

Agence de l'eau  
Rhin-Meuse

n° 9430

ETUDE COMPARATIVE DE L'EFFICACITE  
ET DU COUT DES DIFFERENTES MESURES VISANT  
A REDUIRE LES EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT,  
DUS A LA PRESENCE DE PHOSPHATES DANS  
LES EAUX DE SURFACE D'EUROPE OCCIDENTALE

Pour le  
Centre européen d'études des polyphosphates E.V. (CEEP)  
D-5038 Rodenkirschen bei Köln  
Auenweg 14

by  
J.L. Baret, J. Barrois, A. Groult, J.C. Shorrocks, D. Simon  
et H. Tournier

Juillet 1977

BATTELLE  
Centre de Recherche de Genève  
7, route de Drize  
1227 Carouge-Genève  
Suisse



TABLE DES MATIERES

	Page
<u>RESUME</u>	
1. <u>INTRODUCTION</u>	1
2. <u>CONCLUSIONS</u>	5
2.1 EFFICACITE	5
2.2 COUT	7
2.3 LA SUBSTITUTION DES PHOSPHATES DANS LES FORMULES DETERGENTES	11
3. <u>EFFETS DU PHOSPHORE DANS LES EAUX DE SURFACE</u>	13
4. <u>L'EUTROPHISATION DES EAUX DE SURFACE</u>	16
4.1 GENERALITES	16
4.2 LE ROLE DES SUBSTANCES NUTRITIVES SUR LE CONTROLE DE LA PRODUCTION DES ALGUES	17
4.3 CONCENTRATION LIMITE DES SUBSTANCES NUTRITIVES	21
4.4 PRODUCTIVITE PISCICOLE EN FONCTION DE L'EUTROPHISATION	26
4.5 BILAN ET SOURCES DE PHOSPHORE	27
4.5.1 EAUX USEES	29
4.5.2 CONTRIBUTIONS AGRICOLES	31
4.6 ASPECTS GEOGRAPHIQUES ET NATIONAUX	54
4.6.1 LES PAYS SCANDINAVES	55
4.6.2 SUISSE ET REGION ALPINE	60
4.6.3 LES PAYS-BAS	63
4.6.4 REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE	65
4.6.5 ROYAUME-UNI ET IRLANDE	66
4.6.6 AUTRES PAYS EUROPEENS	68
4.6.7 CANADA ET ETATS-UNIS D'AMERIQUE	70
5. <u>LES PROCEDES D'ELIMINATION DU PHOSPHORE</u>	74
5.1 LE TRAITEMENT CLASSIQUE DES EAUX USEES	74
5.2 STATIONS A BOUES ACTIVEES MODIFIEES	75
5.3 ELIMINATION CHIMIQUE DU PHOSPHORE	76
5.3.1 LES PROCEDES DE PRE-PRECIPITATION	77
5.3.2 LES PROCEDES DE PRECIPITATION SIMULTANEE	77
5.3.3 LES PROCEDES DE POST-PRECIPITATION	79
5.3.4 LES PROCEDES DE PRECIPITATION SECONDAIRE	79
5.3.5. LES PROCEDES PAR ECHANGE D'IONS	80
5.4 COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS AVEC LES PROCEDES DE PRECIPITATION DANS L'ELIMINATION DU PHOSPHORE DES EAUX USEES	50
5.5 LES QUANTITES DES BOUES CHIMIQUES OBTENUES DANS LA PRECIPITATION DES PHOSPHATES	87
5.5.1 PRODUCTION DE BOUES CHIMIQUES EN POST-PRECIPITATION	87
5.5.2 PRODUCTION DE BOUES EN PRECIPITATION SIMULTANEE	90
5.5.3 PRODUCTION DE BOUES EN PRE-PRECIPITATION	91
5.6 COUT DE L'ELIMINATION DU PHOSPHORE PAR PRECIPITATION CHIMIQUE	93

