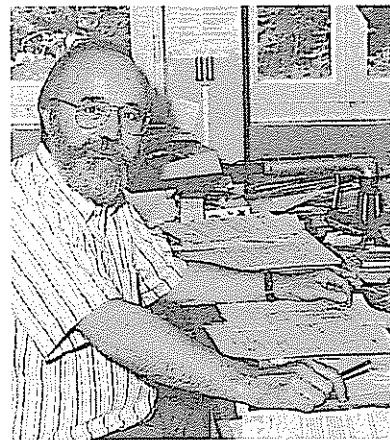
La délégation du personnel agit comme médiateur entre les employés particuliers et la direction, mais s'occupe également de thèmes concernant l'ensemble du personnel de l'EAWAG. Afin de remplir ces tâches un de ses membres est délégué auprès de la conférence de l'EAWAG. Pour la communication avec le personnel, la délégation du personnel a la possibilité de procéder à des votes consultatifs, le dialogue personnel restant cependant très important.

Les membres de la délégation se recrutent au sein des professions représentées à l'EAWAG (personnel administratif, technique et scientifique ainsi que les thésards) et de tous les sites de l'EAWAG (Dübendorf, Kastanienbaum et Tüffenwies). Conformément au programme de promotion des femmes dans l'administration fédérale, le personnel féminin y dispose d'une représentante pour les deux prochaines périodes législatives.

La présidente, Vreni Graf (physique de l'environnement) représente le personnel administratif, tandis que la vice-présidente, Beate Escher (chimie), est la représentante des femmes. Le délégué à la conférence de l'EAWAG, David Kistler (biogéochimie) représentant le site de Dübendorf, est remplacé par Alfred Lück (physique de l'environnement) qui représente le personnel technique. Le secrétaire, André Weidenhaupt (chimie), est thésard, la secrétaire adjointe, Ruth Stierli (biogéochimie), travaille à Kastanienbaum. Les deux autres membres Robert Berger et Jürg Zobrist (biogéochimie) représentent respectivement les ateliers mécaniques de Tüffenwies et le personnel scientifique.

Les activités de la jeune délégation du personnel se sont concentrées jusqu'à présent sur la collaboration à la rédaction de la nouvelle législation du personnel de l'EAWAG, l'élaboration du règlement interne de Kastanienbaum, la réalisation d'un référendum sur le règlement du parcauto sur le territoire de l'EAWAG, l'évaluation de suggestions pour la journée EAWAG 1993, la mise sur pied de cours d'anglais... etc.

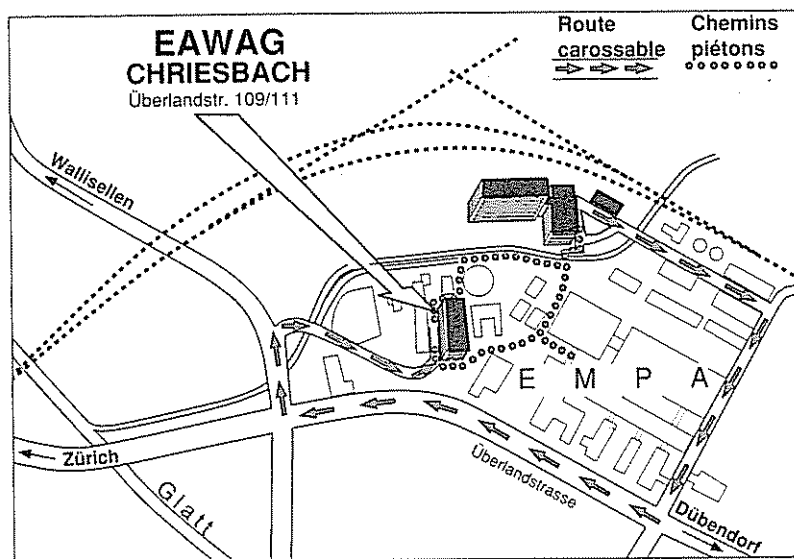
L'amélioration du climat à l'EAWAG est notre but principal, mais



La nouvelle délégation du personnel de l'EAWAG (e haut d.g.à.d.): Alfred Lück, Ruth Stierli, Beate Escher, André Weidenhaupt, Vreni Graf, David Kistler Robert Berger et (en bas) Jürg Zobrist.

aussi la révélation de points faibles, l'élaboration de solutions aux problèmes. N'hésitez donc pas, contactez-nous, exposez-nous vos problèmes, idées, propositions – nous ferons de notre mieux pour vous aider à les résoudre, les évaluer et les transmettre.

