

UTILISATION DES EAUX USÉES ÉPURÉES EN IRRIGATION

De nouvelles recommandations nationales

Jean-Luc **GODET**, Direction générale de la Santé,
ministère des Affaires Sociales et de la Solidarité



L'utilisation des eaux usées après épuration en irrigation ou arrosage est encore peu développée en France. Pourtant, les récentes pénuries d'eau ont amené certains aménageurs à s'y intéresser davantage. Pour répondre à cette demande et évaluer les risques sanitaires liés à cet usage, le Conseil supérieur d'Hygiène Publique de France vient de publier ses recommandations.



Que ce soit pour l'irrigation des cultures ou l'arrosage des espaces verts, jardins publics ou terrains de sport, l'utilisation des eaux usées urbaines, après épuration, reste peu répandue en France. L'inventaire réalisé en décembre 1989 par l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, à la demande de la Direction Générale de la Santé, signalait une bonne dizaine d'installations réparties pour l'essentiel dans les régions méditerranéennes et dans les îles du littoral atlantique : installations tournées pour la plupart vers l'irrigation de zones forestières, de peupleraies, de prairies mais aussi de cultures vivrières (maïs, pommes de terre) et maraichères.

Depuis, quelques terrains de golf sont équipés ou sont sur le point de s'équiper de système d'arrosage utilisant des eaux usées épurées. Les conditions climatiques largement favorables en termes de pluviométrie et, dans une moindre mesure, une méfiance « historique » à l'encontre des eaux d'égout sont vraisemblablement à l'origine de cette absence d'intérêt vis-à-vis des pratiques de réutilisation d'eaux usées.

On ne s'étonnera guère alors de la faiblesse, ou de l'inadaptation, de la réglemen-



Il existe en France une bonne dizaine d'installations utilisant les eaux épurées pour l'irrigation de zones forestières, de peupleraies, de prairies et de cultures vivrières et maraîchères

tation sanitaire existante. Règlement Sanitaire Départemental qui se refuse d'aborder la question de la valorisation agronomique des effluents urbains convenablement épurés, et se limite à fixer le cadre d'une utilisation du sol comme moyen possible d'épuration et d'évacuation des déchets liquides de toutes sortes : déjections animales, matières de vidange, eaux usées....

L'avenir de la réutilisation des eaux usées

Les faibles précipitations enregistrées ces toutes dernières années créant dans quelques régions un début de situation de pénurie, la croissance continue des besoins en eau des collectivités locales, notamment pour assurer, en période saisonnière, la desserte d'équipements consommant de grandes quantités d'eau, conduisent aujourd'hui certains responsables à se tourner vers cette « ressource nouvelle ». Alors si, comme le signalait P. Boutin devant le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France en 1989, « il reste hasardeux d'évaluer l'extension que

ces techniques prendront dans notre pays, la réussite ou l'échec des premières réalisations seront pour beaucoup. Un élément favorable est l'intérêt manifesté par les structures universitaires et techniques locales, et la qualité de l'encadrement qui devrait en résulter ».

Pour compléter le tableau des éléments allant dans le sens d'une possible évolution, il conviendra de considérer les aspects relatifs à la protection des ressources en eau et ainsi, d'évoquer l'intérêt que peut présenter, pour certaines eaux douces superficielles, le détournement d'une partie des effluents urbains traditionnellement évacués vers le cours d'eau. En période d'étiage notamment, l'utilisation du sol pour assurer l'évacuation des effluents urbains épurés pourrait permettre, une fois vérifiée l'absence de risque de contamination des eaux souterraines, une meilleure protection des eaux de surface et améliorer la sécurité de certains usages de proximité : baignade, conchyliculture....

Quel que soit le devenir de ces techniques en France, une demande intérieure, vraisemblablement motivée par la dernière publication de l'Organisation Mondiale de la Santé¹ s'est concrétisée ces derniers mois. Provenant de bureaux d'études soucieux de pouvoir présenter sur le territoire national

des réalisations démonstratives de collectivités locales; mais aussi d'hygiénistes, cette demande pose, comme préalable, la nécessité de pouvoir disposer d'objectifs sanitaires clairement définis, reprenant les conclusions de P. Boutin 1989, qui précisait : « La France n'échappera pas à l'obligation de mettre à jour et d'étoffer une réglementation nationale pour l'instant assez mince ».

Les conclusions du CSHPF

A la demande de la Direction Générale de la Santé, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) s'est saisi de cette question au début de l'année 1990. Ses conclusions, édictées sous forme de recommandations, seront rendues publiques au cours des prochains jours, accompagnées vraisemblablement d'une instruction parti-

¹ Organisation Mondiale de la Santé (OMS) - « Méthodologie - Réalisation en France » - Rodier-Brissaud

² Rapport 778-1989 - Nouvelles recommandations à visés sanitaires concernant l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture.

LES SITES DE RÉUTILISATION AGRICOLE D'EAUX USÉES EN FRANCE

F. BRISSAUD

Université des Sciences et Techniques du Languedoc

Les îles du littoral atlantique et de la Méditerranée offrent les exemples les plus achevés de la réutilisation agricole des eaux usées prise comme méthode d'aménagement des eaux avec un double objectif : l'accroissement des ressources en eau d'une part, et, d'autre part, la suppression ou au moins la réduction des rejets d'eaux usées dans l'environnement.



À Porquerolles, à Ars-en-Ré comme à Noirmoutier, la pression touristique croissante rend la gestion des ressources en eau toujours plus difficile. La satisfaction des besoins en eau potable est évidemment prioritaire et les possibilités d'irrigation se trouvent progressivement compromises. Or l'irrigation est la condition du maintien d'un secteur agricole, lui-même jugé indispensable à l'équilibre du milieu insulaire. Par ailleurs, le rejet d'eaux usées insuffisamment épurées dans les eaux littorales

est un important facteur de risque sanitaire pour la baignade et, à Ré et Noirmoutier, pour la pêche à pieds et la conchyliculture. Enfin, le rejet d'eaux usées dans les eaux littorales de Porquerolles est incompatible avec son caractère de conservatoire botanique. Dans ces contextes, réutiliser les eaux usées est le seul moyen de fournir à l'agriculture l'eau dont elle a besoin : c'est aussi une bonne façon de préserver la qualité sanitaire de l'environnement littoral et la sauvegarde de loisirs et d'activités économiques essentielles au développement touristique de ces régions.

Dans ces trois îles, les eaux usées, avant d'être réutilisées, sont l'objet d'un traitement biologique complété par un lagunage et/ou un stockage. L'ensemble lagunage-stockage permet de conférer aux eaux traitées une qualité microbiologique convenable. Les cultures arrosées à Ars-en-Ré sont le maïs, mais aussi les pommes de terre primeurs et les choux-fleurs. On retrouve les pommes de terre primeurs à Noirmoutier, avec d'autres maraîchages : courgettes, carottes et oignons. La technique d'arrosage est l'aspersion. Les maraîchages et les vergers de Porquerolles sont arrosés à la raie ou par irrigation localisée. Les champs d'épandage d'Achères, créés pendant le siècle dernier, ne traitent plus qu'une petite partie des eaux usées brutes de la région parisienne. Ils couvrent encore 2 000 hectares, dont

plus de la moitié sont occupés par des cultures de maïs et de légumes consommés cuits. C'est encore, et de très loin, l'exemple le plus important de réutilisation agricole d'eaux usées en France.

Des effluents de la station d'épuration biologique de la ville d'Alès (Gard) ont remplacé les eaux du Gardon pour l'irrigation d'une centaine d'hectares de prairies, de céréales, mais aussi de maraîchages et de vergers. Les effluents du lagunage de Montbazin (Hérault) sont utilisés pour des irrigations de cultures maraîchères. Cette opération, réalisée sous contrôle sanitaire, a un caractère pilote pour la région languedocienne.

Sans qu'un recensement précis soit disponible, on sait qu'un petit nombre de parcours de golf sont irrigués avec des eaux usées. Cette pratique est vraisemblablement appelée à devenir beaucoup plus fréquente.

Ce panorama de la réutilisation agricole des eaux usées en France ne serait pas complet sans mentionner les épandages d'eaux usées sur des peupleraies (Oppède dans le Vaucluse, Bailleul-Sir-Berthoult dans le Pas-de-Calais), de la forêt méditerranéenne (Cogolin dans le Var et Saint-Mathieu-de-Trévières dans l'Hérault) ou de la prairie (Landiras, Gironde). Dans ces différents cas, le boisement constitue à la fois le moyen de valoriser les eaux usées et une excellente insertion de l'épuration dans le paysage.



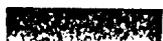
Il s'agit de favoriser les projets d'utilisation d'eaux usées convenablement épurées qui, d'une part suppriment ou réduisent les possibilités de contact entre les populations et l'eau et les risques de contamination des chaînes alimentaires et d'autre part, limitent la dispersion des effluents



culière du ministre chargé de la Santé à l'attention des préfets des départements et régions.

Pour évaluer les risques sanitaires liés à l'utilisation agricole des eaux usées, en particulier aux plans microbiologique et chimique, le CSHPF a procédé à l'examen des connaissances disponibles, s'entourant d'experts extérieurs particulièrement compétents en matière de microbiologie, de chimie, d'épuration d'eaux usées, d'irrigation et d'hydrogéologie. Le domaine de réflexion a volontairement été restreint à l'utilisation des eaux usées résiduaires eaux d'origine urbaine uniquement issues de réseaux unitaires ou séparatifs utilisées pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts. Ont été écartés, bien que pouvant présenter des similitudes voire des risques potentiels plus importants, l'épandage des boues de stations d'épuration et l'utilisation des eaux industrielles épurées.

Le risque microbiologique



Le CSHPF a validé l'approche préparée par l'OMS pour ce qui concerne l'évaluation des risques microbiologiques. Considérant la

cohérence des observations épidémiologiques recueillies auprès de populations particulièrement exposées personnels d'exploitation agricole utilisant des eaux usées non épurées et population vivant au voisinage des installations notamment et la classification des agents pathogènes à partir des facteurs de risque les caractérisant quantité excrétée par l'homme, latence, survie et multiplication dans l'environnement, dose infectante pour l'hôte sensible, réponse de l'hôte et existence de relais nécessaires, cette approche propose de retenir les parasites comme agents les plus représentatifs du risque infectieux lié à l'utilisation des eaux usées. Leur faible dose infectante et les durées nécessaires pour qu'ils deviennent infectieux et leur capacité de survie dans l'environnement, y compris après une épuration classique des eaux usées, les désignent tout particulièrement.

Le risque bactérien sans être négligeable est considéré comme relativement moins important du fait notamment de la nécessité d'atteindre des concentrations suffisantes pour que les bactéries puissent se multiplier dans un environnement favorable. Pour les virus et protozoaires intestinaux, il est difficile de démontrer un rôle quelconque des

eaux usées : caractérisés par une faible dose infectante et immédiatement infectieux, ils sont plutôt propices à une contamination interhumaine directe. Reprenant les travaux de l'OMS et s'inspirant des observations recueillies par Schwartzbrod, le CSHPF propose de retenir en métropole les œufs d'ascaris comme les plus représentatifs du risque microbiologique auquel seraient exposés des consommateurs de légumes crus irrigués avec des eaux usées et les œufs de ténia pour l'appréciation du risque pour les bovins élevés sur des prairies irriguées avec des effluents urbains.

Le mode d'irrigation



Au même titre que l'épuration que doivent impérativement subir les eaux résiduaires avant d'être utilisées, le mode d'irrigation joue un rôle de tout premier ordre dans la propagation des éléments pathogènes. Les modes d'irrigation alternatifs ou d'irrigation dite localisée « goutte à goutte » par exemple présentent des garanties supérieures à celles offertes par les systèmes gravitaires et surtout par les différentes techniques

L'évolution des paramètres chimiques et microbiologiques dans l'eau, le sol et les produits alimentaires, l'efficacité des procédés d'épuration et d'irrigation sont des axes de recherches qu'il serait nécessaire de développer



d'aspersion. L'appréciation du risque lié à une aspersion d'eaux usées épurées, même si le risque n'a pas à ce jour été exprimé au plan épidémiologique, conduit à adopter une certaine prudence vis-à-vis d'éventuelles populations avoisinantes qui seraient placées à portée des aérosols. Ce risque virtuel prend en compte la possibilité d'un transport à distance des bactéries et des virus par les aérosols, distance variable selon les conditions météorologiques. Selon le CSHPF, et dans l'état actuel des connaissances, « il sera admis que la dispersion de ces micro-organismes au-delà de 300 mètres ne paraît pas représenter une cause appréciable d'infection ou de morbidité ayant un effet évident et mesurable sur la santé des collectivités exposées ».

Sur la base de ces considérations, les futures recommandations proposent de « favoriser le développement des projets d'utilisation d'eaux usées convenablement épurées qui, basés sur un plan de gestion rigoureux, d'une part, suppriment ou réduisent fortement les possibilités de contact entre les populations et l'eau et les risques de contamination des chaînes alimentaires, et, d'autre part, limitent la dispersion des effluents ». Reprenant la classification introduite par l'OMS, il est proposé de privilégier, dans une première

catégorie, les techniques d'irrigation souterraine ou de type localisé en ne fixant pas dans ce cas d'objectifs sanitaires élevés : un effluent urbain ayant subi un traitement d'épuration traditionnel, de type biologique ou équivalent, voire une simple décantation, peut répondre à ce besoin sous réserve que les exigences de l'irrigation le permettent.

Une seconde catégorie d'installations faisant appel aux techniques d'irrigation gravitaire est proposée, à condition que les effluents aient subi un traitement permettant de réduire le risque parasitologique. La contrainte sanitaire exprimée en considérant les œufs d'helminthes intestinaux $n \leq 1$ litre permettra d'assurer la protection des personnels des exploitations. Du fait de l'existence d'un risque bactériologique et viral, la culture de produits maraichers pouvant être consommés crus et l'arrosage d'espaces verts ouverts au public seront exclus. L'irrigation par aspersion des cultures céréalières et fourragères, de pépinières et de cultures de produits végétaux consommables après cuisson, et l'arrosage d'espaces verts non ouverts au public, pourraient être tolérés avec des eaux respectant cette contrainte, sous réserve de l'existence de distance séparant les installations et les zones d'habitat, et d'obstacles limitant la propagation des aérosols.

L'arrosage des espaces verts ouverts au public et l'irrigation par aspersion de produits maraichers pouvant être consommés crus entrent dans une troisième catégorie pour laquelle une contrainte d'ordre bactériologique est ajoutée à la précédente. Les eaux usées épurées devront, dans ce cas, avoir subi une épuration telle que la concentration en coliformes thermotolérants reste inférieure à 10 000 par litre. Les contraintes définies pour l'aspersion distance, obstacle aux aérosols restent bien entendu applicables et, pour les espaces verts ouverts au public, l'arrosage ne pourra pas être mis en œuvre pendant les heures d'ouverture.

Le risque chimique

L'OMS n'a pas défini de position sanitaire pour ce qui concerne l'évaluation du risque chimique lié à l'utilisation des eaux usées : l'absence de consensus sur ce sujet, au plan international, en est la principale raison. Le faible nombre de publications sur ce sujet, y compris sur la question plus générale de la



qualité chimique des eaux d'irrigation, rend difficile l'exercice d'évaluation.

Il est aujourd'hui admis que :

- les eaux usées, y compris après épuration, renferment des éléments chimiques, minéraux ou organiques, à de faibles concentrations voire à l'état de traces. S'agissant des éléments métalliques en particulier, les données bibliographiques portant sur la qualité d'effluents secondaires sont du même ordre que celles mesurées sur les eaux de surface, excepté pour le zinc très abondant dans les rejets urbains. Les concentrations en substances toxiques telles que le plomb, le chrome, le nickel et le cadmium, atteindraient quelque microgrammes ou quelques dizaines de microgrammes par litre.

Les données relatives aux micropolluants organiques sont encore moins nombreuses, tant pour ce qui concerne leur nature que leur concentration. A été observée la présence d'hydrocarbures polycycliques aromatiques, de composés chlorés à faible poids moléculaire, de plastifiants et de solvants.

- après irrigation ou épandage, les micropolluants minéraux migrent dans des proportions variables, migrer vers les eaux profondes, être fixés dans les sols ou bien absorbés par la végétation. Le comportement des métaux lourds variera selon chaque métal, la

nature du sol et le type de plante. Les produits organiques seront pour partie biodégradables et pourroit être perdus par volatilisation : certains pouvant migrer en profondeur composés chlorés. Leur devenir dans les plantes, et les formes sous lesquelles ils peuvent contenir la chaîne alimentaire, sont très mal connus :

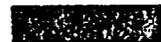
- du fait de sa mobilité dans les sols, de sa capacité à s'accumuler dans les plantes et de sa toxicité pour l'homme, le cadmium est certainement le métal le plus préoccupant.

La faiblesse des concentrations en micropolluants mesurées dans les eaux usées après épuration est certainement de nature à rassurer : certains paramètres, mieux connus, feront l'objet d'une attention particulière (cadmium, zinc, nickel, cuivre). L'existence de zones d'incertitudes sur le plan des connaissances disponibles, notamment pour ce qui concerne les micropolluants organiques et leur devenir dans les végétaux, conduira, sans condamner a priori les techniques d'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation des cultures, à une certaine prudence et, sans aucun doute, à mener des études et recherches plus approfondies sur le sujet.

Dans ce contexte, il apparaît difficile et délicat de fixer des valeurs limites sur la

qualité chimique des effluents urbains lorsqu'ils font l'objet d'une utilisation pour une irrigation de produits consommables : l'opportunité d'en fixer reste d'ailleurs à démontrer. Seul, l'objectif de protection de l'environnement sera retenu en se « rattachant » au dispositif défini en matière de valorisation agricole des boues de stations d'épuration, dispositif décrit par la norme NFU 44041 prise en application de la directive 86/278 CEE du 12 juin 1986 relative à la protection de l'environnement et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues de stations d'épuration.

La protection des eaux



La réglementation existante en matière de protection des eaux (Loi du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux, et à la lutte contre leur pollution) paraît suffisante pour examiner la compatibilité d'un projet d'utilisation d'eaux usées avec la protection des ressources en eau, souterraine ou superficielle. Ainsi, les autorisations de rejet délivrées par le préfet sont à réexaminer lorsqu'il est prévu de détourner

LA RÉUTILISATION AGRICOLE DES EAUX USÉES EN EUROPE

par F. BRISSAUD

Université des Sciences et Techniques du Languedoc

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique enracinée de longue date et très répandue dans l'Europe du Sud. Parmi les exemples les plus anciens et toujours actuels, on peut citer les Huertas de Valencia et les Marcites milanaises, prairies irriguées avec les eaux du canal Vettabia qui reçoit une part importante des eaux usées brutes de Milan. Au delà de ces exemples remarquables pour leur notoriété historique, on voit très souvent les eaux d'égouts, brutes ou issues de stations d'épuration, seules ou mélangées au maigre débit naturel d'une rivière, utilisées en agriculture, en particulier pour arroser des cultures maraîchères et des vergers, du Nord au Sud de l'Espagne et de l'Italie, pour ne citer que ces deux pays. La rareté de l'eau dans les régions méditerranéennes impose ses conséquences; la prise en compte des risques sanitaires peine à s'imposer devant la tradition.

Les réalisations nouvelles sont l'occasion d'un effort pour répondre à des standards sanitaires existants ou en cours d'élaboration. C'est le cas pour l'arrosage des parcours de golf ou d'espaces verts, aux Canaries, à Majorque, en Catalogne espagnole ou encore à Chypre.

Ailleurs, les soucis sanitaires s'expriment par des études de la contamination bactériologique des productions maraîchères arrosées avec des eaux usées : laitues à Evora (Portugal), raisins en Sicile.

L'Europe du Nord a elle aussi, avec ses fermes d'épandage, une tradition longue de plusieurs siècles de réutilisation des eaux usées

En Grande-Bretagne, cette technique, qui était sur le point de disparaître dans les années 50, a retrouvé une pari de son importance passée. Dans ce pays, la recharge de nappe par des eaux usées constitue une autre forme indirecte et très répandue de recyclage.

L'épandage et, plus encore, l'irrigation avec des eaux usées urbaines concernent en Allemagne près de 15 000 hectares, répartis entre la Basse Saxe, la Rhénanie-Westphalie, la Hesse et la Bavière. Ces irrigations de céréales, betteraves, prairies et pommes de terre sont réglementées : la dose d'eau usée est limitée à 30 centimètres par an. L'exemple le plus connu est celui de la ville de Braunschweig. La ferme d'épandage de Tilburg, aux Pays-Bas, est constituée de pâturages.

En Hongrie, 200 millions de mètres cubes d'eaux usées sont utilisés annuellement pour l'irrigation de diverses cultures, prairies, rizières et peupleraies. Ce pays dispose de stations pilotes (Kecskemet, Gyula). Les eaux usées sont aussi réutilisées en Union Soviétique. La Pologne a, pour ce qui la concerne, d'importants projets dans ce domaine.

Très peu de pays européens disposent d'une réglementation adaptée. Celles qui existent sont assez dissemblables. D'autres, beaucoup trop rigoureuses, sont inapplicables et inappliquées. Les récentes recommandations de l'OMS devraient fournir la base d'une réglementation plus unifiée et plus réaliste applicable dans l'espace européen.

une partie des effluents urbains vers une installation agricole. L'étude préalable doit être adaptée au contexte. L'avis de l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique sera sollicité.

Dans certains contextes hydrogéologiques, des interdictions pourront être prononcées dans le cas de l'existence de nappes libres proches de la surface et situées au sein de réservoirs caractérisés par une perméabilité de fissure par exemple.

La publication des recommandations du CSHPF devrait être de nature à permettre, dans un cadre défini, le développement des techniques d'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation. La nature de ces recommandations sera susceptible d'évoluer si les progrès scientifiques et techniques obtenus autour des premières installations le justifient. De nombreux axes d'études et de recherches sont maintenant ouverts pour progresser dans ce sens. Citons en particulier :

- l'évolution des paramètres chimiques et des paramètres microbiologiques dans l'eau usée, eaux d'irrigation, aérosols dans les sols et dans les produits alimentaires;
- l'efficacité des procédés d'épuration et d'irrigation, pour améliorer la décontamination des effluents et réduire les risques de transmission des agents pathogènes.

A l'inverse, un développement anarchique de ces techniques, en dehors du cadre proposé par le CSHPF, pourrait se traduire par un risque effectif au niveau des populations, voire par l'apparition de signes de morbidité, enterrant pour plusieurs décennies toute évolution dans ce domaine. **■**



B7209/3

**CONSEIL SUPERIEUR D'HYGIENE
PUBLIQUE DE FRANCE**

**Recommandations sanitaires concernant
l'utilisation, après épuration, des eaux résiduaires urbaines
pour l'irrigation des cultures et des espaces verts**

(juillet 1991)

**MINISTERE CHARGE DE LA SANTE
DIRECTION GENERALE DE LA SANTE**

MINISTERE DES AFFAIRES SOCIALES
ET DE L'INTEGRATION

REPUBLIQUE FRANCAISE

DIRECTION GENERALE DE LA SANTE

1, Place de Fontenoy
PARIS 75350 SP
Tél : 47.65.25.00.

Sous-Direction de la Prévention
Générale et de l'Environnement

Affaire suivie par : JL. CODET

LE MINISTRE DES AFFAIRES
SOCIALES ET DE L'INTEGRATION

a

MESSIEURS LES PREFETS DE
REGION
Direction Régionale des
Affaires Sanitaires et
Sociales
(pour information)

à

MESDAMES ET MESSIEURS LES
PREFETS DE DEPARTEMENT
Direction Départementale des
Affaires Sanitaires et
Sociales
(pour exécution)

CIRCULAIRE DGS/SD1.D./91/N°51 du 22 juillet 1991
relative à l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation
des cultures et l'arrosage des espaces verts.

Résumé : Recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène
Publique de France relatives à l'utilisation des eaux usées
& purées pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des
espaces verts.

Mots-clé : Eaux usées - irrigation - arrosage - CSHPF.

Textes de référence :
Loi du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition
des eaux et à la lutte contre leur pollution.
Décret n° 73-218 du 23 février 1973 portant application de la
loi du 16 décembre 1964.
Code de la santé publique, articles L1 et L2, Règlement
Sanitaire Départemental.

Textes abrogés ou modifiés : néant.