	Page
6. <u>REFORMULATION DES DETERGENTS</u>	106
6.1 ETAT ACTUEL DE LA TECHNIQUE DANS LE DOMAINE DES DETERGENTS	106
6.1.1 COMPOSITION DES FORMULATIONS DETERGENTES	106
6.1.2 CONDITIONS DE LAVAGE EN EUROPE	109
6.1.3 FONCTIONS ET PROPRIETES DU TRIPOLYPHOSPHATE DE SODIUM DANS LES FORMULATIONS DETERGENTES	110
6.1.4 COUT DES MATIERES PREMIERES ENTRANT DANS LA COMPOSITION D'UNE FORMULATION DETERGENTE	112
6.2 DISPOSITIONS LEGALES ET VOLONTAIRES CONCERNANT LA REGLEMENTATION DE L'UTILISATION DES DETERGENTS A BASE DE PHOSPHATES DANS LES PAYS EUROPEENS	114
6.2.1 SUEDE, NORVEGE ET FINLANDE	114
6.2.2 SUISSE	115
6.2.3 PAYS-BAS	116
6.2.4 REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE	116
6.2.5 ROYAUME-UNI	118
6.2.6 AUTRES PAYS EUROPEENS	118
6.3 REMPLACEMENT PARTIEL OU TOTAL DES PHOSPHATES DANS LES FORMULATIONS DETERGENTES	119
6.3.1 CARBONATE DE SODIUM ET SILICATE DE SODIUM	120
6.3.2 FORMULATIONS A BASE DE SAVON	121
6.3.3 "BUILDERS" HETEROGENES INSOLUBLES DANS L'EAU	123
6.3.4 "BUILDERS" ORGANIQUES NE CONTENANT NI PHOSPHORE, NI AZOTE	130
6.3.5 "BUILDERS" ORGANIQUES SULFO-POLYCARBOXYLIQUES (SPC BUILDERS)	135
6.3.6 NTA (acide nitrilotriacétique)	139
6.3.7 AUTRES BUILDERS	144
6.4 L'INFLUENCE DE LA SUBSTITUTION DES PHOSPHATES SUR LE FONCTIONNEMENT DES STATIONS D'EPURATION BIOLOGIQUE D'EFFLUENTS	145
6.4.1 ZEOLITHES	146
6.4.2 LES PRODUITS ORGANIQUES ET SOLUBLES	147
7. <u>AUTRES MESURES</u>	150
7.1 MESURES CONCERNANT L'AGRICULTURE	150
7.2 SYSTEME DE COLLECTEURS	151
7.3 ASSAINISSEMENT DES LACS	151

## RESUME

Les effets environnementaux du phosphore sur les eaux de surface sont étudiés. Le seul effet néfaste important est lié au problème de l'eutrophisation de ces eaux. Le phosphore est, ou peut, être rendu l'élément limitant dans ces phénomènes. Nous avons examiné les différentes sources de phosphore et les bilans en cet élément ainsi que les paramètres permettant d'obtenir les concentrations limitantes. Nous avons montré que chaque lac ou réservoir est un cas particulier avec ses propres paramètres qui doivent être pris en considération lorsque l'on définit des mesures préventives ou correctives. En particulier, les sources de phosphore d'origine agricole peuvent représenter une contribution majeure. Le problème d'eutrophisation est donc un problème local au sens hydrologique du terme.

La façon de considérer le problème de l'eutrophisation des eaux de surface dans les différents pays européens est présentée. Bien que différentes approches puissent être rencontrées, en général, elles sont fonction de l'importance géographique du phénomène, la République fédérale d'Allemagne semblant faire exception à cette règle.

L'état de la technique concernant les procédés d'élimination du phosphore des effluents domestiques est discuté. Les différences entre les efficacités théoriques et pratiques sont indiquées en remarquant que de mauvaises conceptions et conditions opératoires peuvent poser de sérieux problèmes.

La question de la présence des phosphates dans les formules détergentes est passée longuement en revue et l'état actuel de la technique concernant les possibilités de substitution des phosphates est présenté ainsi qu'une indication des tendances législatives dans chacun des pays.

D'autres mesures que le traitement des effluents ou la limitation des phosphates dans les détergents peuvent être prises pour combattre les problèmes d'eutrophisation et sont présentées rapidement. Elles comprennent entre autres la construction de collecteurs périphériques d'égouts, des mesures agricoles, des mesures d'assainissement des eaux des lacs. En conclusion, là où existe un danger d'eutrophisation, toutes les mesures potentielles doivent être étudiées, compte tenu des charges et du bilan en phosphore. Un degré suffisant d'efficacité doit être recherché du fait que les phénomènes d'eutrophisation ne sont pas proportionnels aux concentrations. La limitation de la teneur en phosphate des détergents ne peut être conçue que comme une mesure complémentaire de la précipitation chimique et cela dans les seules zones où l'importance géographique du phénomène d'eutrophisation est grande. L'introduction de substituts actuellement disponibles ne devrait pas être encouragée par voie législative mais devrait plutôt être contrôlée sérieusement.

1.