## Une partie de l'EAWAG a déménagé



Au mois de mars 1993, une partie de l'EAWAG a déménagé pour aller occuper le bâtiment «Chriesbach», situé à proximité du bâtiment-mère. Le plan de situation figurant ci-contre permettra de trouver facilement les nouveaux locaux.

Voici les sections qui se sont installées dans le bâtiment «Chriesbach»: Direction, Secrétariat, Adjoints à la direction, Finances; Service du personnel, Informatique, Ecologie humaine, Génie de l'environnement, Eau et assainissement dans les pays en voie de développement.

## Ilmac 1993 du 19 au 22 octobre à Bâle

L'Ilmac est une foire internationale consacrée aux techniques d'analyse chimique et à la biotechnologie. L'Ilmac '93 a eu lieu du 19 au 22 octobre 1993 dans les locaux de la Foire de Bâle. Cette année, les organisateurs ont voulu mettre tout particulièrement l'accent sur l'enseignement et la recherche en organisant une exposition spéciale à laquelle ils ont convié environ 160 institutions universitaires et autres établissements de recherche venant de toute l'Europe pour qu'ils présentent leurs objectifs particuliers. Pour sa part, l'EAWAG a participé à l'exposition en montrant que l'analyse environnementale est liée à des problèmes et à

des conditions de nature particulière. Elle a présenté quelques méthodes d'échantillonnage et d'analyse spécifiquement développées pour le domaine environnemental.

Pendant l'Ilmac '93, la section de chimie analytique de la Nouvelle Société Suisse de Chimie a organisé au centre de congrès de la Foire de Bâle trois congrès spécialisés. Le symposium qui s'est déroulé du 21 au 22 octobre s'intitulait: *Polar organic pollutants in the aquatic environment: Automated monitoring at the trace level and fate studies*. Ce symposium a porté en grande partie sur les travaux effectués dans le cadre du *Rhine Basin*

*Program*. Outre les représentants de laboratoires industriels, des Ecoles polytechniques et des institutions publiques, les spécialistes de l'EAWAG ont fait également part des résultats de leurs recherches. Le sujet général a porté sur «les substances nocives facilement solubles dans l'eau souvent employées dans les produits de lessive et de nettoyage». Des laboratoires hollandais ont présenté également le développement de leurs observations permanentes des impuretés organiques se trouvant dans les eaux polaires. Pour plus d'information, veuillez vous adresser au Professeur Walter Giger, de l'EAWAG.

## Représentants des services cantonaux à l'EAWAG

En Suisse, la protection de l'environnement incombe en premier lieu aux cantons. Il est par conséquent important que les services cantonaux compétents entretiennent de bonnes relations avec l'EAWAG. Dans le but de raffermir mutuellement ces liens, l'EAWAG a invité les représentants cantonaux à une séance d'information et d'échanges le 27 mai 1993. Cette

initiative a rencontré un vif intérêt; pas moins de 70 participantes et participants y ont pris part, et pratiquement tous les cantons étaient représentés.

Plusieurs exposés ont permis aux participants et participantes de se faire une idée à propos de l'EAWAG, de ses diverses activités et son organisation. Ce fut également l'occasion de souligner de

part et d'autre que la compréhension mutuelle est appréciée et que la collaboration doit être renforcée. Il semble incontesté que des progrès durables ont été réalisés en faveur d'un développement écoresponsable au niveau des interactions entre les autorités, les praticiens, les milieux économiques et scientifiques.