Vous voudrez bien trouver, ci-joint, un avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France relatif à l'utilisation, après épuration, des eaux usées urbaines pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts, adopté en séance plénière le 27 mars 1991.

A terme, certaines des recommandations du Conseil devraient être intégrées par voie réglementaire, par décret en Conseil d'Etat pris en application de l'article L 1 du Code de la Santé Publique. Immédiatement, il m'a paru nécessaire de vous les communiquer afin qu'elles puissent être portées à la connaissance des collectivités territoriales intéressées et des aménageurs et vous servir de référence pour apprécier au plan sanitaire les éventuels projets en cours d'élaboration mais aussi les installations déjà existantes.

Ainsi que le demande le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, j'attire votre attention sur la nécessité de **favoriser le développement des projets d'utilisation d'eaux usées épurées, basés sur un plan de gestion rigoureux :**

- qui suppriment ou réduisent fortement les possibilités de contact entre les populations et l'eau mais aussi les risques de contamination des chaînes alimentaires;
- qui limitent la dispersion des effluents, le recours à l'aspersion devant seulement être toléré lorsque des nécessités hydrologiques l'imposent.

Sur le plan de la protection des eaux, souterraines et superficielles, vous pourrez juger de la pertinence des projets nouveaux dans le cadre des procédures d'autorisation de rejet prévues par le décret n° 73-218 du 23 février 1973 portant application de la loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux, et à la lutte contre leur pollution. Le détournement, temporaire ou non, d'un rejet d'effluents urbains régulièrement autorisé pour l'irrigation des cultures justifiera l'obligation, pour la collectivité, de solliciter une modification de l'autorisation déjà accordée.

Vous veillerez également à ce que la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales puisse être informée des projets en cours afin qu'elle soit en mesure de vérifier leur compatibilité avec les recommandations du Conseil et, une fois mis en oeuvre, de procéder au contrôle technique des installations.

Un bilan de fonctionnement des installations sera réalisé par ce service et présenté devant le Conseil Départemental d'Hygiène. Une transmission, pour information, de ce bilan au Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, serait de la plus grande utilité afin que puisse être évaluée la portée de ses recommandations.

En cas de difficulté particulière, il vous appartiendra de juger de l'opportunité de saisir le Conseil Supérieur pour recueillir son avis.

Le Directeur Général de la Santé
Officiant

PARTIE I - EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIES A L'UTILISATION DES EAUX USEES RESIDUAIRES

RAPPEL DES TRAVAUX RECENTS DU CONSEIL SUPERIEUR D'HYGIENE PUBLIQUE DE FRANCE

Juillet 1989 : P. BOUTIN présente devant la section des eaux du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, l'évolution de la "pensée sanitaire" dans le domaine de la réutilisation des eaux usées, notamment depuis la publication du rapport technique 517 de l'Organisation Mondiale de la Santé (1973) jusqu'aux travaux d'Engelbert (1985) et d'Adelboden (1987). Ces travaux conduiront, au cours de l'année 1989 à la publication par l'organisation Mondiale de la Santé de "nouvelles recommandations à visées sanitaires" (rapport 778) concernant l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture.

Il conclut en précisant : "la France n'échappera pas à l'obligation de mettre à jour et d'étoffer une réglementation nationale pour l'instant assez mince". Pour aller dans ce sens et dans le but de préparer des recommandations nationales sur ce sujet, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France décide de créer un groupe de travail ad hoc "Utilisation des eaux usées" (REU⁽¹⁾).

Au cours de la même séance, F. BRISSAUD (UST Languedoc) présente devant la section un inventaire des installations existantes sur le territoire nationale, utilisant des eaux usées pour l'irrigation des cultures (décembre 1989 - rapport disponible).

* Février 1990 : M. BAYLET, après discussion au sein du groupe de travail REU, propose des premières conclusions à la Section "Prophylaxie des maladies", pour ce qui concerne l'irrigation des cultures par aspersion d'eaux usées.

* Mai 1990 : La section des eaux adopte les premières conclusions du groupe de travail et examine le projet d'utilisation d'eaux usées présenté par la ville de Clermont-Ferrand (rapport de MM. COURTOIS, BONTOUX et BAYLET).

* Décembre 1990 et Janvier 1991 : Les travaux du groupe REU sont présentés devant les Sections des Eaux, de l'Alimentation et de l'Évaluation des risques de l'environnement pour la santé.

* Mars 1991 : un projet de recommandations est présenté et adopté par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France réuni en formation plénière.

(1)

Composition du groupe de travail : Mme SCHWARTZBROD (Faculté de Pharmacie - Nancy), MM. DURST (CNRS - Institut de Biologie Moléculaire des Plantes - Strasbourg), **CARRE** (Ecole Nationale de Santé Publique - Rennes), CADILLON (Société du Canal de Provence - Aix), ALCAYDE (Laboratoire de Géologie-Museum National d'Histoire Naturelle - Paris), MONTEL (SAGEP - Paris), LESAVRE (Agence de bassin Seine-Normandie - Colombes), LARBAIGT (Agence de l'Eau - RMC-Lyon), COURTOIS (DRASS - Languedoc-Roussillon), PETER (Ministère de l'Environnement - DEPPR), BAYLET (Faculté de Médecine, Montpellier), BONTOUX (Faculté de Pharmacie, Montpellier), GODET (Direction Générale de la Santé) et ZMIROU (Faculté de Médecine, Grenoble).

.../...

INTRODUCTION

Outre le nouveau contexte international créé par les publications récentes de l'organisation Mondiale de la Santé, une demande intérieure commence à **se** préciser au travers de projets de dimensions diverses : Clermont-Ferrand (irrigation de cultures industrielles), Ars-en-Ré (cultures maraîchères : pommes de terre, choux-fleurs), Le Grauh du Roi, La Réunion (arrosage d'espaces verts,...), **sans** compter les nombreux golfs en cours de création et grands consommateurs d'eau d'arrosage pour lesquels le recours aux eaux usées est envisagé.

Si, comme le signale P. BOUTIN (1989), "il reste hasardeux d'évaluer l'extension que ces techniques prendront dans notre pays, la réussite ou l'échec des premières réalisations y seront pour beaucoup. Un élément favorable est l'intérêt manifesté par les **structures** universitaires et techniques locales et la qualité de l'encadrement qui devrait en résulter. Ajoutons qu'il serait important pour les bureaux d'études français de pouvoir présenter sur le **territoire** national une réalisation démonstrative de réutilisation agricole d'eaux usées".

Après un examen des connaissances disponibles pour évaluer les risques liés à l'utilisation agricole des eaux usées, en particulier aux plans microbiologique et chimique, le groupe de travail propose ses conclusions sous forme de recommandations sanitaires ; **elles devront faire l'objet d'une évaluation périodique afin de pouvoir disposer d'éléments pertinents pour les corriger ou les affiner si nécessaire.**

Le domaine de réflexion a volontairement été restreint à l'utilisation des eaux usées résiduelles (eaux d'origine urbaine uniquement issues de réseaux unitaires ou séparatifs) utilisées pour l'irrigation des cultures (cultures maraîchères, horticulture, cultures forestières, prairies) et des espaces verts (terrains de sport, espaces publics).

Ont notamment été **écartés**, bien que pouvant présenter des similitudes voire même des risques plus importants, l'épandage des boues de station d'épuration et l'utilisation de certaines eaux industrielles épurées.

I - EVALUATION DU RISQUE MICROBIOLOGIQUE

I-1 DEVENIR DES PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES CONTENUS DANS LES EAUX USEES

1-1.1 CONTAMINATION MICROBIOLOGIQUE DES EAUX USEES AVANT ET APRES EPURATION (quelques chiffres)

Des virus, des bactéries, des protozoaires et **des** helminthes pathogènes passent dans les excréta **des personnes** infectées et peuvent être transmis soit par voie orale (par exemple, par la consommation de légumes contaminés), soit par la peau (comme **dans** le **cas** des ankylostomes et des schistosomes). Les excréta et les eaux **usées** contiennent généralement de fortes concentrations d'agents pathogènes, en particulier dans les pays où les maladies diarrhéiques et les parasites intestinaux sont **particulièrement** répandus.

On trouvera dans la brochure 778 de l'organisation Mondiale de la Santé des informations en ce qui concerne les niveaux de concentration des principaux agents pathogènes (bactéries, virus et parasites) présents dans les excréta (Source Feachem, F.G et Al - 1983) et, par conséquent, susceptibles d'être rencontrés dans les eaux usées urbaines, avant épuration.

La recherche des pathogènes dans les effluents bruts et traités est une tâche difficile qui demande l'intervention, pour des résultats aléatoires, de techniques fastidieuses et complexes (BOUTIN - 1987). Aussi, préféra-t-on procéder au dénombrement de germes témoins de contamination fécale (coliformes thermotolérants, streptocoques fécaux), sélectionnés parmi les bactéries banales pour fournir des informations sur l'intensité de la contamination fécale.

* D'après SHUVAL (1986), les caractéristiques bactériologiques des effluents épurés, exprimées en coliformes par 100 ml, se situeraient, pour des ouvrages convenablement conçus et entretenus, autour des niveaux suivants (annexe) :

- effluent brut : 10^7
- sédimentation primaire (≥ 3 heures) : 10^6
- traitement physico-chimique : 10^6
- traitement biologique (boues activées) : 10^5
- lagunage (bassins en série, ≥ 20 jours) : 10^3

Il serait dangereux de généraliser trop rapidement ces valeurs dans la mesure où l'efficacité des procédés d'épuration est fortement liée à la conception des ouvrages et à leur modalité d'exploitation.

Les fluctuations saisonnières influenceront également de manière considérable, notamment pour ce qui concerne les procédés extensifs de type lagunage.

Ces indications ne donnent pas non plus d'informations sur le contenu viral et parasitaire et d'une manière plus générale sur la présence d'agents biologiques pathogènes dans les eaux usées, celui-ci sera pour l'essentiel le reflet de la pathologie locale.

* Les eaux usées sont susceptibles de transporter un grand nombre d'helminthes parasites d'origine humaine ou animale, mais aussi des particules virales.

Leur élimination au cours des opérations de traitement sera en grande partie provoquée par une association à des particules solides (virus) et à la sédimentation (virus, oeufs d'helminthes).

En tant qu'ordre de grandeur, on pourra retenir les taux d'élimination suivants (brochure OMS 778) :

Procédé de traitement	Taux d'élimination (unités ₁₀)			
	Bactéries	Helminthes	Virus	Kystes
Sédimentation primaire				
Simple	0-1	0-2	0-1	0-1
Chimique*	1-2	1-3 [†]	0-1	0-1
Boues actives [‡]	0-2	0-2	0-1	0-1
Filtration biologique [‡]	0-2	0-2	0-1	0-1
Aération en lagon [‡]	1-2	1-3 [†]	1-2	0-1
Fossé d'oxydation [‡]	1-2	0-2	1-2	0-1
Désinfection	2-6 [†]	0-1	0-4	0-3
Bassin de stabilisation [‡]	1-6 [†]	1-3 [†]	1-4	1-4
Stockage des effluents [‡]	1-6 [†]	1-2 [†]	1-2	1-4

* Source référence 3
 † Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer les résultats
 ‡ Compris la sédimentation secondaire
 † Avec traitement en bassin de stabilisation
 ‡ Chloration ou ozonation
 † Les résultats dépendent du nombre de bassins en série et d'autres facteurs environnementaux
 ‡ Les résultats dépendent du temps de rétention qui varie en fonction des bassins
 † Si les systèmes sont bien conçus et convenablement exploités, le degré d'élimination recommandé peut être atteint

Cas particulier du lagunage : le lagunage présente l'intérêt d'introduire entre le rejet des eaux usées et leur réutilisation un temps de rétention élevé qui impose aux éléments microbiologiques pathogènes, normalement adaptés au milieu intestinal de l'homme ou des animaux, l'effet prolongé d'un environnement préjudiciable à leur survie. L'élimination des germes pathogènes dans les lagunes aérobies ou aérobies facultatives est particulièrement importante en période de fort ensoleillement, le rayonnement solaire ayant une incidence à la fois directe et indirecte sur la destruction des germes.

Le temps de séjour élevé des eaux usées dans les lagunages ne peut d'autre part que favoriser la biodégradation des micropollutions chimiques organiques.

I-1.2 SURVIE DES PATHOGENES SUR LE SOL ET LES VEGETAUX

Il conviendra de citer encore P. BOUTIN (1987) qui commente les synthèses réalisées par STRAUSS (1985) et SHUVAL et al. (1986) :

"Ce difficile problème a fait récemment l'objet de plusieurs synthèses (STRAUSS 1985, SHUVAL et al. 1986). Les données publiées sont nombreuses, mais la méthodologie suivie est trop souvent imprécise, et l'accent mis sur les valeurs exceptionnelles. Pour tous les germes, les expériences montrent deux phases de décroissance, rapide pendant les premières semaines, plus lente par la suite. Les facteurs positifs pour la survie des bactéries et des virus sont l'humidité (pluie ou irrigation), des sols riches en argile et matière organique, neutres ou légèrement alcalins, une température basse, une situation abritée. Il a été suggéré d'interrompre périodiquement l'irrigation jusqu'au dessèchement des couches superficielles du sol pour réduire le risque viral (YEAGER, O'BRIEN 1979). Feachem et ses collaborateurs (1983) admettent que la plupart des pathogènes (bactéries, virus, protozoaires) ne survivent guère au-delà de deux semaines sur les plantes, trois semaines sur le sol à 20-30°C. Les oeufs d'helminthes constituent la principale exception : ils peuvent conserver leur viabilité pendant des mois et même des années. Associé à une émission abondante dans les selles et à des doses infectantes minimales, ce fait est d'importance épidémiologique majeure."

On retiendra par conséquent que certains oeufs d'helminthes comme les oeufs d'ascaris peuvent persister pendant plusieurs mois dans les eaux douces, les eaux usées et sur les végétaux, voire plusieurs années dans les sols.

I- 1.3 INFLUENCE DES **TECHNIQUES** D'IRRIGATION

Le mode d'irrigation joue un rôle de tout premier ordre dans la propagation des éléments pathogènes ; on distinguera l'irrigation souterraine, l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée.

- * L'irrigation souterraine peut être effectuée à partir de fossés (à l'air libre, espacés de 100 à 200 m) ou de tuyaux enterrés (perforés ou poreux).
- L'irrigation de surface de type gravitaire est réalisée par submersion (ou par bassin), par ruissellement par planches **ou** par rigoles ou raies d'infiltration.
- L'irrigation par aspersion peut être réalisée par des arroseurs rotatifs, des rampes perforées, des systèmes à pivot, des canons automateurs, des arroseurs de type robot, ... ; les risques de propagation d'aérosols et donc de contamination des travailleurs et des populations avoisinantes sont réels mais distincts selon la technique utilisée (voir chapitre suivant 1-2.3).
- * L'irrigation localisée est réalisée soit par goutteurs soit par rampes perforées.

L'influence du système d'irrigation vis-à-vis de la propagation des risques sanitaires est résumée dans le tableau ci-après :

MODE D'IRRIGATION ET PROPAGATION DU RISQUE

SYSTEME D'IRRIGATION	MODE DE TRANSPORT DE L'EFFLUENT	RISQUES LIES AU MODE DE DISTRIBUTION SUR LA PARCELLE	IMPACT SUR LES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES
<p align="center">SOUTERRAINE</p>	<p>par fossés : risques vis-à-vis du public, des exploitants (risques de chute, de stagnation des eaux, du bétail (abreuvement)).</p>	<p>Lors de la maintenance du système d'irrigation</p>	<ul style="list-style-type: none"> - impact possible sur les nappes - impact possible sur les eaux superficielles liées aux excédants d'eaux usées lors de la distribution par fossés.
<p align="center">GRAVITAIRE</p> <ul style="list-style-type: none"> - bassins - planches - raies 		<p>Lors de l'exploitation du système d'irrigation vis-à-vis des cultures et des exploitants.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - vis-à-vis de la nappe, des eaux superficielles <p align="right">efficience (1)</p> <p>bassins 60 - 80 % planches 40 - 75 % raies 55 - 70 %</p>
<p align="center">ASPERSION</p> <ul style="list-style-type: none"> - arroseurs rotatifs - rampes perforées - pivots - arroseurs automateurs - arroseurs géants - arroseurs robots 		<ul style="list-style-type: none"> - mouillage des cultures - dispersion par le vent d'aérosols : <ul style="list-style-type: none"> . lors de l'exploitation, si la couverture du système d'irrigation n'est pas totale (exploitants) ; . lors de la maintenance (exploitants). 	<ul style="list-style-type: none"> - vis-à-vis des eaux superficielles lors des pluies et si mauvaise adaptation de la pluviométrie vis-à-vis de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. - efficience du système : 90 - 100 %
<p align="center">LOCALISEE</p> <ul style="list-style-type: none"> - par goutteurs - par rampes perforées 		<ul style="list-style-type: none"> - lors de la maintenance (débouchage des goutteurs). 	<ul style="list-style-type: none"> - efficience du système : 90 - 100 %

(1) Efficience (ou rendement) : Rapport entre quantités d'eau utilisées (par les plantes) et celles dérivées en tête du système d'irrigation

I-2 EVALUATION DU RISQUE INFECTIEUX

1-2.1 RESUME ET EXTRAITS DE **L'ARTICLE** PROST-BOUTIN (TSM JANVIER 1989)

"Trop souvent, l'isolement d'agents pathogènes sur les cultures, sur les sols ou dans l'eau d'irrigation est pris comme l'indication d'un risque pour la santé de ceux qui entreraient en contact avec l'élément souillé..." L'épidémiologiste juge abusive cette démarche et préfère distinguer différents niveaux de risque (risque théorique, risque expérimental et risque effectif), le risque infectieux lié à chaque agent étant déterminé par un ensemble de facteurs qui sont :

- la quantité excrétée par l'individu ;
- la latence (durée nécessaire pour qu'un agent pathogène devienne infectieux) ;
- la survie dans l'environnement ;
- la faculté de **se** multiplier dans l'environnement ;
- la dose infectante pour l'hôte sensible ;
- la réponse de l'hôte ;
- l'existence d'hôtes animaux (réservoirs et véhicules).

A partir de ces déterminants, les épidémiologistes proposent une classification des agents pathogènes en six catégories (Feachem et al. 1983 - Annexe I).

"Face au risque potentiel énorme (risque théorique) que représente le maniement d'effluents bruts ou d'excreta, on reste étonné de la relative pauvreté des observations épidémiologiques rapportant de façon indiscutable des conséquences dommageables sévères". Après examen des données épidémiologiques disponibles, BOUTIN et PROST rapportent "que la pathologie humaine associée de façon certaine à l'utilisation agricole d'effluents bruts ou partiellement traités est de quatre ordres :

- chez les consommateurs de légumes crus ou de salades : ascaridiose, trichocéphalose, choléra, amibiase, peut-être typhoïde. Il est possible que ces légumes aient été à l'origine d'un excès d'infections par bactéries ou protozoaires intestinaux autres que l'amibe, mais les différences ne sont pas significatives ;
- chez les consommateurs de viande bovine insuffisamment cuite : le taenia ;
- chez les travailleurs d'installations agricoles irriguées par eaux usées : les mêmes maladies que chez les consommateurs de légumes crus, plus l'ankylostomiase. Dans certains **cas** une augmentation de l'exposition aux entérovirus a pu être détectée par le laboratoire, **sans** se traduire par une augmentation du nombre de **cas** cliniques. Enfin, une plus forte incidence des shigelloses paraît possible ;
- dans les populations résidant à proximité de telles installations agricoles, spécialement si elles utilisent l'irrigation par aspersion : une légère surexposition aux entérovirus et une incidence légèrement plus forte des shigelloses chez les personnes directement en contact avec les travailleurs agricoles.

Ce bilan est maigre au regard du nombre et de la fréquence des pathogènes potentiels. Il désigne nettement les helminthes intestinaux comme le risque principal : **ascaris**, trichocéphales, ankylostomes, à un moindre degré les affections bactériennes (choléra et shigelloses), et enfin de façon très limitée, les virus, Comme ceci est le bilan de l'utilisation d'effluents bruts ou mal épurés, on peut penser que le risque réel de réutilisation d'effluents traités est encore moindre."

Ils concluent en constatant la grande cohérence entre les observations épidémiologiques et la classification proposée par Feachem (annexe I).

Pour les agents de la catégorie I (virus et protozoaires intestinaux), il est difficile de démontrer un rôle quelconque **des** eaux usées. En fait, ce sont des micro-organismes à faible dose infectante, immédiatement infectieux, donc propices à une contamination interhumaine directe.

Pour les agents de la catégorie II (bactéries), l'assainissement général de l'environnement joue un rôle beaucoup plus net. La faculté qu'ont ces micro-organismes de **se** multiplier dans un environnement favorable entraîne localement l'apparition de concentrations suffisantes pour être infectantes.

Ce sont les parasites de la catégorie III qui représentent le risque le plus généralement associé à l'utilisation des eaux usées (temps de latence nécessaire, faible dose infectante, nécessité d'épuration adaptée pour réduire le risque).

1-2.2 EXAMEN DE LA SITUATION AU PLAN NATIONAL (métropole et DOM-TOM)

Les travaux de Feachem s'appuient sur des données épidémiologiques internationales qui doivent être modulées pour les adapter au contexte français. En effet, une analyse bibliographique des études françaises montre sur le plan parasitologique que les eaux usées brutes ou partiellement traitées véhiculent généralement des oeufs d'helminthes (Nématodes : **Ascaris, Toxocara, Trichuris** ; Cestodes: **Taenia Hymenolepis**) et plus rarement des kystes de protozoaires (Giardia).

Si, pour les protozoaires intestinaux, il est, dans ces conditions, difficile de démontrer un rôle quelconque **des** eaux usées, en revanche les oeufs d'helminthes précédemment cités, de par leur présence quasi constante et de par leur très grande résistance dans l'environnement, pourraient représenter un risque à la fois pour l'homme et le bétail.

Chez l'homme, un excès d'infections à Nématodes pourrait être observé chez les consommateurs de légumes crus irrigués avec des eaux usées et chez les travailleurs d'installations agricoles irriguées par des eaux résiduaires.

Pour les populations résidant à proximité d'installations d'irrigation par aspersion, la transmission par l'intermédiaire d'aérosols semble plus hypothétique au vu des dimensions des oeufs d'helminthes qui ne peuvent être véhiculés par les gouttelettes constitutives de l'aérosol.

Pour les bovins, l'irrigation des prairies avec des eaux usées renfermant des oeufs de **Taenia** (durée de survie de 15 à 210 jours selon la température, la nature du sol et l'exposition) peut représenter un risque de développement de cysticercose.

Au vue de ces informations, le paramètre oeufs d'helminthes (Nématodes et/ou Cestodes) doit constituer un indicateur intéressant pour l'analyse des eaux usées destinées à l'agriculture.

On notera cependant que le risque sanitaire éventuel lié à la contamination des chaînes alimentaires par cryptosporidium reste à évaluer, la présence de ce parasite dans les eaux de consommation mais aussi dans le milieu naturel et dans les eaux usées ayant été mise en évidence à plusieurs reprises.

REMERQUE : Pour les départements d'Outre-Mer, il conviendrait de tenir compte des conditions locales.

1-2.3 CAS PARTICULIERS DES RISQUES LIÉS A L'AÉROASPERSION

Les enquêtes épidémiologiques, visant à déterminer au niveau communautaire les conséquences pour la santé d'une exposition permanente aux aérosols produits au cours du processus d'épuration d'eaux d'égouts, concluent généralement à l'absence de différence significative entre les populations exposées et les populations témoins : les auteurs n'ont pu établir de corrélation entre les indicateurs d'exposition (distance de la station, aérocontamination, les données de morbidité (déclarée ou observée) et d'infection (bio-clinique).

Malgré l'absence d'enquête épidémiologique crédible, il reste évident que les travailleurs agricoles seront plus particulièrement exposés aux risques entériques liés à la contamination du sol et des cultures et aux risques d'infections pulmonaires ou digestives consécutifs à l'exposition aux aérosols émis.

MM. TORRE et BOUTIN proposent une approche originale de type écobiologique dont on peut citer les principales conclusions, tout en évitant une généralisation trop rapide :

L'aspersion entraîne la formation d'aérosols, - définis comme particules de 0,01 à 50 μm dans l'air - aux caractéristiques variables (densité - granulométrie) selon le processus d'aspersion. La proportion du liquide atomisé lors de l'aspersion serait de 0,05 à 1 % variant avec la pression d'arrosage et le matériel utilisé et les conditions météorologiques.