**INTRODUCTION**

ETUDE COMPARATIVE DE L'EFFICACITE  
ET DU COUT DES DIFFERENTES MESURES VISANT A REDUIRE  
LES EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT, DUS A LA PRESENCE  
DE PHOSPHATES DANS LES EAUX DE SURFACE D'EUROPE OCCIDENTALE

par

J.L. Baret, J. Barrois, A. Groult,  
J.C. Shorrocks, D. Simon, H. Tournier.

---

1.

INTRODUCTION

Les activités sociales et économiques de l'homme sont la cause de changements des paramètres écologiques caractéristiques des eaux de surface. Dans beaucoup de cas, ces variations sont indésirables et sont ressenties directement ou indirectement comme une pollution des eaux.

Les activités humaines amènent le plus souvent à modifier plusieurs paramètres simultanément de telle sorte qu'il peut être difficile de déterminer le paramètre responsable d'une variation donnée dans les caractéristiques d'un système écologique.

Lorsque la cause d'un phénomène n'est pas clairement mise en évidence il devient difficile de décider quelles mesures correctives doivent être prises et d'évaluer leur efficacité potentielle.

Les rôles que jouent les phosphates dans les systèmes écologiques des eaux de surface sont très variés et complexes. Ils ont été largement étudiés dans le contexte de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs qui peut avoir des conséquences néfastes sur la qualité hygiénique et esthétique de ces eaux

ainsi que sur les activités économiques de la région où elles se situent.

En conséquence, les autorités locales et nationales responsables sont amenées à prendre des décisions pour tenter de limiter le développement de ce phénomène. Les politiques qui sont proposées varient d'un pays à un autre; actuellement plusieurs expériences sont connues qui sont celles de la région des grands lacs nord-américains, de la Suède et de la Suisse. Certains pays tels que la RFA, l'Italie pensent introduire des réglementations législatives. Dans tous les cas, ces réglementations visent à réduire la charge en phosphore des eaux considérées; pour y parvenir trois types d'actions qui ont été appliquées peuvent être distingués:

- des actions locales telles que la construction de systèmes d'égouts périphériques prévenant l'entrée dans les eaux à protéger des effluents domestiques et industriels,
- l'interdiction ou la limitation de l'utilisation des phosphates dans les détergents et leur éventuel remplacement par des substituts organiques ou minéraux,
- un traitement de déphosphatation des effluents des stations d'épuration dont les rejets se font dans le bassin versant d'une eau à protéger.

Il est évident que chacune de ces méthodes peut contribuer à réduire la charge en phosphore d'une eau donnée; la question qui se pose est de savoir si ces différentes méthodes, et celles que l'on pourrait éventuellement imaginer en complément sont équivalentes du point de vue de l'efficacité vis-à-vis des phénomènes d'eutrophisation et du point de vue économique (coûts directs, mais également coûts indirects supportés aux niveaux nationaux, locaux ou individuels, coûts dus aux conséquences sur l'économie nationale, sur l'efficacité des détergents, sur la charge organique et minérale des effluents, etc.).

L'objet de cette étude est de tenter d'apporter une réponse à cette question. Pour cela nous avons procédé à:

- une analyse succincte du rôle du phosphore dans les systèmes écologiques naturels,
- une analyse du phénomène d'eutrophisation des eaux de surface, en cherchant à mettre en évidence les principaux mécanismes mis en jeu, à déterminer si un élément nutritif contrôle ces phénomènes et qu'elles peuvent en être les conséquences au niveau de la faune et de la flore d'une eau. Dans la mesure où le phosphore peut être considéré comme l'élément clé du phénomène, nous avons également cherché à définir s'il existe une charge maximale en cet élément, fonction de certains paramètres, qui doit être appliquée à une eau donnée afin d'éviter les phénomènes d'eutrophisation,
- une évaluation quantitative des différentes sources potentielles du phosphore entrant dans une eau,
- une indication de l'état actuel et de l'évolution prévisible dans chacun des principaux pays ouest européens de la politique et de la législation concernant les rejets de phosphore,
- une analyse technique et économique des principaux procédés disponibles de déphosphatation d'une eau,
- une étude des fonctions des phosphates dans les détergents et de l'état actuel de la législation européenne concernant leur emploi,
- une étude des fonctions des principaux substituts des phosphates dans les détergents actuellement disponibles ou susceptibles de l'être à plus ou moins brève échéance ainsi qu'une évaluation des conséquences prévisibles de leur emploi.

Le chapitre 2 présente les conclusions de cette étude concernant l'efficacité et le coût des différentes méthodes proposées pour réduire la charge en phosphore des eaux de surface.



