



16873



**UTILISATION DE L'OXYGENATION
COMME MOYEN DE LUTTE
CONTRE LES POLLUTIONS ACCIDENTELLES
EN EAUX INTERIEURES :**

Etat de l'art

Rapport final

**Etude réalisée dans le
cadre du contrat
CEDRE/DSC 9122 00**

cedre

**CENTRE DE DOCUMENTATION DE RECHERCHE ET D'EXPERIMENTATIONS
SUR LES POLLUTIONS ACCIDENTELLES DES EAUX**

Pointe du Diable - BP 72 - 29280 PLOUZANÉ FRANCE - Tél. 98 40 12 00 - Télax 940145 F - Fax 98 40 04 00

R.92.02.C.

DF/MGM-MME

avril 1992



RESUME

Le CEDRE a réalisé à la demande de la Direction de la Sécurité Civile une étude sur l'opportunité d'utiliser les propriétés de l'oxygénation comme moyen de lutte contre les pollutions accidentelles en eaux intérieures.

Après une analyse des grands principes d'utilisation de l'oxygénation contre une pollution accidentelle et une réflexion sur l'adaptabilité des techniques d'oxygénation existantes, cette étude s'est attachée à définir des concepts d'emploi opérationnels à partir de l'identification des pollutions susceptibles d'être traitées par oxygénation et des techniques simples pouvant être mises en oeuvre par des Sapeurs-Pompiers.

Déjà utilisées en traitement des eaux usées, en restauration des lacs et en pisciculture, les techniques d'oxygénation de l'eau peuvent apporter modestement leur contribution à la lutte contre les pollutions accidentelles en eaux intérieures pour **le traitement in situ des pollutions organiques essentiellement.**

Des trois grands axes d'intervention que sont l'oxydation directe des polluants, l'activation de leur biodégradation et **le soutien à la faune aquatique pour supporter le passage de la pollution**, il apparaît que seul ce dernier principe puisse aboutir à des objectifs opérationnels compatibles avec les contraintes de la lutte antipollution.

En effet, l'oxydation chimique requiert une bonne maîtrise de la qualité et de la quantité des eaux à traiter si on veut opérer un traitement "ciblé" sur le(s) polluant(s) ; ces conditions ne sont bien sûr pas vérifiées dans un cours d'eau.

La biodégradation de matières organiques déversées dans un cours d'eau met en jeu des mécanismes dont les cinétiques ne "rentrent" pas dans l'échelle de temps de la lutte contre une pollution accidentelle.

Il ne reste donc plus que l'oxygénation comme dopage de la faune aquatique tout en sachant que les déficits d'oxygène dissous que l'on cherche à compenser sont intimement liés à la dégradation chimique ou biochimique des produits polluants.

Un apport d'oxygène disponible pour les poissons doit permettre d'éviter leur asphyxie et de diminuer leur vulnérabilité vis à vis des polluants par le biais d'une respiration facilitée et conséquemment d'une moindre pénétration par voie branchiale des agents toxiques ou pathogènes.

Ce principe d'intervention suppose de pouvoir estimer où et quand se développent ces déficits en oxygène dissous préjudiciables à la faune aquatique et de suivre leur évolution dans le cours d'eau.

Un tel outil d'aide à la décision pourrait être développé à partir de modèles de qualité de l'eau d'un cours d'eau et de données résidentes telles que les caractéristiques hydrauliques des cours d'eau à risque.

Des techniques simples, inspirées des oxygénateurs de pisciculture et développées à partir de matériels déjà disponibles chez les Corps de Sapeurs Pompiers (pompes, tuyaux, mélangeurs, hydroéjecteurs), devraient permettre d'équiper des installations mobiles d'oxygénation, pouvant répondre aux besoins d'oxygène de la faune et pouvant suivre l'évolution de la pollution jusqu'à sa suffisante dispersion et son assimilation par le milieu.

Seule l'expérimentation de petites installations pilotes permettra de confirmer un tel concept d'emploi et d'optimiser les techniques décrites sommairement dans cette étude.

