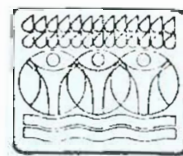




PROGRAMME DES
NATIONS-UNIES POUR
L'ENVIRONNEMENT

CENTRE DE FORMATION
INTERNATIONALE A LA GESTION
DES RESSOURCES EN EAU



Réunion d'experts sur la gestion
des ressources en eau douce dans
la région méditerranéenne
Cannes, France, 25-29 avril 1978
convoquée par le PNUE en collabo-
ration avec le CEFIGRE

DIFFUSION RESTREINTE

UNEP/WG.16/INF.8

FRANCAIS

Original : FRANCAIS

PROPOSITION D'EXPERIENCES PILOTES POUR LA MISE EN OEUVRE DE
TECHNOLOGIES APPROPRIÉES A LA REGION MEDITERRANEENNE

S O M M A I R E

- I. INTRODUCTION
 - II. POUR UNE MEILLEURE EXPLOITATION DU CYCLE HYDROLOGIQUE
 - III. POUR UNE MEILLEURE EFFICACITE DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES EXISTANTS
 - IV. ECONOMIES ET UTILISATION DE L'EAU
 - V. ADAPTATION DES USAGES AUX STOCKS ET FLUX EXISTANTS
 - VI. CONCLUSION
- ANNEXE REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

I. INTRODUCTION

Le présent rapport a été conçu sous forme d'un document de travail destiné à faire l'inventaire d'un certain nombre de techniques et de méthodes permettant d'économiser l'eau et d'en faire un usage rationnel. Ce document s'inscrit dans le cadre des actions prioritaires entreprises pour formuler des propositions d'expériences pilotes pour la mise en oeuvre de technologies appropriées à la région méditerranéenne.

Afin d'organiser les références, le cycle hydrologique a été pris pour fil directeur du présent rapport et les usages de l'eau ont été considérés individuellement au fur et à mesure de l'analyse, qui traite à la fois des problèmes de quantité et de qualité.

II. POUR UNE MEILLEURE EXPLOITATION DU CYCLE HYDROLOGIQUE

Une représentation simplifiée du cycle hydrologique par l'intermédiaire des concepts de Flux et Stocks peut être la suivante :

<u>STOCKS</u>	<u>FLUX</u>
Eau atmosphérique	Précipitation
Emmagasinage superficiel	Ruissellement
Eau du sol (milieu non saturé)	Écoulement de surface
Eau souterraine	Écoulement hypodermique et diffus
Réseaux superficiels (rivières)	Emergence, résurgence
Etangs, lacs, marais	Évaporation
Mer	Évapotranspiration
	Infiltration
	Percolation profonde

Les objectifs à atteindre pour une meilleure utilisation de la ressource en eau potentielle du système hydrologique peuvent, en définitive, être schématisés de la façon suivante :

- Exploitation des Flux et Stocks existants
- Transformation d'un Stock en Flux
- Transformation d'un Flux en Stock

Nous ne présenterons dans ce chapitre que les méthodes et procédés technologiques les plus significatifs qui méritent d'être plus utilisés dans les pays à ressources limitées ainsi que ceux qui, bien que toujours à l'étude, semblent être sources de progrès et bien-être futur dans le cadre d'une politique d'écodéveloppement.

2.1 EXPLOITATION DIRECTE DE FLUX EXISTANTS

2.1.1 Précipitation

Dans les régions semi-arides où la pluviométrie est limitée en volume et dans le temps et où les possibilités de stockage sont restreintes, il y a un intérêt certain de sélectionner en plus des espèces résistantes à la sécheresse, des cultures à cycle végétatif court profitant au maximum de la pluviosité pour leur croissance.

Dans ce même contexte, les méthodes de préparation des terres cultivées en terrasses, banquettes et petits bassins de réception qui évitent le ruissellement sur les pentes ou qui au contraire favorisent, en plaine, la concentration du ruissellement localisé au pied de la plante, sont à systématiser.

2.1.2 Ruissellement

A l'opposé des méthodes de plantation qui essaient de prévenir le ruissellement exagéré sur les pentes, soit pour favoriser l'infiltration sur place, soit pour empêcher l'érosion des sols et les crues, certains systèmes anciens, perfectionnés et remis en usage dans les zones arides du Moyen-Orient (Israël, Libye, Tunisie) et d'Amérique Latine (Mexique) consistent à favoriser le ruissellement sur les pentes qui entourent la parcelle à irriguer et à diriger le volume d'eau récupéré sur cette parcelle grâce à des petits collecteurs et distributeurs de surface. La concentration de ruissellement est obtenue en dénudant les pentes arides et en lissant leur sol, soit par damage ou par projection de matériaux imperméables (bitume, silicones, plastiques...).

2.1.3 Résurgences - Emergences

Si l'on sait très bien capter et utiliser les sources ou exutoires à l'air libre des nappes ou aquifères poreux, de grands progrès restent à faire en vue de l'exploitation optimum des résurgences ou exutoires d'aquifères en milieu fissuré ou karstique, en raison notamment de manque d'études sérieuses et de données comparatives sur certains paramètres essentiels du système d'alimentation de ces résurgences (configuration, alimentation, volume rechargé, transfert et temps de séjour,...).

Les procédés d'étude et de mesures faisant appel aux quelques technologies modernes suivantes permettent de mieux connaître et comprendre ces systèmes karstiques : télédétection, géophysique, méthodes de traçage isotopiques, sondages mécaniques, exploration sous-marine, détection magnétique et électromagnétique, etc.

Le problème se complique encore quand les résurgences sont sous-marines car se pose en plus le problème de la récupération et du captage des débits d'eau douce en contact avec le milieu marin récepteur. De telles résurgences sous-marines sont nombreuses en Méditerranée (Espagne, France, Grèce, Italie, Liban, Libye, Syrie, Turquie, Yougoslavie,...), aux Caraïbes, en Amérique, Moyen-Orient, Asie, etc. Très peu de réalisations pour exploitation de telles résurgences ont vu le jour jusqu'à présent. Une réalisation pratique significative a été achevée en 1977 par le groupement français FRANKARST pour le captage par barrage souterrain immergé et l'exploitation des résurgences sous-marines de Port-Miou près de Marseille (débits de 3 à 150 m³/s). L'opération a démontré qu'une telle réalisation était rentable, le prix de vente de l'eau fournie (0,58 F/m³ pour un débit total assuré de 500 l/s) étant compétitif par rapport à l'eau fournie à partir de réseaux de surface conventionnels.

Les émergences en mer qui proviennent d'un écoulement diffus de nappes ou aquifères homogènes ne peuvent pas être captées dans l'état actuel des techniques. Cette vidange est parfois importante et représente une perte de ressources en eau douce (cas de nappes phréatiques littorales) potentiellement utilisable. Les moyens permettant de remédier à ce phénomène existent, sous forme de barrages souterrains limitant ou faisant obstacle à l'écoulement utilisables dans certains cas très particuliers, sous forme de réseau de stations de pompage fonctionnant jusqu'à la limite de pénétration du coin salé dans la nappe littorale (équilibre piézométrique) ; ou enfin consistent à récupérer les eaux usées retraitées.

2.2 EXPLOITATION DE STOCKS NATURELS

2.2.1 Eau atmosphérique

On peut citer la proposition futuriste d'utiliser des cheminées géantes en matière plastique (3km de hauteur) qui, en favorisant un courant ascendant grâce à la différence de température sol-altitude, permettrait à l'humidité de l'air de se condenser sur les parois et de ruisseler jusqu'au sol!

Avec plus de sérieux on peut mentionner un "collecteur de brouillard" utilisé avec succès l'hiver sur les côtes désertiques d'Amérique Latine (Pérou, Chili) et qui peut produire 18 l d'eau/jour. L'instrument est constitué d'un rideau de 2,5 m de long de fils de nylon de 1,2 m de haut. Ce fait démontre qu'un rideau végétal faisant office d'intercepteur-capteur naturel pourrait facilement subsister et croître durant l'époque où le brouillard est présent (120 jours/an au Pérou).

D'autres techniques simples utilisant les phénomènes naturels de condensation ont été utilisées depuis longtemps par les hommes en situation de pénurie d'eau. Citons le cas des cultivateurs d'agrumes des Iles Canaries qui étendent du sable volcanique noir autour de leurs plantes afin de favoriser la condensation, durant la nuit, de l'humidité de l'air sur le sable refroidi et d'arroser ainsi leurs récoltes.

2.2.2 Eaux saumâtres

Les stocks d'eau saumâtres présents soit dans les lagunes, étangs côtiers, chotts ou dans les nappes profondes font de plus en plus l'objet d'utilisations expérimentales ou extensives en agriculture irriguée (Tunisie, Israël,...), dans l'industrie (refroidissement, forages pétroliers,...), en aquaculture et pisciculture. Partie de cette ressource est également utilisée dans des usines de dessalement afin de produire de l'eau douce pour l'alimentation.

2.2.3 Mer

On peut utiliser la mer pour la production d'hydroélectricité réservée jusqu'ici à l'eau douce, et réserver celle-ci pour d'autres usages où l'eau douce est essentielle. Trois grands principes se prêtent à une telle production : énergie motrice de la marée (barrage de la Rance en France), principe de Carnot (différence entre source chaude et source froide), énergie solaire pour évaporation d'une étendue d'eau de mer captée et turbinage classique d'un débit entretenu par la dénivellation ainsi créée entre la mer et la retenue (projets de la dépression de Quattara en Egypte, et du barrage Dawhat Salwah entre l'Arabie Saoudite, Bahrein et Qatar).