Cette étude a été menée au cours du premier semestre 1977 et est principalement fondée sur:

- les informations disponibles dans la littérature; pour chacun des principaux chapitres nous donnons une bibliographie détaillée des documents utilisés,
- les entretiens que les auteurs ont pu avoir avec les principales parties intéressées limnologistes et experts internationaux, autorités compétentes des principaux pays concernés, industriels des phosphates et des détergents.

Dans cette étude les unités du système métrique ont été employées et les informations économiques ont été exprimées en US \$ sur la base des taux de change en vigueur au début 1977 soit:

1 \$ = 5 FF = 2,40 DM = 0,61 £ = 2,44 FS = 865 liras = 4,24 Skr.

Les versions anglaise et française de ce rapport ont été préparées en parallèle. La table des matières (les tableaux, les références et les figures) et les conclusions sont identiques. Les différences qui peuvent surgir dans la présentation de l'information sont insignifiantes. La version allemande est une traduction du texte anglais.

2.

**CONCLUSIONS**

2.

## CONCLUSIONS

Ce chapitre a pour but de faire une synthèse des éléments présents dans ce rapport, en donnant en conclusion l'efficacité et le coût de différentes mesures envisagées.

### 2.1 EFFICACITE

L'efficacité d'une mesure visant à réduire l'état eutrophique d'une eau est directement liée à l'importance relative d'un grand nombre de paramètres spécifiques de l'eau considérée.

Les généralisations ont peu de valeur et chaque problème d'eutrophisation doit être considéré séparément, en particulier les bilans phosphore doivent être établis d'une façon détaillée et les charges critiques en substances nutritives définies.

La somme d'expériences effectuées et les connaissances acquises en matière limnologique permettent d'avoir une meilleure compréhension des phénomènes et de l'importance de leurs facteurs caractéristiques. L'efficacité d'une mesure peut être prévue avec un degré de confiance satisfaisant pour autant que l'eau considérée soit correctement décrite et étudiée. Toute mesure ne peut être efficace que si elle entraîne une réduction de la teneur en phosphore des eaux en dessous d'une valeur critique.

Le phosphore est facilement éliminé de sources localisées, en particulier des effluents urbains. Le traitement de sources diffuses (par exemple agricoles) est plus difficile, mais doit être considéré et peut se révéler nécessaire si l'action sur les effluents est insuffisante. En effet, dans certaines conditions du bassin versant des eaux considérées, les sources agricoles, et principalement celles provenant des élevages, peuvent se révéler la source primordiale du phosphore entrant dans une eau (voir par exemple à ce sujet le tableau du chapitre 4.6.2 qui donne pour certains lacs suisses

l'importance relative des diverses sources de phosphore). Le traitement des sources internes (les sédiments en particulier) constitue une dernière possibilité qui doit être considérée dans certains cas limites.

Les mesures mentionnées ci-dessus sont spécifiques du bassin versant des eaux considérées. La réduction de la teneur en phosphate des détergents n'est certainement pas spécifique à une eau donnée, dans la mesure où elle est, en général, envisagée à une échelle nationale. Dans la plupart des cas il est probable que cette mesure se révèle insuffisante en soi et ne peut être envisagée que comme un complément de mesures telles que le traitement de précipitation chimique des effluents.

La limitation de la teneur en phosphate à une teneur inférieure à celle nécessitant, pour conserver une bonne efficacité de lavage, l'introduction de substituts est une mesure qui aurait probablement une série d'effets secondaires sur l'environnement dont l'évaluation des conséquences est difficile. Ces effets s'appliqueraient à une zone géographique étendue alors que l'effet recherché est, dans la plupart des cas, limité à des bassins versant d'étendue bien moindre.

L'efficacité d'une mesure donnée dépend également de la façon dont elle peut être appliquée. La précipitation chimique du phosphore doit s'accompagner d'une conception correcte des réseaux de collecteurs d'égouts, des systèmes de surverse d'orage et de la station de traitement elle-même; de même un contrôle régulier de son efficacité doit être réalisé.

Les mesures agricoles peuvent également être contrôlées par une surveillance des systèmes de drainage, de stockage d'engrais, etc.

L'efficacité de l'application d'une mesure de limitation de la teneur en phosphate des détergents est plus difficile à contrôler dans la mesure où l'on n'est pas certain que la ménagère suivra à la lettre les consignes données sur les emballages; dans le cas d'une perte d'efficacité de lavage, elle tenterait certainement de compenser cet effet par une augmentation de la dose utilisée.

## 2.2 COUT

Le coût des mesures qui peuvent être employées pour combattre les problèmes d'eutrophisation est variable. Bien souvent, lorsque le bilan phosphore d'une eau est établi, il n'y a pas de choix possible quant aux mesures à prendre et une technique ou un ensemble de techniques s'imposent pour obtenir un résultat.