SOMMAIRE

RESUME

	<u>Page</u>
1. INTRODUCTION	1
1.1. Objet de l'étude	1
1.2. Contexte de l'étude	1
1.2.1. Historique	1
1.2.2. Constat	2
1.3. Contenu de l'étude	2
1.3.1. Type de travail	2
1.3.2. Dépendance	3
II. CARACTERISATION DES POLLUTIONS ACCIDENTELLES EN EAUX INTERIEURES	4
11.1. Typologie des sites	4
II. 1.1. Les cours d'eau	4
II. 1.2. Les plans d'eau	5
11.2. Typologie des pollutions	5
11.2.1. Pollutions par hydrocarbures	5
11.2.2. Pollutions par matières organiques	6
11.2.3. Pollutions par produits chimiques	7
11.2.4. Pollutions par matières en suspension	8
II.2.5. Les eaux d'extinction d'incendie	9
11.3. Conclusion	9
III. LES OBJECTIFS DE L'OXYGENATION EN EAUX INTERIEURES	10
III. 1. Généralités - Démarche	10
111.2. L'oxygénation comme moyen de dopage de la faune aquatique	12
111.2.1. Incidence des pollutions sur le milieu	12
111.2.2. La disponibilité et la consommation d'oxygène	13
III.2.3. Comportement des poissons vis à vis de l'oxygène	15
111.2.4. Incidence des polluants sur la physiologie des animaux	16
III.2.5. Conclusion	17
111.3. L'activation de la biodégradation des polluants par le milieu naturel	18
111.3.1. L'oxydation des matières réductrices	18
III.3.2. La biodégradation aérobie	21
111.3.3. Propagation, évolution dans un milieu dynamique	22
111.3.4. Conclusion	22
111.4. L'oxydation chimique des polluants dans le milieu naturel	23
111.5. Conclusion	25

IV. ADAPTABILITE DES TECHNIQUES D'OXYGENATION DE L'EAU A LA LUTTE CONTRE LES POLLUTIONS ACCIDENTELLES EN EAUX INTERIEURES	26
N.1. Les exigences de la lutte contre les pollutions accidentelles	26
IV.2. Etude critique des différentes techniques d'oxygénation	27
IV.3. Synthèse	28
IV.3.1. Choix du gaz source d'oxygène	28
IV.3.2. Les techniques	29
IV.4. Systèmes d'oxygénation pour la lutte contre les pollutions accidentelles	31
IV.4.1. Aération diffuse	32
IV.4.2. Aérateur Aire-02	33
IV.4.3. Hydroéjecteurs	33
IV.4.4. Oxygénation hors eau par injection dynamique	36
IV.4.5. Oxygénation par injection de peroxyde d'hydrogène	36
IV.4.6. Conclusion	36
V. SCENARIOS DE POLLUTIONS SUSCEPTIBLES D'ETRE TRAITÉES PAR OXYGENATION	37
V.1. En amont du déversement dans le milieu naturel	37
V.2. En aval du déversement dans le milieu naturel	38
V.3. Scénarios de lutte par oxygénation	40
VI. CONCLUSION	41
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	43
<u>ANNEXES</u>	
ANNEXE A L'OXYGENATION COMME MOYEN DE DOPAGE DE LA FAUNE AQUATIQUE EN CAS DE POLLUTION ACCIDENTELLE	
ANNEXE B LA BIODEGRADATION DES POLLUANTS DANS LE MILIEU NATUREL	
ANNEXE C LA CHIMIE DES OXYDANTS POUR L'OXYDATION DES POLLUANTS	
ANNEXE D REVUE DES TECHNIQUES D'OXYGENATION DE L'EAU	
ANNEXE E LA DISSOLUTION DU GAZ DANS LES MILIEUX AQUEUX	

1. INTRODUCTION

1.1. OBJET DE L'ETUDE

La Direction de la Sécurité Civile (DSC) du Ministère de l'Intérieur a confié au CEDRE la réalisation d'une étude sur l'utilisation de l'oxygénation comme moyen de lutte contre les pollutions accidentelles en eaux intérieures.

Cette étude a fait l'objet du contrat n° 9122 00 entre le CEDRE et la DSC.

Ce rapport **présente les résultats** de l'étude et la démarche suivie. Il présente aussi les domaines d'approfondissement tant au niveau théorique qu'au niveau expérimental, nécessaires à la confirmation des principes d'intervention retenus.

1.2. CONTEXTE DE L'ETUDE

1.2.1. Historiaue

Différentes études historiques sur les pollutions accidentelles des eaux intérieures en FRANCE (SAUNIER Eau et Environnement, SAFEGE, POLICEAU) permettent de dresser le constat suivant :

- ❶ La majeure partie des pollutions recensées affecte les rivières et cours d'eau.
- ❷ La nature des produits polluants se répartit comme suit :
 - 30 % de matières organiques provenant principalement de collectivités locales (stations d'épuration) et du secteur agricole (déjections animales) ;
 - 30 % d'hydrocarbures provenant principalement du secteur industriel et des particuliers ;
 - 30 % de produits chimiques provenant principalement du secteur industriel (produits purs ou associés) et du secteur agricole (produits phytosanitaires) ;
 - quelques % de matières en suspension (MES) provenant des vidanges de plans d'eau, de pluies d'orages, de carrières, et pouvant causer, au-delà d'une forte turbidité, des relargages de polluants organiques et chimiques.
- ❸ Le quart au moins de ces pollutions cause des troubles importants sur la faune et la flore des cours d'eau. Plus généralement, dans la moitié des cas, on constate des mortalités de poissons.