On utilise aussi l'eau de mer pour la réfrigération des centrales thermiques (40 % en Grande-Bretagne) et nucléaires qui tendent à migrer sur le littoral car ces centrales prélèvent des flux d'eau importants pour la réfrigération et rejetant des flux thermiques également importants que le milieu naturel doit pouvoir absorber.

L'eau de mer peut aussi être transformée en eau douce grâce à des usines de dessalement utilisant pour leur fonctionnement des combustibles fossiles, de l'énergie électrique ou de l'énergie provenant de centrales nucléaires associées, ou enfin à l'énergie solaire. Les installations utilisant l'énergie solaire pour la distillation de l'eau de mer sont, à l'heure actuelle, de taille réduite ($5 \text{ m}^3/\text{jour}$). Les autres unités de dessalement sont basées sur 5 grands types de procédés : distillation éclair par étages, à multiple effet, par thermocompression, osmose inverse, électrodialyse. Le premier type de procédé est actuellement le plus répandu (60 % des usines) et fournit environ 80 % de la production totale d'eau de mer dessalée ($300\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ environ en 1974). Le prix de revient du m^3 d'eau dessalée varie selon les procédés et les tailles des usines de moins de 5 \$ à plus de 100 \$ par millier de US gallons. En Arabie Saoudite la capacité des usines de dessalement devrait atteindre $14 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1985, soit environ le 1/3 de la production mondiale d'eau dessalée en 1975. Le prix de revient, dans l'état actuel, est un facteur limitant pour les usages ultérieurs de l'eau de mer dessalée réservée exclusivement aux usages domestiques.

Des progrès technologiques, notamment dans le domaine de l'utilisation de l'énergie solaire pour le dessalement en zone aride, devraient permettre dans l'avenir de réduire le prix du m³ d'eau dessalée de façon notable.

2.3 TRANSFORMATION D'UN STOCK EN FLUX

2.3.1 Pluie artificielle

De nouveaux essais portant sur l'obtention de pluies artificielles ont été réalisés en Europe, Amérique et Moyen-Orient depuis les années 60. Les résultats ont été très controversés. La seconde série d'expériences réalisées en Israël dans la région du Lac Tibériade durant la période récente 1969-1975 semble avoir permis d'augmenter la pluviosité de 17 % par ensemencement des nuages (valeur significative au seuil de 3,8 %). Aux USA, de nouvelles expériences sur 10 ou 20 ans sont prévues au Colorado retenu comme site favorable. Le CIEH, de son côté, a conduit des études approfondies sur le terrain.

L'OMM vient récemment de décider de réaliser ses premières expériences de pluie artificielle dans la région de Valladolid en Espagne sur une période test de 7 ans. Cette région a été retenue en raison notamment de sa faible pluviométrie naturelle, de ses longues séries climatologiques fiables et du fait qu'elle est le siège de formation de nuages cumulus ou cumulo-nimbus se prêtant bien à l'insémination.

2.3.2 Eaux présentes sous forme de glaciers et banquises

Dans certaines régions où des glaciers sur de hauts reliefs voisinent avec des étendues arides dans les plaines, il peut être envisagé de soutenir les étiages d'hiver en accélérant la fonte des neiges et glaces durant cette période grâce, par exemple, à une pulvérisation de produits noirs ou à la concentration du flux de chaleur solaire. Aucune application à grande échelle ne semble avoir vu le jour jusqu'à présent.

On envisage de plus en plus sérieusement la possibilité de transporter ou remorquer des icebergs jusqu'à des pays situés en zone aride de façon à les utiliser sur place pour la production d'eau potable. Des études de faisabilité technologique et de rentabilité économique sont en cours et devraient déboucher incessamment sur des expériences in situ. Une telle technologie semble, dans l'état actuel des connaissances, ne pas devoir être réservée qu'aux pays de zone aride, riches en devises. En effet, selon des chiffres cités par P.E. Victor, lors des conférences internationales de 1977 à Paris et à Iowa (USA), le prix de revient de l'eau d'iceberg livré au Moyen-Orient serait d'environ 3F/m³, ce qui lui semble compétitif par rapport au dessalement de l'eau de mer.

2.4 TRANSFORMATION D'UN FLUX EN STOCK

2.4.1 Précipitations

L'utilisation de citernes pour captage et stockage de l'eau de pluie était autrefois très répandue dans les pays méditerranéens, les pays des régions semi-arides et arides. Les procédés utilisés étaient très simples : utilisation des toitures comme capteurs et systèmes de gouttières amenant l'eau interceptée vers un réservoir. La tendance est à l'abandon de tels procédés dans les zones urbaines, indépendamment des conditions climatiques, en raison notamment de la facilité offerte par le raccordement aux réseaux d'adduction d'eau potable, de la multiplication des immeubles collectifs et des risques de santé liés à une mauvaise maintenance des captages de toit et des réservoirs de stockage. Des systèmes fiables et économiques de collecteurs de toitures et citernes de stockage devraient être intégrés dès la conception des habitations et bâtiments à ériger en zone rurale ou urbaine des pays souffrant de déficit chronique en eau pure. A noter que pour les pays méditerranéens dont la lame d'eau précipitée varie entre 0,2 et 1 m/an, la récolte d'eau de pluie par l'intermédiaire d'un capteur-collecteur de 100 m² varierait entre 20 m³/an et 100 m³/an, ce qui permet de subvenir aux besoins domestiques d'une famille de 4-5 personnes pendant 20 ou 100 jours.

2.4.2 Ruissellement

Dans le but de réaliser un stockage et de limiter les effets de l'évaporation en zone aride, on peut collecter les eaux de pluie et les eaux ruisselées dans des réservoirs ouverts enterrés dont le fond a été rendu imperméable (argile, filon, plastique, bitume,...) et qui sont remplis de graviers et de sables.

En zones urbaines on considère de plus en plus l'intérêt qu'il y a de séparer les eaux de ruissellement des eaux usées et effluents à l'aide de réseaux de collecte différents, ce qui permet de stocker et traiter séparément les eaux de ruissellement dans les bassins de régulation-décantation en vue de réutilisation directe ou indirecte et de ne pas surcharger les stations d'épuration.

2.4.3 Infiltration

Dans le cas de cultures sur sable en zones arides et semi-arides, l'infiltration à travers les sols sableux à grande perméabilité vers les aquifères profonds peut être interrompue par la mise en place de films-couches imperméables enterrés à 50-70 cm de profondeur, ce qui permet de conserver pour l'alimentation des cultures l'eau de pluie ou l'eau d'irrigation distribuée en surface. A contrario, cette infiltration peut être encouragée pour stocker l'eau dans les nappes.

2.4.4 Ecoulement superficiel

Si les techniques de stockage des eaux de surface derrière des barrages sont très connues et utilisées, celles qui consistent à injecter cette même eau dans les aquifères souterrains le sont moins. L'alimentation artificielle d'un aquifère (nappes phréatiques ou profondes) est en général réalisée pour l'une des raisons suivantes :

- les écoulements superficiels sont excédentaires par rapport aux besoins durant une période de l'année (hiver) et déficitaires durant l'autre période (été). Il faut stocker le surplus de la ressource en la protégeant d'une évaporation importante (zone semi-aride).

- Toujours dans la même hypothèse de valorisation de la ressource par stockage, on peut choisir la solution du stockage dans l'aquifère afin de préserver l'occupation du sol ou dans le cas où les sites de réservoirs en surface font défaut (zones littorales).
- L'alimentation artificielle de nappes est quelquefois rendue nécessaire dans le cas de surexploitation de nappes entraînant une pollution par intrusion d'eau marine ou saumâtre.

L'alimentation des aquifères se fait en général par injection sous pression dans des forages (nappes profondes) ou par infiltration de réserves créées en surface derrière des petits barrages implantés dans le lit de la rivière (nappes phréatiques d'oueds).

Les principaux facteurs limitants dans le cas de l'alimentation artificielle des nappes sont ceux relatifs à la transmissivité de l'aquifère et à son colmatage au cours de l'alimentation par des processus physico-chimiques. Ces facteurs restreignent le choix des aquifères récepteurs ainsi que celui des eaux d'alimentation.

2.5 On ne saurait achever ce chapitre sans mentionner les projets à l'étude qui ont pour objet de modifier la répartition de la ressource en eau, non seulement à l'intérieur des bassins versants, mais plutôt à l'intérieur de continents en captant et en dérivant les ressources en eau des régions septentrionales peu peuplées et bien arrosées vers les régions méridionales plus peuplées et moins arrosées. Ces projets consistent, par exemple, à amener les eaux de l'Alaska vers le Canada et les régions arides des USA et du Mexique, ou encore à dériver les eaux des fleuves sibériens qui coulent vers le nord de la toundra polaire au profit des régions déficitaires de la Mer Caspienne, de la Mer d'Aral et des plaines de l'Asie Centrale (URSS). Des transferts plus modestes sont envisagés entre le Bassin du Congo et les régions arides du Lac Tchad en Afrique. Il en est de même pour des projets de dérivation des eaux de l'Amazone et du Rio de la Plata vers les régions déficitaires de l'Amérique du Sud. Pour rester en Méditerranée, les transferts interbassins et interannuels se multiplient de l'Ouest à l'Est du Bassin.

2.6 Les études et réalisations technologiques qui permettent d'agir sur les composants du cycle hydrologique et qui autorisent à envisager une nouvelle géographie de l'eau à l'échelle mondiale, ne doivent, en aucun cas, aller à l'encontre d'une politique globale pour un usage plus efficient de la ressource en eau présente.