Les imprimés spéciaux peuvent être demandés à la bibliothèque de l'EAWAG

## Publications de l'EAWAG

- 1671  
Drever J.J., Zobrist, J.: Chemical Weathering of Silicate Rocks as a Function of Elevation in the Southern Swiss Alps. *Geochim. Cosmochim. Acta* 56, 3209-3216 (1992)
- 1672  
Tilzer, M. M., Bossard P.: Large Lakes and Their Sustainable Development. *Aquatic Sciences* 54, 91-103 (1992)
- 1673  
Peeters, F., Wüest, A.: Mess-System zur Erfassung dreidimensionaler Tracerverteilung in Seen. *Gas-Wasser-Abwasser* 72, 456-461 (1992)
- 1674  
Dos Santos Afonso, Maria, Stumm, W.: Reductive Dissolution of Iron(III) (Hydr)oxides by Hydrogen Sulfide. *Langmuir* 8, 1671-1675 (1992)
- 1675  
Stumm, W.: Water, Endangered Ecosystem: Assessment of Chemical Pollution. *J. Environ. Engng.* 118, 466-476 (1992)
- 1676  
Stumm, W., Sulzberger, Barbara: The Cycling of Iron in Natural Environments: Consideration Based on Laboratory Studies of Heterogeneous Redox Processes. *Geochim. Cosmochim. Acta* 56, 3233-3257 (1992)
- 1677  
Wieland, E., Stumm, W.: Dissolution Kinetics of Kaolinite in Acidic Aqueous Solutions at 25° C. *Geochim. Cosmochim. Acta* 56, 3339-3355 (1992)
- 1678  
Grenthe, I., Stumm, W., Laaksuharju, M., Nilsson, A.C., Wikberg, P.: Redox Potentials and Redox Reactions in Deep Groundwater Systems. *Chemical Geology* 98, 131-150 (1992)
- 1679  
Holliger, C., Schraa, G., Stupperich, E., Stams, A.J.M., Zehnder, A.J.B.: Evidence for the Involvement of Corrinoids and Factor F<sub>430</sub> in the Reductive Dechlorination of 1,2-Dichloroethane by *Methanosarcina Barkeri*. *J. Bacteriology* 174, 4427-4434 (1992)
- 1680  
Holliger, C., Kengen, S. W.M., Schraa, G., Stams, A. J. M., Zehnder, A.J.B.: Methyl-Coenzyme M Reductase of *Methanobacterium Thermoautotrophicum*  $\Delta$ H Catalyzes the Reductive Dechlorination of 1,2-Dichloroethane to Ethylene and Chloroethane. *J. Bacteriology* 174, 4435-4443 (1992)
- 1681  
Sinke, Anja J.C., Cornelese, A.A., Capenberg, T.E., Zehnder A.J.B.: Seasonal Variation in Sulfate Reduction and Methanogenesis in Peaty Sediments of Eutrophic Lake Loosdrecht, The Netherlands Biogeochemistry 16, 43-61 (1992)
- 1682  
Frutiger, A., Gammeter, Sonja: Biologische Aspekte des Gewässerschutzes in urbanisierten Gebieten. *GAIA* 1, 214-225 (1992)
- 1683  
Bernegger, J.-C., Bloesch, J.: Der Einfluss der Trockenlegung einer Restwasserstrecke auf die Invertebraten-Besiedlung eines unbelasteten Bergbaches (Muota SZ). *Wasser Energie Luft* 84, 205-211 (1992)
- 1684  
von Gunten, U., Hoigné, J.: Factors Controlling the Formation of Bromate During Ozonation of Bromide-Containing Waters. *Aqua* 41, 299-304 (1992)
- 1685  
Pollinger, Utsa, Ambühl, H., Bürgi, H.-R.: A New Methods for Processing Clay-Rich Unconsolidated Sediments for Paleocological Investigations. *J. of Paleolimnology* 7, 95-101 (1992)
- 1686  
Genoni, G.: Short-Term Effect of a Toxicant on Scope for Change in Ascendency in a Microcosm Community. *Ecotoxicol. & Environ. Safety* 24, 179-191 (1992)
- 1687  
Krebs, P., Vischer, D., Gujer, W.: Improvement of Secondary Clarifiers Efficiency by Porous Walls. *Water Sci. Technol.* 26, 1147-1156 (1992)
- 1688  
Häner, A.: «Aerobic Thermophilic Biodegradation of Bacterial Cells: Physiological Aspects»; Diss. ETH Nr. 9885, Zürich, 1992.
- 1689  
Ruf, A.: «Reduktive Auflösung von Eisen(hydr)oxiden durch Ascorbat und Hydrochinone»; Diss. ETH Nr. 9892, Zürich, 1992.
- 1690  
Biber, Madeleine Verena: «Carboxylic Acids on Metal Oxides in Water: An In-Situ FTIR Study»; Diss. ETH Nr. 9918, Zürich, 1992.
- 1691  
Edwards, M., Boller, M., Benjamin, M. M.: Effect of Pre-Ozonation on Removal of Organic Matter During Water Treatment Plant Operations. In: «Control of Organic Material by Coagulation and Flocc Separation Processes». (Eds.) IAWQ/IWSA, Geneva 1992; 17-25.
- 1692  
Boller, M.: Removal of Organic Matter by Physico-Chemical Mechanisms in Wastewater Treatment Plants. In: «Control of Organic Material by Coagulation and Flocc Separation Processes». (Eds.) IAWQ/IWSA, Geneva 1992; 147-163.
- 1693  
Lotter, A.F., Eicher, U., Siegenthaler, U., Birks, H.J.B.: Late-Glacial Climatic Oscillations as Recorded in Swiss Lake Sediments. *J. of Quaternary* 7, 187-204 (1992)