Une aspersion à canon mobile à enrouleur (pression de 5 à 8 bars et débit de 6 à 10 m^3/heure) a pu entraîner une aérocontamination de près de 2500 PV/ m^3 et produire des particules viables (PV) de moins de 5 μm de taille (donc respirables) à 100 m de la source d'aspersion. Par vent et hygrométrie favorables, l'aspersion peut entraîner l'émission d'une majorité de particules fines à plus grande distance.

L'effectif des particules viables peut être choisi selon le diamètre des aérosols. Les particules viables de moins de 5 μm de taille, n'étant pas arrêtées dans les voies respiratoires supérieures, elles seront respirables et pénétrantes. La moitié d'entre elles se déposent au niveau des alvéoles pulmonaires, l'autre moitié, déglutie, suit la voie digestive. Il est possible, compte tenu des données de la ventilation respiratoire, nuancée quant aux activités physiques individuelles, d'estimer le dépôt de PV/heure chez des sujets exposés à des quantités mesurées d'aérosols de diamètres connus.

L'étude menée sur l'île de Ré montre, pour la quasi totalité des stations étudiées, que l'inhalation entraîne un dépôt maximum de 600 particules viables/heure soit au niveau rhinopharyngé, soit au niveau pulmonaire profond ; ce dépôt varie en fonction de la qualité de l'aérosol émis (densité - granulométrie), de l'influence des paramètres météorologiques sur celui-ci et de l'activité physique de l'individu.

A titre d'exemple, une contamination massive de 2350 PV/ m^3 pourrait entraîner pour un individu en activité physique modérée - volume respiratoire courant de 900 ml soit 1 m^3/h -, l'inhalation de 800 PV/heure, susceptibles d'induire un risque respiratoire potentiel, et de 1100 PV/heure pouvant être à l'origine d'un risque digestif.

A titre de comparaison, un épandage de lisier de porc par aspersion a entraîné une contamination de 2600 PV/m³ à 100 m du canon avec rétention dans l'organisme de 2200 PV/heure dont 800 au niveau respiratoire. De même, aux abords de bassins d'aération avec dispositif anti-mousse, une émission de 4700 PV/m³ d'air, dont 4000 respirées et 2700 PV/heure déposés au niveau pulmonaire, a été mise en évidence.

Sur l'appréciation des risques liés à l'aspersion des eaux usées et compte tenu de l'état actuel des connaissances, le groupe de travail considère :

- que l'aspersion produit des aérosols "porteurs" de bactéries et de virus potentiellement pathogènes, transportables selon les conditions du milieu sur plusieurs centaines de mètres ;
- que la dispersion de ces micro-organismes au-delà de 300 m ne paraît pas représenter, en l'état actuel des connaissances, une cause appréciable d'infections ou de morbidité bactérienne ou virale ayant un effet évident et mesurable sur la santé des collectivités exposées.

Il conclue donc à la virtualité d'un risque à maintenir à distance mais non exprimé épidémiologiquement.

II - EVALUATION DU RISQUE CHIMIQUE

II-1 TENEURS EN ELEMENTS TOXIOUES DANS LES EAUX USEES

II-1.1 ELEMENTS MINERAUX

Outre les substances minérales présentant un intérêt agronomique tout particulier (éléments fertilisants et oligo-éléments), les eaux usées d'origine urbaine peuvent contenir des éléments toxiques minéraux et notamment des métaux lourds. Les micropolluants proviennent essentiellement :

- des produits consommés par la population ;
- de la corrosion des matériaux utilisés dans les réseaux de distribution et d'assainissement ;
- des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire ;
- d'activités de service (santé, automobile,...) et de rejets industriels raccordés au réseau.

Même en l'absence de rejets industriels, les effluents urbains véhiculent une charge en micropolluants minéraux. Ainsi que le montre les travaux de Lesavre et al sur 25 stations mixtes ou urbaines, de Colin et al, et de Brown (1978), si les concentrations en fer et zinc dans les effluents bruts peuvent atteindre plusieurs centaines de microgrammes par litre, celles en cuivre, plomb, chrome, nickel et cadmium n'atteignent que quelques microgrammes ou quelques dizaines de microgrammes par litre.

L'ordre d'abondance suivant peut être retenu :

Fe > Zn >> Cu > Pb > Cr > Ni >> Cd

Par ailleurs les concentrations en mercure, mais aussi en cadmium pour les stations strictement urbaines, sont inférieures au microgramme par litre, celles en arsenic étant inférieures à la limite de détection (Lesavre et al).

Les traitements d'épuration réalisés sur les eaux usées urbaines contribuent à une diminution des teneurs en micropolluants minéraux contenus dans les effluents **bruts**, soit par sédimentation pour les substances liées aux **MES** ou présentes sans forme insoluble (traitement primaire de décantation), soit par absorption sur le floc biologique des métaux à l'état dissous ou à l'état parcellaire fin (traitement biologique par boues activées). Olliver et Cosgrove rapportent, pour l'étape biologique, les rendements d'élimination suivants :

**Rétention des métaux lourds dans les boues activées
provenant de station d'épuration (Olliver et Cosgrove)**

Metal	3-Day study percentage removal			4-Week study percentage removal		
	Primary	Secondary	Overall process	Primary	Secondary	Overall process
Cd	56	50	78	60	50	50
Cr	60	65	86	55	54	79
Co	—*	—	—	—	—	—
Cu	30	59	71	33	60	73
Fe	36	59	74	49	55	77
Pb	60	75	71	66	79	73
Mn	12	9	35	33	6	31
Hg	60	>50	>80	60	>62	>55
Ki	19	>1	18	15	1	16
Zn	68	31	78	54	50	77

* Cobalt levels were too low to determine removal.

	Zn	Cu	Mn	Pb	Cr	Ni	Co	Cd	Hg	Fe
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Les traitements par lagunage s'accompagnent aussi d'une rétention des micropolluants dans les boues produites par la décantation des **MES** présentes dans l'effluent et par celles des **corps** algaux planctoniques (Suffern et al, Overcash et al, Carré et al).

Overcash et al rapportent des rendements d'élimination de **95 %** à **92 %** respectivement pour cuivre et zinc.

Le traitement physico-chimique des effluents urbains s'accompagne d'une élimination poussée des métaux par coagulation des colloïdes et coprécipitation avec les sels de fer ou d'aluminium utilisés. Netzer et Hudson rapportent ainsi des taux d'élimination de **90 %** ou plus pour le zinc, le cuivre et le chrome, de **65 à 75 %** pour le mercure et le plomb, mais seulement de **30 à 50 %** pour le cadmium, le nickel et le manganèse.

il faut toutefois signaler les risques d'apports de métaux par les réactifs utilisés.

Le traitement des eaux usées s'accompagne d'une concentration importante des métaux dans les boues produites et donc d'une forte réduction des charges véhiculées par les effluents issus des différents traitements.

Lesavre et al signalent les concentrations métalliques suivantes pour des effluents secondaires :

concentration en $\mu\text{g/l}$	Station mixte (13 stations)	Station urbaine (12 stations)
Cu	55	24
Cd	0,5	0,1
Cr	15	9
Ni	35	24
Zn	148	92
Hg	0,31	0,27
Pb	11	9

En conclusion, on peut considérer que si les concentrations métalliques observées dans les effluents bruts et primaires sont en général très supérieures à celles observées dans les eaux superficielles, celles mesurées dans les effluents secondaires sont du même ordre de grandeur que celles des eaux de surface, excepté pour le zinc très abondant dans les rejets urbains.

Remarque :

Eu égard aux concentrations en métaux rapportées par Lesavre et al dans les eaux usées traitées et aux dispositions de la norme **U44 041** (qualité des boues de station d'épuration), les lames d'eau annuellement admissibles, pour un apport en métal équivalent à celui contenu dans trois tonnes de matières sèches d'une boue dont les concentrations métalliques correspondent aux limites de la norme, sont les suivantes :

Cd	1 $\mu\text{g/l}$	6 m
Cu	24 $\mu\text{g/l}$	12,5 m
Cr	15 $\mu\text{g/l}$	20 m
Ni	24 $\mu\text{g/l}$	2,5 m
Pb	10 $\mu\text{g/l}$	24 m
Zn	100 $\mu\text{g/l}$	9 m
Hg	0,3 $\mu\text{g/l}$	10 m

Le nickel peu retenu dans les traitements apparaît dans **ce cas** comme le métal limitant. Toutefois, les niveaux de concentrations auxquels il est présent ne devraient pas induire, d'après les données de Pratt (tab. p. 24), de phénomènes de phytotoxicité.

Le bore, peu adsorbé ou fixé, n'est pas retenu dans les stations d'épuration.

II-1.2 ELEMENTS ORGANIQUES

Les micropolluants organiques identifiés dans les eaux usées proviendront, en France, essentiellement des produits de synthèse (la production de produits organochlorés à partir d'une dégradation de la matière organique contenue dans les eaux usées reste marginale du fait de la non chloration, sauf exception, des effluents).

Dans les effluents domestiques, ces produits constituent un bruit de fond très faible. Leur présence **est** liée à leur utilisation dans la maison ou dans les jardins (détergents, solvants, pesticides) ou à la contamination des produits manufacturés manipulés. Des PCB (plastifiants, encres,...) peuvent ainsi y être trouvés.

L'apport essentiel en micropolluants organiques dans les eaux urbaines provient des eaux pluviales. La pluie peut être, d'abord, contaminée par évaporation de certains composés depuis les sites industriels de production et lors de la mise en oeuvre de ces produits, en agriculture par exemple. La présence de HAP, PCB, d'insecticides, de composés chlorés à faible poids moléculaire, de plastifiants, de solvants a **été** ainsi observée (Lester 1982). Jolley rapporte des teneurs en insecticides organochlorés dans les pluies en Grande Bretagne variant de 3 à 300 ng/l (moyenne 150 ng/l).

La charge en micropolluants véhiculée par les eaux de ruissellement issues du réseau routier représente la contribution la plus importante à la pollution des eaux pluviales. Dans celles-ci, la présence d'une grande variété de **composés** – hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, HAP, acides gras, cétones, plastifiants, **composés** polaires – a été rapportée (Hunter).

De nombreux polluants organiques correspondent à des composés non polaires et très peu hydrosolubles. Ces composés vont s'adsorber très fortement sur les matières en suspension.

Les étapes de décantation primaire et secondaire s'accompagnent d'une rétention substantielle de ces composés.

Par contre, la **plupart des** micropolluants organiques ne sont pas biodégradés de manière importante dans les traitements aérobies, la faible hydrosolubilité des produits apparaissant comme un facteur limitant à leur biodégradation.

Les mesures réalisées par Lesavre et al sur 25 stations confirment l'existence de faibles concentrations en organochlorés volatils, pesticides, **AOX** et **PCB** dans les effluents ainsi que leur élimination poussée dans les filières de traitement.

en µg/l	25 stations mixtes ou urbaines			amont	aval	% d'élimination
	amont	aval	% d'élimination			
Organochlorés volatiles	10	0,02	100	3	absence	100
Pesticides	1,05	0,13	88	0,95	0,05	95
AOX	257	9	96	112	---	---
PCB	256	61	76	282	53	81

Le tableau suivant (d'après Lester) présente les rendements d'élimination pour les produits organiques les plus gênants.

Compound	Process Type	Removal Efficiency %	Reference
Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAH)	Primary sedimentation percolating filter	50	33
	Primary sedimentation percolating filter/activated sludge	86	33
	Primary sedimentation/activated sludge	99	33
Polychlorinated Biphenyls (PCB)	Primary sedimentation/percolating filter	86	34
	Primary sedimentation/activated sludge	11	33
	Primary sedimentation with various secondary and tertiary treatment processes	66	35
	Primary sedimentation	51	36
Dieldrin	Primary sedimentation/trickling filter	105	33
	Primary sedimentation	51	36
	Primary sedimentation/equalisation lagoon	99	37
	Activated sludge pilot plant	0-63	38
Lindane	Primary sedimentation/trickling filter	0	39
p,p'-DDE	Primary sedimentation	37	36
	Activated sludge pilot plant	0-79	38
Aldrin	Activated sludge pilot plant	0-61	38
2,4-D Alkyl Esters	Activated sludge pilot plant	0-100	38

Les rendements d'élimination varient largement pour les différents produits selon une même filière, pour un même produit selon les différentes filières, voire pour le même produit dans la même filière.

Des taux d'élimination de 40 à 60 % peuvent être retenus pour la décantation primaire et de 70 à 90 % après décantations primaire et secondaire.

11-2 RISQUES DE CONTAMINATION DES CHAINES ALIMENTAIRES

Nous nous intéressons dans **ce** chapitre aux risques de contamination des chaînes alimentaires par les micropolluants de type organique ou minéral, à l'exception des eaux de consommation qui sont traitées à part, au chapitre III.

De nombreux auteurs se sont intéressés à l'incidence de la valorisation agricole des boues d'épuration mais assez peu à celles des effluents. Aussi, serons-nous obligés de nous référer aux données disponibles relatives à l'utilisation des boues et de procéder, autant que faire se peut, par analogie.

II-2.1 DEVENIR DES MINERAUX

Les épandages d'eaux usées ou les irrigations vont contribuer à enrichir les sols en micropolluants minéraux et, en particulier, en métaux lourds (cf chapitre III-1).

L'enrichissement du sol en métaux peut être néfaste sous plusieurs aspects :

- par atteinte à l'activité microbologique du sol pouvant entraîner le ralentissement de l'humidification de la matière organique, du métabolisme de l'azote ou de la dégradation des pesticides ;
- par phytotoxicité ;
- par zootoxicité.

Ne seront pas abordées, dans le présent document, les considérations d'ordre agronomique liées à l'utilisation des eaux usées en agriculture. De nombreux ouvrages de synthèse traitent largement de ces aspects (Agence de bassin RMC 1979, Pettygrove et Asano 1985) et notamment de la phytotoxicité. On retiendra sur **ce** dernier point que la phytotoxicité **se** traduit par des malformations, des nécroses, un retard, voire même une absence de croissance des végétaux amenant une réduction des rendements. Elle est liée, soit à un excès d'éléments indispensables à la croissance (bore, cuivre, cobalt,..), soit à la présence d'éléments chimiques non nécessaires aux plantes (nickel, cadmium, cobalt,...).

Les risques de zootoxicité résultant de la contamination des végétaux retiendront notre attention.

a) Accumulation des métaux dans les végétaux :

Le comportement de chaque métal dépend du type de liaisons avec les constituants du sol et de son aptitude à être absorbé par la végétation, variable selon les **espèces** végétales. L'échelle suivante décroissante de sensibilité des végétaux à l'accumulation des métaux est souvent citée (Colin) :

- champignons,
- cultures légumières,
- betterave à sucre,

- pomme de terre,
- céréales et cultures industrielles (colza, soja, tournesol),
- graminées fourragères.

Par ailleurs, l'accumulation de ces éléments ne se fait pas de manière homogène dans la plante et, en général, les teneurs décroissent dans l'ordre suivant :

racine > tige > feuille > fruit

Au plan de la zootoxicité, deux groupes de métaux sont à considérer :

1) éléments ne posant, a priori, pas de problèmes pour les produits agricoles consommables :

Mn, Fe, **Al**, Cr, **As**, **Se**, Sn, Pb, Hg.

2) éléments posant un problème potentiel pour les produits agricoles consommables :

Cd, Cu, **Mo**, Ni, Zn.

Groupe I :

. Mn, Fe et Al : ces métaux sont déjà naturellement présents en forte proportion dans les minéraux constitutifs des sols sous forme d'oxydes et d'hydroxydes insolubles (sols aérés et de pH > 5,5).

. Cr : il est sous forme Cr³⁺ peu toxique et insoluble à pH > 5,5. Par ailleurs, il ne franchit pas la barrière racinaire.

. **As**, **Se**, Sn et Hg : sauf dans un cas de pollution chronique par des effluents particuliers, ces éléments sont présents à des teneurs trop faibles dans les eaux usées pour poser un problème sanitaire. As et Hg sont bien fixés dans les sols. Se et Sn sont, par contre, plus facilement mobilisables à pH neutre ou alcalin.

. Pb : il reste bien fixé au niveau du sol.

Groupe II :

. Cd : c'est l'élément le plus préoccupant sur le plan sanitaire. il atteint parfois des concentrations élevées dans les boues (jusqu'à 3000 ppm aux U.S.A). Il est relativement mobile dans les sols, notamment à pH < 6,5.

il peut s'accumuler dans les végétaux à des concentrations sanitaires préoccupantes avant la manifestation d'effets phytotoxiques.

Il peut s'accumuler également dans l'organisme et provoquer une intoxication grave.

. Cu : il présente une certaine toxicité vis-à-vis d'animaux d'élevage et, en particulier, du mouton. Ce phénomène est renforcé par une carence en molybdène. Des effets phytotoxiques se manifestent souvent avant d'atteindre le seuil toxique pour les animaux.

. **Mo** : c'est un métal plus mobile aux pH neutres ou alcalins, il n'est pas phytotoxique mais peut poser un problème sanitaire pour le bétail (bovins notamment).

.../...

. Zn et Ni : ces éléments sont très peu toxiques mais sont facilement concentrés par les végétaux (phytotoxicité possible par le Ni). Le Zn est un puissant antagoniste du Cd pour tous les phénomènes d'accumulation.

b) Effet sur les mammifères :

Les informations sur ce point proviennent de deux types d'études effectuées sur les mammifères :

- soit du contrôle des teneurs en métaux dans les tissus de petits mammifères sauvages vivant sur des parcelles irriguées avec des effluents ou fertilisées avec des boues (Anthony, Anderson 1982) ;
- soit du suivi des concentrations en métaux potentiellement toxiques dans les tissus de mammifères (bovins, cochon d'Inde) nourris soit d'aliments ayant subi un apport de boue résiduaire séchée, soit de végétaux ayant poussé sur des parcelles fertilisées avec des boues (Bertrand 1980, 1981, Johnson, Baxter).

D'une manière générale, il ressort que les métaux ne se concentrent pas de manière équivalente dans les tissus animaux : l'accumulation de plomb, cadmium, mercure, nickel, fer, cuivre est signalée. Les tissus non musculaires sont les plus concernés par la fixation des métaux, en particulier ceux du foie et des reins.

Johnson rapporte ainsi pour des animaux absorbant dans leur ration alimentaire 12 % de boue, représentant un apport des métaux de 30 à 100 fois supérieur à la normale, des teneurs en cadmium, mercure et plomb dans le foie et les reins 5 à 20 fois supérieures à celles observées pour les animaux témoins. Des teneurs en cuivre dans ces organes sont par contre plus faibles que la normale compte tenu d'un effet antagoniste entre cuivre et cadmium.

L'accumulation des métaux dans les tissus des animaux sauvages est bien évidemment plus faible que celle observée pour les animaux nourris avec des boues.

II-2.2 DEVENIR DES ELEMENTS ORGANIQUES

Excepté le cas des produits phytosanitaires pour lesquels des études d'impact et de métabolisme sont obligatoires au moment de l'homologation, le devenir des autres polluants organiques (polycycliques aromatiques, PCB, organo halogénés, phtalates, détergents,...) dans les plantes, et les formes sous lesquelles ils peuvent contaminer la chaîne alimentaire, sont très mal connus. L'identification des composés qui, comme les dioxines et les benzofuranes, sont toxiques et/ou mutagènes à des concentrations où ils n'apparaissent pas dans les analyses de routine, et la nécessité qu'il y aurait à réaliser des études toxicologiques sur des mélanges complexes (et imprévisibles le plus souvent) constituent deux obstacles importants à une amélioration des connaissances sur ce sujet.

Le devenir des micropolluants organiques apportés par des effluents utilisés en agriculture n'ayant pas fait l'objet d'études spécifiques, il convient de se rapporter aux travaux réalisés en matière de valorisation agricole des boues de station de dépollution.

Les produits peu hydrosolubles s'accumulent dans le sol.

Les produits retenus dans le sol seront pour partie biodégradables (Demirjan) et pourront être perdus par volatilisation. Certains composés (composés chlorés) pourront migrer en profondeur.

L'assimilation de **composés** tels que les PCB et les pesticides depuis le sol vers les plantes a encore été moins étudiée que leur abondance. Certains pesticides sont prélevés, d'autres ne le sont pas ou à des niveaux très bas. Des pesticides tels que l'heptachlore, la dieldrine et le chlordane sont prélevés par le soja, passent dans les graines et sont accumulés dans l'huile, mais à des concentrations très faibles. Le prélèvement des **PCB** par les racines a également été signalé (Braude).

II-3 CONCLUSIONS

Après épuration, les eaux usées urbaines renferment des éléments chimiques et, en particulier, des micropolluants minéraux ou organiques à de faibles concentrations (voire à l'état de traces).

De nombreux éléments minéraux peuvent, selon leur concentration, être toxiques pour les végétaux, les animaux et pour l'homme, même si certains d'entre eux peuvent participer à la croissance des végétaux. Le tableau suivant (d'après **MS 7**) apporte une classification possible des éléments chimiques en fonction de leur toxicité potentielle, la connaissance des niveaux d'exposition (concentration, durée) restant déterminante pour juger du risque réel.

Oligo-éléments indispensables aux végétaux ou animaux	Eléments essentiellement phyto-toxiques	Eléments essentiellement toxiques pour les animaux et pour l'homme	Eléments simultanément toxiques pour les végétaux et les animaux
Bore Cobalt Chrome Cuivre Molybdène Sélénium zinc	Bore Cadmium Cobalt Cuivre Lithium Nickel Etain Zirconium	Arsenic Baryum Bismuth Cadmium Molybdène Plomb Sélénium Cuivre *	Argent Cadmium Antimoine Béryllium Chrome Fluor Mercure

* la toxicité du cuivre est très variable chez les animaux.

Du fait de **sa** mobilité dans les sols, de **sa** capacité à s'accumuler dans les plantes et de **sa** toxicité pour l'homme, le cadmium est certainement le métal le plus préoccupant. D'ailleurs, il fait, d'une manière générale, l'objet de recommandations et de réglementations spécifiques :

- * limite préconisée par l'OMS dans l'apport alimentaire : **0,057** à 0,071 mg/j/individu ;
- le codex alimentaire propose pour les aliments les limites suivantes : légumes 0,1 mg/kg, céréales et produits dérivés 0,05 mg/kg.

. **Les risques** sanitaires liés à la présence de micropolluants organiques dans les eaux usées utilisées en agriculture apparaissent vraisemblablement très faibles, compte tenu des concentrations infimes rencontrées dans les eaux usées strictement urbaines et leur transfert limité vers les végétaux. La plupart des substances introduites dans la chaîne alimentaire ne représentera pas pour les animaux ni pour l'homme une situation nouvelle, mais une surcharge d'un système de détoxification de plus en plus sollicité par ailleurs.

Toutefois, un nombre sans doute faible de ces polluants, mais qui pourra être toxicologiquement significatif, risque de se trouver sous une forme chimique réactive nouvelle pour les systèmes de détoxification des animaux et de l'homme.

En définitive, l'utilisation de **ces** eaux pour l'irrigation de cultures de végétaux destinés à être consommés par l'homme ou l'animal pourrait présenter, au plan chimique, un facteur de risque pour la santé, notamment vis-à-vis d'éventuels effets à long terme. Cependant, aucune étude ne permet à ce jour de l'affirmer.

L'existence de **ce** risque potentiel ne conduira pas, dans l'état actuel des connaissances, à une interdiction a priori de l'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation de produits consommables (sinon, l'utilisation de certaines eaux superficielles utilisées actuellement pour l'irrigation et l'emploi de certains produits phytosanitaires seraient à condamner dans les mêmes termes). Il engage toutefois à une certaine prudence, notamment vis-à-vis des eaux usées urbaines qui présenteraient des caractéristiques très différentes des effluents domestiques et des concentrations importantes en substances toxiques.

III - **PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU**

Le seul examen des possibilités de transmission des maladies hydriques vers les populations placées directement en contact des effluents et de contamination des chaînes alimentaires n'est pas totalement suffisant pour apprécier pleinement le risque lié à un projet d'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation. Le risque de contamination des ressources en eau, superficielle et souterraine, mérite d'être soigneusement analysé.

Le risque de contamination des eaux souterraines est à examiner en considérant, d'une part, la capacité épuratoire du sol et, d'autre part, les caractéristiques des roches sous-jacentes et des réserves d'eau souterraine.