III. POUR UNE MEILLEURE EFFICACITE DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES EXISTANTS

L'intervention de l'homme dans le système hydrologique a pour résultante principale une modification des stocks et des flux présents dans le système. Ces modifications apportées par l'homme (perturbation ou pollution) ont pour but de lui permettre la satisfaction de ses usages dans un système à 4 dimensions - espace et temps - grâce à des aménagements. Sans préjuger des usages de l'eau qui se classent en fonction de 3 grands secteurs d'activité (agriculture, municipalités, industrie), on peut schématiser les aménagements en les répartissant selon 5 types élémentaires : prélèvement - stockage - transport - traitement/épuration - injection.

3.1 PRELEVEMENT - INJECTION

Ces ouvrages ont pour objet de modifier un stock ou un flux d'eau d'une quantité donnée. Les techniques modernes dans ce domaine sont au point et les procédés technologiques employés sont en général relativement fiables et efficaces vis à vis de la fonction de transfert ou de mélange pour laquelle ils sont utilisés. Les deux facteurs structurants à considérer sont l'énergie à fournir et la facilité d'entretien.

3.1.1 Le créneau technologique à développer dans le domaine du pompage des aquifères est incontestablement celui des technologies douces : Eoliennes de pompage et pompes solaires. Dans le premier cas, les techniques sont au point et l'usage d'éoliennes est ancien, notamment en Europe, Méditerranée et continent américain où on trouve de nombreuses installations en fonctionnement. L'introduction d'éoliennes en Afrique est plus récente. Les débits que l'on peut attendre des éoliennes de pompage courantes sont de l'ordre de 10 à 20 m³/j pour des pompes à 10 m de profondeur.

Dans le cas des pompes solaires qui sont toujours au stade du développement, on peut distinguer 2 grands types : les pompes thermodynamiques et les pompes photovoltaïques. Les premières bénéficient actuellement, par rapport aux secondes, d'économies d'échelle, ce qui veut dire que l'installation du dernier kilowatt est moins chère quand la puissance totale augmente. Les pompes solaires thermodynamiques du type SOFRETES (France) fournissent des débits de 20 m³/j en fonctionnant de 4 à 6 heures avec une dénivellée de 30 m.

3.1.2 Pour le captage dans les nappes sans pompage, mentionnons le type d'aménagement appelé "qanat" en Iran, "kariz" en Turquie et "Foggara" en Afrique du Nord. Ce système présumé originaire d'Iran et qui date de 2500 ans a été aussi utilisé en Espagne et en Amérique du Sud. Il consiste en un tunnel d'interception en pente creusé dans le flanc d'une colline et pénétrant dans l'aquifère à drainer. Ce tunnel qui débouche à l'air libre dans la plaine fait office d'émergence artificielle de la nappe. Il est connecté sur tout son parcours au toit de la colline par une série de puits verticaux d'1 m de diamètre environ espacés de 10 à 50 m. La profondeur de ces puits, qui servaient à la construction et à la maintenance du système, peut atteindre 200 mètres. Le système qanat peut être considéré comme étant à l'origine du procédé de drainage de nappes par puits drainants horizontaux utilisé pour des nappes captives suspendues.

3.2 STOCKAGE

Les problèmes qui se posent dans le cas de réservoirs de surface peuvent se résumer ainsi : diminution du volume de stockage par sédimentation - pertes d'eau par infiltration et évaporation - modification de la qualité de l'eau.

3.2.1 Sédimentation - envasement

Dans les pays semi-arides où l'érosion par ruissellement des sols est intense, les problèmes de sédimentation obligent les projeteurs à surdimensionner largement les ouvrages de retenue de crues et à prévoir des dispositifs leur permettant d'évacuer les charges solides déposées dans le réservoir. En 1957 la capacité totale des barrages installés en Algérie, initialement de 900 M m³, avait été réduite à 200 M m³ en raison de la sédimentation. Le barrage d'Aswan en Egypte stocke en moyenne un volume de sédiments évalué à 160 M m³/an. Les dispositifs généralement utilisés pour éviter un comblement sont le dragage et les chasses. Ils sont souvent inopérants ou onéreux. Dans le cas d'une sédimentation régulière trop importante d'un barrage il peut s'avérer parfois plus rentable de construire un nouveau barrage en aval et d'utiliser l'ancienne retenue comme un nouvel aquifère artificiel de stockage à valoriser. Notons enfin que l'on peut limiter l'érosion du sol par préparation des pentes en terrasses et reforestation-plantation.

* M m³ = millions de m³

3.2.2 Pertes par fuites, infiltration et évaporation

Si elles ne sont pas négligeables, on peut tenter de localiser les fuites à l'aide de méthodes utilisant des traceurs isotopiques artificiels et de les colmater grâce à des procédés d'injection. Dans le cas de petits réservoirs de stockage destinés à l'alimentation ou dans le cas où la nature des sols de la cuvette du réservoir est trop perméable, on peut réaliser l'étanchéité de la cuvette en y faisant circuler une eau chargée en particules fines (limons ou bentonite). L'étanchéité peut aussi être parfaite à l'aide des dalles en béton armé avec joints en caoutchouc, par revêtement de béton bitumineux à une ou deux couches ou d'autres procédés modernes.

L'évaporation de l'eau des barrages situés en zone aride peut atteindre 2,0 à 2,5 m. A Aswan, la lame d'eau évaporée est estimée à 2,2 m/an, ce qui est une ponction considérable de la ressource stockée dans le Lac Nasser (8%). Afin de réduire l'évaporation des réservoirs d'eau libre, il y a intérêt à réduire leur surface dans la mesure du possible car les recouvrir d'un écran constitué de matériaux flottants et réfléchissants n'est pas encore payante. Reste aussi à considérer la possibilité d'utiliser des barrages ensablés ou des aquifères souterrains comme alternative aux réservoirs de surface permettant de réduire l'effet de l'évaporation.

3.2.3 Modification de la qualité de l'eau stockée dans les réservoirs

L'évaporation des surfaces d'eau libre des réservoirs augmente la salinité des eaux stockées, ce qui est une forme de pollution contre laquelle on ne peut lutter qu'en limitant l'évaporation.

Afin d'éviter les phénomènes d'eutrophisation des réservoirs, il y a lieu de tout mettre en oeuvre pour que ces derniers ne soient pas récepteurs de rejets polluants car lacs et réservoirs sont des écosystèmes fragiles souvent soumis à des stratifications qui limitent les échanges des couches profondes avec l'atmosphère.

3.3 TRANSPORT

Les pertes par évaporation, infiltration, fuites ou débordement dans les canaux artificiels, les réseaux d'adduction et les réseaux de distribution destinés à la fourniture d'eau pour des usages agricoles, domestiques ou industriels sont souvent très importants dans les réseaux anciens qui ne font pas l'objet de contrôle ou de maintenance régulière. Ainsi, le canal d'irrigation Ismailia en Basse Egypte est réputé pour ses pertes évaluées à 800 000 m³/an qui sont principalement dues au fait que ce canal, construit avec les matériaux sableux du désert, est surélevé par rapport au sol et possède une section mouillée non revêtue. Le colmatage progressif qui pouvait se faire auparavant grâce aux sédiments fins charriés lors de la crue du Nil, ne peut plus se poursuivre naturellement depuis l'achèvement du haut barrage d'Aswan. L'intérêt d'assurer une bonne étanchéité à la section mouillée des canaux est évident.

Dans le cas de changement de systèmes d'irrigation comme par exemple le passage à une distribution "à la demande" (irrigation par aspersion) dans un canal équipé pour une distribution "au tour d'eau" (irrigation par ruissellement) conduit nécessairement à des pertes par débordement dans le cas de variations rapides de la demande aval. Le même phénomène peut se produire dans le cas où des irrigants abonnés à un tour d'eau n'utilisent pas leur quota, par exemple la nuit ou lors d'épisodes pluvieux de grande extension. Dans ce cas une partie du débit réglé en tête du canal sera perdue par débordement. Pour réduire ces pertes importantes (15 à 18 % sur certains canaux dont le Canal de Craponne dans le sud de la France) le système de régulation par l'amont doit être remplacé par des systèmes de commande "par l'aval" ou des systèmes plus sophistiqués tels que la "régulation dynamique" utilisée avec succès par la Société du Canal de Provence (France).

Quand les débits à véhiculer le permettent, notamment dans les ouvrages d'adduction-distribution, le transport par conduites sous pression offre les meilleures garanties d'efficacité. Encore faut-il procéder régulièrement à la vérification et à la maintenance des conduites, joints, vannes, branchements, etc.

On a récemment constaté après une première étude faite par l'Agence Financière de Bassin Seine-Normandie sur le rendement des réseaux de distribution d'eau potable de 2 départements français (Calvados et Seine-Maritime), que le rendement brut moyen des réseaux testés se situait entre 67 et 80 %. Une étude plus large réalisée par la même Agence a montré que 20 % des réseaux avaient des rendements inférieurs à 60 %. Il y a donc un domaine assez vaste d'interventions pour éviter des pertes et assurer aux réseaux d'eau potable un rendement voisin d'un optimum raisonnable que l'on situe aux alentours de 85 %.

3.4 STATIONS D'EPURATION

Nombre d'entre elles fonctionnent de façon défectueuse en raison notamment de mauvaise adaptation aux effluents à traiter, de négligences, par défaut de maintenance régulière et parfois aussi par manque de compétence technique des responsables de fonctionnement. Ces défauts sont souvent constatés au niveau des stations d'épuration communales qui manquent de personnel qualifié et reçoivent des effluents industriels bruts dont les volumes et les caractéristiques sont variables.

