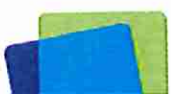


Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques



oxygène dissous
MES/DCO
pollution organique
NH4



Cet ouvrage a été réalisé sous la direction de Paul Le Pimpec assisté de Romain Bonnard d'Irstea (centre de Lyon), en collaboration avec l'Onema pour les aspects réglementaires.

Dans le cadre de la réactualisation de l'édition 2002, la contribution de chaque auteur s'est appuyée sur la réglementation en vigueur avec le souci d'apporter des réponses à un questionnaire proposé par Irstea et diffusé très largement aux agents de l'Onema.

Auteurs

Irstea : Paul **Le Pimpec**, Romain **Bonnard**, Alain **Liénard**,
Guy **Le Hénaff**, Marc **Bray**, Michel **Lafont**

Contributeurs

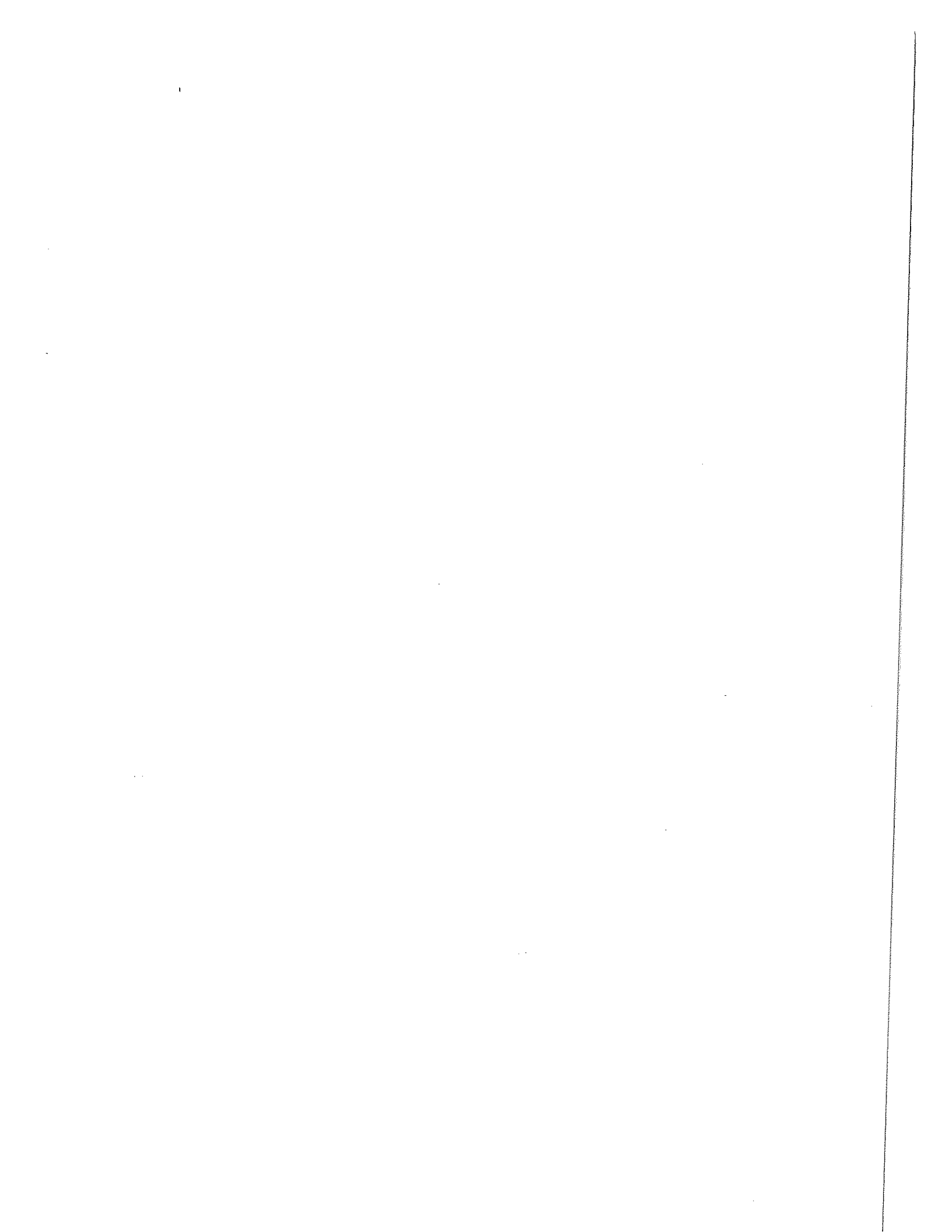
Onema : Pierre **Boyer**, Pascale **Boizard**, Renée **Dossena**,
Béatrice **Gentil**, Pascal **Lagrabe**

Irstea : Pascal **Boistard**, Ghislaine **Viviani**, Fédérica **Oraison**

Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques

Paul Le Pimpec, Romain Bonnard, Alain Liénard,
Guy Le Hénaff, Marc Bray, Michel Lafont

oxygène dissout
MES/DCO
Pollution organique





Avant-propos

Le présent ouvrage a été réalisé dans le cadre de la convention de partenariat 2008-2011 Onema - Cemagref / Irstea, au titre de l'action 31.3 du domaine *Méthodes pour le contrôle et la police*.