III-1 **EAUX SOUTERRAINES**

Vis-à-vis des contaminants présents dans les eaux usées, le sol assure à la fois une fonction de rétention et une fonction d'épuration.

La faculté de rétention du sol, de stockage et de restitution lente de l'eau infiltrée varie considérablement selon la nature des sols et leurs teneurs en argiles et matières organiques : elle sera forte dans les sols argileux, limoneux ou sableux fins, moyenne pour les sables et graviers, faible dans le cas de roches fissurées. Une bonne rétention facilitera l'assimilation par les plantes des éléments minéraux et des matières organiques dégradées.

La fonction épuration du sol **est assurée** grâce :

- à la fixation des substances polluantes (filtration, adsorption, précipitation) ;
- à la transformation notamment des molécules organiques (dégradation) ;
- à l'exportation par les végétaux.

Les réservoirs aquifères souterrains **se** distinguent en particulier en considérant leur perméabilité: les réservoirs présentant une perméabilité d'interstices (sables et graviers) permettent en général une bonne épuration des eaux, notamment lors de la traversée de la zone non saturée. **A** l'inverse, dans les réservoirs caractérisés par une perméabilité de fissures (calcaires et dolomies, granites, schistes,...) les processus de filtration, d'adsorption et de rétention seront limités.

Les nappes libres (qui ne rencontrent pas d'obstacle limitant leur développement vers le haut), souvent peu profondes, seront d'autant plus vulnérables aux pollutions qu'elles ne bénéficieront pas d'une bonne protection naturelle supérieure. Les risques de contamination des nappes captives, plus limités, seront liés à des mises en communication (par forage) avec un horizon aquifère pollué ou à l'existence de phénomènes de drainance.

Les risques liés à la réutilisation **des** eaux usées concerneront donc essentiellement les nappes libres, proches de la surface du sol, situées au sein de réservoirs caractérisés par une perméabilité de fissure. L'utilisation de ces ressources pour l'alimentation en eau des collectivités constitue un facteur aggravant le risque.

Seront à prendre en compte, plus particulièrement, les risques de contamination par les nitrates (liés à des apports d'azote supérieurs aux besoins des cultures) et par les composés organo-halogénés qui peuvent migrer en profondeur.

On notera toutefois l'intérêt que peut présenter, pour la protection des eaux souterraines, l'irrigation des cultures avec des eaux usées dans les régions caractérisées par l'absence de possibilités de rejet vers les cours d'eau ; très souvent, dans ces dernières, les eaux usées épurées sont en effet directement rejetées vers les eaux souterraines (gouffre, puits perdu,...).

III-2 EAUX SUPERFICIELLES

Des risques de contamination des eaux superficielles à partir d'eaux d'irrigation sont possibles, soit par ruissellement, soit par écoulement hypodermique.

Le détournement d'une partie des effluents rejetés vers les cours d'eau ou la mer pourra, dans certains **cas**, améliorer de manière significative la qualité des eaux superficielles. Cet aspect positif de l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation prend toute **sa** valeur lorsque **les** eaux superficielles sont utilisées pour la production d'eau de consommation ou réservées à des fins récréatives ou pour la culture des coquillages.

RECOMMANDATIONS INTERNATIONALES ET MESURES NATIONALES

IV-1 RECOMMANDATIONS INTERNATIONALES

a) Aspects microbiologiques :

Pour apprécier l'évolution des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé en matière d'utilisation d'eaux usées, on **se** reportera au rapport de P. BOUTIN présenté en 1989 devant la Section des Eaux du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.

Ci-après, sont présentées les dernières directives concernant la qualité microbiologique des effluents utilisés en agriculture (brochure OMS-778).

Tableau 3 Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées dans l'agriculture¹

Catégorie	Conditions de réutilisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux (nombre d'œufs par litre - moyenne arithmétique) ²	Coliformes intestinaux (nombre par 100 ml - moyenne géométrique) ³	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues des terrains de sport des jardins publics ⁴	Ouvriers agricoles consommateurs publics	≤ 1	≤ 1000	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent
B	Irrigation des cultures céréalières industrielles et fourragères des pâturages et des plantations d'arbres	Ouvriers agricoles	≤ 1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation mais au moins sédimentation primaire

¹Dans certains cas il faut tenir compte des conditions locales épidémiologiques socio-culturelles et environnementales et modifier les directives en conséquence
²Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes
³Pendant la période d'irrigation
⁴Une directive plus stricte (≤ 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct comme les pelouses d'hôtels
⁵Dans le cas des arbres fruitiers l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion

Les nouvelles directives tiennent compte du fait que, dans de nombreux pays, le principal **risque effectif** pour la santé est lié aux helminthiases : elles sont donc plus strictes pour ce qui est de la réduction du nombre d'œufs d'helminthes dans les effluents (*Ascaris*, *Trichuris* et *Ankylostomes*).

Les œufs d'helminthes doivent être éliminés à 99,9 % environ ; le traitement dans des bassins de stabilisation ayant un temps de rétention de 8 à 10 jours constitue une méthode particulièrement efficace. Les nématodes intestinaux devraient servir d'indicateurs de l'élimination des principaux agents pathogènes pouvant être **éliminés** par stabilisation.

Sur la base des données épidémiologiques actuelles, la qualité bactérienne recommandée pour les eaux usées destinées à l'irrigation non limitée de toutes les cultures est de 1000 coliformes fécaux par 100 ml (moyenne géométrique). Aucune norme bactérienne ne devrait être exigée quand les **ouvriers agricoles** sont les seules **personnes** exposées. Ces dernières recommandations ont **été** établies en considérant le fait :

- que des eaux superficielles de plus mauvaise qualité (coliformes > 10000/100 ml) étaient couramment utilisées en irrigation et arrosage **sans** aucune restriction ;

- que les exigences de qualité déjà préconisées en matière d'eau de baignade admettaient des niveaux de contaminations comparables : 1000 coliformes intestinaux/100 ml dans le cadre du programme de surveillance de la Méditerranée (PNUD-OMS) et 100 coliformes/100 ml par la CEE ;

- qu'il ne serait ni raisonnable ni rationnel de revenir aux directives antérieures qui étaient voisines de celles imposées aux eaux de boisson (22 organismes coliformes/1000 ml).

"Dans le **cas** des pelouses et des jardins publics **arrosés** (par aspersion) avec des eaux usées traitées, le risque potentiel pour la **santé** publique peut être plus grand que dans le **cas** de l'irrigation de légumes consommés crus. Le groupe scientifique réuni par l'Organisation Mondiale de la Santé a pris note de l'étude épidémiologique des effets sur la **santé** de l'arrosage des espaces verts avec des eaux usées régénérées, à Colorado Springs. D'après cette étude, les troubles gastro-intestinaux n'étaient pas plus fréquents chez les **personnes** ayant visité des parcs arrosés avec de l'eau non potable dérivée d'eaux usées que chez celles qui avaient visité des parcs **arrosés** avec des eaux de ruissellement, potables ou non. Cette étude recommandait néanmoins une norme de **200 coliformes** intestinaux par 100 ml pour l'arrosage des pelouses publiques. Le groupe scientifique a d'ailleurs estimé qu'il serait prudent d'adopter cette norme plus stricte. **En** général, la seule façon de respecter cette directive bactériologique est de procéder à un traitement biologique secondaire (bassins de stabilisation ou traitement classique), suivi d'une désinfection efficace. Pour éliminer les oeufs d'helminthes, un traitement supplémentaire serait nécessaire."

Le groupe d'experts de l'Organisation Mondiale de la Santé rappelle que les procédés de traitement classique (dépuration (décantation, traitement par boues activées, filtration biologique, aération en lagon) ne permettent pas d'atteindre les niveaux de qualité requis pour l'irrigation des cultures de la catégorie **A** (< 1000 coliformes intestinaux par 100 ml).

Pour l'élimination des nématodes, les bassins de stabilisation en série, ayant un temps de rétention total de 8 à 10 jours, sont préconisés.

La désinfection chimique (chloration notamment) des eaux brutes est considérée **comme** inadaptée : si elle permet (difficilement et à des prix élevés) de réduire le nombre de bactéries d'origine fécale, la chloration laisse totalement intacte les oeufs d'helminthes.

Enfin, les directives signalent la nécessité de parvenir **à** un niveau de qualité microbiologique élevé pour l'irrigation de certaines cultures, notamment celles de **légumes** destinés à être consommés crus (1000 coliformes intestinaux/100 ml).

Les valeurs proposées par le groupe d'experts de l'organisation Mondiale de la Santé peuvent aussi être rapprochées de celles fixées, au plan microbiologique, par la directive **CEE** du 30 octobre 1979 relative à la qualité requise pour les eaux conchylicoles : **ce** texte fixe à 300/100 ml le nombre de coliformes fécaux dans la chair des coquillages et le liquide intervalvaire, précisant que cette valeur guide devrait être impérativement respectée dans les eaux où vivent les coquillages directement comestibles pour l'homme.

b) Aspects *chimiques* :

Aucun texte réglementaire ou à caractère normatif ne vise la qualité chimique des eaux utilisées pour l'irrigation ou l'arrosage des cultures. Cependant, un tableau de recommandations (1972 - **PRATT**) est fréquemment cité dans la bibliographie.

Ce tableau est limité essentiellement au risque phytotoxique des micropolluants minéraux :

Tableau 1.23 : Concentrations maximales en éléments traces recommandées dans les eaux d'irrigation

Element	Recommended Maximum Concentration ¹ (µg/l)	Remarks
Al (aluminium)	1.0	Can cause non-productivity in acid soils (pH < 5.5), but more alkaline soils at pH > 7.0 will precipitate the ion and eliminate any toxicity.
As (arsenic)	0.10	Toxicity to plants varies widely, ranging from 12 µg/l for Sudan grass to less than 0.05 µg/l for rice.
Be (beryllium)	0.10	Toxicity to plants varies widely, ranging from 5 µg/l for kale to 0.5 µg/l for bush beans.
Cd (cadmium)	0.01	Toxic to beans, beets and turnips at concentrations as low as 0.1 µg/l in nutrient solutions. Conservative limits recommended due to its potential for accumulation in plants and soils to concentrations that may be harmful to humans.
Co (cobalt)	0.05	Toxic to tomato plants at 0.1 µg/l in nutrient solution. Tends to be inactivated by neutral and alkaline soils.
Cr (chromium)	0.10	Not generally recognized as an essential growth element. Conservative limits recommended due to lack of knowledge on its toxicity to plants.
Cu (copper)	0.20	Toxic to a number of plants at 0.1 to 1.0 µg/l in nutrient solutions.
F (fluoride)	1.0	Inactivated by neutral and alkaline soils.
Fe (iron)	50	Not toxic to plants in aerated soils, but can contribute to soil acidification and loss of availability of essential phosphorus and molybdenum. Overhead sprinkling may result in unsightly deposits on plants, equipment and buildings.
Li (lithium)	25	Tolerated by most crops up to 5 µg/l; mobile in soil. Toxic to citrus at low concentrations (<0.075 µg/l). Acts similarly to boron.
Mn (manganese)	0.20	Toxic to a number of crops at a few-teaths to a few µg/l, but usually only in acid soils.
Mo (molybdenum)	0.01	Not toxic to plants at normal concentrations in soil and water. Can be toxic to livestock if forage is grown in soils with high concentrations of available molybdenum.
Ni (nickel)	0.20	Toxic to a number of plants at 0.5 µg/l to 1.0 µg/l; reduced toxicity at neutral or alkaline pH.
Pb (lead)	50	Can inhibit plant cell growth at very high concentrations.
Se (selenium)	0.02	Toxic to plants at concentrations as low as 0.025 µg/l and toxic to livestock if forage is grown in soils with relatively high levels of added selenium. An essential element to animals but in very low concentrations.
Sb (tin)	—	Effectively excluded by plants; specific tolerance unknown.
Ti (titanium)	—	Effectively excluded by plants; specific tolerance unknown.
T (tungsten)	—	Effectively excluded by plants; specific tolerance unknown.
V (vanadium)	0.10	Toxic to many plants at relatively low concentrations.
Zn (zinc)	20	Toxic to many plants at widely varying concentrations; reduced toxicity at pH > 6.0 and in fine textured or organic soils.

¹ Adapted from National Academy of Sciences (1972) and Pratt (1972).

² The maximum concentration is based on a water application rate which is consistent with good irrigation practices (10 000 m³ per hectare per year). If the water application rate greatly exceeds this, the maximum concentrations should be adjusted downward accordingly. No adjustment should be made for application rates less than 10 000 m³ per hectare per year. The values given are for water used on a continuous basis at one site.

IV-2 REGLEMENTATION NATIONALE

a) Epannage des eaux usées :

Au plan réglementaire, la question de l'utilisation des eaux usées urbaines (par épandage) est traitée suivant deux axes complémentaires : l'un concerne la protection des ressources en eau, l'autre les aspects hygiéniques.

- Protection des ressources en eau

Outre la possibilité toujours offerte aux Préfets d'interdire purement **et** simplement ou de réglementer ces pratiques à l'intérieur des périmètres de protection (application de l'article L 20 du Code de la Santé Publique), la loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution et ses textes d'application (décret n° 73-218 du 23 février 1973, **arrêtés** du 15 mai 1975) permettent de soumettre à autorisation préfectorale les rejets d'eaux usées y compris lorsqu'ils sont réalisés par épandage. Cette procédure sera requise par tout rejet d'une certaine importance lorsque ses caractéristiques dépassent les seuils définis par voie réglementaire, seuils dits "de nocivité négligeable" (arrêté du 15 mai 1975, ex : flux de pollution supérieur à 500 éq. habitants).

L'autorisation de rejet (ou d'épandage) est accordée, en prenant en compte les objectifs de qualité du milieu récepteur ; seront ainsi introduites des contraintes d'épuration compatibles avec la qualité du milieu récepteur.

La circulaire d'application du 4 novembre 1980 apporte quelques commentaires sur la notion de rejet vers le sol :

"Le rejet à la surface ou à faible profondeur dans le sol d'effluents convenablement prétraités peut constituer un moyen efficace de préservation de la qualité des eaux en utilisant au mieux l'aptitude du sol à retenir et dégrader de nombreuses substances polluantes.

Les caractéristiques du dispositif à mettre en place et les exigences de traitement préalable des effluents ne peuvent être définies qu'après une étude de chaque **cas** particulier portant notamment sur les caractéristiques du sol et la vulnérabilité des eaux souterraines.

On n'admettra l'épandage que des effluents débarrassés des matières en suspension susceptibles de compromettre le fonctionnement des ouvrages de distribution, par simple dégrossissage dans le **cas** d'épandage de surface en billon ou en planche, par des procédés plus fins (décantation, tamisage, etc) dans celui d'un épandage souterrain par drain.

Les dispositifs d'aéroaspersion générateurs de brouillards fins et l'épandage sur des cultures dont les produits consommés crus sont susceptibles d'une contamination directe du fait de la technique employée ne seront pas admis, à moins que l'effluent n'ait subi une décontamination microbiologique efficace.

Un lagunage assurant un temps de rétention d'au moins quarante-cinq jours est notamment capable de lever les limitations indiquées à l'alinéa précédent."

Pour des rejets de faible importance, seules des **règles** de distance par rapport aux points d'eau et aux cours d'eau et des **règles** de pente maximale sont introduites par le **règlement** sanitaire départemental.

- Aspects liés à l'hygiène

L'irrigation **des** cultures à partir d'eaux usées convenablement épurées n'est pas visée explicitement par le règlement sanitaire départemental. Le titre VIII du règlement-type (hygiène en milieu rural) ne vise que l'épandage des eaux usées brutes, des boues de station, des matières de vidange, des lisiers, ... Pour **ces** pratiques, il introduit une procédure de déclaration (à la **DDASS**) du plan d'épandage afin de juger de l'impact éventuel du projet sur la santé publique (identification des parcelles concernées, période et modalités d'épandage).

Aucune restriction vis-à-vis des cultures n'est apportée sauf en l'absence de plan d'épandage : dans ce cas, l'aspersion des cultures est interdite.

* Recommandations

On citera le manuel "Epandage des eaux usées" publié par le ministère de l'Agriculture en 1979. Il propose des mesures visant à réduire les risques sanitaires liés à l'aspersion.

b) *Valorisation agricole des boues de station d'épuration* :

Compte tenu des analogies pouvant exister entre la valorisation agricole des boues de station d'épuration et l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation, la réglementation relative aux boues de station d'épuration mérite d'être rappelée.

Au niveau européen, la directive n° 86/278/CEE du 12 juin 1986 relative à la protection de l'environnement, et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues de station d'épuration, a fixé :

- les valeurs limites des concentrations en métaux lourds dans les sols recevant des boues ;

mg/kg de matière sèche d'un échantillon représentatif des sols
dont le pH est de 6 à 7

PARAMETRES	VALEURS LIMITES
Cadmium	1 à 3
Cuivre	50 à 40
Nickel	30 à 75
Plomb	50 à 300
Zinc	150 à 300
Mercure	1 à 1,5
Chrome	100 à 200

- les concentrations en métaux lourds dans les boues ;

Valeurs limites de concentration en métaux lourds dans les boues destinées à l'utilisation en agriculture (mg/kg de matière sèche)

PARAMETRES	VALEURS LIMITES
Cadmium	20 à 40
Cuivre	1000 à 1750
Nickel	300 à 400
Plomb	750 à 1200
Zinc	2500 à 4000
Mercure	15 à 25
Chrome	1000 à 1750

- les quantités maximales de ces métaux pouvant être introduites dans les sols à destination agricole ;

Valeurs limites pour les quantités annuelles de métaux lourds pouvant être introduites dans les sols cultivés sur la base d'une moyenne de 10 ans (kg/ha/an)

PARAMETRES	VALEURS LIMITES
Cadmium	0,15
Cuivre	12
Nickel	3
Plomb	15
Zinc	30
Mercurure	0,1
Chrome	495

Cette directive demande également aux Etats membres d'interdire l'utilisation des boues :

- a) sur des herbages ou des cultures fourragères, s'il est procédé au pâturage ou à la récolte de cultures fourragères sur ces terres avant l'expiration d'un certain délai. Ce délai, qui est fixé par les Etats membres en tenant compte notamment de leur situation géographique et climatique, ne peut en aucun cas être inférieur à trois semaines ;
- b) sur des cultures maraîchères et fruitières pendant la période de végétation, à l'exception des cultures d'arbres fruitiers ;
- c) sur des sols destinés à des cultures maraîchères ou fruitières qui sont normalement en contact direct avec les sols et qui sont normalement consommées à l'état cru, pendant une période de dix-huit mois qui précède la récolte et pendant la récolte elle-même.

Les dispositions de cette directive, notamment celles concernant les valeurs limites des concentrations en métaux lourds dans les boues et dans les sols les recevant ont été introduites au plan national par l'arrêté interministériel du 29 août 1988 portant application obligatoire de la norme NFU 44.041 (juillet 1985) concernant les matières fertilisantes et les boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines. Cette même norme introduit également une définition des effluents urbains réputés à caractère domestique (DCO/DBO5 <= 2.5 ; DCO <= 750 mg/l ; NKT <100 mg/l).

PARTIE II

**Recommandations sanitaires concernant
l'utilisation, après épuration, des eaux résiduaires urbaines
pour l'irrigation des cultures et des espaces verts**

(juillet 1991)

PREAMBULE :

L'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, présenté ci-après, définit des orientations **permettant** de guider les autorités locales et les responsables de projet ayant à traiter de problèmes liés à l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des cultures et des espaces verts ; il est émis, en considérant :

- l'intérêt non négligeable que peut présenter, **dans** certaines régions où les ressources en eau sont en quantité plus limitée, notamment en période estivale, l'utilisation des eaux usées convenablement épurées ;
- l'amélioration qui peut être attendue, dans certains **cas**, de la qualité des eaux souterraines et **des** eaux superficielles (eaux continentales et eaux **marines**) et, par conséquent, de la sécurité et de la salubrité des usages réservés à **ces** eaux (production d'eau destinée à la consommation humaine, eaux de baignade, aquaculture) ; l'irrigation réalisée avec des eaux usées convenablement épurées permet, à certaines périodes, d'éviter des rejets susceptibles de contribuer à la détérioration des eaux superficielles.

Cet avis porte uniquement sur l'utilisation des eaux résiduaires urbaines convenablement épurées, pour la seule irrigation des cultures et des espaces verts, **c'est-à-dire** pour la couverture rationnelle des besoins en eau des végétaux ; l'utilisation du sol comme moyen d'évacuation et d'épuration des eaux usées urbaines n'est pas concernée par **ces** recommandations. Il a été établi à partir de recommandations internationales et de la situation nationale, en fonction des connaissances disponibles.

A l'initiative des autorités et **des** organismes compétents, les premières applications qui seront mises en oeuvre, devront servir de support au développement de recherches complémentaires visant à améliorer l'appréciation du risque sanitaire et à mettre au point des techniques nouvelles améliorant la sécurité des installations. Les points suivants mériteront un effort tout particulier :

- suivi de l'évolution dans l'eau (eaux usées, eaux d'irrigation, aérosols), dans le sol et dans les produits alimentaires des paramètres chimiques et microbiologiques (notamment les oeufs d'helminthes intestinaux, cryptosporidium et giardia) ;
- approche épidémiologique notamment vis à vis des professionnels exposés et des populations fréquentant les zones irriguées par aspersion (golfs, jardins publics,...) ;
- recherche et mise au point de procédés nouveaux d'épuration, de stockage et d'irrigation, visant à améliorer la décontamination des effluents et à réduire les risques de transmission des agents pathogènes.

Le Conseil demande, en outre, que soient examinés aux plans national et international (notamment communautaire), comparativement avec les exigences émises en matière d'utilisation d'eaux usées, les risques liés :

- **à l'irrigation des cultures avec des eaux superficielles ne présentant pas la qualité requise pour les eaux usées épurées ;**

- a la consommation de produits maraîchers importés arrosés avec des eaux usées, sachant que, dans certains pays, les contraintes sanitaires relatives à l'épuration des eaux usées, au mode d'irrigation et au choix des cultures sont loin d'être respectées.

Enfin, il suggère :

- que soit préparé, au niveau national, un guide sur ce sujet à l'usage des techniciens des collectivités locales et des concepteurs de projet en s'inspirant des réalisations faites tant en France qu'à l'étranger ;

- qu'une information des élus soit organisée à terme dans le but notamment de les sensibiliser aux différents aspects (sanitaires, sociaux,...) de l'utilisation des eaux usées ;

- qu'un bilan des recommandations émises dans le présent avis soit réalisé dans un délai de cinq ans,

AVIS :

Dans l'état actuel des connaissances, tel qu'il a été présenté par l'Organisation Mondiale de la Santé (brochure n° 778 - 1989) et après examen des risques auxquels sont éventuellement exposés les personnels d'exploitation placés quotidiennement au contact des eaux usées, les populations susceptibles de consommer des produits cultivés avec des effluents traités et les personnes vivant à proximité des zones ainsi irriguées, notamment celles **exposées** à d'éventuels aérosols, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France émet un avis favorable, **sous les réserves définies ci-après**, au principe de l'utilisation des eaux usées urbaines après épuration.

Les réserves émises concernent principalement :

- la protection **des** ressources en eau souterraine et superficielle ;

- la restriction des usages en fonction de la qualité des effluents épurés ;

- les réseaux de canalisation "d'eaux usées épurées" ;

- la qualité chimique des effluents épurés ;

- **le** contrôle des règles d'hygiène applicables aux installations d'épuration et d'irrigation ;

- la formation des exploitants et des contrôleurs.

Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France attire toutefois l'**attention** sur le risque (non maîtrisé) auquel pourraient être exposées les populations si la totalité des restrictions émises **dans** l'avis n'était **pas** scrupuleusement respectée, notamment pour ce qui concerne le choix des cultures à irriguer, les niveaux de qualité attendus en matière d'épuration des eaux résiduelles et l'impact éventuel **sur** les ressources en eau en général.

1 - **PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE ET SUPERFICIELLE**

a) *Etude préalable* :

L'autorisation préfectorale, délivrée en application du décret n° 73-218 du 23 février 1973 pris en application de la loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux, doit être requise pour tout projet d'utilisation d'eaux usées urbaines. Cette procédure permet de vérifier la compatibilité du projet avec la protection et la vocation des milieux récepteurs, souterrains ou superficiels.