Afin de permettre un bon fonctionnement des stations d'épuration, il est conseillé de séparer les effluents industriels et urbains, si les premiers sont prépondérants, et de les traiter séparément. Pour les stations municipales il est souhaitable, dans la mesure du possible, de réduire leur capacité en traitant séparément dans les bassins de régulation les eaux de ruissellement qui représentent souvent en zone tempérée plus de 60 % du volume total des effluents dans les stations municipales de moyenne importance. Il est hors de propos d'analyser ici les divers procédés de traitement-épuration utilisés par les industries ou les collectivités locales pour le traitement des eaux usées. La mise en oeuvre de ces procédés à divers stades que l'on classe généralement

en 3 grands types (physiques, chimiques, biologiques - ou primaire, secondaire, tertiaire) et l'efficacité des traitements, est conditionnée en premier lieu par une bonne connaissance des caractéristiques des flux (eau, polluants, température, etc.) d'entrée à la station, et de la variation de ces flux. Théoriquement, rien ne s'oppose à une bonne efficacité des stations d'épuration si toutes les données ont été bien analysées et intégrées et si la marche de la station de traitement-épuration est régulière et bien conduite. Mais le bon fonctionnement d'une station coûte relativement cher (de 7 à 12 F par équivalent-habitant par an pour une station moyenne en France). Le problème financier est accompagné d'une difficulté technique dans le cas des stations d'épuration des villes "touristiques" (stations balnéaires, de ski...) dont l'activité est saisonnière et très concentrée dans le temps. Dans ce cas l'épuration de type biologique mettant en oeuvre des micro-organismes vivant de la pollution est mal adaptée aux variations des charges polluantes. C'est la raison pour laquelle des recherches sont faites afin de promouvoir des procédés de traitement de type physico-chimique plus fiables permettant de s'adapter à de brusques variations de la charge des stations.

"Bien épurer", qui signifie aussi accroître les possibilités d'utilisation de l'eau en aval de la station, n'est en fait concevable que dans un système où les moyens d'information - planification - contrôle - incitation - aide technique et financière sont réunis.

Grâce aux interventions des 6 Agences Financières de Bassin en France, la capacité des stations d'épuration urbaines est passée de 13 à 27 millions d'équivalent-habitants entre 1970 et 1975 ; l'effort consenti est important (1,9 milliard de francs d'aide des Agences de Bassin entre 1969 et 1976) et doit se poursuivre, car on constate que l'indice de pollution nette (rejetée) (MO et MES) a varié dans le même temps de 100 à 96, ce qui montre clairement que l'effort restant à accomplir doit porter également et surtout sur les "performances" des installations de traitement. La statistique suit la même tendance, en France, pour les industries qui possèdent leurs propres installations d'épuration : capacité de traitement passant de 23 à 48 millions* d'équivalent-habitants entre 1970 et 1975

* compte tenu du soutien des agences

pour une variation de l'indice de pollution nette de 100 à 93,6. Ces indices signifient en fait que la pollution totale rejetée en France dans le milieu naturel par l'ensemble des collectivités locales et industries était estimée à 98,5 millions d'équivalent-habitants contre 105,5 millions d'équivalent-habitants en 1970. Quelle aurait été la situation sans la politique de lutte contre la pollution menée par les Agences Financières de Bassin et le Ministère de la Qualité de la Vie et de l'Environnement ? Rappelons que le Gouvernement français s'est fixé comme objectif de réduire d'ici à 1990 les rejets de pollution à 20 % de la pollution totale produite.

Il convient de noter que la pollution due à l'agriculture (salinité, pesticide,...) n'est pas prise en compte dans les bilans nationaux de pollution et n'est pas traitée dans des stations d'épuration, en raison principalement de la dispersion qui caractérise les activités agricoles. L'usage de plus en plus extensif et intensif de l'irrigation, des engrais chimiques et des pesticides en agriculture conduit cependant à une pollution de plus en plus grande du milieu naturel qu'il est nécessaire de prendre en compte dans les bilans des pays où l'agriculture moderne occupe une partie importante du territoire national. Des installations de désalinisation à l'aval des vallées où l'irrigation est une des principales causes de l'augmentation de salinité des eaux peut très bien s'envisager et se justifier économiquement dans certains cas (cas du Bassin du Colorado et de la vallée San Joaquin aux USA), mais reste encore difficile à généraliser en Méditerranée.

IV. ECONOMIES ET UTILISATION DE L'EAU

Economiser l'eau au niveau d'un usage particulier c'est faire en sorte que les différences entre les flux d'entrée et de sortie soient les plus faibles possibles, les flux considérés étant des flux d'eau "pure", matières en suspension (MES), oxydables (MO), de température, etc. C'est donc tendre vers une réduction des "consommations" nettes et des "productions" de pollution pour les différents usages de l'eau. Ces derniers se classent généralement en trois grandes catégories :

- usages domestiques et municipaux
- usages industriels
- usages agricoles

4.1 USAGES DOMESTIQUES ET MUNICIPAUX

4.1.1 Prélèvement - consommation

La tendance dans les installations modernes de distribution d'eau potable en zone urbaine à grande population, où l'espace est limité et où les reliefs sont plats, est d'abandonner les systèmes gravitaires avec châteaux d'eau et de préférer le système de refoulement direct dans le réseau. Ce système nécessite, pour des raisons d'hygiène, que le réseau soit maintenu en permanence sous pression. Ainsi il n'y a pas de dégradation de la qualité de l'eau distribuée par stockages successifs dans les réservoirs. Un tel système de distribution nécessite des installations de très grande qualité, depuis le départ de l'usine jusqu'au terminal de l'utilisateur, contrainte peu compatible avec la majorité des anciens réseaux de distribution d'eau potable (50 % des réseaux en France datent d'avant 1900) où toute surcharge augmente les pertes et fuites dans le réseau (voir 3.3). En Afrique du Sud, on a montré que la consommation augmente de 30 % quand la pression augmente de 60 %.

Le total des prélèvements en eau pour usage domestique et urbain était en 1970 pour la France de près de 4 milliards de m³/an soit 80 m³ par habitant/an ou 220 l/hab/j, avec de grandes disparités régionales. La consommation domestique des grandes villes françaises varie entre 200 et 500 l/hab/j. Cette même demande domestique urbaine (l/hab/j) est très variable pour les grandes villes des pays méditerranéens : Alger : 100, Athènes : 125, Istanbul : 150, Madrid : 300, Marseille : 300, Milan : 530, Paris : 500, etc. Elle dépend beaucoup des modes de raccordement et de distribution au niveau des usagers particuliers, mais aussi des habitudes d'usage de l'eau, des pertes dans les réseaux et des fuites et gaspillages chez l'utilisateur.

Le pourcentage des fuites et pertes dans les réseaux municipaux varie entre 40 et 10 % pour les réseaux anciens en France. La moyenne peut être estimée proche de 20 %, pourcentage que l'on retrouve au Canada (23 % au Québec en 1972 avec des pointes de 45 %) et aux USA (20 à 25 % en 1966). Un contrôle régulier des réseaux par méthode électro-acoustique, caméra de T.V., multiplication des débitmètres et une maintenance régulière de ces réseaux permettraient de réduire les fuites les plus importantes. Les usages municipaux de certaines grandes villes gagneraient à être révisés ; ainsi celui des "boîtes à eau" utilisées immodérément pour le nettoyage des caniveaux, grandes consommatrices d'eau "pure" utilisée pour décoller et transporter les déchets en l'absence de "l'homme-balai" ou pour l'arrosage municipal (120 000 m³/j à Marseille centre ville). En règle générale, des limiteurs et obturateurs automatiques de débit devraient être installés sur tous les postes de délivrance d'eau à usage public ou collectif.

Au niveau de l'usage domestique on a constaté, lors d'une étude récente faite en France par l'Agence Financière de Bassin Seine-Normandie et la ville de Paris, que les fuites chez l'utilisateur représentaient de 40 à 50 % des volumes utilisés. Une première analyse des consommations nocturnes incriminait par ordre d'importance décroissant : les chasses d'eau (WC), les canalisations enterrées à l'intérieur des ensembles immobiliers, les robinets et les canalisations d'immeubles. Il a été également estimé

qu'une réduction de moitié de ces fuites permettrait d'économiser près de 350 000 m³/j ou 300 millions de francs d'investissements supplémentaires sur la seule région parisienne ! Un programme d'étude et de lutte contre les fuites et le gaspillage est en cours. Un tel programme pour la ville de Vienne a mené une réduction de 1,5 % par an des besoins domestiques. Une étude récente des besoins et usages de l'eau domestique aux USA donne la répartition suivante : toilettes (WC) : 43 % - douche et bain : 34 % - cuisine : 6 % - boisson : 5 % - lavage : 4 % - arrosage : 3 % etc... Au Québec (Canada) on a estimé d'après une étude faite en 1973 sur les consommations de 312 jours de résidences unifamiliales que les chasses des toilettes-WC représentent environ 30 à 35 % de la demande, et que l'arrosage des pelouses durant 1 heure en été pouvait doubler la demande journalière des résidences unifamiliales. Rappelons que l'on évalue la "consommation" moyenne domestique à 11-15 % des prélèvements d'eau potable.

Afin de réduire les gaspillages au niveau domestique, différents procédés ont été envisagés, certains n'étant pas réalistes.