Il s'agit de la troisième édition complétée et mise à jour du « *Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques* » dont la précédente version est en date de 2002 publiée par Cemagref Éditions. Ce guide s'inscrit dorénavant dans la collection des **Guides techniques de la police de l'eau** qui consacre la complémentarité de la science et du droit.

Ce guide s'adresse donc en premier lieu aux agents chargés de constater les infractions à la police de l'eau et à la police de la pêche (agents des services départementaux de l'État, de l'Onema, de la Gendarmerie nationale, etc.).

Il a pour objectif d'apporter des éléments réglementaires et de méthodologies pratiques pour la réalisation de prélèvements dans le cadre de contrôle de rejets ou de cas de pollutions des milieux aquatiques.

Son utilisation se conçoit en complément d'une bonne connaissance des milieux aquatiques acquise sur le terrain et d'un accès à la documentation technique en particulier celle relative aux prélèvements et aux analyses physico-chimiques.





Sommaire

1 - Quelques généralités sur la pollution des milieux aquatiques	5
2 - La police des milieux aquatiques	8
2.1 - Contrôles justifiant un prélèvement pour analyse des eaux	8
2.2 - Techniques légales et réglementaires des contrôles par prélèvement pour analyse	11
2.3 - Différentes infractions susceptibles d'être constatées après un contrôle	15
3 - Le matériel nécessaire sur le terrain	20
3.1 - Matériel de prélèvement et équipement de terrain	20
3.2 - Matériel nécessaire aux tests de terrain	21
4 - Les premières investigations de terrain	23
4.1 - pH	25
4.2 - Conductivité	27
4.3 - Oxygène dissous	29
4.4 - Azote ammoniacal (ammonium total)	31
4.5 - Nitrites	33
4.6 - Chlore	35
4.7 - Cyanures	37
4.8 - Sulfates	39
4.9 - Chlorures	41
5 - Les prélèvements : choix des points et techniques	43
5.1 - Prélèvement d'eaux	43
5.2 - Prélèvement de sédiments	48
5.3 - Prélèvement de bryophytes autochtones	50
5.4 - Prélèvement de poissons	51
5.5 - Prélèvement pour l'analyse des résidus de substances phytosanitaires	51
5.6 - Recommandations sur les risques du travail en rivière	55
6 - Conditionnement et conservation des échantillons	57
6.1 - Conditionnement des échantillons d'eaux selon l'origine de la pollution	57
6.2 - Conditionnement des échantillons de sédiments, poissons et bryophytes	58
6.3 - Conservation des échantillons d'eaux, sédiments et bryophytes	59
6.4 - Acheminement des échantillons	59
7 - Fiche contrôle « Rejets - pollution »	60



8 - Analyses physico-chimiques et biologiques.....	68
8.1 - Liste des analyses de laboratoire effectuées le plus couramment dans les eaux.....	68
8.2 - Paramètres physiques, indices globaux et composés minéraux majeurs ; symbole, définition, signification.....	70
8.3 - Micropolluants.....	77
8.4 - Essais de toxicité.....	79
9 - Bases d'interprétation des résultats d'analyses physico-chimiques.....	80
9.1 - Valeurs guides des composantes physico-chimiques dans le milieu naturel.....	80
9.2 - Grands types de pollution.....	85
9.3 - Quelques cas concrets de pollution.....	93
9.4 - Références de toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques.....	97
10 - Notions de chimie - Comportement physico-chimique des substances dans le milieu aquatique	108
10.1 - Notions de chimie	108
10.2 - Comportement physico-chimique des substances dans le milieu aquatique	114
11 - Notions d'hydro-écologie : qualité biologique des eaux courantes ..	118
11.1 - Écosystème aquatique	118
11.2 - Dynamisme et notion d'eutrophisation.....	121
11.3 - Conséquences écologiques liées à la pollution des eaux.....	121
11.4 - Détection rapide de certains types de pollution.....	122
11.5 - Effets de certains types de pollutions ; impacts hydromorphologiques et écologiques	124
11.6 - Méthode de détermination de la qualité biologique des eaux.....	125
12 - Principales filières de traitement d'eaux usées	128
12.1 - Principes généraux de l'épuration	128
12.2 - Aspects réglementaires de l'assainissement	129
12.3 - Principales filières de traitement d'effluents de collectivités.	129
12.4 - Classement des filières de traitement d'effluents de collectivités au regard de leurs performances.	140
12.5 - Traitement d'eaux usées particulières	141
12.6 - Boues	144
12.7 - Reconnaître un mauvais fonctionnement de station d'épuration	146
13 - Pollution des milieux aquatiques par les pesticides	148
13.1 - Transfert diffus des pesticides vers les milieux aquatiques	148
13.2 - Pollutions ponctuelles	153
Références bibliographiques.....	157