- 1694  
Mechsner, K., Fleischmann, T.: Vergleichende Untersuchungen zur Wiederverkeimung des Wassers nach Ultraviolettdesinfektion. Gas-Wasser-Abwasser 72, 807-811 (1992)
- 1695  
Dunnivant, F.M., Schwarzenbach, R.P., Macalady, D.L.: Reduction of Substituted Nitrobenzenes in Aqueous Solutions Containing Natural Organic Matter. Environ. Sci. Technol. 26, 2133-2141 (1992)
- 1696  
Müller, R.: Die Fischfauna im Rhein bei Basel. Verh. Naturforsch. Ges. Basel 102, 343-356 (1992)
- 1697  
Trempe J.: «Sources and Fate of Nitrated Phenols in the Atmospheric Environment»; Diss. ETHZ Nr. 9853, Zürich, 1992.
- 1698  
Semadeni, M., Stocker, D.W., Kerr, J.A.: Further Studies of the Temperature Dependence of the Rate Coefficients for the Reactions of OH with a Series of Ethers under Simulated Atmospheric Conditions. J. Atmos. Chem. 16, 79-93 (1993)
- 1699  
Wüest, A., Aeschbach-Hertig, W., Baur, H., Hofer, M., Kipfer, R., Schurter, M.: Density Structure and Tritium-Helium Age of Deep Hypolimnetic Water in the Northern Basin of Lake Lugano. Aquatic Sciences 54, 205-218 (1992)
- 1700  
Müller, R., Meng, H. J.: Past and Present State of the Ichthyofauna of Lake Lugano. Aquatic Sciences 54, 338-350 (1992)
- 1701  
Kerr, J.A.: The Heat of Formation of the  $CF_3CO$  Radical: a Note of Caution. Chem. Phys. Lett. 201, 391-392 (1993)
- 1702  
Müller, R.: Trophic State and Its Implications for Natural Reproduction of Salmonid Fish. Hydrobiologia 243/244, 261-268 (1992)
- 1703  
Wüest, A., Brooks, N.H., Imboden D.M.: Bubble Plume Modeling for Lake Restoration. Water Resour. Res. 28, 3235-3250 (1992)
- 1704  
vonPiechowski, M., Thelen, Marie-Anne, Hoigné, J., Bühler, R. E.: *tert*-Butanol as an OH-Scavenger in the Pulse Radiolysis of Oxygenated Aqueous Systems. Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 96, 1448-1454 (1992)
- 1705  
Luther III, G.W., Kostka, J.E., Church, T.M., Sulzberger, Barbara, Stumm W.: Seasonal Iron Cycling in the Salt-Marsh Sedimentary Environment: The Importance of Ligand Complexes with Fe(II) and Fe(III) in the Dissolution of Fe(III) Minerals and Pyrite, Respectively. Marine Chemistry 40, 81-103 (1992)
- 1706  
Field, Jennifer A., Miller, D.J., Field, T.M., Hawthorne, S.B., Giger, W.: Quantitative Determination of Sulfonated Aliphatic and Aromatic Surfactants in Sewage Sludge by Ion-Pair/Supercritical Fluid Extraction and Derivatization Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Anal. Chem. 64, 3161-3167 (1992)