- ④ L'impact sur les usines d'eau potable est plus difficile à cerner : les cas les plus graves sont dus aux produits chimiques en provoquant des fermetures temporaires, des ralentissements de l'activité ou des traitements exceptionnels.
- ⑤ Les principales techniques mises en oeuvre en intervention sont le confinement et la récupération avec, selon les cas, utilisation de produits absorbants. Les autres techniques de lutte telles que les traitements physico-chimiques in situ ou en centrale mobile n'en sont qu'au stade expérimental et les précautions d'emploi sont nombreuses.

1.2.2. Constat

Bien que n'apparaissant pas directement dans ces études historiques, un déficit d'oxygène du milieu pollué est souvent constaté, en particulier dans le cas des pollutions par matières organiques et par pluie d'orage ou vidange de retenues.

Parallèlement et relativement à la toxicité des produits déversés, le déficit d'oxygène du milieu ressort donc comme une des causes de la mortalité de la faune aquatique et à plus long terme de la dégradation globale du milieu.

Devant la relative pauvreté des moyens de lutte antipollution par rapport à la diversité et à la multiplicité des types de pollution, le CEDRE cherche à développer de nouvelles techniques d'intervention en eaux intérieures.

Dans ce sens, on peut constater que l'oxygénation des eaux pratiquée sous différentes formes (brassage, injection d'air ou d'oxygène gazeux, utilisation de peroxyde d'hydrogène, ozonisation) constitue déjà un procédé d'oxydation de certaines matières organiques présents dans des effluents industriels (cyanures, phénols....) ou urbains ainsi qu'un moyen de régénération de lacs eutrophisés.

Par ailleurs, l'oxygénation permet à des espèces de poissons fragiles (salmonidés) de tolérer un stress important (transport, manipulations diverses) en pisciculture.

Aussi le CEDRE a-t-il proposé à la Direction de la Sécurité Civile d'effectuer une étude visant à définir l'opportunité d'utiliser les propriétés de l'oxygène dans la lutte contre certaines pollutions accidentelles.

1.3. CONTENU DE L'ETUDE

1.3.1. Démarche

Après une caractérisation des pollutions accidentelles en eaux intérieures permettant de définir les grandes familles de scénarios de pollutions en qualité et en quantité, le CEDRE s'est attaché à

analyser les grands mécanismes chimiques, biochimiques et biologiques mis en jeu, lors d'une oxygénation d'une eau plus ou moins brute pour en déduire l'intérêt en terme de lutte contre une pollution accidentelle.

Cette analyse a porté sur trois grands axes de traitement :

- ❖ l'oxygénation comme moyen de dopage de la faune aquatique pour supporter le stress de la pollution ;
- ❖ l'oxygénation pour activer la biodégradation des polluants dans le milieu naturel ;
- ❖ l'oxydation chimique des polluants.

Parallèlement, le CEDRE a réalisé une revue critique des différentes techniques d'oxygénation utilisées aujourd'hui en traitement d'eaux usées, en restauration de lacs eutrophisés et en pisciculture en leur opposant les contraintes de la lutte contre les pollutions accidentelles.

Ces travaux ont permis d'esquisser quelques concepts d'emploi de l'oxygénation comme moyen de lutte contre les pollutions accidentelles en eaux intérieures, sachant que seul le principe du dopage de la faune aquatique pour supporter le stress de la pollution reste opérationnel dans le cadre contraignant de la lutte contre les pollutions accidentelles et que des techniques simples inspirées des oxygénateurs de pisciculture permettraient de réaliser un tel traitement.

1.3.2. Type de travail

Le CEDRE a réalisé cette étude à partir de données bibliographiques et de contacts avec divers spécialistes :

- physiologie des poissons (INRA - IFREMER)
- pisciculture (FRANCE AQUACULTURE)
- qualité des eaux (Agences de l'Eau, CEMAGREF, CERGRENE, Laboratoire EDF Chatou)
- industriels de l'oxygène (AIR LIQUIDE, AIR PRODUCTS)
- 0 traiteurs d'eau (LYONNAISE DES EAUX)

VI. CONCLUSION

Le traitement *in situ* de pollutions une fois arrivées dans le milieu naturel doit avoir des objectifs très modestes : on ne peut qu'écrêter les phénomènes de pollutions (toxicité, déficit d'oxygène...) par piégeage des produits (plus ou moins partiellement ou temporairement) ou au contraire par activation de leur prise en charge par le milieu (**biodégradation** en particulier).

Il en est ainsi de l'oxygénation du milieu pour la lutte contre les **pollutions** accidentelles en eaux intérieures.