4

Quelques généralités sur la pollution des milieux aquatiques

Altération du milieu naturel par un apport extérieur

Les eaux courantes naturelles contiennent des composés minéraux qui ont pour origine les échanges qui se produisent :

- entre l'eau et l'atmosphère : gaz dissous (oxygène, azote et gaz carbonique) ;
- entre l'eau et le sol : sels dissous (hydrogénocarbonate ou bicarbonate de calcium principalement, magnésium, sodium, fer, chlorures, sulfates, nitrates, silicates, etc.) et matières en suspension qui proviennent des effets de l'érosion, des débris d'origine végétale et des activités humaines.

Les matières organiques naturellement présentes dans les eaux (et les sols) sont formées par un mélange complexe de produits végétaux et animaux à des stades de décomposition variés. À partir de ce mélange, les micro-organismes élaborent des substances minérales et des substances complexes telles que les matières humiques qui demeurent stables pendant de longues périodes dans les systèmes aquatiques.

La pollution est une altération du milieu naturel par des apports extérieurs, susceptibles de nuire à la qualité de l'eau et à la vie aquatique. Elle peut être localisée (déversement d'un égout...) ou diffuse (eaux de ruissellement de bassin versant agricole...). Outre l'apport d'eaux polluées, le jet ou l'abandon de déchets dans les eaux conduit aussi à une dégradation du milieu. La notion d'altération dépend de l'usage que l'on attribue au milieu.

Manifestation de la pollution

Une pollution peut être aiguë, chronique ou différée.

- **la pollution aiguë** (ou accidentelle) se caractérise par sa soudaineté et occasionne souvent des dégâts spectaculaires (mortalité massive de poissons par exemple). Les pollutions dites « volontaires » sont fréquentes : actes de malveillance, vidanges de citernes, déversements délibérés de toutes sortes de produits aussi bien par les professionnels que par les particuliers (industriels, agriculteurs, collectivités, artisans, etc.). Après, viennent les pollutions dites « involontaires » : ruptures de canalisations, fausses manœuvres, pannes de station d'épuration, fuites de cuves, travaux, accidents liés au transport ;
- **la pollution chronique** provient d'un déversement plus ou moins permanent entraînant une modification progressive du milieu : changement d'aspect de l'eau, envasement du milieu récepteur, avec pour conséquence une dégradation de la faune et de la flore. Ce type de pollution peut prendre un caractère aigu dans certaines conditions (débit d'étiage, orage, etc.) occasionnant une raréfaction de l'oxygène dissous, ou l'atteinte de concentrations toxiques ;



6

- **la pollution différée** résulte de l'accumulation dans les sédiments ou dans les végétaux qui peuvent les utiliser, de certaines substances toxiques ou indésirables qui, de ce fait, ne suivent pas le fil de l'eau. Dans certaines conditions cette pollution potentielle peut apparaître dans le milieu :
 - soit par relargage ou remise en suspension (suite à une crue, une vidange de plan d'eau, etc.) ;
 - soit par libération lors d'une mortalité massive des végétaux, de ces produits accumulés ;
 - soit lors de conditions météorologiques particulières.

Sources liées aux activités humaines

Les principales sources de pollution proviennent :

- de l'industrie ;
- des collectivités : égouts, stations d'épuration ;
- de l'agriculture : engrais, traitements par substances phytosanitaires, effluents d'élevage.

Selon la nature des produits rejetés, on peut distinguer trois principaux types de pollution :

- la pollution mécanique ;
- la pollution organique ;
- la pollution par substances toxiques.

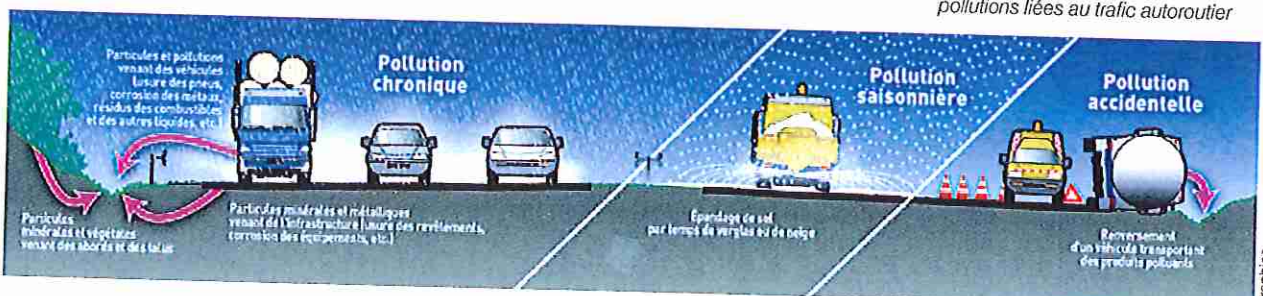
Il est également rencontré d'autres types de pollution comme les pollutions thermiques ou minérales.