- utilisation d'un double réseau de distribution (usages nobles et usages de chasse)
- installation de débitmètres pour chaque usager et contrôle régulier des consommations
- réduction de la pression de distribution, surtout la nuit
- emploi de réservoirs individuels
- utilisation de chasses de WC à double réservoir (4,5 et 9 l) ou de WC sans eau
- fixation de douches à la sortie des robinets
- utilisation de robinets-vannes à arrêt automatique
- recyclage de l'eau de bain et de lavage pour les WC et l'arrosage
- information du public par campagnes réalisées à travers les mass-médias
- incitation par le prix de vente et taxes sur les surconsommations.

4.1.2 Rejets

La réduction des consommations individuelles conduit naturellement à la réduction en volume des rejets d'effluent. Ces rejets seront d'autant plus faciles à traiter qu'ils seront moins chargés notamment en produits non-biodégradables, d'où un effort nécessaire pour interdire les détergents non-biodégradables. Les effluents domestiques et municipaux (eaux de ruissellement, lavage de voirie,...) devraient au minimum, subir un traitement primaire et secondaire avant d'être rejetés dans le milieu naturel. Dans certains cas particuliers ces effluents pourront être réutilisés, après dilution ou non, sans traitement préalable pour la fertilisation des sols ou l'irrigation. La réutilisation des effluents domestiques et municipaux après traitement peut se concevoir et est effectuée pour de nombreux usages domestiques, industriels, agricoles, de loisirs, d'équipement et de réalimentation de nappes (voir chapitre 5).

Un effort particulier devrait être consenti dans la recherche des possibilités de revalorisation et d'utilisation extensive des effluents domestiques et municipaux de villes littorales. Que l'on songe qu'une grande cité méditerranéenne comme Marseille avec son agglomération, qui utilise environ $230 \text{ M m}^3/\text{an}$, rejette à la mer un débit d'effluents variant de $5 \text{ à } 10 \text{ m}^3/\text{s}$ qui pourrait être réutilisé (irrigation possible théorique de plus de $10\,000 \text{ ha}$).

4.2 USAGES INDUSTRIELS

4.2.1 Prélèvements - Consommation

Des estimations de prélèvements, au début des années 1970, relatives aux industries françaises non raccordées à des réseaux de distribution en eau potable donnaient des valeurs de $4 \text{ à } 6 \text{ km}^3/\text{an}$ réparties entre environ 40 % de prélèvements de nappes et 60 % de prélèvements en eau de surface. Une moyenne pour l'ensemble du territoire français conduisait à un prélèvement moyen voisin de $2 \text{ m}^3/\text{jour}/\text{emploi industriel}$, avec de fortes

disparités régionales. Cette valeur unitaire moyenne des prélèvements par actif industriel peut être comparée à la valeur unitaire moyenne des prélèvements à usage domestique qui se situe à 220 l/j/habitant.

Les prélèvements et consommations unitaires pour l'industrie varient beaucoup en fonction des types d'industrie et des cycles d'utilisation de l'eau dans ces industries. Les fonctions ou usages élémentaires de l'eau dans l'industrie peuvent être classés en :

- fonction d'entraînement (lavage et élimination des déchets - transport)
- fonction des productions ou des transports de calories (chaudières - refroidissement)
- fonction des matières premières ou de fabrication.

Les taux des consommations unitaires (% des prélèvements non restitués) par usage industriel élémentaire de l'eau peuvent varier énormément selon les procédés industriels utilisés. On utilise parfois les valeurs indicatives moyennes suivantes :

- Refroidissement ≠ 1 %
- Lavage et transport ≠ 6 %
- Fabrication ≠ 6 %
- Chaudières ≠ 85 %

Ces taux sont, en fait, variables selon les types d'industries.

Le souci d'économiser l'eau (quantité) conduit à tenter de réduire les flux d'eau prélevés et la consommation. Afin de réduire les prélèvements, on peut, après analyse détaillée des fonctions de l'eau dans les unités industrielles, agir notamment sur :

- les fuites et les gaspillages (lavage des sols et des matières premières, contrôle strict des volumes d'eau nécessaires,..)
- une meilleure mise en oeuvre de l'eau (utilisation de circuits en cascade, amélioration du contact des pièces avec l'eau de rinçage, séparations des circuits d'eau à usages divers,...)

- la destination de l'eau (abandonner l'usage de l'eau dans des cas où des produits ou procédés de remplacement existants (voies sèches,...)
- les procédés de fabrication en préconisant la mise en oeuvre progressive de recyclage.

De tels procédés et mesures "internes" ont permis, (exemple classique) à l'usine d'aciérie Usinor de Dunkerque (France) de réduire les besoins en eau de 9 m³/ t. acier produite à près de 2 m³/tonne. Notons que certains procédés utilisés encore à l'heure actuelle nécessitent 350 m³ d'eau/tonne d'acier. Dans certaines industries de traitement de surface française, l'adoption de techniques modernes de rinçage ont permis de réduire les quantités d'eau utilisées dans le rapport de 500 à 1. L'utilisation de l'eau distillée provenant de l'évaporation des jus dans les usines de sucrerie de betterave doit permettre à ces usines de "produire" de l'eau alors qu'elles étaient récemment grosses consommatrices d'eau. Il faut de quelques m³ à 1000 m³/tonne de papier dans les usines de production de pâte à papier selon que les eaux sont totalement recyclées ou pas. Les besoins en eau pour la production d'une tonne de pétrole dans les raffineries varient de 1 à 15 m³ d'eau etc...

On pourrait citer de nombreux autres exemples qui démontrent que des procédés technologiques qui existent ou qui sont à découvrir, permettent de réduire notablement les prélèvements unitaires industriels grâce notamment au recyclage interne de l'eau. Au sujet, signalons qu'en 1965 en R.F.A., 60 % de l'eau industrielle était recyclée, notamment dans les grandes entreprises industrielles grosses consommatrices d'eau (charbonnages, métallurgie, cellulose et pâte à papier, pétrochimie ...). Il est cependant à noter que la réduction de ces prélèvements ou flux unitaires s'accompagnent parfois d'une augmentation des "consommations nettes". Cela est le cas notamment lors du passage d'un circuit de refroidissement de type "ouvert" (gros demandeur de flux) à un type dit "fermé" ou "semi-fermé" utilisant l'évaporation partielle dans une tour atmosphérique. A "l'Electricité de France" on indique, par exemple, une

consommation nette de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une centrale thermique à circuit semi-fermé d'une puissance de 4 tranches de 1000 mégawatts avec élévation de 15°C au condenseur. Pour une même puissance installée et une élévation de 10°C au condenseur, les flux transités (prises et rejets) sont de l'ordre de $200 \text{ m}^3/\text{s}$. La technologie des réfrigérants "secs" devrait permettre, peut-être, dans l'avenir de diminuer encore les flux d'eau et les consommations dans les centrales de productions d'énergie.

4.2.2 Rejets

Réduire les flux polluants des rejets industriels peut se réaliser de deux façons : "à la source" ou "a posteriori" (dépollution). La dépollution se réalise à partir d'équipements "externes" bien connus tels que les stations d'épuration pour les eaux usées. Ces stations d'épuration mettent en oeuvre des traitements physiques ou mécaniques, biologiques ou physico-chimiques auxquels il faut adjoindre les procédés de traitement des boues qui résultent des épurations précédentes. Dépolluer les eaux usées des industries revient donc à améliorer leur nombre. On a vu au paragraphe 3.4 l'effort important à consentir par un pays comme la France dans ce domaine. Notons encore que les stations d'épuration ne mettent pas le milieu naturel à l'abri des pollutions accidentelles très néfastes car très concentrées qui peuvent résulter de pannes et défauts de fonctionnement des procédés industriels et des traitements de dépollution.

La seconde voie part du principe "qu'il vaut mieux prévenir que guérir", ce qui signifie qu'une meilleure efficacité peut être attendue d'actions qui s'attaquent aux causes de la pollution plutôt qu'à ses conséquences. C'est la voie des "technologies propres" qui fait l'objet de recherches et de réalisations de plus en plus nombreuses en France et dans les autres pays industriels. Il s'agit d'éviter de produire de la pollution grâce à des modifications "internes" des procédés de fabrication portant généralement sur :

- la réutilisation ou recyclage des matières autrefois rejetées avec l'effluent
- la récupération des matières polluantes et leur valorisation
- la modification des procédés de production et l'adoption de technologies moins polluantes.

L'étude des données de l'année 1974 fournies par les 6 Agences Financières de Bassin en France a permis de constater que :

- 1,4 % des établissements industriels analysés (soit 235 sur 17200) produisait la moitié de la pollution totale industrielle (MES et MO) prise en compte par les Agences.
- 24,3 % des établissements industriels (4175) étaient responsable de 90 % de cette même pollution totale.

Les branches industrielles les plus polluantes se sont avérées être en 1974, par ordre décroissant d'importance : chimie - pâte à papier et papiers cartons - traitement de surface - laiteries et industries annexes, etc. Une politique contractuelle d'aide et d'incitation a été lancée en France dès 1972 par le Ministère chargé de l'environnement avec les représentants de diverses branches industrielles les plus polluantes dans le but de réduire les rejets polluants de ces branches à un niveau acceptable. Les contrats de branche, programmes de branche et programmes d'entreprise ainsi passés comportaient, ou non, une aide financière de l'Etat. Grâce à ces actions conjointes à celles des Agences Financières de Bassin, de nouveaux procédés originaux simples ou sophistiqués de technologie propre ont été mis au point, dont certains ont pu faire l'objet de brevets. Comme exemple significatif de l'application de technologie propre on peut citer pour la France l'exemple de l'usine de fabrication de panneaux de fibres ISOREL (la plus importante de France avec une production de 50 000 t/an) qui après recyclage "total" de l'eau et des déchets dans les circuits de fabrication a réduit la pollution (MES et MO) de 110 kg/t produite à 0,8 kg/t. La pollution rejetée par l'usine est évaluée à 1100 eq.hab. alors qu'elle était auparavant de 150 000 eq.hab. Il s'est avéré que l'application de technologies propres, dans le cadre d'un système incitatif des redevances pour prélèvement-pollution tel qu'il existe en France, s'est révélé payant économiquement parlant pour les industries. C'est donc une voie à développer.