Il convient cependant d'adapter l'étude préalable exigée au titre de cette réglementation en introduisant le recueil des informations suivantes :

- les caractéristiques générales du site (topographie, géologie, hydrologie superficielle ou profonde, pédologie,...),
- * les conditions climatiques locales,
- les caractéristiques du projet d'irrigation : caractéristiques des eaux usées (origine des eaux, quantité, principales caractéristiques physico-chimiques), besoins en eau des végétaux, fréquence et conditions d'apport en fonction des capacités d'absorption et d'échange des sols, devenir des eaux usées en dehors des **périodes** d'utilisation pour l'irrigation,
- * les autres exutoires disponibles.

Cette étude doit permettre notamment d'évaluer les risques de contamination des captages d'eau destinée à la consommation humaine ainsi que les risques d'altération des ressources en eau particulièrement vulnérables (zones karstiques, terrains présentant une protection naturelle insuffisante,...).

Outre le besoin d'irrigation, un projet d'utilisation d'eaux usées peut avoir pour objectif l'amélioration de la protection des ressources en eaux superficielles (par détournement temporaire d'un rejet existant par exemple). L'étude d'impact doit, dans ce cas, comporter toute information permettant d'apprécier les améliorations poursuivies : connaissance des débits du cours d'eau récepteur, qualité du milieu notamment au droit des usages, objectifs de qualité....

L'arrêté d'autorisation fixera, outre les débits journaliers autorisés, les périodes d'irrigation, le niveau de qualité du rejet, la périodicité des contrôles, les distances à respecter vis-à-vis des berges des cours d'eau, des lacs et des étangs.

b) *Adaptation de la réglementation générale* :

Dans certaines zones particulièrement vulnérables (zones karstiques en particulier), le seuil dit "de nocivité négligeable" (fixé par l'arrêté du 15 mai 1975 à 500 eq. habitants) en dessous duquel l'autorisation susmentionnée n'est pas requise devra impérativement être abaissé par décision du Préfet.

Du fait des risques potentiels de contamination des eaux souterraines qui peuvent être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, il est demandé, pour le moins, d'interdire tout projet d'utilisation d'eaux usées dans les périmètres de protection immédiate et rapprochée des points de prélèvement d'eau d'alimentation.

c) *Plan d'irrigation* :

En dessous des seuils dits de "nocivité négligeable", lorsqu'aucune autorisation n'est requise, les installations d'irrigation devront cependant respecter les dispositions relatives à la protection des ressources en eau, telles qu'elles ont été définies pour l'épandage des eaux usées par le Règlement Sanitaire Départemental (article 159).

Ainsi, conformément à ce règlement, lorsqu'un plan d'irrigation sera établi **et** qu'il aura reçu l'approbation de l'autorité sanitaire départementale, les dispositions prévues par ce plan (qualité et quantité d'effluents utilisés, modalités et périodes d'irrigation, parcelles de terrain concernées) seront seules applicables. En l'absence de plan d'irrigation régulièrement déclaré, l'aspersion sera interdite et l'utilisation agricole ne sera autorisée que sur des terres labourables, si elle est pratiquée :

- hors des terrains affectés ou qui seront affectés dans un délai d'un an à des cultures maraîchères ;
- à plus de 200 mètres des cours d'eau si la pente du terrain est supérieure à 7 %.

2 - RESTRICTION DES USAGES EN FONCTION DE LA QUALITE DES EFFLUENTS EPURES

Pour assurer la protection de la santé publique et, en particulier, celle du personnel placé à titre professionnel au contact des eaux usées, du consommateur final **et** de la population vivant au voisinage des zones d'irrigation, il convient de respecter strictement les contraintes sanitaires portant à la fois sur la restriction des cultures et la qualité des eaux **usées** épurées, le **mode** d'irrigation jouant également un rôle de tout premier plan en ce qui concerne notamment la propagation à distance d'éventuels agents pathogènes.

D'une manière générale, il conviendra de favoriser le développement des projets d'utilisation d'eaux usées épurées, basés sur un plan de gestion rigoureux :

- **qui suppriment ou réduisent fortement les possibilités de contact entre les populations et l'eau et les risques de contamination des chaînes alimentaires ;**
- **qui limitent la dispersion des effluents, le recours à l'aspersion devant seulement être toléré lorsque des nécessités hydrologiques l'imposent.**

En **se** référant aux travaux de l'Organisation Mondiale de la Santé (1989), il est proposé de retenir trois catégories de contraintes sanitaires C, B et **A** exprimant des risques croissants liés aux types d'utilisation projetés et aux modalités d'irrigation.

2-1. - CONTRAINTES DE TYPE C

S'agissant de la qualité microbiologique des eaux usées, aucune limite n'est fixée dans la mesure où les techniques mises en jeu et les types de cultures irriguées assurent une rupture de la chaîne de transmission des risques hydriques. Il s'agit principalement des techniques d'irrigation souterraine ou localisée (micro-irrigation), pour des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des vergers et des zones forestières mais aussi pour les espaces verts non ouverts au public.

Pour des considérations d'ordre technique (hydraulique, colmatage,...), une épuration préalable des effluents sera cependant nécessaire.

2-2. - CONTRAINTES DE TYPE B

Niveau de contraintes : Oeufs d'helminthes intestinaux (ténia, ascaris) \leq 1/litre

Le respect du niveau de contraintes de type B vise à assurer une protection des populations vis-à-vis du risque parasitologique, en particulier vis-à-vis des personnels des exploitations agricoles irriguées ; ce niveau est requis pour l'irrigation par voie gravitaire ou à la raie des vergers, des cultures céréalières et fourragères, des pépinières et des cultures de produits végétaux consommables après cuisson (pommes de terre, betteraves, choux, carottes...).

L'irrigation par aspersion de ces cultures, des prairies de pâtures ou de fauche ainsi que l'arrosage (par aspersion) d'espaces verts inaccessibles au public sont tolérés avec ce niveau de qualité sous réserve que :

- l'aspersion soit réalisée à une distance suffisante des habitations, des zones de sport et de loisir, prenant en compte les conditions climatiques locales (cette distance ne doit pas être inférieure à 100 mètres) ;
- soient mis en place des obstacles ou des écrans (arbres) limitant la propagation des aérosols et soit évité l'arrosage direct des voies publiques de communication ;
- la protection des personnels d'exploitation contre les risques d'inhalation des aérosols soit suffisamment assurée.

Les terrains de sport utilisés plusieurs semaines après l'arrosage peuvent être irrigués avec des eaux usées respectant le niveau de contraintes de type B.

A titre indicatif, le niveau de contraintes de type B peut être atteint par une série de bassins de décantation, présentant un temps de séjour d'une dizaine de jours, ou par tout autre procédé présentant une efficacité équivalente.

2-3. - CONTRAINTES DE TYPE A

Niveau de contraintes : Oeufs d'helminthes intestinaux (tenia, ascaris) \leq 1/litre et coliformes thermotolérants \leq 10 000/litre

En introduisant une exigence supplémentaire de qualité bactériologique, le niveau de contraintes de type **A** vise à assurer, outre la protection des personnels des exploitations et du bétail, celle des consommateurs de produits pouvant être consommés **crus** ; cette exigence de qualité doit être complétée par la mise en oeuvre de techniques d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes : irrigation gravitaire, arrosage sous frondaison,....

Ce niveau sera également toléré pour l'arrosage des terrains de sport (golf) et d'espaces verts ouverts au public, sous réserve du respect simultané des contraintes suivantes :

- l'irrigation par aspersion doit être réalisée en dehors des heures d'ouverture au public ;
- les asperseurs doivent être de faible portée ;
- les conditions de distance vis-à-vis des habitations énoncées pour les contraintes de type B doivent être respectées.

A titre indicatif, le niveau de contraintes de type **A** peut être atteint par un traitement en bassins de lagunage naturel ou par tout autre dispositif permettant une efficacité équivalente. Un temps de séjour d'environ 30 jours des effluents dans les bassins dans de bonnes conditions de conception, d'exploitation et d'éclairage peut permettre d'atteindre le niveau de qualité bactériologique requis.

4 - RESEAUX DE RESEAUX D'EAUX USEES EPUREES

Les dispositions du règlement sanitaire départemental concernant les réseaux de distribution d'eau non potable doivent être appliquées au cas particulier des réseaux d'eaux usées sous pression. Ainsi doit être interdite toute interconnexion entre le réseau d'eaux usées épurées et le réseau d'eau destinée à la consommation humaine.

Le réseau de canalisations d'eaux usées épurées doit être inaccessible au public et à toute personne étrangère au service d'exploitation.

5 - QUALITE CHIMIQUE DES EAUX USEES TRAITES POUR L'IRRIGATION DES CULTURES

Les effluents à dominante domestique définis par la norme NFU 44041 peuvent être utilisés, après épuration, pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts. L'utilisation d'effluents à caractère non domestique, du fait de la présence possible (en quantité excessive) de micropolluants chimiques minéraux ou organiques, reste assujettie à un examen particulier de leur qualité chimique ; dans certains cas, elle pourra être interdite.

Quel que soit le cas, le dossier de demande d'autorisation de rejet requise au titre de la police des eaux (chapitre 2) devra comporter :

- des informations précises sur la nature et l'importance des produits déversés lors du rejet d'effluents industriels dans le réseau d'assainissement ;
- au moins une analyse sur l'effluent traité portant sur les paramètres globaux de pollution (MES, DBO5, DCO, NKT), les métaux lourds visés dans la norme **NFU 44041** et les substances organiques susceptibles d'être rencontrées en quantité importante;
- une analyse sur les boues produites par la station d'épuration (norme **NFU 44041**).

Lorsque les valeurs des concentrations mesurées sur les boues dépassent, pour au moins un paramètre concernant les éléments traces (**Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn**) les niveaux **fixés** par la norme, un examen plus précis de la qualité de l'eau épurée devra être effectué, notamment si cette eau est destinée à l'irrigation des cultures maraîchères, céréalières, industrielles et fourragères ainsi qu'aux pâturages.

L'autorisation de rejet accordée devra être réexaminée notamment :

- si les eaux résiduaires utilisées ont subi un enrichissement important en substances toxiques ;
- si les valeurs limites relatives aux quantités annuelles de métaux lourds pouvant être ajoutées dans les sols cultivés, introduites par norme **NFU 44041**, ne sont pas respectées.

Il importe également de connaître et de vérifier régulièrement la composition des eaux usées épurées en éléments fertilisants (N, K, P). Ces données permettront d'adapter en conséquence les éventuels apports nécessaires au plan agronomique et d'éviter les apports excessifs d'azote.

6 - CONTROLE DES REGLES D'HYGIENE APPLICABLES AUX INSTALLATIONS D'EPURATION ET D'IRRIGATION

6-1. - PROCEDURES ADMINISTRATIVES

Outre les procédures visées au chapitre 1 requises pour assurer la protection des ressources en eau, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France propose que soit soumis à autorisation du Préfet, après avis du Conseil Départemental d'Hygiène, tout projet d'utilisation d'eaux usées pour lequel l'eau épurée doit présenter un niveau de qualité **A**.

Cette procédure permettra :

- de vérifier que les conditions de restriction de culture définies ci-avant sont effectivement respectées au niveau des projets ;
- d'exercer normalement la mission de contrôle des règles d'hygiène sur les installations en cours de fonctionnement ;
- d'informer et de conseiller les exploitants.

- d'informer et de conseiller les exploitants.

Cette procédure pourrait être introduite par un décret pris en application de l'article L 1 du Code de la Santé Publique.

Pour des rejets soumis à autorisation dans le cadre de l'application de la loi du 16 décembre 1964, l'instruction des deux procédures pourrait être réalisée simultanément afin de ne pas multiplier les contraintes administratives.

6-2. - SUIVI ET CONTROLE DES INSTALLATIONS

Il convient de distinguer :

- le suivi de fonctionnement des ouvrages d'épuration permettant d'atteindre le niveau de qualité requis ; celui-ci sera assuré par la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales, soit directement, soit en s'appuyant sur le Service d'Assistance Technique aux Exploitants de Stations d'Épuration (SATESE). Les fréquences de passage de ces services devraient être augmentées notamment lorsqu'un niveau de qualité A est exigé.

Des analyses microbiologiques et des analyses chimiques portant sur les éléments fertilisants doivent être réalisées régulièrement (au moins une fois par trimestre) sur l'effluent épuré. Lorsque les eaux usées épurées sont utilisées pour l'irrigation de végétaux susceptibles d'être consommés par l'homme ou le bétail, ces déterminations seront complétées par des recherches de micropolluants spécifiques, nickel et cadmium en particulier ; la recherche d'autres métaux lourds et de substances organiques sera effectuée si la nature et l'importance des déversements réalisée en amont de la station le justifient ;

- le contrôle des règles d'hygiène fixées en matière d'irrigation des cultures : celui-ci doit être assuré par la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales, notamment dans le cas de cultures devant répondre au niveau de contraintes A ;

- le contrôle des végétaux (mesure du cadmium) qui doit être effectué par les services compétents.

6-3. - BILAN PERIODIQUE

Pendant une période de cinq ans, un bilan périodique sera réalisé par la Direction Départementale des **Affaires** Sanitaires et Sociales et présenté devant le Conseil Départemental d'Hygiène, et si nécessaire, devant le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.

A l'issue de ce bilan, un retrait des autorisations accordées doit être étudié si les recommandations du présent avis ne sont pas respectées.

7- FORMATION DES EXPLOITANTS ET DES CONTROLEURS

Les personnels d'exploitation, les agents chargés du contrôle ou de l'assistance technique aux exploitants de stations d'épuration, et le cas échéant, les agents de laboratoires agréés doivent recevoir une formation adaptée (hygiène, risque sanitaire, qualité des eaux, auto-contrôle, analyse,...).

BIBLIOGRAPHIE

(Principaux documents ayant été utilisés
par le GROUPE DE TRAVAIL)

O.M.S. (1989)

L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture :
recommandations à visées sanitaires.
Rapport technique n° 778-82p, Genève.

O.M.S. (1983)

Les problèmes de santé posés par la réutilisation des effluents
traités : rapport sur une réunion de l'OMS, Alger, 1-5 juin 1980.
Rapport Euro 42 bureau de l'Europe, Copenhague.

O.M.S. (1973)

La réutilisation des effluents. Méthodes de traitement des eaux
usées et mesure de protection sanitaire,
Rapport technique n° 517, 68p, Genève.

WORLD BANK, O.M.S. (1985)

Le rapport d'Engelberg sur les aspects sanitaires de
l'utilisation des eaux usées et des excréments en agriculture et
en aquaculture.
IRCWD News n° 23, 11-18

IRCWD (1988)

Human Wastes : health aspects of their use in Agriculture,
IRCWD News n° 24/25, 1-26.

PROST, BOUTIN (1989)

Le risque infectieux lors de l'utilisation des eaux usées en
Agriculture.
TSM-L'EAU janvier 1989, p27-33.

RODIER-BRISSAUD (1989)

Réutilisation des eaux usées par l'irrigation. Méthodologie.
Réalisations en France.
Etude Min. Santé. Université Sc. Techn. Languedoc 158 p.

BOUTIN (1989)

Les aspects sanitaires de la réutilisation des eau résiduares
urbaines. Evolutions récentes.
Avis au CSHPF - 21p.

CEFIGRE

Séminaire international sur la réutilisation des eaux usées,
Communications au Symp CEFIGRE 18-22 Sept 1989.

CROSS - STRAUSS - BLUM - FEACHEM (1985)

Health aspects of nightsoil and sludge use in Agriculture and
aquaculture.
IRCWD rapport n° 4 et 5 - 1985.

FEACHEM et coll (1983)

Sanitation and disease : health aspects of wcreta and waste
management.
Chichester - New York, J. Wiley and Sons.

- VALIRON (1983)
La réutilisation des eaux usées.
Lavoisier Tech Doc/Orleans BRGM 1983, 216p.
- MARESCA (1979)
L'épandage des eaux usées, Manuel de recommandations techniques.
La documentation Française, 175 p.
- PETTYGROVE - ASANO (1984)
Irrigation with reclaimed municipal wastewater, A guidance manual.
Sacramento, SWRCB 1984 518 p.
- PESCOD, ARAR (1988)
Treatment and use of sewage effluent for irrigation,
Sevenoaks, Butter worth 1988 397 p.
- SHUVAL, ADIN, FATTAL, RAWITZ, YEKUTIEL (1986).
Wastewater irrigation in developing countries : health effects and technical solutions.
Washington, World Bank, 1986, Pap n° 51, 325 p.
- MARA, CAIRNCROSS (1988)
Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture : method for public.
IRCWD News, vol 24-25 p 4-12.
- IAWPRC (1991)
Wastewater reclamation and reuse.
Dans Water Pollution Research and Control part 4 (kyoto 1990).
- BONTOUX (1989)
Recherche comparative France-USA sur la valorisation des eaux usées.
GRUTTEE Rapport 88 313.
- SCHWARTZBROD et AL (1991)
Virus pathogène pour l'homme susceptibles d'être rencontrés dans le milieu hydrique,
A paraître dans virologie milieu hydrique - Techn - Doc Lavoisier.
- STIEN SCHWARTZBROD (1988)
Viability determination of Ascaris eggs recovered from wastewater.
Env Techn Lett 9, 401-406 USEPA (1973).
- JOURNAL FRANÇAIS HYDROLOGIE (1989)
Risques épidémiogènes liés à l'utilisation des eaux résiduaires et des boues.
Ensemble des communications 123 p JFHD Tome 20 Fasc 1.
- SHUVAL et COLL (1985)
Epidemiological evidence for helminth and cholera transmission by vegetables irrigated by wastewater. Jerusalem, a case study.
Water Sc Techn, 84, 1, 27-33.

WARD et AL (1989)
Effect of wastemater spray irrigation on rotavirus infection rates in an exposed population.
Water research Vol 23 n° 12 p 1503-1509, 1989.

DURAND, RE et AL (1986)
Epidemiological investigation of community health effects of landscape irrigation using reclaimed wastewater.
The colorado springs study.

BOUTIN - TORRE - TOLEDE - MERCIER (1984)
Granulométrie des aérosols émis par des dispositifs d'aspersion d'eaux résiduaires traitées. Interprétation sanitaire.
T.S.M - L'EAU mars 1984 p 143 - 153.

CEMAGREF (1985)
Aérocontamination bactérienne aux abords d'épandages par aspersion. Evaluation du risque sanitaire.
Bordeaux, CEMAGREF, 1985, Etude n° 18 - 94 p.

CHANTEFORT - DRUILLES - BAYLET - HUET (1988)
Mesures de la contamination microbiologique de l'air.
T.S.M - L'EAU 1988, 78 p 95 - 98.

FAVRE (1982)
Aérocontamination des stations d'épuration.
These Doc Medecine 1982 Montpellier . Dir Prof. Baylet.

GALAIS (1982)
Risque de santé lié à la réutilisation des eaux usées.
These Doc Medecine 1982 Montpellier Dir Prof. Baylet.

Carrington (1980)
The fate of pathogenic micro-organisms during waste-water treatment and disposal.
Water Research Rapport tech n° 128 - 58 p.

MIN SANTE (1987)
Impact des polluants atmosphériques sur la santé du personnel d'une station d'épuration,
Etude MIN SANTE 1987 - 70 p.

AGENCE DE L'EAU SEINE NORMANDIE (1978)
L'épandage de 8 eaux résiduaires sur terrain agricole.
Paris, AFBSN, 1978, cah tech n° 8, 64 p.

AGENCE DE BASSIN RHONE MEDITERRANEE CORSE
Possibilités d'épandage des eaux urbaines Etude Bibliographique.
AGBRMC 1979 371 p.

LESTER (1983)
Significiance and behaviour of heavy metals in waste water treatment processes.I sewage treatment and effluent discharge.
Sci total Env 1983, 30, 1-44.

LESTER (1982)
Occurrence, behaviour and fate of organic micropolluants during waste water and sludge treatment processes.
Proc. CEE Workshop Stevenage 25-26 may 1982 Reidel Publishing Camp p 3-19.

ANTHONY BIEREI, KOZLOWSKI (1978)
Effects of municipal wastewater irrigation on select species of mammals.
Symp. Août 1978 Hanover N Hampshire vol 2 p 281-287.

BERTRAND et coll (1981)
Metal residues in tissues, animal performance and carcass quality with beef steers grazing Pen sacola bahiagrass pastures treated with liquid digested sludge.
J of Anim Sci, 1981, 53, 1, 146-153.

BRADFORD, PAGE, LUND, OLMSTEAD (1975)
Trace element concentrations of sewage treatment plant effluents and sludges. Their interactions with soils and uptake by plants.
J. env. qual, 1975, 4, 1, 123-127.

BRAUDE, RALSTON, JELINEK (1978)
Use of wastewater on land. Food chain concerns.
Proc Symp August 1978 Hanover N. Hampshire vol 1 p 59-65.

COLIN (1978)
Connaissances actuelles en matière d'utilisation des boues résiduaires urbaines
Rapport M ECV, IRH Nancy 1978, 177 p.

DEMIRJAN et COLL (1984)
Land treatment of contaminated sludge with wastewater irrigation.
JWPCF, 1984, 56, 4, 370-377.

GUIOLLOT, LETOLLE, PINTA (1980)
Le bore dans les effluents urbains.
T.S.M, 1980, 10, 511-575.

JOHNSON et COLL (1981)
Heavy metal retention in tissues of cattle fed high cadmium sewage sludge.
J. Anim. Sci, 1981, 51, 1, 108-114.

JOLLEY (1975)
Chlorine - containing organic constituents in chlorinated effluents.
JWPCF, 1975, 47, 3, 601-618.

JUSTE (1983)
Problèmes posés par l'évaluation de la disponibilité pour la plante des éléments traces du sol et de certains éléments organiques.
Bull ADES Science du sol, 1983, 2.

- LOUE A (1986)**
Les oligo-éléments en agriculture.
Agri. Nathan International 1986,
- MAJETI, CLARK (1987)**
Health risks of organics in land application.
JEED 1981, 4, 339-357.
- MALGRAS (1980)**
Les métaux lourds dans les eaux résiduaires urbaines.
Possibilités d'utilisation agricole des boues.
Memoire Ing ENSP Rennes 1980.
- MUSTIN (1987)**
Le compost, gestion de la matière organique.
Ed Dubusc, Paris, 1987.
- NAHEED, ARIZ (1988)**
Qualitative assessment of raw sewage effluents and accumulation
of heavy metals in some vegetables.
Env. Technol. Lett. (1988) 9, 251-259.
- OLIVER, COSBROVE (1990)**
Metal concentrations in the sewage, effluents and sludges of some
southern Ontario wastewater treatment plants.
Env letters, 1075, 9, 1, 90.
- OVERCASH (1978)**
Lagoon pretreatment : heavy metal and cation removals.
J.W.P.C.F, 1978, 8, 2029-2036.
- PERIERES, MAFFEIS, GUETTIER (1986)**
Inventaire des sources émettrices de métaux lourds et politique
de réduction des émissions.
Rapport CEE, dec 1986.
- SCHIRADO et coll (1986)**
Evidence for movement of heavy metal in a soil irrigated with
untreated wastewater,
J Env Qual, 1986, 15, 1, 9-12.
- SUFFERN, FITZGERALD, SZLUHA (1981)**
Trace metal concentrations in oxidation ponds.
JWPCF 1981, 53, 11, 1599-1608.
- SIDLE, HOOK, KARDOS (1977)**
Accumulation of heavy metals in soils from extended wastewater
irrigation.
JWPCF, 1977, 2, 311-318.
- WEBBER (1972)**
Effects of toxic metals in sewage on crops,
Wat. Pollut. Control 1972, 404-413.