Il apparaît aujourd'hui que les technologies d'oxygénation développées en traitement d'eaux usées, en restauration de lacs et retenues eutrophes et surtout en pisciculture rendent possible la recherche de techniques similaires pour des **interventions ponctuelles sur le milieu naturel en cas de pollution accidentelle**.

En revanche, la typologie des pollutions accidentelles, les mécanismes d'évolution d'un polluant dans le milieu naturel et les contraintes de l'intervention (délai, mobilité, accessibilité des sites) limitent beaucoup le concept d'emploi. **Ainsi, seules les pollutions accidentelles par matières organiques et par produits chimiques suffisamment dilués pour présenter de faible toxicité peuvent faire l'objet d'un traitement dans ce domaine et l'objectif premier à rechercher au travers de l'oxygénation du milieu est l'aide à la faune aquatique mobile pour supporter le passage de la pollution. Suivant la taille du cours d'eau concerné, cette oxygénation se fera dans l'ensemble du volume d'eau ou seulement dans certaines zones identifiées par avance ou en temps réel comme refuges de la faune aquatique.**

Remarquons ici que ce dernier principe d'intervention pourrait peut-être aussi préserver une partie de la faune en cas de pollutions chimiques en l'écartant du courant principal toxique.

Secondairement, on peut espérer que l'oxygénation du milieu participe à la **biodégradation** des produits polluants par la flore microbienne du milieu.

En supposant que l'oxygénation soit convenablement effectuée, le scénario de dépollution envisageable est le suivant :

- les animaux aquatiques supporteront beaucoup plus facilement le stress de la pollution, avec pour conséquences directes le maintien de conditions favorables à la fois à la respiration et à l'osmorégulation, une moindre vulnérabilité vis-à-vis des polluants et des germes pathogènes (système immunitaire non-inhibé, pénétration des bio-agresseurs limitée, risques de contamination diminués)...

- l'oxygène apporté permettra la prolifération des micro-organismes décomposeurs aérobies, sans porter préjudice à la faune aquatique. La transformation des molécules organiques entraînera l'apparition d'ammoniaque dans le milieu, alors oxydé par les bactéries de la nitrification, également consommatrices d'oxygène ;

- une fois la pollution **estompée**, c'est-à-dire lorsque les **matières organiques** et l'ammoniaque auront **été traités**, la flore **bactérienne** ne disposera plus assez de substrats pour maintenir les effectifs de sa population. L'**oxygène** apporté naturellement au milieu (par la dissolution de l'O₂ atmosphérique et par la **photosynthèse**) suffira à **rétablir l'équilibre écologique initial**.

La **réussite** d'une telle intervention passe par deux points essentiels :

- 0 l'estimation du besoin du milieu en **oxygène** suite à la pollution et la définition de l'intervention en terme d'oxygénation.
Cela suppose une bonne **capacité** à suivre l'évolution physique et biochimique des polluants dans le cours d'eau et bien sûr ses conséquences sur la teneur en oxygène dissous du milieu. Ces connaissances permettront d'évaluer le besoin d'un apport **exogène** en oxygène et de **définir** les lieux et les moments les plus opportuns pour intervenir.
- ② l'utilisation de techniques d'oxygénation adaptées à la lutte contre les pollutions accidentelles.
Il semble possible de développer des **systèmes** d'oxygénation sur le principe des **hydroéjecteurs** utilisés en pisciculture à partir des matériels déjà disponibles dans tous les corps de Sapeurs Pompiers en FRANCE (pompes, mélangeurs **gaz/eau**, tuyaux et **tuyères de mélange final** dans l'eau brute).

Pour aboutir à des solutions opérationnelles, il conviendrait donc d'approfondir parallèlement deux domaines d'étude :

- la **modélisation** de l'évolution d'un polluant organique dans un cours et de ses conséquences sur la teneur en oxygène dissous pour obtenir un outil d'aide à l'intervention en terme d'**oxygénation**. Rappelons que l'utilisation d'un tel outil suppose de disposer en **données résidentes** des caractéristiques des cours d'eau et de l'inventaire des zones refuges.
- l'expérimentation de quelques **systèmes d'oxygénation développés** à partir de **matériels existants** dans les C.S.P. utilisant comme source d'oxygène soit l'air soit l'oxygène pur.
Dans ce dernier cas, les industriels de l'**oxygène** seraient prêts à collaborer pour étudier la faisabilité de tels systèmes.

Enfin, un autre domaine moins directement opérationnel pourrait faire l'objet d'approfondissement pour confirmer les principes retenus dans cette étude : il existe en effet peu de données sur le comportement des poissons dans une eau polluée en présence d'un apport exogène d'oxygène. La collaboration avec les physiologistes de l'INRA ou d'IFREMER pourrait éclairer ce sujet.