4.3 USAGES AGRICOLES

L'agriculture est, de loin, le premier consommateur d'eau mondial et, a fortiori en Méditerranée. Toute amélioration pour ce secteur a donc un effet très supérieur à certaines de celles qui précèdent.

4.3.1 Prélèvements - consommation

L'usage de l'eau en agriculture irriguée fait intervenir un ensemble de relations complexes entre l'homme - le sol - l'eau - la plante - le climat. Cet ensemble, qui conditionne l'utilisation rationnelle de l'eau en agriculture, fait que si les recettes conduisant au succès sont en général bien connues, la réalité des rendements est bien souvent en retrait par rapport à l'espérance des mêmes valeurs planifiées. On sait très bien, par exemple, que pour un système donné "sol-plante-climat", l'efficacité de l'irrigation est liée à la connaissance, au choix ou à la réalisation :

- des besoins en eau du système sol-plante-climat
- des périodes d'application
- des quantités apportées à la plante et au sol
- des besoins de drainage
- ...

Ces exigences qui sont liées à une bonne connaissance scientifique du système doivent pouvoir être transmises à l'exploitant par le jeu de conseils techniques et de directives simples à mettre en oeuvre pour l'irrigation. Cela suppose une Organisation décentralisée et une série de programmes d'irrigation dont les principales caractéristiques sont : simplicité, souplesse, efficacité. Les programmes d'irrigation doivent pouvoir, dans la mesure des moyens existants, être adaptés le plus possible aux besoins en eau réels des plantes compte tenu de la climatologie de façon à valoriser au maximum la pluviométrie et les réserves en eau du sol. De telles contraintes amènent à concevoir un réseau d'irrigation dont la régulation, dynamique et adaptable aux besoins les plus aval, permet de réduire au maximum les pertes et gaspillages. Les méthodes d'irrigation par "aspersion" (sprinkling) et le "goutte à goutte" (drip) dont les techniques ont été développées en pays arides et sont bien adaptées à une régulation de ce type.

Ces deux méthodes vont de pair avec la fourniture de l'eau sous pression, ce qui a l'avantage de limiter les pertes et l'évaporation dans les réseaux de distribution amenant l'eau à l'exploitation. L'installation de

débitmètres sur les conduites d'amenée d'eau aux exploitations et quelquefois au niveau des parcelles permet de contrôler efficacement les volumes d'application et donc de tendre vers l'adéquation besoins-applications, ce qui limite les effets néfastes dus à l'engorgement, à la salinisation et au lessivage des terres par excès d'irrigation. D'après le Bureau Régional de la FAO pour le Moyen Orient les problèmes de salinité d'engorgement affecteraient 50 % des surfaces irriguées en Irak, 23 % au Pakistan, 50 % en Syrie dans la vallée de l'Euphrate et 30 % en Egypte spécialement dans le secteur Nord-Ouest du Delta du Nil.

Par rapport aux méthodes traditionnelles d'irrigation par bassins, qui nécessitent par ailleurs une préparation préalable des parcelles (nivellement) et qui sont caractérisées par une efficacité de 30 à 40 %, les méthodes d'irrigation par aspersion, mais aussi et surtout le goutte à goutte (non applicable aux cultures par semis), permettent d'économiser près de 50 % des volumes d'eau utilisés par l'irrigation de surface.

Un autre procédé d'irrigation permet de réduire les quantités d'eau nécessaires à la plante. Il s'agit de l'irrigation souterraine par tuyaux enterrés. D'après des expériences récentes réalisées aux USA en Louisiane pour la culture du riz, l'économie d'eau par rapport aux méthodes d'irrigation par bassins et canaux serait d'environ 40 %. L'inconvénient majeur de ces méthodes est leur coût élevé d'installation.

Par contre, un système ancien d'irrigation des vergers en zone aride, qui s'apparente au principe des bougies osmotiques, est soumis à des opérations-test notamment en Tunisie. Très simple et rustique il consiste en 2 jarres de terre cuite poreuse remplies d'eau et enfouies au pied de l'arbre à irriguer, ce qui peut lui assurer une alimentation continue durant la période de sécheresse. D'autres systèmes archaïques de ce type qui nécessitent un matériel réduit qu'il est possible de fabriquer sur place pourraient sans doute être remis en oeuvre après quelques études et perfectionnement car ils vont dans le sens des politiques d'économie d'eau et de développement auto-centré grâce à des technologies appropriées.

4.3.2 Rejets

Les effets majeurs de l'irrigation sur les eaux de drainage peuvent être résumés comme suit :

- augmentation possible de la température des eaux de drainage superficielles par rapport à l'eau d'irrigation, mais diminution dans le cas des eaux de drainage de nappes
- augmentation de la couleur et de la turbidité dans le cas d'eau de surface drainées dues principalement à l'érosion par excès d'eau
- augmentation de la pollution bactériologique dans le cas de drainage superficiel de terres irriguées traitées à l'engrais domestique ou animal
- augmentation des teneurs en nitrates et phosphates dans les eaux de drainage superficielles de périmètres irrigués et traités chimiquement
- augmentation des teneurs en pesticides spécialement dans les eaux de drainage superficielles
- mais la conséquence la plus notable de l'irrigation sur la qualité des eaux de drainage est l'augmentation significative de la salinité. Dans le Bassin du Colorado aux USA, le développement de l'irrigation a conduit à un surplus de salinité de 2 à 3 millions de tonnes/an. Le problème est très voisin dans la vallée Joaquin où un système de drains couverts (tile drainage) est en cours d'installation. Un tel système conduit dans un premier temps à une augmentation importante de la salinité des eaux de drainage (qui devrait monter à 7000 ppm dans le cas précédent). Si les débits naturels en aval des points de rejet des eaux de drainage sont trop faibles pour assurer la dilution des concentrations salines, il faut se résoudre à traiter cette pollution minérale (désalinisation par traitement ou épandage) ou à réserver à cet effluent d'un nouveau type un réseau particulier pour évacuation à la mer afin d'éviter au maximum une contamination de la ressource en eau superficielle ou profonde.

V. ADAPTATION DES USAGES AUX STOCKS ET FLUX EXISTANTS

Dans le chapitre II nous avons déjà introduit certains aspects de l'adaptation des usages à la ressource naturelle potentiellement disponible, notamment dans le paragraphe 2.2 pour le cas de l'utilisation de l'eau de mer et de l'eau saumâtre.

Nous allons maintenant présenter quelques possibilités d'utilisation directe ou indirecte des flux et stocks "pollués" après intervention de l'homme.

5.1 UTILISATION DES EFFLUENTS DOMESTIQUES ET MUNICIPAUX

5.1.1 En Agriculture

L'épandage des effluents domestiques pour l'irrigation est pratiqué dans des pays de plus en plus nombreux situés en Europe, Amérique Nord et Sud, Australie, Moyen Orient, Afrique australe, etc. Les conditions de climat, de sol, d'hydrogéologie, de relief, jouent sur la mise en oeuvre des procédés d'irrigation (à la raie ou aspersion) qui se réalise à faible dose ou à dose élevée (sols drainants). Si certaines expériences comme celle d'Achères en France utilisaient un effluent non traité (celui de la ville de Paris), la majorité des réalisations d'irrigation par épandage d'effluents nécessite un prétraitement primaire ou secondaire afin d'assurer une meilleure protection sanitaire, de réduire les odeurs et autres nuisances et d'améliorer l'efficacité des applications. Ce type d'irrigation est en règle générale, proscrit pour les légumes à moins de pousser jusqu'au traitement tertiaire de l'effluent et de prendre des précautions spéciales (pasteurisation,...). L'utilisation des effluents en irrigation est considéré comme le traitement le plus efficace de tous les types d'épandage car sol et plantes contribuent efficacement à l'élimination des éléments organiques et nutritifs contenus dans l'effluent. Le danger le plus

important avec ce type d'irrigation est celui lié à une pollution possible des nappes situées sous ou à proximité des champs d'épandage par les nitrates et les phosphates issus de l'effluent (infiltration rapide à travers des sols trop drainants, mal préparés et donc mal adaptés à cet usage).

5.1.2 Dans l'industrie

La réutilisation directe d'effluents domestiques après traitement allant jusqu'au niveau tertiaire trouve des applications de plus en plus nombreuses dans l'industrie notamment pour la production de pâte à papier et de cartons, de tissus, pour la réfrigération, ou les chaudières de centrales thermiques, dans les cimenteries, etc. Rien ne s'oppose en effet à ce type d'usage nouveau qui permet de diversifier les approvisionnements des industries grandes consommatrices d'eau "pure" de haute qualité souvent utilisée à des fins peu nobles telles que le lavage, le transport de matériaux etc... La réutilisation indirecte (effluents rejetés dans le milieu naturel avec ou sans traitement) est monnaie courante, notamment en France où 60 % des prélèvements à usage industriel proviennent des eaux de surface.