Les principaux secteurs d'activité industrielle sont souvent responsables d'une pollution mixte.

Alors que les sources ponctuelles de pollution sont généralement repérables et leurs impacts directement évalués, les sources diffuses de pollution ainsi que leurs voies de transfert vers le milieu aquatique sont dispersées dans l'environnement [cf. chapitre 13]. Ces dernières se manifestent en premier lieu par temps de pluie, du fait de l'infiltration, du ruissellement et de l'érosion. Le ruissellement urbain et routier, les régions d'extraction minière et les activités agricoles sont des exemples de pollutions des eaux d'origine diffuse. Les principaux polluants agricoles sont les nitrates, les phosphates d'origine organique ou minérale, les produits phytosanitaires et les matières en suspension.

S'il est possible de traiter une émission de polluant localisée avant la contamination du milieu aquatique, il est difficile de capter le polluant voire de le traiter lorsque l'émission au milieu aquatique est indirecte. Les zones tampons naturelles ou implantées (bandes enherbées) en bord de cours d'eau limitent le ruissellement en favorisant l'infiltration. Elles ont une efficacité certaine bien que parfois irrégulière vis à vis de l'atténuation des transferts hydriques des

Exemple des différents types de pollutions liées au trafic autoroutier



Graphies

Les génératrices sur la pollution des milieux aquatiques



pesticides. Certains contextes hydro-pédologiques sont cependant défavorables à une bonne infiltration dans les sols: hydromorphie, tassements, court-circuits de surface ou enterrés (drainage).

La difficulté que l'on rencontre à mesurer voire réduire la pollution par les produits phytosanitaires utilisés en agriculture vient du fait :

- du suivi difficile à la source et de sa réalisation dans les milieux récepteurs (cours d'eau, ...);
- de son caractère souvent intermittent dépendant des données météorologiques;
- de la méconnaissance des voies de transfert préférentielles empruntées par les produits phytosanitaires de la parcelle vers la rivière;
- de la grande diversité des produits phytosanitaires utilisés;
- de la grande variabilité de comportement des différents produits phytosanitaires utilisés (solubilité dans l'eau, rémanence, toxicité, etc.).

Quelques définitions

Pour la problématique de la pollution des eaux, un ensemble de définitions a été précisé par l'arrêté ministériel relatif à l'évaluation de l'état des eaux du 25 janvier 2010 modifié.

- **Norme de qualité environnementale** : concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et l'environnement.
- **Polluant** : toute substance pouvant entraîner une pollution.
- **Pollution** : introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques ou des écosystèmes terrestres dépendant directement des écosystèmes aquatiques, qui entraînent des détériorations aux biens matériels, une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier.
- **Polluant spécifique de l'état écologique** : substance dangereuse recensée comme étant déversée en quantité significative dans les masses d'eau de chaque bassin ou sous-bassin hydrographique.
- **Substance dangereuse** : substance ou groupes de substances qui sont toxiques, persistantes et bioaccumulables, et autres substances ou groupes de substances qui sont considérées, à un degré équivalent, comme sujettes à caution.
- **Zone de mélange** : zone adjacente au point de rejet où les concentrations d'un ou plusieurs polluants peuvent dépasser les normes de qualité environnementales. Cette zone est proportionnée et limitée à la proximité du point de rejet et ne compromet pas le respect des normes de qualité environnementales sur le reste de la masse d'eau.



La police des milieux aquatiques

2

Le Code de l'environnement rassemble, tant dans son livre II (consacré à l'eau) que dans son livre IV (consacré à la pêche en eau douce), un certain nombre de dispositions de nature à favoriser directement ou indirectement le respect d'une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau (art. L. 211-1). Cette gestion implique la préservation d'un bon état des eaux, voire à défaut leur restauration, conformément aux principes de prévention et précaution sanitaires et environnementales (charte constitutionnelle de l'environnement de 2004).

Les objectifs et modalités de gestion de la ressource en eau sont largement déterminés au niveau communautaire, dans le cadre de **deux directives cadre**, l'une sur l'eau et les milieux naturels aquatiques continentaux →, l'autre sur les milieux naturels marins au-delà de la limite des eaux territoriales → (12 milles marins à partir de la ligne de base de la côte).

2.1 Contrôles justifiant un prélèvement pour analyse des eaux

La préservation d'un bon état des eaux, voire à défaut leur restauration, implique des opérations régulières de contrôle de la qualité des eaux et milieux aquatiques, y compris des rejets s'y déversant directement ou indirectement.

Les modalités d'agrément des laboratoires → effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques au titre du Code de l'environnement sont déterminées de manière commune par voie réglementaire (arrêté ministériel modifié du 29 novembre 2006).

2.1.1 Évaluation de l'état des eaux et milieux aquatiques

Les différents états des eaux et milieux aquatiques sont déterminés par un certain nombre de paramètres, définis par voie réglementaire (art. D. 211-10 et suivants) :

- les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines, et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines (arrêté ministériel du 17 décembre 2008) ;
- les méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface (arrêté ministériel du 25 janvier 2010, modifié les 8 juillet 2010 et 28 juillet 2011).

→ Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000, établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

→ Directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008, établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin.

→ La liste des laboratoires agréés est publiée sur le site internet suivant : <http://www.labeau.ecologie.gouv.fr/index.php>

→ La vérification de l'accréditation des laboratoires d'analyse délivrée par le Cofrac (Comité français d'accréditation) peut être réalisée sur le site suivant : <http://www.cofrac.fr/>



Ces évaluations se réalisent à l'échelle de tronçons de cours d'eau, de plans d'eau, d'un aquifère ou groupement d'aquifères, dans le cadre de « masses d'eau » faisant l'objet d'un découpage administratif exclusivement dédié à l'évaluation de l'état des eaux (arrêté ministériel du 12 janvier 2010, modifié le 8 juillet 2010).

Le calendrier de restauration de l'état des eaux continentales est déterminé, masse d'eau par masse d'eau, dans le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) du grand bassin hydrographique intéressé. Un programme de surveillance de l'état des eaux s'assure régulièrement de l'état de celles-ci (arrêté ministériel du 25 janvier 2010, modifié le 29 juillet 2011) à l'échelle de ce grand bassin hydrographique. Certaines substances dangereuses sont particulièrement suivies (arrêté ministériel du 20 avril 2005 modifié les 27 avril 2005, 6 septembre 2005, 21 mars 2007, 8 juillet 2010 et 7 décembre 2010).

Outre ces programmes généraux de surveillance et d'évaluation du bon état des eaux (circulaire DEVO 0540127C du 30 avril 2005), des contrôles de la qualité des milieux naturels aquatiques peuvent être organisés à tout moment sur signalement ou, plus généralement, dans le cadre du plan de contrôle interservice départemental déterminé par le préfet de département dans les domaines de l'eau et de la nature (circulaire DEVO 1010770C du 12 novembre 2010).

Des objectifs complémentaires de qualité des eaux sont déterminés réglementairement en fonction de certains usages de l'eau, selon des méthodes d'analyses spécifiées :

- qualité des eaux conchylicoles (art. D. 211-10, tableau I), selon méthode d'analyse (art. D. 211-11, arrêté ministériel du 26 décembre 1991, annexe III) ;
- qualité des eaux piscicoles (art. D. 211-10, tableau II), selon méthode d'analyse (art. D. 211-11, arrêté ministériel du 26 décembre 1991, annexe IV) ;
- qualité des eaux alimentaires (Code de la santé publique, art. R. 1321-3), selon méthode d'analyse (arrêté ministériel du 11 janvier 2007) ;
- qualité des eaux de baignade (Code de la santé publique, art. D. 1332-27, annexe au décret n° 2008-990 du 18 septembre 2008, arrêté ministériel du 22 septembre 2008), selon méthode d'analyse (arrêté ministériel du 23 septembre 2008).

Pour contrôler la qualité des eaux sanitaires, les modalités d'agrément des laboratoires → effectuant des analyses au titre du Code de la santé publique sont déterminées par voie réglementaire (arrêté ministériel du 24 janvier 2005 modifié les 11 mars 2005 et 30 décembre 2006).

En cas d'altération des milieux naturels aquatiques, des prélèvements d'eaux, de sédiments ou de biotes pour analyse peuvent être effectués afin de caractériser la réalité, la nature et l'ampleur de cette altération.

2.1.2 Contrôle des rejets et déversements dans les eaux et milieux aquatiques

Ces contrôles de l'état des eaux et milieux naturels aquatiques peuvent être complétés par des contrôles sur les rejets et déversements d'eaux résiduelles de toute nature, afin de vérifier le respect de la réglementation technique les encadrant, voire leur responsabilité dans l'altération de l'état des milieux naturels aquatiques (lien de causalité).

Un certain nombre de déversements sont interdits par des réglementations générales (art. L. 211-2) applicables à diverses opérations, notamment :

- les rejets de boues d'épuration dans le milieu aquatique, par quelque moyen que ce soit (art. R. 211-25) ;

→ La liste des laboratoires agréés est publiée sur le site internet suivant :

<http://www.sante.gouv.fr/laboratoires-agrees-pour-le-contrôle-sanitaire-des-eaux>



- le déversement direct des effluents d'exploitations agricoles dans les eaux superficielles, souterraines ou les eaux de la mer (art. R. 211-48) ;
- le déversement dans les eaux superficielles, les eaux souterraines et les eaux de mer, par rejet direct ou indirect ou après ruissellement sur le sol ou infiltration, des lubrifiants ou huiles, neufs(ves) ou usagé(s), appartenant à certaines catégories (art. R. 211-60).