- WRIGHT et coll (1989)
 Fractionation of mutagens from municipal sludge and wastewater.
 EPA/600/S1-89/001 Aug 1989. Reserch Development.
- BROWN, DONNELLY (1988)
 The stability and mobility of mutagenic activity from wastewater
 and sludge in agricultural soils.
 EPA/600/S1-88/002 sep 1988. Research Development.
- BOISSBT (1989)
 Données toxicologiques sur l'exposition environnementale au
 cadmium.
 Rapport CSHPF. 15 nov 1989.
- FAO (PRATT 1972)
 - Recommended maximum concentrations of trace elements in
 irrigation water.
 - Guidelines, for interpretations of water quality for
 irrigation.
 - Crop tolerance and yield potential of selected crops as
 influenced by irrigation water salinity or soil salinity.
 Dans FAO Seminar CAIRE EGYPTE 11-15 dec 1988 communicat ARAR-
 BISWAS.
- BRISAUD, MOREL, SIMON, RIOU (1986)
 Irrigation de culture maraîchère par les eaux usées urbaines
 traitées par infiltration percolation.
 Dans Eau, Ville, Developpement, Marseille 9-11/1986 p 79-84.
- DDA CHARENTE MARITIME (1981)
 Expérimentation d'irrigation à partir des eaux usées de la
 station de St George de Didonne.
 DDA " 106 p.
- CADILLON - MALAVAL - RIPERT - TREMEA (1986)
 Valorisation des eaux usées par l'irrigation en forêt
 méditerranéenne. L'expérimentation de Cogolin - Var.
 Dans foret mediterraneenne Vol 8, n° 2, p 151 -162.
- CADILLON, TREMEA (1989)
 La gestion des eaux usées adaptée au milieu naturel et humain.
 L'exemple d'Oppède.
 T.S.M l'EAU juillet 1989 p 423-427.
- CADILLON, COVA, JEUDI DE GRISSAC, TREMEA (1985)
 La gestion des ressources en eau sur l'île de Porquerolles.
 PAP " 3/ME/0503-83-05.
- CEMAGREF (1988)
 Réutilisation agricole des eaux résiduaires : étude de la
 contamination de l'atmosphère, des sols, des produits et des
 personnels sur le perimètre d'irrigation d'ARS en RE.
 Etude n° 37, 36p.

BRISSAUD (1989)

L'infiltration perodation sur sable principe et dimensionnement.
Communication Journee CEMAGREF 17/05/89 Lyon.

LESAVRE (1989)

Bassins d'infiltration. Inventaires des stations avec
infiltration-percolation-fiche-etude.
Communication Journee CEMAGREF 17/05/89 Lyon.

CEMAGREF (1985)

Etude au banc d'essai du comportement en eaux usées de matériel
de micro-irrigation.
CEMAGREF etude n° 37. Aix en Provence.

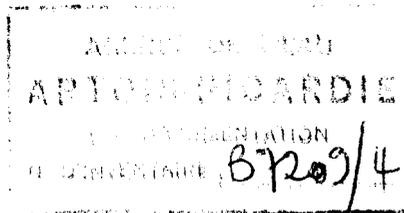
CARRE et coll (1989)

Effets d'un stockage sur les caractéristiques physico-chimiques,
microbiologiques et parasitologiques des boues biologiques.
Env Techno Letters, Vol 10, p 731-742.

CARRE et coll (1986)

Charge en métaux lourds, bactéries et virus présentés dans les
boues d'une station d'épuration par lagunage naturel.
Env Techno Letters, Vol 7, p 119-127.

--oOo--



2ème Conférence Professionnelle
"La réutilisation des eaux usées urbaines épurées"

*

Intervention de Monsieur Joël LEROGNON
de la Société d'Etudes et de Développement
pour l'Environnement

*

Mardi 9 Juin 1992

Les déchets : Un problème d'actualité

Le devenir des sous-produits résultant de notre vie quotidienne, des industries et des élevages constitue une préoccupation devenue prioritaire.

En effet, l'élimination sauvage et non contrôlée de ces produits conduit à des excès ponctuels, créant un déséquilibre dans le milieu naturel, conduisant à la pollution.

La limitation de l'utilisation des décharges complique encore l'élimination de ces sous-produits.

Il existe divers procédés de traitement, adaptés aux différents sous-produits.

Toutefois, la plupart des moyens de traitement conduisant à déplacer la pollution, créent des nouveaux sous-produits à éliminer.

Or, toute transformation est onéreuse et engendre des pollutions secondaires, parfois plus difficiles à éviter du fait de la concentration qu'il en résulte.

Il faut d'ailleurs savoir que près de 80 % de ces sous-produits sont d'origine **organique**. Ce sont principalement :

- les eaux résiduaires des industries agro-alimentaires,
- les boues de station de traitement, urbaines ou industrielles.
- les déjections animales,
- les **sous** produits d'industries telles que les papeteries.

La valorisation agricole : Une alternative intéressante

S'agissant de produits d'origine organique, le bon sens conduit à envisager le retour au milieu naturel de ces rejets.

En effet, la composition de ces produits se rapproche de celle des agents fertilisants nécessaires à la vie végétale.

Toutefois, si par leur composition, ceux-ci peuvent être considérés comme valorisables, ils n'apportent pas toujours la souplesse d'utilisation des engrais chimiques.

Il est évident que réaliser une adéquation entre ces sous-produits et les besoins des plantes, permettrait d'envisager une destination agricole.

L'**Épandage Agricole Contrôlé**, réalisé avec un professionnalisme très pointu, conformément aux exigences agronomiques et sans risque de provoquer localement des excès, conduit ainsi à une utilisation très bénéfique pour le monde agricole.

L'intérêt de cette filière est multiple :

- Elle est écologique et fiable car bien pratiquée, elle évite toute pollution.
- Elle est économique, pour le "pollueur" et peut se réaliser par étapes.
- Elle est valorisante pour l'agriculture, dans la mesure où elle participe à la fertilisation ou à l'amendement, et dans certains cas à l'irrigation.

Progression de l'Épandage Agricole Contrôlé

Les progrès réalisés dans la connaissance des sous-produits, l'étude des sols et les pratiques agronomiques, ont permis de cerner parfaitement les conditions requises pour que l'**Épandage Agricole Contrôlé** ne crée aucune perturbation pour l'Environnement.

Par ailleurs, la réalisation de l'opération pour être parfaitement fidèle aux prescriptions requises, implique de disposer de matériels bien spécifiques et bien adaptés.

De ce point de vue, l'évolution technologique a permis de réaliser des matériels et des Installations satisfaisantes à tous égards.

Enfin, la conduite de telles exploitations exige un professionnalisme confirmé que peuvent apporter les exploitants spécialisés dans ce métier.

Les méthodes de contrôle de ces opérations apportent la sécurité et vérifient la conformité avec les normes.

Quelles sont les étapes conduisant à la réalisation d'épandage ?

Une première phase, préalable et incontournable, est constituée par l'étude de périmètre.

Celle-ci permet de définir l'environnement et, en fonction des rejets susceptibles d'être valorisés, l'adéquation entre le milieu receveur et le produit lui-même peut être parfaitement précisée.

L'établissement d'un tel dossier comporte :

- une étude géologique et hydrogéologique,
- une étude pédologique conduisant à l'établissement d'une carte des sols.
- une étude agronomique permettant de définir les cultures réceptrices,
- une démarche auprès des agriculteurs pour les sensibiliser et obtenir leur adhésion à l'opération,

La nécessité d'établir des liens de partenariat avec le monde agricole constitue la base de la pérennité de cette opération.

Cette démarche conduit à la réalisation d'une carte d'aptitude à l'épandage et à l'établissement du planning régissant l'opération.

Ce dossier sert également à obtenir les autorisations préalables auprès des administrations, ainsi que les aides qui y sont attachées :

- Agence de l'eau pour le financement,
- DRIRE,
- DDA,
- Direction de la Santé,
- Services Vétérinaires,
- DDASS, DDE etc...

Une deuxième phase consiste en l'étude technico-économique

Cette étude est destinée à comparer les différentes filières techniques et à déterminer les coûts d'investissements et d'exploitation.

Selon qu'il s'agisse d'un épandage liquide ou solide, les techniques seront totalement différentes.

Pour une filière liquide, l'installation s'apparentera à une installation d'irrigation, mais utilisant des matériels adaptés à l'épandage.

Pour une filière solide ou pâteuse, l'épandage se fera à partir d'attelages équipés d'épandeurs conçus également pour de telles applications.

À côté des filières maintenant 'classiques' (liquide, solide, pâteuse) citons le développement possible de filières telles que le compostage, les mélanges, etc...

Comment réaliser ?

La filière liquide fait appel à des techniques très diverses : hydraulique, mécanique, électricité, terrassement.

Par ailleurs, les travaux d'installation doivent être réalisés en utilisant des matériaux tout à fait appropriés, et dans des temps très courts pour limiter toute gêne aux agriculteurs, en prenant des précautions particulières pour éviter tout mécontentement de leur part.

Ces installations ne peuvent être réalisées de façon satisfaisantes que par des entreprises spécialisées et disposant d'une expérience confirmée.

Comment bien exploiter ?

La conduite de ces installations d'épandage se heurte à diverses difficultés.

La variété des techniques utilisées :

- filière liquide et filière solide.
 - périodicité le plus souvent saisonnière.
 - main d'œuvre employée qu'une partie de l'année,
 - qualification à tous les niveaux pour respecter les exigences agronomiques, pour faire face à tous les aléas techniques qui sont nombreux compte-tenu de la variabilité des matériels et un comportement approprié à l'égard des agriculteurs.
- En effet, tout problème relationnel avec l'agriculteur risquerait de mettre en péril la pérennité de la filière.

La multiplicité des tâches incombant aux agents d'exploitation et les responsabilités encourues exigent une maîtrise bien rodée et parfaitement encadrée.

Le problème des distances, compte-tenu de la dispersion des sites ne facilite pas la tâche.

Ce métier nouveau s'apparente d'ailleurs à celui des autres exploitants des services publics, avec cette différence que les techniques sont plus variées et les responsabilités à certains égards plus grandes.

Toutefois, la recherche de Sociétés spécialisées est nécessaire, aussi bien pour l'agriculteur qui est assuré d'un travail sans reproches que pour l'industriel qui n'a pas à se préoccuper de tâches sortant de sa compétence, ainsi que pour les administrations, pratiquement assurées du respect des règlements,

Parmi celles-ci, nous citerons :

- EN FILIERE LIQUIDE

- La nécessité de disposer de techniques bien adaptées. Par exemple : les pompes doivent pouvoir véhiculer des effluents chargés sous des pressions élevées (20 bars).
- Les accessoires de stations doivent répondre à des normes en rapport avec ces pressions élevées, ce qui n'est pas courant en adduction d'eau.
- Les dispositifs de stabilisation ou de régulation doivent tenir compte de la nature des effluents, interdisant la plupart des appareillages traditionnellement utilisés en eaux propres.
- Les canalisations doivent être impérativement exemptes de risques d'incrustation ou de corrosion. Seules les matières plastiques sont envisageables à l'exclusion de tout autre matériau. Toutefois, les pressions très élevées nécessitent des produits n'existant pas dans le commerce et devant répondre à ces spécifications particulières.
- Le matériel de surface doit être également adapté à l'utilisation qui en est faite : les tuyaux mobiles ne peuvent être en matériaux rigides et corrodables.

Ils doivent permettre une manutention mécanisée.

- Les appareils d'arrosage correspondent à différentes exigences : absence de battance et d'aérosols, parfaite régularité des lames. et bonne maniabilité.

- EN FILIERE SOLIDE

- les préoccupations ne sont pas moindres, la nécessité d'épandre sur une grande largeur (plus de 12 mètres), bonne régularité d'épandage et la fiabilité indispensable compte-tenu des conditions de travail souvent très dures (aucun matériel traditionnel ne s'est révélé satisfaisant).
- Un souci de recherche permanent : la multiplicité des sous-produits destinés à être valorisés en agriculture, ainsi que les conditions très variables de réalisation de l'opération, conduisent à rechercher en permanence les meilleurs matériels aux prix les plus intéressants. Cette obligation conduit à se placer dans un contexte de recherche permanent, complété par les expérimentations sur le terrain.

- FORMATION

- Aucun cycle scolaire ou universitaire ne prépare à la réalisation des tâches que doit assumer le personnel chargé de l'exploitation de l'Epandage Agricole Contrôlé. Entre autres, les techniciens de suivi agronomique, les agents d'exploitation. Dans cette perspective, le projet de création de centre de formation permettrait de mettre à la disposition des exploitants, des industriels ou des collectivités, un personnel dont la formation est parfaitement ciblée,

à des réalisations probantes :

Depuis une dizaine d'années, l'Epandage Agricole Contrôlé a connu un développement spectaculaire.

- Dans l'industrie agro-alimentaire, une grande partie des IAA pratique l'Epandage Agricole Contrôlé. Toutefois, selon la qualité des études et les modalités d'exploitation, les résultats sont variables.

Néanmoins, des installations bien conçues et bien menées donnent entière satisfaction :

- * Sucreries : BEGHIN-SAY, BEAUCHAMPS, SAINTE-EMILIE, GENERALE SUCRIERF
- * Conserveries : BONDUELLE, DAUCY, CASSEGRAIN
- * Féculeries : FECULERIE DOITTAU, ROQUETTE
- * Laiteries : LAITERIE NOUVELLE DE L'ARGUENON
- * ETC...

- La valorisation des boues de stations connaît un grand essor
De nombreuses références :

- * Syndicat d'Assainissement de la Région Parisienne (SIAAP).
- * les villes de TOULOUSE, GUINGAMP, VERSAILLES, COLMAR, REIMS, EVRV, MARNE LA VALLEE...ETC...

- Des industries diverses :

- * Papeteries de KAYSERSBERG et de CONDAT
- * ETC

- Les déjections animales :

- * le lisier de porc et la fiente de volaille sont également concernés par cette technique. Toutefois, la nécessité du financement de la filière par les agriculteurs n'a pas encore conduit à un développement spectaculaire.

La position des Administrations face à cette pratique est variable.

Selon leur degré de compétence et de connaissance de ces problèmes, elles adoptent, soit un comportement moteur, soit plus réservé.

Il faut dire également que des réalisations mal conçues et mal exploitées n'incitent pas toujours à crédibiliser cette filière, d'où la nécessité d'une très grande exigence à l'égard de cette pratique.

Concernant les instances communautaires, beaucoup de décisionnaires sont favorables à la valorisation agricole. Toutefois, certains pays éprouvant des difficultés du fait d'une densité urbaine trop grande, ne sont pas favorables et cherchent à imposer des contraintes injustifiées, risquant de compromettre ce développement.

Il importe donc que les instances compétentes, convaincues de l'intérêt de l'Épandage Agricole Contrôlé influent sur la préparation des recommandations et des règlements communautaires.

Une grande chance pour la France

La France, parmi tous les pays de la Communauté Européenne figure parmi ceux qui sont le plus à même de pratiquer l'Épandage Agricole Contrôlé.

En effet, la SAU est suffisante pour recevoir tous nos sous-produits, voire même une partie de ceux de nos voisins.

Pour cette raison, l'extension de l'Épandage Agricole Contrôlé, technique beaucoup moins onéreuse que toutes les autres, constitue un atout important pour les industriels, les collectivités et les agriculteurs français. Les instances concernées doivent donc s'employer à la développer,

Cet avantage aura des conséquences importantes à l'avenir face à une Europe où la concurrence des prix jouera de plus en plus.

Un nouveau développement : label EUREKA

Reprenant les recommandations de l'OMS, le Conseil Supérieur de l'Hygiène Publique dans sa circulaire de juillet 1991, incite à une réutilisation en irrigation des eaux résiduaires traitées par les stations.

Une telle pratique permettrait d'éviter la pollution des rivières par des effluents traités mais non dénitrifiés, ni déphosphatés, de même qu'elle procurerait aux agriculteurs une possibilité d'irrigation intéressante alors que la pénurie d'eau s'accroît d'année en année.

L'objectif fixé par l'OMS est de récupérer ainsi d'ici l'an 2000, 10% de ces effluents en agriculture.

Toutefois, s'agissant des rejets de stations urbaines, de nombreux points d'interrogation subsistent sur le plan sanitaire (bactériologie, toxicité et virologie). Entre autre, la recherche de matériel approprié, évitant la propagation d'aérosols, a conduit à briguer le label EUREKA dans le cadre d'un projet communautaire d'études et d'expérimentation grandeur nature, sous la surveillance de hautes compétences internationales dans le domaine précité. Cette étude brigant l'éligibilité au label EUREKA.

Plusieurs collectivités participeraient à ces expérimentations :

- la ville de BAPAUME,
- le Syndicat du MONT-SAINT-MICHEL,
- les collectivités de la Vallée du DON.
- le Syndicat d'Assainissement de la région parisienne : Station d'ACHERES.

Le dossier est en cours d'élaboration pour présentation à la commission EUREKA.

Réserves et Limites

L'Épandage Agricole Contrôlé, pratique séduisante, puisqu'elle allie dépollution avec valorisation, présente une simplicité apparente et trompeuse, au point que des utilisateurs incompétents risqueraient de la pratiquer dans des conditions insatisfaisantes, affrontant des risques de désordre agronomique et écologique.

Pour cette raison, l'établissement de normes strictes et d'exigences sévères sur le professionnalisme des concepteurs et des exploitants conditionnent la validité de la filière.

Les réalisations de SEDE à ce jour, répondent à ces préoccupations, et constituent des références éloquentes qui crédibilisent cette filière en pleine expansion.

Joël LEROGNON
SEDE

LA VALORISATION AGRICOLE DES BOUES ET EFFLUENTS

Alternative intéressante a bien des égards, l'Epanchage Agricole Contrôlé offre des perspectives de développement pour trouver une destination a différents sous-produits tels que :

- les eaux résiduaires des industries agro-alimentaires,
- les boues de station de ville,
- les déjections animales.

Toutefois, une telle filière n'est valable que si elle se pratique avec un professionnalisme éprouvé et soumis à un contrôle rigoureux.

Cette technique est intéressante a bien des égards :

- Elle est écologique et fiable car bien pratiquée, elle évite toute pollution.
- Elle est économique car la plupart du temps, moins onéreuse pour le pollueur et permet un développement par étape.
- Elle est valorisante pour l'agriculture, dans la mesure où elle participe a la fertilisation et dans certains cas a l'irrigation.

Cette pratique, compte-tenu des progrès réalisés dans les techniques et les technologies utilisées connaît actuellement un succès croissant, les nombreuses références qui se multiplient d'année en année accroissent sa crédibilité.

Son intérêt pour notre pays est d'autant plus grand que la France dispose plus que ses voisins d'étendues agricoles pouvant bénéficier de l'Epanchage Agricole Contrôlé. C'est un atout pour la France. En effet, les pays a plus forte densité de population et au sous-sol déjà saturé sont obligés de recourir a des filières beaucoup plus contraignantes. A l'ouverture du Marché Commun, il s'agit là d'un atout qui doit être pris en considération.

Toutefois pour être crédible et pérenne, l'EAC doit être pratiqué avec professionnalisme et utiliser des techniques et des matériels appropriés.

Joël LEROGNON

SEDE

B72.9/5

2ème Conférence Professionnelle

"La réutilisation des eaux usées urbaines épurées"

*

**Intervention de Monsieur Dimitri XANTHOULIS
de la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux(B)**

*

Mardi 9 Juin 1992

PROBLEMES LIES A L'UTILISATION DES EAUX USEES URBAINES EN AGRICULTURE.

XANTHOULIS Dimitri: Maître de conférence à la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux - Unité d'Enseignement et de Recherche en Hydraulique agricole.

1. INTRODUCTION

Les eaux usées épurées peuvent être considérées comme une véritable ressource en eau pouvant contribuer à la **diminution du déficit hydrique**. Elles représentent aussi:

- un terme du bilan hydrique global **au même titre que les eaux superficielles et souterraines**;
- un **flux de** ressources permanentes et **en** accroissement continu;
- **des débits maîtrisés** immédiatement **disponibles**.

L'utilisation **des eaux usées en agriculture** offre d'autres avantages:

- la réduction de la pollution **des rivières** dans lesquelles elles sont **généralement** rejetées,
- un apport d'éléments fertilisants et de **micronutriments**, les matières **organiques** contribuent à l'enrichissement de la couche fertilisante du **sol**.

La réutilisation des effluents devient particulièrement intéressante **dans** les régions arides et semi-arides des pays industrialisés et des pays en voie de développement. Toutefois, cette pratique ne peut **se faire sans quelques** précautions **car** elle présente certains problèmes **sanitaires** pouvant être un danger pour **la santé publique**.

Nous illustrerons les différents **points** développés dans ce document par **des** résultats de l'équipe marocaine travaillant dans le **cadre** du projet **de réutilisation** des **eaux usées** à Ouarzazate.

2. LES CONTRAINTES A LA REUTILISATION

Plusieurs contraintes sont à prendre **en** considération dans la conception et la planification de **projets de réutilisation d'eaux usées**.

2.1. Aspect social

Les **habitudes locales** (par exemple la religion,...) peuvent influencer l'**acceptabilité** et le bon déroulement d'un projet. Les **contraintes sociales** proviennent aussi **des craintes** de risques **de nuisances, odeurs et contamination**.

Pour la **mise en oeuvre** d'un projet d'irrigation à **partir des eaux usées épurées**, la **participation des agriculteurs est un** facteur déterminant. Un effort d'information adéquate et de **vulgarisation est** nécessaire.

2.2. Aspect législatif

Il s'agit d'identifier **et de consulter** les **différents services** et ministères **compétents** dans **le domaine** ainsi que **de prendre connaissance** de la **législation** et les normes **officielles** existantes sur **le** sujet.

2.3. Aspect sanitaire

Les **effluents urbains** sont riches en **micro-organismes pathogènes**. **Même** après traitement, ces eaux restent encore chargées par **des parasites, des bactéries et des virus** qui peuvent nuire à la **santé de l'homme**.

Les ouvriers chargés **de** l'irrigation, les consommateurs des produits **agricoles**, les **eaux de la nappe** et les sols **peuvent être contaminés par** les germes pathogènes à l'origine de maladies. Les **aérosols** provenant de l'irrigation par **aspersion** peuvent également **contaminer les riverains proches du lieu de l'irrigation**.

En juillet 1985, un groupe de spécialistes de l'environnement et d'épidémiologistes, lors d'**une** rencontre à **Engelberg**, a formulé un projet de **lignes directrices** microbiologiques

sur la réutilisation des eaux usées en agriculture. Les lignes directrices du rapport d'Engelberg sont axées sur la norme suivante: pour les cultures de produits consommés crus, un effluent renfermant moins d'un oeuf d'helminthe par litre et dont la teneur en coliformes fécaux est inférieure à 1000/100 ml est acceptable. Cette norme est beaucoup plus souple que l'exigence californienne de 2,2 coliformes/100 ml. Ces directives sont particulièrement intéressantes parce que les critères fixés peuvent facilement être respectés au moyen d'étangs de stabilisation peu coûteux, qui conviennent bien aux pays en voie de développement. En 1991, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France a repris les directives O.M.S pour les appliquer en France.

2.4, Aspect agronomique

En plus de la composition biologique, un certain nombre de déterminations physiques et chimiques sur les effluents sont nécessaires pour raisonner leur utilisation à des fins agricoles dans le respect de la protection de l'environnement, du maintien de production des sols et de la qualité des produits. Le tableau 1 reprend les normes d'interprétation de la qualité des eaux d'irrigation.

Tableau 1 : Normes d'interprétation de la qualité de l'eau d'irrigation

Problème d'irrigation	Unité	Restriction à l'usage		
		aucune	modérée	sévère
		<0.7 <450	0.7-3.0 450-2000	>3 >2000
Infiltration				
SAR	d l'Ee	>0.7	0.7-2	<0.2
	0 à 3	>1.2	1.2-0.3	<0.3
	3 à 6	>1.9	1.9-0.6	<0.5
	6 à 12	>2.9	2.9-1.3	<1.3
	12 à 20	>5.0	5.0-2.9	<2.9
	20 à 40			
Toxicité spécifique				
Irrigation par aspersion				
Sodium (Na)	mg/l	< 70	> 70	
Chlore (Cl)	mg/l	<100	>100	
Bore (B)	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3
Éléments traces				
Autres effets				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5.0-30	>30
Bicarbonates	meq/l	<80	90-520	>520
pH		gamme normale 6.5 - 8.4		

La salinité globale des effluents peut réduire le rendement des cultures. **Les** sels présents **dans** le soi réduisent la quantité d'eau dont peuvent disposer **les** plantes cultivées au point de réduire le rendement. **Les** sols lourds **et/ou alcalins** supportent en général moins bien des qualités d'eau médiocres **du** point de vue salinité.

Les effluents urbains peuvent également contenir **des** éléments **nocifs** aux cultures **provoquant** une **diminution de** leur rendement tels que le sodium, le chlore, et le bore, **Ces** éléments ne portent leur effet **que sur la** productivité des **cultures**, contrairement aux **métaux** lourds qui portent leur effet **sur la santé** humaine et **animale**.

2.4.1. Effet de l'irrigation sur la végétation

Les effluents urbains contiennent **des** éléments **nutritifs** majeurs **et** mineurs indispensables aux **cultures**. Toutefois, ces éléments peuvent **se** présenter en quantité qui dépassent les besoins **des** cultures et **entraîner** des **anomalies** telles que la surcroissance **végétative** et l'altération de la qualité des produits.