- 1707  
Ahel, M., McEvoy, J., Giger, W.: Bioaccumulation of the Lipophilic Metabolites of Nonionic Surfactants in Freshwater Organisms. Environ. Poll. 79, 243-248 (1993)
- 1708  
Egli, T.: Biodegradation of Synthetic Chelating Agents with Special Reference to Nitrilotriacetic Acid (NTA). J. Chem. Tech. Biotechnol. 55, 404-406 (1992)
- 1709  
Fent, K., Hunn, Judith: Uptake and Elimination of Tributyltin in Fish-Yolk-Sac Larvae. Marine Environ. Res. 35, 65-71 (1993)
- 1710  
Behra Renata: In Vitro Effects of Cadmium, Zinc and Lead on Calmodulin-Dependent Actions in *Oncorhynchus mykiss*, *Mytilus* sp., and *Chlamydomonas reinhardtii*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 24, 21-27 (1993)
- 1711  
Breedveld, M.W., Zevenhuizen, L.P.T.M., Zehnder, A.J.B.: Synthesis of Cyclic b-(1,2)-Glucans by *Rhizobium leguminosarum* Biovar trifolii TA-1: Factors Influencing Excretion. J. Bacteriol. 174, 6336-6342 (1992)
- 1712  
Van Veen, H.W., Abee, T., Kortstee, G.J.J., Konings, W.N., Zehnder, A.J.B.: Characterization of Two Phosphate Transport Systems in *Acinetobacter johnsonii* 210A. J. Bacteriol. 175, 200-206 (1993)
- 1713  
Grottker, M.: Qualitative Aspekte der Meteorwasserversickerung. VSA Verbandsbericht Nr. 445, 1-22 (1991)
- 1714  
Van der Meer, J.R., De Vosss, W.M., Harayama, S., Zehnder A.J.B.: Molecular Mechanics of Genetic Adaptation to Xenobiotic Compounds. Microbiol. Rev. 56, 677-694 (1992)
- 1715  
Beer, J., Shen, C., Heller, F., Liu, T., Bonani, G., Dittrich Beate, Suter, M., Kubik, P.W.:  $^{10}Be$  and Magnetic Susceptibility in Chinese Loess. Geophys. Res. Letter 20, 57-60 (1993)
- 1716  
Bundi, U.: Umweltverträgliche Landwirtschaft - ein Vorhaben von vielen Weggefährten. VGL Umwelt-Information 4, 3-4 (1992)
- 1717  
Peiffer, S., dos Santos Afonso, Maria, Wehrli, B., Gächter, R.: Kinetics and Mechanism of the Reaction of  $H_2S$  with Lepidocrocite. Environ. Sci. Technol. 26, 2408-213 (1992)
- 1718  
Furrer, G., Wehrli, B.: Biogeochemical Processes at the Sediment-Water Interface: Measurements and Modeling. Appl. Geochem. Suppl. 2, 117-119 (1993)
- 1719  
Fent, K., Stegeman, J. J.: Effects of Tributyltin in Vivo on Hepatic Cytochrome P450 Forms in Marine Fish. Aquatic Toxicology 24, 219-240 (1993)