D'autres déversements font l'objet de réglementations particulières (art. L. 214-1 à L. 214-6, L. 511-2), adaptées aux enjeux locaux, notamment :

- les rejets de stations d'épuration des agglomérations d'assainissement ou dispositifs d'assainissement non collectif devant traiter une charge brute de pollution organique supérieure à 12 kg/jour de DBO₅ (art. R. 214-1 ; rubrique 2.1.1.0. de la nomenclature) ;
- les rejets de déversoirs d'orage situés sur un système de collecte des eaux usées destiné à récupérer un flux polluant journalier supérieur ou égal à 12 kg de DBO₅ (art. R. 214-1 ; rubrique 2.1.2.0. de la nomenclature) ;
- les épandages de boues issues du traitement des eaux usées, la quantité de boues épandues dans l'année, produites dans l'unité de traitement considérée et présentant une quantité de matière sèche supérieure ou égale à trois tonnes ou une quantité d'azote totale supérieure ou égale à 150 kg par an (art. R. 214-1 ; rubrique 2.1.3.0. de la nomenclature) ;
- les épandages d'autres types d'effluents ou de boues que ceux précités, la quantité d'effluents ou de boues épandues présentant les caractéristiques suivantes : azote total supérieur ou égal à une tonne par an, ou volume annuel supérieur ou égal à 50 000 m³ par an, ou DBO₅ supérieure ou égale à 500 kg par an (art. R. 214-1 ; rubrique 2.1.4.0. de la nomenclature) ;
- les rejets d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol, la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet, étant supérieure ou égale à un hectare (art. R. 214-1 ; rubrique 2.1.5.0. de la nomenclature) ;
- les rejets dans les eaux douces superficielles susceptibles de modifier le régime des eaux (à l'exclusion des rejets visés à la rubrique 2.1.5.0 ainsi que des rejets des ouvrages visés aux rubriques 2.1.1.0 et 2.1.2.0), la capacité totale de rejet de l'ouvrage étant supérieure ou égale à 2 000 m³ par jour ou à 5 % du débit moyen interannuel du cours d'eau (art. R. 214-1 ; rubrique 2.2.1.0. de la nomenclature) ;
- les rejets en mer, la capacité totale de rejet étant supérieure ou égale à 100 000 m³ par jour (art. R. 214-1 ; rubrique 2.2.2.0. de la nomenclature) ;
- les rejets dans les eaux de surface (à l'exclusion des rejets visés aux rubriques 4.1.3.0, 2.1.1.0, 2.1.2.0 et 2.1.5.0) dont le flux total de pollution brute est supérieur ou égal au niveau de référence R1 défini par arrêté ministériel du 9 août 2006 pour l'un au moins des éléments qui y figurent, ou dont le produit de la concentration maximale d'*Escherichia coli*, par le débit moyen journalier du rejet situé à moins d'un kilomètre d'une zone conchylicole ou de culture marine, d'une prise d'eau potable ou d'une zone de baignade, étant supérieur ou égal à 1010 *E. coli* par jour (art. R. 214-1 ; rubrique 2.2.3.0. de la nomenclature) ;
- les installations ou activités à l'origine d'un effluent correspondant à un apport au milieu aquatique de plus d'une tonne par jour de sels dissous (art. R. 214-1 ; rubrique 2.2.4.0. de la nomenclature) ;
- les rejets d'effluents sur le sol ou dans le sous-sol (à l'exclusion des rejets visés à la rubrique 2.1.5.0, des rejets des ouvrages visés aux rubriques 2.1.1.0,





2.1.2.0, des épandages visés aux rubriques 2.1.3.0 et 2.1.4.0, ainsi que des réinjections visées à la rubrique 5.1.1.0) (art. R. 214-1 ; rubrique 2.3.1.0. de la nomenclature) ;

- les recharges artificielles des eaux souterraines (art. R. 214-1 ; rubrique 2.3.2.0. de la nomenclature) ;
- les rejets résultant de dragage en milieu marin, dont la teneur des sédiments extraits est supérieure ou égale au niveau de référence N1 défini par arrêté ministériel du 9 août 2006 pour l'un au moins des éléments qui y figurent, en fonction du volume de sédiments dragués et du milieu marin intéressé (art. R. 214-1 ; rubrique 4.1.3.0. de la nomenclature) ;
- les rejets dans les eaux émanant des installations classées pour la protection de l'environnement (art. R. 511-9, annexe nomenclature).

Au-delà de ces rejets et déversements réglementés, tout rejet ou déversement (qu'il soit ou non réglementé) peut par principe faire l'objet d'un contrôle, afin d'apprécier notamment son influence potentielle sur l'état des eaux et milieux naturels aquatiques et caractériser une éventuelle responsabilité dans l'altération illicite de leur état.

2.2 Techniques légales et réglementaires des contrôles par prélèvement pour analyse

Les contrôles par prélèvement et analyse peuvent être réalisés par tout moyen. Cependant, des règles fondamentales ont été édictées pour en garantir l'objectivité. Elles peuvent être complétées au cas par cas, selon les configurations particulières rencontrées.