Chaque problème doit s'évaluer en fonction de ses propres données et la décision d'investir et de payer les coûts de fonctionnement devrait demeurer entre les mains des populations locales en fonction de la valeur qu'elles attribuent à leur environnement.

Lorsque des mesures locales peuvent être appliquées (par exemple construction de collecteur périphérique ou installation d'une station chimique de traitement), l'efficacité relative de chaque solution doit être considérée avec son coût. Cependant, les demi-mesures sont à éviter car elles peuvent se révéler totalement inefficaces du fait de la nature non linéaire du phénomène d'eutrophisation.

En parallèle avec l'étude de telles mesures locales visant à traiter une eau, il est également nécessaire de considérer la question controversée de savoir s'il est nécessaire de réduire ou d'interdire l'usage des phosphates dans les détergents, cette mesure venant en complément des précédentes.

D'une telle mesure résulterait l'accroissement de l'emploi de substances organiques ou minérales dans les détergents et même l'utilisation de substituts comme le NTA, CMOS, acide citrique ou zéolithes. Cela aurait les conséquences suivantes:

- augmentation\* du coût des formulations détergentes,
- augmentation de la pollution soit organique (DCO, DBO), minérale (matières en suspension) ou en azote (cas du NTA).

---

\* Il est raisonnable de penser que l'introduction de substituts, autorisée par la loi, se ferait d'elle-même du fait des mécanismes de compétition sur le marché si leur présence entraînait une réduction des coûts des formules détergentes, sans perte d'efficacité de lavage.

Le coût additionnel de cette augmentation de pollution doit être évalué en le balançant par les réductions de coûts qui résulteraient de l'emploi de moins d'agent de précipitation et d'une production moindre de boues chimiques.

Dans le chapitre 5 nous avons établi les coûts (frais fixes, main-d'oeuvre, coûts opératoires) d'un traitement chimique de déphosphatation et la fraction que l'on pourrait attribuer aux phosphates des détergents en fonction du taux d'élimination recherché; ces coûts sont résumés dans le tableau 2.1.

TABLEAU 2.1 COUT ADDITIONNEL DU PHOSPHORE DES DETERGENTS PAR PRECIPITATION CHIMIQUE

Teneur résiduelle en P mg P/l	1,0	0,5	0,1
Coût précipitation chimique P ** \$/hab. x an	1,5-2,5	2,1-4,1	4,2-7,7
Coût attribuable aux détergents \$/hab. x an	0,7	0,9-1,2	1,7-2,0
Coût attribuable aux détergents substitués à 50% \$/hab. x an	0,4	0,5-0,7	1,0-1,2

\*\* Conditions moyennes actuelles

0,6 kg P/hab. x an excréments humains et eaux de cuisine

1,0 kg P/hab. x an détergents

25% élimination P par traitement mécanique et biologique d'une station d'épuration.

Le tableau 2.2 donne les gains sur les coûts que l'on est susceptible de réaliser dans une station d'épuration chimique en fonction du degré de substitution des phosphates dans les détergents.

TABLEAU 2.2 GAINS SUR LES COÛTS DE LA PRÉCIPITATION CHIMIQUE DU PHOSPHORE DUS A UNE SUBSTITUTION DU TRIPOLYPHOSPHATE (STPP)

Teneur résiduelle en P mg/l	1,0	0,5	0,1
Gain pour une substitution à 50% \$/hab. x an	0,3	0,4-0,5	0,7-0,8
Gain pour une substitution à 100% \$/hab. x an	0,7	0,9-1,2	1,7-2,0

\* N.B. Ces gains sont des gains maximaux (voir ch. 5.6)

En comparaison, il est difficile d'évaluer l'augmentation des coûts et l'accroissement des productions de boues primaires et biologiques qu'entraînerait la présence de substituts du STPP dans les effluents urbains. Au chapitre 6.4, nous avons établi qu'un coût additionnel dû à l'emploi de zéolithes dans les détergents serait de l'ordre de \$ 0,025-0,04/habitant x an dans la mesure où les stations existantes supporteraient la surcharge du décanteur primaire et des équipements de déshydratation des boues.

Il est toutefois important de remarquer que les comparaisons de coûts relatifs aux deux mesures en présence doivent se faire en les pondérant par la fraction de la population concernée; par exemple dans le cas de la substitution du 50% du STPP par des zéolithes, cette mesure serait équivalente ou meilleure en coût au traitement de précipitation du phosphore si la fraction de la population concernée par les phénomènes était supérieure à environ 10%.