Les concentrations de N, P et K **dans** les eaux épurées dépendent de l'origine des eaux brutes et du procédé **de** traitement. En première approximation, on peut admettre que pour une lame d'eau de 500 mm/an, la contribution de l'effluent **urbain** en fertilisants **est de :**

N -250 kg/ha.an

P - 50 kg/ha.an

K -150 kg/ha.an

Donc tout l'azote et une grande partie **du ph** **sphore** **et** **potassium** normalement requi pour la production agricole sont apportés par l'effluent.

Contrairement à l'idée généralement admise selon **laquelle** l'eau usée serait plus saline que l'eau d'irrigation traditionnelle à cause des apports domestiques, l'expérience de Ouarzazate (Maroc) a **montré** le contraire. La source d'alimentation en eau de la **ville** est moins **saline** que l'eau d'irrigation puisée dans la **nappe**. Il s'ensuit que **dans** certains **cas** particuliers, **des** plantes qui ne **peuvent pas être cultivées** à cause de la salinité excessive des eaux de la nappe peuvent être cultivées si **elles** sont irriguées avec **des** eaux **usées urbaines** épurées (tableau 2).

Tableau 2: Culture de concombre (semi-résistant à la salinité).

Eléments	Eau Témoin	Eau épurée	Eau brute
Ce (mmhos/cm)	4.05	2.93	3.01
N (kg/ha)	59	223	415
P (kg/ha)	1	75	146
K (kg/ha)	161	211	269
Rendement (T/ha)	0	22	45.5

Note:

Besoins théoriques N, P, K: 170, 100, 200 Kg/ha

Hauteur d'irrigation (y compris dose de lessivage): 980 mm d'eau.

Système d'irrigation: gravitaire.

Le système d'irrigation utilisé a également un effet sur les rendements. La figure 1 ci-après compare les rendements de deux coupes de luzerne (T/ha) pour différents systèmes d'irrigations et différentes qualités d'eaux.

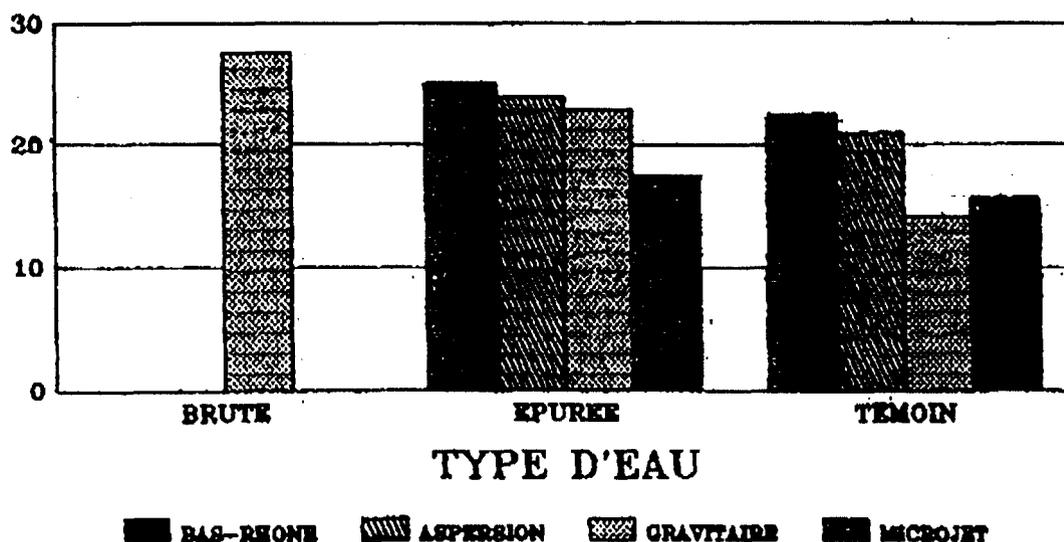


Figure 1: rendement de la luzerne (T/ha)

24.2. Effet de l'irrigation sur les sols

Des teneurs relativement fortes en sodium dans l'effluent réduisent la vitesse à laquelle l'eau d'irrigation pénètre dans le sol, à un point tel que la quantité d'eau qui s'infiltre n'est pas suffisante d'une irrigation à l'autre.

Pour maintenir les conditions d'infiltration adéquates dans les sols irrigués, il faut veiller à empêcher les complexes d'échange du sol de se charger en Na. On exprime le danger de sodicité d'une eau d'irrigation par le S.A.R. (Sodium Absorptio Ratio).

$$SAR = \frac{Na}{[(Ca + Mg)/2]^{1/2}} \quad \text{Na, Mg, Ca, en m\acute{e}q/l}$$

La vitesse d'infiltration croît généralement avec une salinité croissante et décroît lorsque la salinité décroît ou que la teneur en Sodium augmente par rapport au Calcium ou Magnésium. L'effet néfaste de l'excès en sodium sur les vitesses d'infiltration de l'eau dans le sol étant compensé par la teneur élevée de ces eaux en sels solubles qui en améliorent la structure et la perméabilité. Par conséquent, les deux facteurs, salinité et SAR doivent être considéré ensemble pour l'évaluation de l'effet de l'eau d'irrigation sur la vitesse d'infiltration du sol (figure 2).

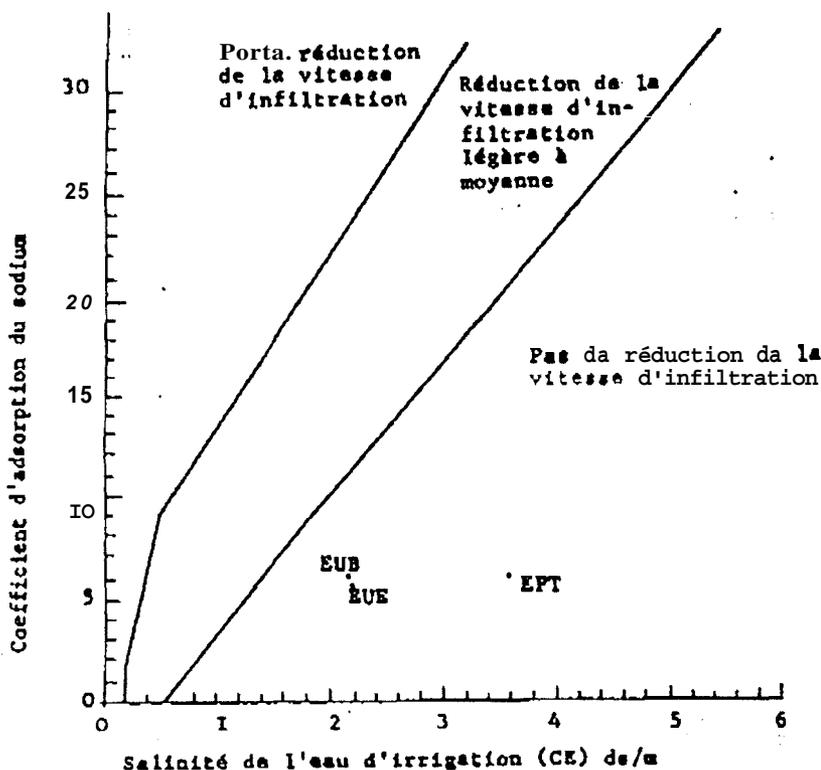


Figure 2: Effets relatifs de la salinité et du coefficient d'adsorption du sodium sur la vitesse d'infiltration.

Le report des valeurs du SAR et de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation sur ce graphique montre que l'effluent de Ouarzazate aura un effet faible à modéré sur la réduction de la vitesse d'infiltration.

Bien entendu, le taux de Na échangeable du sol intervient dans l'évaluation du risque de réduction de la vitesse d'infiltration. En pratique, on exprime le taux de chargement des complexes d'échange en Na par le P.S.E. (Pourcentage de Sodium Echangeable), qui est le rapport:

$$\text{P.S.E.} = \frac{\text{Na échangeable}}{\text{C.E.C}} \times 100 \quad \text{Na et C.E.C en méq/l}$$

avec C.E.C. = Capacité d'Echange Cationique

Le Sodium échangeable a une incidence marquée sur les propriétés chimiques et physiques des sols. A mesure que la teneur en Sodium échangeable augmente le sol a tendance à se disperser, il devient moins perméable à l'eau et ne se prête guère aux façons culturales. Des valeurs de P.S.E. supérieures à 15% suffisent à réduire la conductivité hydraulique de façon appréciable dans certains cas.

Les matières organiques des eaux usées brutes peuvent augmenter la stabilité structurale des sols dans le cas de la culture de luzerne (L) seulement 6 mois après la première irrigation (la figure 3). L'effet n'est pas marqué dans le cas de la culture de courgette (C).

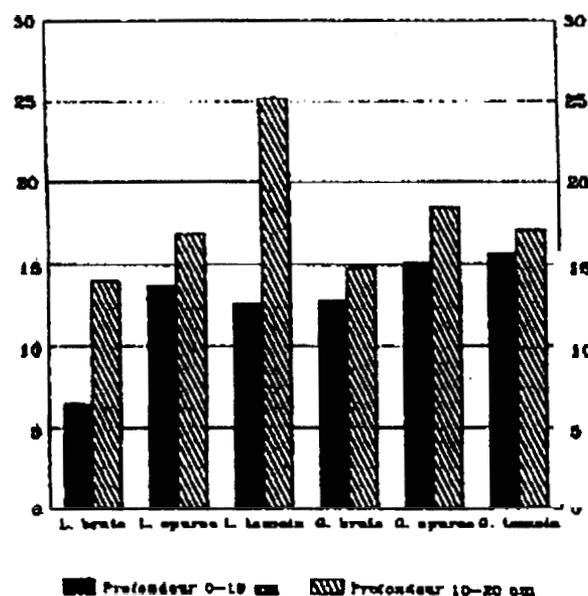


Figure 3: Indice d'instabilité structurale (irrigation gravitaire).

24.3. Effet de l'irrigation sur la nappe

Du fait de leur charge négative, les nitrates ne réagissent pas avec le milieu et se trouvent en totalité dans la solution du sol. Ils suivent de ce fait inévitablement le mouvement de l'eau et constituent l'élément le plus apte à provoquer une contamination de la nappe. En pratique, les pertes exactes des nitrates par lessivage ne peuvent être déterminées que sur lysimètre. Les premiers résultats obtenus à Ouarzazate sur lysimètre ont permis de constater qu'une irrigation de surface de 35 mm d'eau usée brute provoque une perte par lessivage de 9 kg/ha.

Les essais sur lysimètre ont également permis de voir que des microorganismes pouvaient migrer vers la nappe (voir figure 4) et que la vitesse de migration était liée au débit percolé.

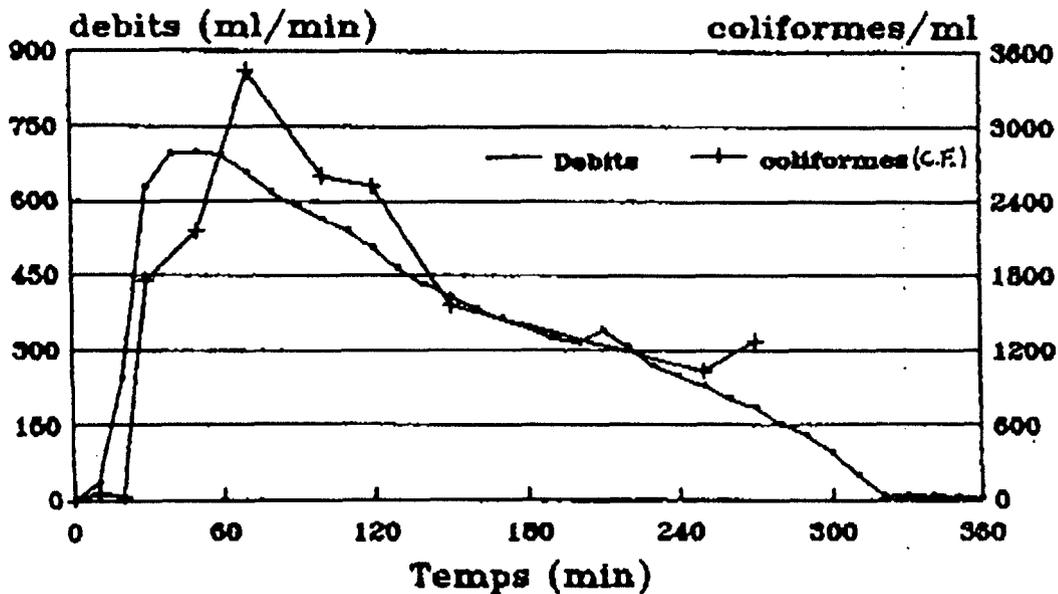


Figure 4: Evolution de la concentration en coliformes dans le percolat de lysimètre.

EXPRESSION OF INTEREST

for

Research Area II.2

of the specific programme in the field of environment

(1991 - 1994)

TECHNOLOGIES

FOR PROTECTING AND REHABILITATING THE ENVIRONMENT

3: Waste water treatment and
re-use

NAME	NUMBER	T1	T2	TITLE OF PROPOSAL
XANTHOULIS	EI910001	3		UTILISATION DES EAUX USEES EPUREES DES VILLES ET DES INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES A DES FILMS AGRICOLES.
ARMSTRONG	EI910002	3		RECYCLING OF HEAVY METALS FROM WASTE WATER USING ELECTRO DEPOSITION, MEMBRANES AND CARBON
VAN LOOSDRECHT	EI910012	3		OPTIMISATION OF NUTRIENT REMOVAL TECHNOLOGIES
VAN LOOSDRECHT	EI910013	3		COMPACT, CLOSED REACTORS FOR AEROBIC WASTE WATER TREATMENT BASED ON BIOFILMS
VAN LOOSDRECHT	EI910016	3		OPTIMIZATION OF NUTRIENT REMOVAL TECHNOLOGIES
JUTTNER	EX910017	3		RECYCLING OF HEAVY METALS FROM WASTE WATER USING ELECTRODEPOSITION, MEMBRANE SEPARATION AND ACTIVATED CARBON
GALLELOT	EI910018	3		REPLACEMENT OF MINERAL ACIDS USED IN THE OXIDATION OF ORGANIC CHEMICALS BY CATALYTIC OXIDATION WITH AIR
FRANCIS	EI910024	3		THE MAINTENANCE OF RESIDUAL WATER FREE FROM ORGANIC MICROPOLLUTANTS AND BACTERIAL CONTAMINATION
BUTCHISON	EI910025	3		TO TREAT COLOURED EFFLUENTS ARISING FROM DYE OPERATIONS
STIRLING	EI910028	3		DESINFECTON OF WASTE WATER
PEARS	EI910030	3		SOLVENT RECOVERY FROM WASTE AQUEOUS STREAMS
DALETHMPLE	EI910033	3		REMOVAL OF HEAVY METALS FROM VERY DILUTE EFFLUENTS
MATIS	EI910034	3		SELECTIVE COVERY OF METAL IONS BY FLOTATION TECHNIQUES
ANDREOZZI	EI910047	3		CHEMICAL AND KINETIC CHARACTERISATION OF ADVANCED OXIDATION PROCESSES FOR THE ABATEMENT OF REFRACTORY TOXIC WATER POLLUTANTS
GOWA	EI910061	3		ELABORATION OF AN INDUSTRIAL-SCALE PROCESS OF PAPER-INDUSTRY EFFLUENT TREATMENT UTILISING THREE NEW TECHNIQUES
FUNKEN	LI910066	3		PHOTOCATALYTIC DESTRECTION OF WATER POLLUTANTS
PERLINGER	EI910071	3		INTEGRATED MICROBIAL PROCESS FOR SEWAGE SLUDGE REDUCTION
GRAY	EI910075	3		DEVELOPMENT OF PLOG-FLOW EXTENDED AERATION SYSTEMS FOR DUAL CARBONACEOUS AND NUTRIENT (N AND P) REMOVAL
GRAY	EX910076	3		DEVELOPMENT OF SECONDARY TREATMENT PROCESSES TO REDUCE SLUDGE PRODUCTION
GRAY	EI910077	3		ENHANCEMENT OF FLOCCULATION IN THE ACTIVATED SLUDGE PROCESS USING A SEMIBI-CALCITRANT ORGANIC AMENDMENT
HEMPEL	EI910080	3		APPLICATION OF IMMOBILIZED CELLS IN COMMUNAL AND INDUSTRIAL WASTE WATER TREATMENT SYSTEMS
WOLF	EI910081	3		OPTIMIZATION OF ENHANCED BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL
MOREL	EI910083	3		REMOVAL OF PHOSPHATE FROM SECONDARY EFFLUENTS WITH MINERAL COLLOIDS CONSEQUENCES ON THE BIOAVAILABILITY OF SLUDGE PHOSPHATE FOR CROPS
SOTRES	EI910084	3		REMOVAL OF PHOSPHATE FROM SECONDARY EFFLUENTS WITH MINERAL COLLOIDS CONSEQUENCES ON THE BIOAVAILABILITY OF SLUDGE PHOSPHATE FOR CROPS
THOMAS	EI910085	3		REMOVAL OF PHOSPHATE FROM SECONDARY EFFLUENTS WITH MINERAL COLLOIDS. CONSEQUENCES ON THE BIOAVAILABILITY OF SLUDGE PHOSPHATE FOR CROPS
SCHMAL	EI910087	3		COMBINED ELECTROCHEMICAL AND BIOLOGICAL DETOXIFICATION AND MINERALISATION OF XENOBIOTICS IN PROCESS WASTE WATER
HUISWAARD	EI910088	3		A BIOSENSOR TO CONTROL DISCHARGES OF TOXIC WASTES INTO WASTEWATER TREATMENT PLANTS
FARNETTI	EI910090	3		REDUCTION AND REUSE OF NUTRIENT LOAD FROM MUNICIPAL WASTEWATERS WITH HYBRID BIOLOGICAL TREATMENT, COMPLEMENTARY TO UNLIMITED SEASONAL IRRIGATION
BODNETT	EI910094	3		A REDOX ADSORPTION SYSTEM FOR THE REMOVAL OF HEAVY METAL CONTAMINANTS FROM EFFLUENTS : APPLICATION TO THE REMOVAL OF CHROMIUM FROM TANNARY EFFLUENTS.
DONATI	EI910101	2	3	AN INTEGRATED SYSTEM FOR FLUE GAS WET CLEANING AND WASTE WATER TREATMENT AT ZERO BLOW DOWN
BONAZZI	EI910105	3		DEVELOPMENT OF A DISINFECTON AND STORAGE SYSTEM OF WASTE WATER FROM CHEESE FACTORIES FOR REUSE IN AGRICULTURE
ANGEL	EI910106	3		DEVELOPMENT OF LIQUID MEMBRANE PROCESSES FOR THE RECOVERY OF ANIONS AND CATIONS FROM INDUSTRIAL EFFLUENTS
ROUX	EI910110	3		USE OF MICROBIAL BIOGASSES FOR THE REMOVAL OF HEAVY METALS PRESENT IN INDUSTRIAL WASTE WATERS
KAVANAGE	EI910114	3		TREATMENT OF FARMYARD EFFLUENTS

NAME	NUMBER	T1	T2	TITLE OF PROPOSAL
KAVANAGH	EI910115	3		TREATMENT OF PASTYARD EFFLUENTS
GEORGE	EI910127	3		DEVELOPMENT OF REAL TIME CONTROL OF SEWAGE TREATMENT WORKS HYDRAULICS
MULLWILK	EI910133	3		R&D RELATED TO A NEW TECHNOLOGY OF THE REUSE OF PROCESS WATER IN THE PULP AND PAPER INDUSTRIES
SEYFRIED	EI910136	3		KOOPERATIVE ENTWICKLUNG EINER NEUEN VERFAHRENSTECHNIK FUR ANAEROBEN BEHANDLUNG VON ORGANISCH HOCH BELASTETEN INDUSTRIEBWASSERN
ENOCH	EI910151	3		SET UP OF A WATER MANAGEMENT SYSTEM
ENOCH	EI910153	3		TREATMENT OF WASTE WATER FROM COAL FIRED POWER PLANTS
ENOCH	EI910154	3		TREATMENT OF WASTE WATER FROM COAL GASIFICATION PLANTS
ENOCH	EI910155	3		TREATMENT OF WASTE WATER FROM (MUNICIPAL) WASTE INCINERATORS
HATA-ALVAREZ	EI910160	3		STUDY OF THE INTEGRATION OF THE PROCESS OF BIOLOGICAL REMOVAL OF PHOSPHOROUS AND NITROGEN FROM WASTEWATER AND THE PROCESS OF ANAEROBIC CO-DIGESTION OF THE ORGANIC FRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE AND SEWAGE SLUDGE
SA-CORREIA	EI910164	3		PRODUCTION OF BACTERIAL EXOPOLYSACCHARIDES AND BIODIESEL FROM FOOD PROCESS WASTE STREAMS AND USE FOR TOXIC METALS REMOVAL
POPPINGHAUS	EI910165	3	5	ELIMINATION OF CHLOROORGANIC COMPOUNDS FROM LEAKAGE OF HAZARDOUS WASTE LANDFILLS BY MEANS OF ENZYMES FROM CELL-FREE EXTRACTS
POPPINGHAUS	EI910166	3		NEW PROCESS COMBINATION FOR THE TREATMENT OF WASTE WATER RESULTING FROM OLIVE OIL PRODUCTION WITH REGARD TO THE EXTRACTION OF VALUABLE MATTER
BOHRKE	EI910167	3	5	COMPARING EXAMINATIONS CONCERNING A VERY HIGH DEGREE OF DEGRADATION OF CONVENTIONAL WASTE WATER PARAMETERS AND HAZARDOUS WASTE WATER CONTENTS
POPPINGHAUS	EI910168	3		PROCEDURE FOR THE REDUCTION OF AMMONIUM RESP. AMMONIA FROM WATERS WHICH ARE HIGHLY LOADED WITH AMMONIUM
POPPINGHAUS	EI910170	3		ELIMINATION OF HARDLY DEGRADABLE WASTE WATER COMPONENTS BY THE RESIDUE-POOR PROCESS COMBINATION HYDROGEN PEROXIDE/UV AND OZONE/UV
BART	61910172	3		HEAVY METALS RECOVERY
HANSEN	EI910173	3		FLOC FORMATION, SEPARATION AND DewaterING IN TREATMENT OF MUNICIPAL AND INDUSTRIAL WASTEWATER
SEYFRIED	EI910178	3		BEHANDLUNG VON ABWASSERN MIT BIOLOGISCH NICHT ABBAUBAREN ORGANISCHEN INHALTSSTOFFEN DURCH EINE KOMBINATION AUS OPTIMISierter BIOLOGISCHER BEHANDLUNG, PHYSIKALISCHER ABTRENNUNG UND CHEMISCHER OXIDATION
WIJFFELS	EI910183	3		INTEGRATED NITRIFICATION AND DENITRIFICATION OF WASTEWATER WITH IMMOBILIZED CELLS
ALMEIDA	5910185	3		EVALUATION OF THE PRESENT SITUATION CONCERNING AOX CONTENTS IN THE EFFLUENTS OF THE TEXTILE COTTON INDUSTRY TRIALS TO REDUCE EMISSIONS AND TO REMOVE AOX FROM EFFLUENTS
BETTENS	EI910191	3		THE USE OF BEST ENVIRONMENTAL PRACTICES TO REDUCE THE ADSORBABLE ORGANIC HALOGEN'S (AOX) CONTENT OF TEXTILE EFFLUENTS FROM THE MANUFACTURE OF CELLULOSE PRODUCTS
HULL	EI910195	3		AN ULTRASONIC METHOD OF IDENTIFYING POLYMERIC MATERIALS/COMPONENTS FOR RECLAMATION AND RECYCLING
JANSEN	EI910198	3		REMOVAL OF METALS FROM WASTE WATER WITH PEREXTRACTION
ARVIN	EI910203	3		BIOLOGICAL ELIMINATION OF CHLORINATED ETHYLENES IN COMBINED ANAEROBIC AND AEROBIC BIOFILM REACTOR SYSTEMS
TRIST	EI910210	3		SEARCH FOR MACROPHYTE GENOTYPES ADAPTED TO ENVIRONMENTAL STRESS, FOR FURTHER USE IN INTEGRATED NITROGEN, PHOSPHORUS AND BOD REMOVAL
SCHMITT	EI910214	3		EXPERIMENTAL DEMONSTRATION OF AN ELECTROCHEMICAL REACTOR FOR DETOXIFICATION AND DewaterING OF WASTE WATER SLUDGES
ROMERO	EI910216	3		PHOTOCATALYTIC DESTRUCTION OF WATER POLLUTANTS
DEBRUYCKERE	EI910221	3		SOLVING THE MANURE PROBLEM ON FARM LEVEL BY PROGRESSIVE SEPARATION TECHNIQUES
BADIN	EI910247	3		ETUDE COMPAREE DE NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR LE TRAITEMENT DES EAUX DE LACS ET DES EAUX USEES PAR INJECTION D'OXYGENE
SAGAR	EI910251	3		REDUCTION OF BIOLOGICALLY RESISTANT AND TOXIC CHEMICALS IN TEXTILE EFFLUENTS
ROEPENACK	EI910254	3		VERBESSERUNG DER BIOLOGISCHEN ABBAUBARKEIT RESISTENTER ORGANISCHER VERBINDUNGEN DURCH KOMBINIERTE EINWIRKUNG VERSCHIEDENER ENERGIEEN