2.2.1 Principe : la liberté des preuves

Conformément aux dispositions de l'article 802 du Code de procédure pénale, l'administration de la preuve est réalisée par principe selon un mode libéral. Tous les modes de preuve sont *a priori* admissibles, sauf si certains sont interdits expressément par la loi.

« Hors les cas où la loi en dispose autrement, les infractions peuvent être établies par tout mode de preuve et le juge décide d'après son intime conviction. Le juge ne peut fonder sa décision que sur des preuves qui lui sont apportées au cours des débats et contradictoirement discutées devant lui ».

Ce principe général, applicable à la matière pénale, apparaît approprié à l'ensemble de la matière répressive, y compris à la répression administrative.

Ce libéralisme ne doit pas générer pour les agents contrôleurs laxisme et approximations dans les modes opératoires, bien au contraire. L'agent contrôleur doit toujours s'efforcer d'organiser son contrôle de telle sorte qu'il soit le plus objectif et le moins contestable possible. Pour ce faire, deux fondements particuliers doivent être respectés avec rigueur dans un souci d'objectivité maximale :

- l'organisation contradictoire (si possible) de la procédure de prélèvement et d'analyse,
- la détermination de la valeur d'incertitude des résultats d'analyse.

C'est la raison pour laquelle la procédure de contrôle doit toujours privilégier, autant que faire se peut, **le respect du contradictoire** avec l'auteur présumé des rejets et déversements litigieux, ou son représentant. Cette règle n'est pas absolue : le refus de participer aux contrôles doit résulter d'une invitation claire et précise émanant de l'agent contrôleur ; ce refus ne saurait faire obstacle à la réalisation de l'opération de contrôle, mais doit être relaté expressément dans le rapport de l'opération de contrôle (procès-verbal, rapport, fiche de contrôle, etc.). Si des personnes adultes sont présentes sur les lieux (le maire de la commune par exemple), elles peuvent assister aux opérations et attester le cas échéant de leurs conditions de réalisation par tout moyen utile. Enfin, la personne contrôlée doit toujours être informée dans les meilleurs délais (le jour même ou sous 24 heures) par tout moyen sur l'identité et les coordonnées du laboratoire choisi pour effectuer les analyses des échantillons prélevés, afin de pouvoir déclencher une contre-analyse dans le délai de cinq jours après le prélèvement, sur la base d'un second échantillon prélevé par l'agent contrôleur dans les mêmes conditions que le premier.

La technique de contrôle doit donc toujours privilégier autant que possible **les méthodologies de prélèvement et de mesures les plus précises et rigoureuses** parmi toutes celles qui sont mobilisables, **selon le coût économiquement acceptable attaché à une opération de contrôle**. L'organisation particulière des modalités de contrôle (choix des sites et échantillons, des pratiques d'intervention, des paramètres à analyser, du laboratoire d'analyse) relève d'une véritable stratégie adaptée aux caractéristiques de chaque opération rencontrée.

En toute hypothèse, la personne contrôlée est toujours libre de procéder à son initiative et à ses frais à toute investigation, prélèvement et analyse complémentaire (via ses agents, un bureau d'études, un laboratoire, etc. librement choisis, dont les modalités d'intervention peuvent faire l'objet d'un constat d'huissier si nécessaire), afin de se construire le cas échéant un mode de preuve contraire aux constatations des agents contrôleurs, permettant *in fine* de faire émerger la manifestation de la vérité à partir de la détermination de l'état exact des rejets et déversements, des eaux et milieux naturels aquatiques influencés, et des responsabilités éventuelles en découlant.

Ainsi, un prélèvement pour analyse doit toujours être réalisé à partir des principes généraux propres à toute opération de prélèvement pour analyse :

- après organisation de l'opération, le responsable présumé d'un rejet ou déversement litigieux, présent ou représenté, est avisé qu'il peut assister au prélèvement ; cependant l'absence du responsable ne fait pas obstacle au prélèvement ;
- des échantillons sont prélevés en double exemplaire en vue d'analyse ou d'essai sous la direction des agents contrôleurs, qui les placent sous scellés ; adressés au laboratoire d'analyse, le deuxième exemplaire est conservé par le laboratoire aux fins éventuelles de contre-expertise ;
- l'auteur présumé d'un rejet ou déversement litigieux est avisé de sa faculté de faire procéder à ses frais, dans un délai de cinq jours à compter de la date de prélèvement, à l'analyse du deuxième exemplaire conservé par ce laboratoire. Passé ce délai, le laboratoire peut procéder à son élimination ;
- à défaut d'identification d'un responsable présumé d'un rejet ou déversement litigieux au moment du prélèvement, l'agent contrôleur apprécie si une deuxième analyse est nécessaire à la manifestation de la vérité dans le délai de cinq jours après le prélèvement. Dans le cas contraire, le deuxième exemplaire est éliminé dans le délai fixé par l'autorité administrative ou judiciaire compétente ;
- la procédure de prélèvement est décrite avec précision dans le rapport de l'opération, auquel est annexé le résultat de ou des analyse(s) fourni par le laboratoire saisi.