- 1720  
Kemmler Judith: «Biochemistry of Nitrotriacetate Degradation in the Facultatively Denitrifying Bacterium TE11»; Diss. ETH Nr. 9983, Zürich, 1992.
- 1721  
Sinniger, J.: «Die Inhibition der Auflösung von Eisen(III)(Hydr)-oxiden und ihre Beziehung zur Passivität von Eisen»; Diss. ETH Nr. 9893, Zürich, 1992.
- 1722  
Rutishauser-Frei, Ruth Susanna: «The Behaviour of the Various Cytochromes of *Paracoccus denitrificans* During Transitions Between Oxidic and Anoxic Growth Conditions». Diss. ETH Nr. 9875, Zürich, 1992.
- 1724  
Siegrist, H., Renggli, Dea, Gujer, W.: Mathematical Modelling of Anaerobic Mesophilic Sewage Sludge Treatment. *Water Sci. Technol.* 27, 25-36 (1993)
- 1725  
Pahl-Wostl, Claudia, Ulanowicz, R.E.: Quantification of Species as Functional Units Within an Ecological Network. *Ecological Modelling* 66, 65-79 (1993)
- 1726  
Pahl-Wostl, Claudia: The Hierarchical Organization of the Aquatic Ecosystem: an Outline how Reductionism and Holism Maybe Reconciled. *Ecological Modelling* 66, 81-100 (1993)
- 1727  
Schilling, W.: The Feasibility of Real Time Control of Combined Sewer Overflows. *Civil Engng. Practice* 7, 17-26 (1992)
- 1728  
Baccini, P., von Steiger, B.: Die Stoffbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – eine Methode zur Früherkennung von Bodenveränderungen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 156, 45-54 (1993)
- 1729  
Schleiniger, R., Baccini, P.: Das Verursacherprinzip: eine Anwendung bei der Siedlungsabfallentsorgung. *GAI A* 2, 42-4 (1993)
- 1730  
Wegelin, M., Schertenleib, R.: Die Kiesfiltration in der Wasseraufbereitung. *Gas-Wasser-Abwasser* 73, 161-163 (1993)
- 1731  
Boller, M.: Filtrationsmechanismen in Kiesfiltern. *Gas-Wasser-Abwasser* 73, 174-183 (1993)
- 1732  
Wegelin, M., Schertenleib, R.: Praktische Erfahrung mit Kiesfiltern. *Gas-Wasser-Abwasser* 73, 184-193 (1993)
- 1733  
Haderlein, S.B., Schwarzenbach, R.P.: Adsorption of Substituted Nitrobenzenes and Nitrophenols to Mineral Surfaces. *Environ. Sci. Technol.* 27, 316-326 (1993)
- 1734  
Alder, A.C., Hägblom, M.M., Oppenheimer, Stephanie, R., Young, L.Y.: Reductive Dechlorination of Polychlorinated Biphenyls in Anaerobic Sediments. *Environ. Sci. Technol.* 27, 530-538 (1993)
- 1735  
Benoit, P., Hering, Janet G., Stumm, W.: Comparative Study of the Adsorption of Organic Ligands on Aluminum Oxide by Titration Calorimetry. *Appl. Geochem.* 8, 127-139 (1993)
- 1736  
Kappeler, J.: «Populationsdynamik in Belebungsanlagen 'aerober Blähschlamm'»; *Schriftenreihe Umwelt* Nr. 183, 1993.
- 1737  
Siegrist, H., Gajcy, D., Sulzer, S., Roeleveld, P., Oschwald, R., Frischknecht, H., Pfund, D., Mörgele, B., Hungerbühler, E.: Nitrogen Elimination from Digester Supernatant with Magnesium-Ammonium-Phosphate Precipitation. In: «Chemical Water and Wastewater Treatment II». R. Klute, H. Hahn. (Eds.) Springer Verlag, Berlin 1992; 457-465.
- 1738  
Gächter, R., Meyer, J.S.: The Role of Microorganisms in Mobilization and Fixation of Phosphorus in Sediments. *Hydrobiologia* 253, 103-121 (1993)
- 1739  
Bossard, P., Uehlinger, U.: The Effect of Herbivorous Crustacean Zooplankton on Epilimnetic Carbon and Phosphorus Cycling. *Hydrobiologia* 254, 21-34 (1993)
- 1740  
Eberhard, J., Semadeni, M., Stocker, D.W., Kerr J.A.: Photo-oxidation of VOCs under Simulated Tropospheric Conditions. In: «Proc. of EUROTRAC Symposium '92». P.M. Borrell et al (Eds.) Academic Publ., The Hague 1993; 367-371.
- 1741  
van der Meer, J.R., Bosma, T.N.P., de Bruin, W.P., Harms, H., Holliger, C., Rijnaarts, H.H.M., Tros, Marijke E., Schraa, G., Zehnder, A.J.B.: Versatility of Soil Column Experiments to Study Biodegradation of Halogenated Compounds under Environmental Conditions. *Biodegradation* 3, 265-284 (1992)
- 1742  
Münnich, M., Wüest, A., Imboden D.M.: Observations of the Second Vertical Mode of the Internal Seiche in an Alpine Lake. *Limnol. Oceanogr.* 37, 1705-1719 (1992)
- 1743  
Boller, M.: Verfahren zur Abwasserfiltration. *ATV Schriftenreihe* Nr. 31, 35-64 (1992)
- 1744  
Tschui, M., Boller, M., Gujer, W., Eugster, J., Mäder, Claudia: Tertiary Nitrification in Aerated Biofilter Reactors. In: «Proc. of the European Water Filtration Congress», Vol. 17, Oostende, Belgium, 15-16 March, 1993.
- 1745  
Kohler, H.-P.E., Schmid, A., van der Maarel, M.: Metabolism of 2,2'-Dihydroxybiphenyl by *Pseudomonas* sp. Strain HBP1: Production and Consumption of 2,2',3-Trihydroxybiphenyl. *J. Bacteriol.* 175, 1621-1628 (1993)