5.1.3 Pour les loisirs et l'environnement

Après traitement tertiaire et percolation dans une nappe peu profonde, les effluents domestiques sont mélangés à l'eau de la nappe qui alimente une série de lacs utilisés pour les loisirs à SANTEE (San Diego - USA). Ce type de traitement et de réutilisation indirecte des effluents semble devoir se développer aux USA pour des activités récréationnelles. L'irrigation directe à partir d'effluents primaires de forêts et de maquis afin de développer une végétation résistante au feu est actuellement expérimentée aux USA et à l'étude en France pour la protection des forêts méditerranéennes et des maquis.

5.1.4 Pour l'alimentation en eau potable

Les exemples de réutilisation directe pour usage d'eau potable sont très rares. On cite souvent le cas de la ville de CHANUTE aux USA où après un étiage sévère les effluents municipaux ont été complètement recyclés après traitement complet et chloration et utilisés pour l'alimentation et usages domestiques. A WINDHOEK en Namibie, une partie des effluents traités est recyclée et participe à 13 % de la ressource en eau potable de la ville. Des réalisations semblables doivent voir le jour prochainement au Japon et en Hollande.

5.1.5 Recharge de nappe

Celle ci est généralement effectuée à partir d'effluents ayant subi un prétraitement (primaire et biologique secondaire) dans des bassins d'infiltration-percolation ce qui permet à la fois une épuration complète de l'effluent et la recharge de la nappe. Cette technique est d'un avenir intéressant en pays arides où les soucis d'épuration peuvent être combinés au désir de réaliser un stock d'eau pure à l'abri de l'évaporation. Cette technique, qui offre également de gros avantages pour l'aménagement des zones littorales méditerranéennes, est également utilisée pour l'alimentation artificielle (infiltration ou injection) des nappes côtières afin de lutter contre l'intrusion saline.

5.2 UTILISATION DES EFFLUENTS INDUSTRIELS

De nombreuses études en cours concernent les possibilités de valorisation des effluents qui proviennent des élevages industriels à travers des bassins de stabilisation servant à l'élimination primaire des déchets et à la culture des algues qui peuvent servir pour l'alimentation du bétail. Après traitement secondaire et tertiaire, l'effluent liquide peut en outre être réutilisé pour l'irrigation. Certains effluents industriels peuvent aussi être utilisés, après traitement approprié, pour l'irrigation ou la recharge de nappes.

Les eaux rechauffées par les centrales thermiques offrent des possibilités intéressantes pour l'aquiculture et l'agriculture. Dans le premier domaine on note qu'une élévation de température de 10°C des bains où sont menés des expériences d'élevage d'anguilles est favorable à la croissance accélérée de ces dernières. De nombreuses expériences sont en cours dans ce domaine pour la production d'autres espèces de poissons, crustacés et coquillages.

Il semble d'autre part qu'un faible échauffement de 10 à 15°C des eaux utilisées pour l'irrigation des forêts serait favorable à une bonne production de bois.

Si la réutilisation des effluents industriels a donné lieu à des applications plus restreintes que dans le cas des effluents domestiques ou municipaux, c'est le plus souvent en raison de la faiblesse des rejets, de leur forte concentration en éléments polluants et de leur dispersion, ce qui complique et limite les utilisations ultérieures possibles en aval.

Avec le développement des "technologies propres" qui permettront la réduction des rejets résiduels dans le milieu naturel superficiel, les utilisations des effluents industriels seront donc "indirectes", en aval du point de rejet en une zone où l'épuration naturelle aura pu être réalisée.

5.3 UTILISATION DES EAUX DE DRAINAGE EN AGRICULTURE IRRIGUEE

On a vu, au chapitre IV, que l'on peut dans certains cas appeler "effluents" les eaux de drainage à forte salinité. Leur réutilisation directe en agriculture conduit à une réduction des productions agricoles d'amont en aval d'un système irrigué dus aux effets néfastes des sels minéraux dissous sur les sols et les plantes.

Adapter les cultures à une salinité croissante nous semble être une attitude de "pis aller". Dans ce cas, comme dans le cas des technologies propres, il semble qu'il vaut mieux tenter de

réduire le mal à la source en évitant l'irrigation sur des sols drainants susceptibles de déboucher dans l'avenir sur des problèmes de salinité, et en évitant le lessivage des sols et l'engorgement des terres grâce à un choix judicieux des méthodes d'irrigation et de drainage et à une bonne gestion et utilisation de l'irrigation.

Dans le cas où le problème de salinité des eaux de drainage se pose du fait des aménagements existants, on se retrouve dans une situation voisine de la valorisation des eaux saumâtres. Il faut autant que possible éviter de mélanger et donc de contaminer les eaux salines avec les eaux de surface plus douces, ce qui conduit à la séparation des réseaux. Si les traitements de désalinisation par station de traitement ou par épandage-évaporation ne peuvent être réalisés d'un point de vue économique, la réutilisation des effluents (eaux de drainage) dans l'industrie ou pour des usages de loisir peut très bien s'envisager.

VI. CONCLUSION

L'inventaire auquel il vient d'être procédé se rattache plus précisément à la phase préparatoire du programme d'action prioritaire MED/EAU/3 et se relie à MED/EAU/4.

Pour proposer des expériences pilotes il convient d'identifier celles qui concernent la Méditerranée de façon solidaire, soit à l'échelle du bassin, soit par région.

Deux types de conclusions peuvent être ici avancées et soumises à la réunion des experts. Tout d'abord, en considérant les usages, il convient de relever l'importance prioritaire des utilisations de l'eau pour l'agriculture tout autour du bassin et par suite d'identifier les expériences pilotes à soutenir. En ce qui concerne l'économie de l'eau et surtout sa qualité, les usages urbains et industriels constituent le second volet de l'analyse commune aux différentes régions du Bassin.

D'autre part, il est évident que l'inventaire des technologies des méthodes est riche et multiforme. Le premier travail pourrait donc se rattacher à ce qui structure et organise l'usage de l'eau, c'est-à-dire au premier chef à la politique de gestion des eaux, considérée surtout le binôme qualité-quantité, aux pratiques de gestion et de lutte contre le gaspillage. Ceci sous-tend, à l'évidence, l'importance du comportement de l'homme et celle de son éducation et de sa formation non seulement au niveau de ses cadres et de ses techniciens, mais aussi de celui du public. On aboutit donc à mettre en lumière plus particulièrement ce qui est généralement dénommé politique d'incitation. En Méditerranée, où, traditionnellement l'eau est une ressource privilégiée, l'expérience individuelle acquise est considérable, et tout progrès dans le domaine des politiques d'incitation est assurément riche de retombées. La sensibilisation aux problèmes de quantité est acquise depuis l'antiquité mais peut-être convient-il aujourd'hui de mettre l'accent sur la qualité de l'eau et sur ses conséquences pour l'approvisionnement futur et la protection de l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre II et Documentation générale

- COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES - Rapport ARLAB - "Analyse à l'Echelle de la France des Ressources en eau et de leur qualité ainsi que analyse des besoins futurs et des problèmes d'approvisionnement à moyen et long terme.(1974)
- EMSELLEM Y. - La gestion intégrée des ressources en eau - ARLAB, Sophia Antipolis, 1976.
- ARLOSOROFF S. - Israël - A model of efficient utilization of a country's water resources - U.N. water conference Mar Del Plata, Argentina, 14-25 March 1977.
- UNESCO - La science et la technologie dans le développement des Etats Unis - Conf. Rabat 16-25 août 1976.
- "LE COURRIER UNESCO" - Question de vie ou de mort = l'Eau - N° février 1978.
- MARGAT M. - L'eau en France, Essai de prospective - Revue "Problèmes Economiques" - La Doc. Franç. N° 1445, 5 novembre 1975.
- CHABROL D. et CRIQUI P. et al. - Eléments pour une nouvelle approche de la gestion de l'eau dans les pays méditerranéens - Options Méditerranéennes N° 31, 1975.
- BRACHET J.E et HUAULT D. - L'expérience française de gestion des ressources en eau : conséquences sur les méthodes de planification à long terme - Nations Unies, ECE/WATER/15, 1976
- NOUVELLES DE L'ECODEVELOPPMENT - CIRED, N°3, October 1977 - Paris.
- GISCHLER C.E. - Present and future trends in water resources development in Arab states - UNESCO, ROSTAS - August 1976.
- UNITED NATIONS - Conference on desertification - Technologies and desertification - Nairobi, Kenya, August 29, Sept. 9, 1977.
- MALQUES T. et THYLAU A. - La lutte pour l'eau - Metropolis Vol. 2 N°2, 1975.
- "LE COURRIER UNESCO" - Sources mondiales d'énergie - les promesses du soleil, Janvier 1974, N° 27.

- F.A.O Bulletin N° 17 - L'influence de l'homme sur le cycle hydrologique - Bull. d'irrigation et drainage, Rome 1974.
- PLAN BLEU/PNUE - Le bassin méditerranéen, cadre géographique et socio-économique du Plan Bleu - Rapport préliminaire Janv. 1977.
- SECRETARIAT GENERAL DU HAUT COMITE A L'ENVIRONNEMENT - Etat de l'environnement, rapport annuel 1976-1977 - La doc. française Paris, 1978.
- ANDRE R. et TIERCELIN J.R. - Le choix entre les débits moyens mensuels, décennaires et journaliers pour les projets d'utilisation des ressources en eau - La Houille Blanche N° 8, 1976.
- REVUE "TECHNIQUES ET DEVELOPPEMENT" N° 5 - Janvier 1978.