NAME	NUMBER	T1	T2	TITLE OF PROPOSAL
ALMELMARK	EI910269	3		COMBINED ANAEROBIC-AEROBIC TREATMENT OF TEXTILE INDUSTRIAL EFFLUENTS
ALMELMARK	EI910270	3		INTEGRATION OF SEPARATION AND DEGRADATION TECHNIQUES FOR THE TREATMENT OF LIQUID WASTES
BOMAN	EI910271	3		IN LINE MONITORING OF WASTE WATER TOXICITY
FROSTELL	EI910272	1	3	CLOSED WATER SYSTEMS FOR SINGLE FAMILY HOUSE AND APARTMENT HOUSES
MURPHY	EI910279	3		NEW METAL-SELECTIVE MATERIALS FOR HYDROMETALLURGICAL APPLICATIONS: THE RECOVERY, RECYCLING, AND SENSING OF METALS
VOGEL	EI910290	3		REMOVAL OF AMMONIUM NITRATE FROM EFFLUENTS
CLAY	EI910291	3		EVALUATION OF TECHNOLOGIES FOR BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL FROM WASTEWATER
RAUTENBACH	EI910302	3		IMPROVEMENT OF HEAVY METAL REMOVAL FROM WASTE WATERS BY SULFIDE PRECIPITATION AND A SUBSEQUENT SOLID-LIQUID SEPARATION STEP
SCALZOLA	EI910325	3		INTEGRATED NETWORK FOR WASTE WATER MONITORING
PAUL	EI910328	3		APPLICATION OF THE "SPACE BAP" CONCEPT TO THE PURIFICATION OF PUBLIC AND INDUSTRIAL WATERS
KONTOPOULOS	EI910330	3		THE FATE OF HAZARDOUS (TOXIC) ORGANIC COMPOUNDS IN BIOLOGICAL WASTE WATER TREATMENT PLANTS
PETRIER	EI910346	3		UTILISATION DES ULTRASONS POUR LA DEGRADATION DE POLLUANTS ORGANIQUES EN SOLUTIONS AQUEUSES
LAVARONE	EI910348	3		COMBINED TERTIARY AND DISINFECTION TREATMENT EVALUATION IN A WASTEWATER TREATMENT PLANT EFFLUENT
WEITKAMP	EI910357	3		REMOVAL OF ORGANIC COMPOUNDS FROM WASTE WATER BY ADSORPTION ON HYDROPHOBIC ZEOLITES
BIER	EI910358	3		DEVELOPMENT OF INTEGRATED OPTICAL BIOSENSORS FOR ENVIRONMENTAL CONTROL
GLUECKLICH	EI910361	3		ECONOMICAL AND ECOLOGICAL METHODS FOR TREATMENT OF WASTE WATER FOR REUSE (WATERING AND OTHER DESTINATIONS) AND TO RELIEVE THE WATERS
VEN	EI910362	3		IMPACT OF MAIN DYEING PARAMETERS ON THE POLLUTION OF THE EFFLUENTS
GOMA	EI910378	3		ELABORATION OF AN INDUSTRIAL-SCALE PROCESS OF PAPER-INDUSTRY EFFLUENT TREATMENT UTILIZING THREE NEW TECHNIQUES
LESSART	EI910384	3		NEW WASTE WATER TREATMENT SYSTEMS. PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ELIMINATION OF HIGH CONCENTRATION OF AMMONIA AND NITRATES IN INDUSTRIAL WASTE WATER
RENDES	EI910389	3		WASTEWATER DETOXIFICATION OF TOXIC COMPOUNDS WITH SOLAR COLLECTORS
DI BERARDINI	EI910391	3		ANAEROBIC TREATMENT OF SEWAGE OR DILUTED INDUSTRIAL WASTE WATER
HUGHES	EI910394	3		SORPTION OF METALS AND ORGANIC POLLUTANTS ON MINERAL SURFACES : FUNDAMENTAL MECHANISMS AND THE ROLE OF WATER CHEMISTRY
ASTER	EI910398	3		SUBSTITUTION OF ACTIVATED CARBONS IN PURIFICATION OF ORGANICALLY WASTED INDUSTRIAL WATER BY NOVEL REGENERABLE ADSORBENTS
ASTER	EI910399	3		PURIFICATION OF CONTAMINATED UNDERGROUND WATERS BY NEW REGENERABLE POLYMERIC ADSORBENTS
LEJEUNE	EI910410	3		BIOSENSORS BASED ON PIEZOELECTRIC FILMS OR ON OPTICAL FIBERS AS BEARS FOR WASTE CONTROL
NIEUWENHUIZEN	EI910418	3		IMMUNOSENSORS FOR LONG TERM MONITORING OF WATER CONTAMINATED WITH PESTICIDES OR RELATED CONTAMINANTS
NIEUWENHUIZEN	EI910419	3		DEVELOPMENT OF AN IMMUNOSENSOR FOR LONG TERM MONITORING OF WATER CONTAMINATED WITH BACTERIA OR VIRUSES
ASHLEY	EI910421	3		THE DESIGN AND OPERATION OF WASTEWATER SYSTEMS TO MINIMISE POLLUTION OF WATERCOURSES AND OPTIMISE THE EFFICIENCY OF TREATMENTS BY PLANTS
ASELEY	EI910422	3		CATCHMENT INTEGRATED OPTIMUM MANAGEMENT OF WASTE SYSTEMS
PERLINGER	EI910431	3		PROCESS FOR THE BIOLOGIC TREATMENT OF RECALCITRANT ORGANIC COMPOUNDS
CRESPI	EI910432	3		SUPERFICIAL WATER COURSES QUALITATIVE MONITORING
ROKAY	EI910434	3		THE TREATMENT OF TEXTILE EFFLUENTS USING SORPTION AND BIOSORPTION
BLUST	EI910438	3		PHYSIOLOGICAL TOOLS FOR THE EARLY DETECTION OF BIOLOGICAL EFFECTS OF POLLUTION
HVITVED-JACORSEN	EI910439	3		TRANSPORT AND TRANSFORMATION OF ORGANIC MATTER IN MUNICIPAL SEWERS
CRITTENDEN	EI910440	3		REACTION SWING ADSORPTION USING HYDROPHOBIC ZEOLITES FOR DESTRUCTION OF ORGANIC POLLUTANTS IN WATER
LYBERATOS	EI910441	3		OPTIMAL OPERATING STRATEGIES FOR DENITRIFICATION
LYBERATOS	EI910443	3		MODELING OF TRICKLING FILTERS FOR WASTE WATER TREATMENT
LYBERATOS	EI910445	3		BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL
LYBERATOS	EI910446	3		FLEXIBLE DESIGN AND OPERATION FOR TERTIARY WASTEWATER TREATMENT

NAME	NUMBER	T1	T2	TITLE OF PROPOSAL
SUGO	EI910452	3	6	DEVELOPMENT OF NEW BIOLOGICAL TECHNOLOGIES FOR DEPOLLUTION USING METHANE-OXYDIZING BACTERIAS
SAGAR	EI910454	3		REDUCTION OF BIOLOGICALLY RESISTANT AND TOXIC CHEMICALS IN TEXTILE EFFLUENTS
FIELD	EI910464	3		PERVAPORATION USING MODIFIED POLYSILOXANES: REMOVAL OF PRIORITY ORGANIC CONTAMINANTS FROM AQUEOUS STREAMS
FIELD	EI910465	3		CLEANING AND FLUX MAINTENANCE IN MICROFILTRATION SYSTEMS USED FOR OILY-WATER CLEAN-UP
ERIKSSON	EI910468	3		DEVELOPMENT OF NEW ABSORBENT SYSTEMS FOR REMOVAL OF AROMATIC MOLECULES AND DETERGENTS
MATTIASSON	EI910469	3		BIOSENSORS FOR ENVIRONMENTAL CONTROL
WELANDER	EI910470	3		INTEGRATED NITROGEN, PHOSPHORUS AND BOD REMOVAL FROM WASTE WATERS
MAGGIOLLY NOVAIS	EI910495	3		REMOVAL OF HEAVY METALS FROM EFFLUENTS BY POLYSACCHARIDE PRODUCING MICROALGAE
KESELENK	EI910499	2	3	BIOCONTROL OF AIR AND WATER POLLUTION FOR SURFACE COATING INDUSTRIES BY IMPROVED BIOFILTER AND BIOSCRUBBER TECHNOLOGY
SELL	EI910516	3	5	ENTWICKLUNG VON SEEDING-UMKREISLAUFVERFAHREN SOB AUFBEITUNG VON INDUSTRIELLEN ABWASSERN SOWIE VON DEPOSITSTICKERWASSER
SELL	EI910517	3		ENTWICKLUNG UND ERPROBUNG VON KOMBINATIONSVORFAHREN IUR BEHANDLUNG PROBLEMATISCHER ABWASSER
SELL	EI910518	2	3	MINIMIZATION OF CONTAMINATED SLUDGES BY BIOLOGICAL TREATMENT OF THOSE WITH SIMULTANEOUS IMPLEMENTATION OF ADVANCED BIOLOGICAL TREATMENTS FOR PROCESS WATER AND AIR
SELL	EI910519	3		ENTWICKLUNG VON ABWASSERREINIGUNGSGERATEN FUR DIE LEBENSMITTELINDUSTRIE
STANHONI	EX910531	3	4	DISINFECTION OF EFFLUENTS FROM WASTEWATER TREATMENT PLANTS
STANHONI	EI910532	3		ADVANCED TERTIARY TREATMENT OF WASTE WATER TREATMENT PLANT
MARENCO	EI910533	3	4	SPERIMENTAZIONE, NESSA A PUNTO E CONFRONTO DI DUE PROCESSI ED IMPIANTI DI AFFINAMENTO DI ACQUA REFLUA URBANA PROVENIENTE DA IMPIANTI DI DEPURAZIONE DI DIVERSA CONCEZIONE ATTI A RENDERLA IDONEA ALL'USO FERTILIRIGDO E VERIFICA DEGLI EFFETTI DI TALE PRATICA
MARENCO	EI910534	3	4	SPERIMENTAZIONE E NESSA A PUNTO DI UN PROCESSO DI ESSICAZIONE E PELLETTIZZAZIONE DI MISCELE DI VARIE TIPOLOGIE DI FANGHI DI DEPURAZIONE URBANA CON MATERIALE ORGANICO DI VARIA PROVENIENZA EVENTUALMENTE ADDITTIVATI CON NUTRIENTI INORGANICI AL FINE DI ...
RECCHI	EI910540	3		BIOLOGICAL TREATMENT OF WASTEWATER CONTAMINATED BY BOTH ORGANIC CHLORINE COMPOUNDS AND POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS
RECCHI	EI910542	3		DECHLORINATION OF POLYCHLOROBIPHENYLS (PCB'S) BY A CATALYTIC HYDROGENATION PROCESS
RECCHI	EI910543	3		OPTIMIZING REVERSE OSMOSIS PROCESS FOR THE PURIFICATION OF WASTE WATER FOR RECOVERING AND/OR DRINKABLE USES
MASON	EI910553	3		NEW AND IMPROVED WASTEWATER TREATMENTS EMPLOYING ULTRASOUND
ASTER	EI910565	3	4	RECYCLING OF DEGREASING BATHES BY DECOMPOSING OF EMULSIONS USING MEMBRANES
SCHAEFFERT	EI910575	3		DEVELOPMENT OF BROAD SPECTRUM BIOSENSORS BASED ON MICROBIAL CELLS
GULTIN	EI910591	3		EXPERIMENTAL RESEARCH ABOUT VERSATILE SYSTEM OF WASTE WATER TREATMENT WITH VARIABLE CONCENTRATION OF NUTRIENTS (REP.II.2.2/3)
DIMACSEK	EI910595	3		ADVANCED TREATMENT OF ABATTOR WASTEWATER
DURST	EI910597	3		COMBINED OZONATION AND FLOTATION FOR THE INTEGRATED REMOVAL OF SUSPENDED MATERIALS AND THE DESINFECTION OF SEWAGE WATER
DURST	EI910598	3		NEUE ABWASSERBEHANDLUNGSVERFAHREN IUR INTEGRIERTEN P- UND N-ELIMINATION UND DER WIEDERVERWERTUNG VON BRAUCWASSER
KUENHEL	EI910605	3		COMBINED CHEMICAL/BIOCHEMICAL AND SORPTIVE TREATMENT OF COMPLEX WASTEWATERS AND SEEPAGE
STEFANO	EI910609	3		RICERCA SULLE METODOLOGIE DI DISINFEZIONE E STOCCAGGIO DELLE ACQUE, PROVENIENTI DA IMPIANTI DI TRATTAMENTO ACQUE REFLUE CIVILI DI TIPO BIOLOGICO TRADIZIONALE PER IL LORO RIUTILIZZO IN AGRICOLTURA
CHRISTOULAS	EI910624	3		OPTIMAL DESIGN OF ACTIVATED SLUDGE SYSTEMS FOR INTEGRATED CARBON AND NUTRIENTS REMOVAL
GOOYER	EI910630	3		THE DEVELOPMENT OF ABATEMENT METHODS FOR AIRPORT POLLUTION (DANAP)
DE LA BARDONNIE	81910633	3		SEWAGE WATER : NITRATE CATALYTIC ELECTROCHEMICAL REDUCTION
BOWDOX	EI910637	3		DEVELOPMENT OF WASTEWATER TREATMENT BY POND SYSTEM AND WATER REUSE FOR IRRIGATION
HUDSON	EI910638	3		ADVANCED OXIDATION PROCESSES (AOP)

NAME	NUMBER	T1	T2	TITLE OF PROPOSAL
VANDEBURGET	EI910640	3		APPLICATION DU PROCÉDE SBR A L'ÉPURATION SECONDAIRE ET TERTIAIRE AU MOYEN D'UNITÉS TELECONTROLÉES
HUTTER	EI910650	3		DEVELOPMENT OF PILOT SCALE PLANT FOR THE REMOVAL OF ARSENIC FROM ACID POLISHING WASTE WATERS
GUILBOT	EI910655	3		MISE AU POINT ET DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME DE TRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE COMPACT DES EAUX USÉES ADAPTE AUX EFFLUENTS DES INDUSTRIES SAISONNIÈRES OU PÉRIODIQUES OU ENCLAVÉES EN ZONE URBAINE
DORÉ	EI910672	3		REACTIONS IN SOLUTION AND INTERFACES: APPLICATION TO THE STUDY OF THE MECHANISMS OF EVOLUTION AND OF DEGRADATION OF MOLECULES IN NATURAL WATERS AND DURING WATER TREATMENTS
MORSELLI	EI910676	3		RICERCA SUGLI ASPETTI SANITARI ED AGRONOMICI DEL RIUTILIZZO IRRIGUO DELLE ACQUE DI SCARICO CIVILI A SEGUITO DI APPROPRIATI TRATTAMENTI DEPURATIVI
DE PINHO	EI910678	3		PERVAPORATION FOR REMOVAL OF ORGANICS FROM AQUEOUS STREAMS
BASSET	EI910683	3		HOMOGENEOUS CATALYSIS IN WATER AND BIPHASIC SYSTEMS: NEW LIGANDS AND NEW REACTIONS AN IMPROVED TECHNOLOGY WHICH PRESERVES THE ENVIRONMENT
POUYET	EI910685	3		IMPROVEMENT OF NEW TECHNOLOGIES FOR WATER TREATMENT. FURTHER STUDIES OF PHOTOCATALYTIC REACTIONS WITH TiO ₂ /U.V. AND TiO ₂ /O ₃ /U.V. SYS- TENS. APPLICATION TO AZO DYES.
SORENSEN	EI910690	3		BIOLOGICAL WASTE WATER TREATMENT SYSTEM 1
SORENSEN	EI910691	3		BIOLOGICAL WASTE WATER TREATMENT SYSTEM 2
MAASKANT	EI910693	3		DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED WATER RECOVERY SYSTEM FOR SMALL, RURAL COMMUNITIES BASED ON ANAEROBIC TREATMENT OF SEWAGE AND RAPID MULTI-MEDIA FILTRATION.
DI PIETRO	EI910701	3		BIOLOGICAL/PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES FOR PHOSPHORUS REMOVAL
SELL	EI910704	3		ENTWICKLUNG EINER MOBILEN ABWASSERAUFBEREITUNGS-ANLAGE FÜR DEN EIN- SATZ BEI INDUSTRIELLEN SCHADENSFÄLLEN
LATOUR	EI910706	3		RESEARCH ON THE POTENTIALITIES OFFERED BY THE TREATMENT AND RECY- CLING OF WASTE WATER COMING FROM BOTH MUNICIPAL AND INDUSTRIAL SOURCES BY "FIXED LAGOONING MICROPHYTES-MACROPHYTES USING JIFFY-PLANT PROCESS"
REDI	EI910712	3	6	DEVELOPMENT OF A BIOLOGICAL TREATMENT SYSTEM FOR CHLORINATED HYDRO-CARBONS.
MOLETTA	EI910717	3		STUDY OF INTEGRATION OF THE PROCESS OF BIOLOGICAL REMOVAL OF PHOSPHORUS AND NITROGEN FROM WASTEWATER AND THE PROCESS OF ANAEROBIC CODIGESTION OF THE ORGANIC FRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE AND SEWAGE SLUDGE
GRAY	EI910719	3	5	ENHANCEMENT OF FLOCCULATION IN THE ACTIVATED SLUDGE PROCESS USING A SEMIRECALCITRANT ORGANIC AMENDMENT.
GRAY	EI910720	3		DEVELOPMENT OF SECONDARY TREATMENT PROCESS TO REDUCE SLUDGE PRODUCTION
GRAY	EI910721	3		DEVELOPMENT OF PLUG-FLOW EXPANDED AERATION SYSTEMS FOR DUAL CARBONACEOUS AND NUTRIENT (N AND P) REMOVAL
SCHYNALLA	CI910722	3		REMOVING OF FUGITIVE POLLUTANTS BY STRIPPING IN A MODIFIED ROTATING DISC APPARATUS (M.R.D.A)
CARACCIOLO	EI910725	3		APPLICAZIONE DI METODI INNOVATIVI DI ANALISI SPERIMENTALE E DI SIMULAZIONE MATEMATICA ALLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO ASSOCIATO ALLA MIGRAZIONE DI CONTAMINANTI IN AQUE SOTTERRANEE
POCHELT	EI910726	3	6	DEVELOPMENT OF TECHNIQUES FOR EMISSION CONTROL AND ABATEMENT OF OLD MINE DUMPS
PARSONAGE	EI910730	3		THE USE OF MAGNETISABLE PARTICLES FOR WATER TREATMENT
de MERTHON	EI910734	3		MISE AU POINT D'UN PROCÉDE D'ÉPURATION DES EAUX RESIDUAIRES INDUSTRIELLES A PARTIR DE LA POUDRE DE BOIS.
HAEM	EI910745	3		Combining chemical and biological treatment elements and process control for improved nutrient control in wastewater treatment
SCHWIKER	EI910756	3		SPECTROSCOPIC ANALYSIS AND CHEMICAL TREATMENT OF WATER.
KRISTENSEN	EI910759	3		INTERACTIONS BETWEEN DISINFECTION METHOD AND SUBSEQUENT APPLICATION OF TREATED WASTEWATER FOR REUSE PURPOSES.
WHITE	EI910762	3		DEVELOPMENT OF IMMOBILIZED BIOCATALYSTS FOR REMOVAL OF SURFACTANTS FROM INDUSTRIAL PROCESS WATERS

NAME	NUMBER	T1	T2	TITLE OF PROPOSAL
CANALI	EI910794	3		A COMPARATIVE STUDY ON METHODS FOR ELIMINATING HELMINTH EGGS FROM SECONDARY TREATED EFFLUENT FOR WATER REUSE IN SOUTHERN EUROPE
CANALI	EI910795	3		MISE AU POINT ET DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME DE TRAITEMENT PHYSICO-CHIMIQUE COMPACT DES EAUX USEES ADAPTE AUX EFFLUENTS DES INDUSTRIES SAISONNIERES OU PERIODIQUES OU ENCLAVEES EN ZONE URBAINE
ALBRIZIO	EI910796	3		NUOVI METODI PER IL RIUTILIZZO DEI FANGHI DA LAVORAZIONE DEL GRANITO
CIOFFI	EI910797	3		NUOVI METODI PER IL RIUTILIZZO DEI RESIDUI DELLE LAVORAZIONI CONCIARIE
SERRA	EI910799	3		REMOVAL OF METAL IONS FROM WATER BY NON-VIABLE BIOMASS IMMOBILIZED INTO POLYMERIC FOAMS
LEKAS	EI910802	3		ON LINE DYNAMIC CONTROL OF AN ACTIVATED SLUDGE TREATMENT UNIT (DEVELOPMENT OF AN EXPERTS SYSTEM)
LEKAS	EI910803	3		TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR THE TREATMENT OF HIGHLY POLLUTED EFFLUENT FROM THE ORGANIC DYES INDUSTRY
LEHARDT	PI910132	3	4	COMBINED SYSTEM FOR WASTE WATER RE-USE IN IRRIGATION (SPECIAL ADAPTATION TO SOUTHERN EUROPE)
KUMHEL	EI910839	3		COMBINED CHEMICAL/BIOCHEMICAL AND SORPTIVE TREATMENT OF COMPLEX WASTEWATERS AND SEEPAGE
WARTIOVAARA	EI910847	3		ENVIRONMENTAL CHARACTERISATION OF EFFLUENTS FROM MODERN PULP AND PAPER MILLS
AKRIVOPOLU	EI910874	3	4	WATER CLEANING AND RECYCLING TECHNIQUES
GOMES	EI910884	3		REMOVAL OF METALS FROM WASTEWATERS USING CHARCOAL BASED MATERIALS
FABIANI	EI910896	3		REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PROTOTIPO A MEMBRANE PER IL TRATTAMENTO DISINQUINANTE DI ACQUE NATURALI
PALANCAK	EI910902	1	3	OPTINATION AND NEW DESIGNS OF ON-LINE CONTROLLERS FOR NEUTRALIZATION OF ACID/BASIC WASTE-WATER
WHITE	EI910906	3		DEVELOPMENT OF IMMOBILIZED BIOCATALYSTS FOR REMOVAL OF SURFACTANTS FROM INDUSTRIAL PROCESS WATERS
KAJSTRI-KOUSELI	EI910910	3	4	WASTE WATER RECLAMATION, RE-USE AND DISINFECTION
CASEY	EI910926	3		EXPERIMENTAL STUDY OF THE INTEGRATED REMOVAL OF BOD, N AND P FROM MUNICIPAL WASTEWATERS BY BIOLOGICAL TREATMENT
KATTANEK	EI910928	3	4	ABWASSERAUFBEREITUNG IN DER METALLVERARBEITENDEN INDUSTRIE
SAINI	EI910929	3		INTELLIGENT SYSTEM FOR CONTROL AND SUPERVISION IN REAL TIME OF SEWAGE WATER CONSIDERING HIS ENVIRONMENTAL INFLUENCE
THOMAS	EI910934	3		REMOVAL OF PHOSPHATE FROM SECONDARY EFFLUENTS WITH MINERAL COLLOIDS. CONSEQUENCES ON THE BIOAVAILABILITY OF SLUDGE PHOSPHATE FOR CROPS.
HILTYN	EI910937	3		MICROPOLLUTANTS IN WASTE WATERS
HILTYN	EI910940	3		PREVENTION AND REMOVAL OF WASTES FROM PAPERMILLS

*** Total ***