---

#### Livre en anglais

By René Schwarzenbach, Philip M. Gschwend, and Dieter Imboden, *Environmental Organic Chemistry*, John Wiley and Sons Inc., New York (1993) (ISBN: 0471-83941-8; 681 pp.) Price: 64.95 US\$

# Environmental Organic Chemistry

Par René P. Schwarzenbach, Philip M. Gschwend und Dieter M. Imboden

Compte rendu de lecture

La consommation de matières premières, d'énergie et d'espace terrestre croît sans cesse au niveau mondial. Il en va par conséquent de même pour la charge environnementale de substances nocives d'origine anthropogène. La pollution de l'eau, du sol et de l'air par des substances organiques demeure donc au premier plan des préoccupations en matière de protection de l'environnement. Tous ceux qui cherchent à savoir ce que deviennent les substances organiques qui se répandent dans l'environnement se trouvent devant des questions difficiles et complexes. Rédigé en anglais, le livre intitulé "Environmental Organic Chemistry" pourra leur servir d'introduction en la matière. Il s'agit même d'un excellent ouvrage de référence exhaustif.

Du point de vue didactique, le livre en question permet de comprendre les effets de rétroaction au niveau moléculaire et les phénomènes de transport macroscopiques qui déterminent dans le temps et l'espace la diffusion des substances organiques dans l'environnement. La description thermodynamique et cinétique

des processus de diffusion est suivie d'une discussion sur les réactions chimiques, photochimiques et biologiques des substances organiques nocives présentes dans l'environnement. Au dernier chapitre, ces réactions sont combinées avec les processus de transport déterminants à l'échelle macroscopique et sont présentés par le biais de modèles simples, mais instructifs. Le livre montre également de quelle manière la connaissance de la structure des molécules organiques peut être utilisée pour apprécier aussi bien les propriétés physiques que les aptitudes réactionnelles des liaisons considérées.

Les divers sujets sont subdivisés en chapitres élémentaires et en chapitres avancés. De ce fait, le livre est accessible aux néophytes et également utile pour les lecteurs et lectrices plus chevronnés. Les nombreuses références ainsi qu'une bibliographie exhaustive permettent à chacun d'étudier plus à fond tel ou tel domaine:

John Wiley and Sons Inc., New York (1993) (ISBN: 0471-83941-8; 681 pp.)  
Price: 64.95 US\$

Contenu:

1. Introduction
  2. An introduction to environmental organic chemicals
  3. Background thermodynamics
  4. Vapor pressure
  5. Aqueous solubility and activity coefficient in water
  6. Air-water partitioning: the Henry's Law constant
  7. Organic solvent/water partitioning: the octanol/water partition constant
  8. Organic acids and bases: Acidity constant and partitioning behavior
  9. Diffusion
  10. The gas-liquid interface: Air-water exchange
  11. Sorption: Solid-aqueous solution exchange
  12. Chemical transformation reactions
  13. Photochemical transformation reactions
  14. Biological transformation reactions
  15. Modeling concepts
- Appendix  
Bibliography

## Talon

Envoyez-moi s.v.p. les EAWAG NEWS régulièrement en

français       allemand       anglais

Mon adresse a changé, voici l'ancienne adresse

\_\_\_\_\_

Prière de m'envoyer les publications suivantes (n°)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Mon adresse actuelle

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Bibliothèque de l'EAWAG  
CH-8600 Dübendorf