Chapitre III

- COOLEY H.R. and MYERS L.E. - Evaporation reduction with reflective covers - Journal of the irrigation and drainage division - Sept. 1973, 9982, IR3.
- DESBORDES M. - Une étude générale de l'assainissement pluvial urbain - Revue La Houille Blanche N° 1 - 1975.
- F.A.O. - Pre-investment survey of the North western coastal region - United Arab Republic - 1970
- MOLINARI J. - Les traceurs isotopiques en hydrologie - Annales des Mines, Paris Octobre 1969.
- Revue "LA HOUILLE BLANCHE" - Contribution des techniques françaises à quelques importants aménagements hydrauliques récents - N° spécial 2/3-1977.
- QUÉLÉNNEC R.E. and KRUK C.B - The Nile suspended load and its importance for the Nile delta morphology - Seminar on Nile delta sedimentology - October 1975, Alexandria - Egypt.
- Revue "LA HOUILLE BLANCHE" - Quelques études et projets hydrauliques de l'aménagement du territoire - N° spécial 4/5 1974.
- VILLENEUVE J.P., BOBEE B. et al. - Methodologie de rationalisation des réseaux hydrométriques - hydrological sciences bull. - XVIII, 4 12/1973.
- MINISTERE EQUIPEMENT ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE - Etudes d'impact des projets routiers interurbains - Div. Routes et Autoroutes Rase Campagne du SETRA-BAGNEUX - Janv. 1978 - Annexe 1.
- DEPARTEMENT AFF. ECON. SOCIALES/N.U. - Deuxième étude des Nations Unies sur le fonctionnement des usines de dessalement - Nations Unies New-York, 1974 - N° ST/ECA/171.

- POTIE L. - Etudes et captage de résurgences d'eau douce sous marines - 2ème convegnio intern. sulle acque sotterranee - Palermo 28-30 Aprile 1973.
- MALGORZATA BACZKO et al. - Techniques douces, habitat et société - Les cahiers de l'Ecologie, édit. Entente - 1977.
- C.E.E. - Nations Unies - La planification à long terme de la gestion des ressources en eau - Séminaire Zlatni Piasatzi (Bulgarie) - 17-22 mai 1976.
- CAHIER DE L'ECODEVELOPPEMENT N° 2 - Eléments pour une stratégie d'écodéveloppement pour les zones arides et semi-arides d'Algérie - Paris 1974.
- LA HOUILLE BLANCHE (revue) - Conséquences sur l'Environnement de l'Aménagement du lit et des berges des cours d'eau - Numéro spécial 213, 1975 - Paris.
- CAMPRELL P.G. and al. - Pre-impoundment site preparation : a study of the effects of topsoil stripping on reservoir water quality - Stuttgart, November 1975.
- C.P.O.R. - Bassin de l'Oise, l'Aisne et affluents - transferts d'eau entre le Bassin de l'Oise et le bassin Artois Picardie - 8 juin 1976.

Chapitre IV

- EYBEN D. - Evaluation et réduction de la pollution des eaux en brasserie - Cont. 7 décembre 1973 -
- PFENNINGER H. - Centrale électrique combinée à turbines à vapeur et à gaz - Rev. Brown Boveri 9 - 73
- DONEEN I.D - Technique de l'irrigation et gestion des eaux - Bull. F.A.O d'irrigation et drainage - Rome 1972.
- LIM C.C. - Gestion intégrée des eaux dans les exploitations agricoles - Bull. F.A.O d'irrigation et drainage - Rome 1971 .
- REVUE ADOUR GARONNE - Produire proprement - Décembre 73 N° 3.
- AGENCE BASSIN SEINE NORMANDIE - Etude des fuites chez l'usager - Programme d'études 1977.
- KIM J.R. and Mc CUEN R.H. - The impact of demand modification - Journal AWWA - 1977, 69 N° 2.
- YOUNG J.A. - Control of water supply demand - congrès AIDE AMSTERDAM 13/17 Sept. 1977
- GUIGUES A. - Le recyclage dans l'industrie - Eau-Loire-Bretagne 1975 N° 5-6.
- HEINKE G.W. and al - Automatic car wash water recycle system - Eng.Bull. Purdue Univ. 1974 N° 145.

- HUBERLANT J. - Les circuits des eaux en campagne sucrière - exposé sucrerie belge, vol. 93 - Mars 1974 . Bruxelles.
- FULLERTON R.W. - Waterless sanitation for rest areas - water and sewage works, June 1974.
- F.A.O. - Programme d'irrigation dans les villages, vers une utilisation rationnelle de l'eau - Bull. Irrig. drainage n° 4 - Rome 1971.
- HOLY M./F.A.O. - L'eau et l'environnement - bull.irrig.drainage n° 8 - Rome 1971.
- I.C.S.U/UNESCO/UNEP - Symposium on : Arid lands irrigation in developping countries, Alexandria, Egypt, 16-21 February 1976.
- STEVENS T.H. and KALTER R.J. - Forecasting industrial water utilization in the petroleum refining sector : an overview - Water resources Bull. N° 1 - Vol. II - February 1975
- NOUVELLES SCIENT. et TECHNI. du JAPON - Les problèmes de l'eau au Japon : approvisionnement, utilisation et recyclage des eaux usées - 30/9/76.
- PARKER C.E. - Feasibility of water reuse at highway rest stations. April 1974.
- FLAMM L.E. and ANDERSON S.A. - The user - manipulated water fixture : a new target for water conservation - Texas Univ. College station - Mecanical Eng. December 1974.
- AGENCE BASSIN SEINE NORMANDIE - Les bassins de la Seine et des Cours d'eau Normands - Utilisation de l'eau par l'industrie - Paris 1974.
- REVUE "ADOUR GARONNE" - Pollution, dépollution N° 8/1975.
- FENEYROU G. - Politique de l'Agence de Bassin Adour-Garonne en matière de lutte contre la pollution industrielle - Mazamet 23/10/73
- Revue IRRINEWS - N° 1, October 1975.
- USINES PROPRES - La technologie au service de l'environnement - Ministère qualité de la vie/environ, la Doc. Française 1977.
- D.P.P.N/MINISTERE CULTURE ET ENVIRONNEMENT - Les composantes industrielles de la pollution des eaux - Décembre 1977.
- C.E.E. - Nations Unies - La planification à long terme de la gestion des ressources en eau - Séminaire Zlatni Piasatzi (Bulgarie) 17-22 mai 1976.
- AGENCE BASSIN SEINE-NORMANDIE - L'aide aux industriels (note interne) 1978.
- DEMARD H. et al. - Analysis and management of water distribution systems - Journal of the urban planning and development division, November 1975, N°11679-UP2.

- DEMARD H. et al. - La demande en Eau du Milieu Urbain : cas de l'arrosage des pelouses - INRS-EAU/QUEBEC (Février 1976).
- SAFEGE-SAGETOM - Etude de l'eau non facturée sur un réseau de distribution d'eau potable - février 1975 - Paris.
- CAHIER DE L'ECODEVELOPPEMENT N° 2 - Eléments pour une stratégie d'écodéveloppement pour les zones arides et semi-arides d'Algérie - Paris 1974.

Chapitre V

- HART O.O. - Factors affecting water reuse, including toxic discharges - 7th International conf. on water pollution research - Paris sept. 9-13/1974.
- FLETT D.B. - Wastewater reclamation for industrial use - California Sec. Meeting Oct. 16/1974 - J/AWWA Février 1975.
- HIRST G. - The Pudsey project, an experiment in the direct re-use of sewage effluent in the processing of wool textiles - 7th Intern Conf. water Pollution Research - Paris sept. 9-13/1974.
- AYERS R.S. and WESTCOT D.W. F.A.O - Water quality for agriculture - Bull. Irrig.drainage N° 29, Rome 1976.
- RYDER R.A. - Winery wastewater treatment and reclamation - Eng. Bull. Purdue Univ. 1973, N° 142.
- OVERMAN A.R. et al. - Effluent irrigation of Rye and Ryegrass - Journal of the Environmental engineering division - 1976. 102 N° EE2.
- MULLER W.J. - Réutilisation des eaux usées en Allemagne - O.C.D.E 1968.
- CALDWELL D.H. et al. - Planning for water reclamation and industrial reuse in the San Francisco bay Area - 7th int. conf. on water pollution research Paris September 9-13/1974.
- HEUNIS B. - Long term planning for the integration of reclaimed water with conventional supplies - Water Pollut. Control 1973.
- MARTIN A.E. - Water supplies of the future and the recycling of drinking water - vol. 31 N°3 - Department of health and Social Security , London.
- STONE R. - Water Reclamation Technology and Public Acceptance - Journal Environ. Eng. Div. 1976, 102, N° EE3.
- FROST R.E. and WOODARD F.E. - Analysis of the effects of wastewater treatment costs of the feasibility of Major processing changes including in-plant reuse of wastewater in a poultry processing plant . 30th Conf. Purdue Univ. 1975.

- E.D.F. - Utilisation, dans le domaine de l'aquaculture et de l'agriculture de l'eau réchauffée par les centrales thermiques - Juin 1975.
- PORTIER J. et CADILLON M. - L'épuration tertiaire des effluents domestiques - Sté Canal Provence et Amén. Région Prov. - Novembre 1974.
- THOMANN C. et PORTIER J. - Les possibilités d'utilisation des eaux usées en agriculture - SENECA/Salon Agriculture , 1977.
- CADILLON M. et al. - Les eaux souterraines - L'épuration des eaux usées et la recharge de nappe - Journées Franco-Helleniques, Athènes 15-16 juin 1976.

oOo