2.2.2 Règles particulières d'un contrôle des eaux par prélèvement pour analyse

Conformément aux dispositions des articles R. 211-12 et suivants du Code de l'environnement, les opérations de contrôle dans le domaine de l'eau s'inspirent des principes précités, déclinés de manière spécifique dans le domaine de l'eau dans les termes suivants.

Le contrôle des caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques des eaux réceptrices et des déversements comporte, selon les cas, un examen des lieux, des mesures opérées sur place, des prélèvements d'échantillons et l'analyse de ces derniers (art. R. 211-12 et R. 212-13). En cas de prélèvement, et après réflexion sur son organisation stratégique et si possible contradictoire, l'opération doit être réalisée dans tous les cas le plus rapidement possible après la découverte des faits, et si possible immédiatement si l'agent contrôleur dispose du matériel nécessaire.

Le choix des lieux de prélèvement n'est pas neutre. Pour contrôler un déversement et évaluer l'impact de celui-ci sur la qualité des milieux aquatiques, les contrôles sont obligatoirement opérés à l'aval des dispositifs d'épuration s'ils existent, et en deux points sur le cours d'eau intéressé, choisis l'un en amont, l'autre en aval du lieu de déversement (art. R. 211-14).

Dans les autres cas de figure, ce choix des lieux de prélèvement doit être apprécié et explicité. Ainsi, le contrôle des eaux réceptrices souterraines doit être organisé en fonction des caractéristiques locales, par exemple à partir des puits existants, des émissaires superficiels ou des puits de contrôle éventuellement aménagés dans un souci de prévention des pollutions. De même, le contrôle d'eaux résiduelles destinées à l'épandage sur des terres agricoles mérite d'être organisé avant épandage (art. R. 211-14).

Ainsi qu'il a déjà été indiqué, le caractère si possible contradictoire de l'opération de prélèvement est assuré, lorsque le responsable présumé de l'installation qui est à l'origine du déversement est connu et présent sur les lieux. À défaut, il est invité à se faire représenter aux opérations de contrôle, sans que son refus ou son absence puisse faire obstacle à l'opération de contrôle (art. R. 211-15).

Tout prélèvement opéré aux fins d'analyse donne lieu à l'établissement d'échantillons en double exemplaire, sauf situation ou instruction particulière. Il n'y a notamment pas lieu de procéder au prélèvement et au conditionnement d'un troisième exemplaire à destination du greffe du tribunal de grande instance, sauf instruction particulière préalable du procureur de la République. Chacun des échantillons prélevés est placé dans un récipient mis sous scellés. Ces scellés retiennent une étiquette signée par l'agent contrôleur portant notamment les date, heure et lieu du prélèvement, l'identification complète de chaque échantillon (art. R. 211-16).

Tous les échantillons prélevés sont placés dans des conditions permettant d'en assurer la bonne conservation, avant envoi rapide au laboratoire d'analyse avec l'indication la plus précise possible des examens à effectuer. Le responsable présumé du déversement ou son représentant est avisé du laboratoire chargé de procéder aux analyses du premier exemplaire des échantillons de chaque prélèvement, qu'il pourra mobiliser à son initiative pour faire réaliser les mêmes analyses sur le second exemplaire. À défaut de responsable présumé, l'agent contrôleur peut prendre l'initiative ou non de faire réaliser les analyses sur le second exemplaire, le cas échéant par un autre laboratoire de son choix (art. R. 211-17).



L'objet de l'analyse des échantillons prélevés est déterminé *a minima* : toute demande d'analyse doit porter sur leurs caractéristiques physiques et chimiques, et peut être complétée si cela s'avère utile et nécessaire par leurs caractéristiques, biochimiques, bactériologiques et biologiques, voire tout paramètre spécifique en relation avec l'activité ou les travaux contrôlés. Les analyses sont effectuées suivant l'état de l'art, selon des méthodes normalisées lorsqu'elles existent ou, à défaut, suivant des méthodes de référence. Le résultat des analyses est transmis à l'agent contrôleur ou à son service d'affectation, avec notamment l'indication du bon état des scellés et étiquettes, la date de réception des échantillons et d'exécution des analyses (art. R. 211-18). L'agent contrôleur en transmet une copie à l'auteur présumé du déversement lorsqu'il est identifié (art. R. 211-19).

Le prélèvement pour analyse fait l'objet d'un procès-verbal ou rapport particulier, le cas échéant annexé ou intégré dans un procès-verbal ou rapport ayant un objet plus large. Ce document est rédigé par l'agent contrôleur, qui invite le responsable présumé du déversement ou son représentant à le signer, en y portant toutes observations qu'il juge utiles. La mention de son éventuel refus de signer est consignée (art. R. 211-15).

Les informations rapportées dans ce document de police (procès-verbal, rapport) sont au moins les suivantes :

- les nom, prénom et qualité de l'agent contrôleur ;
- la désignation du ou des auteurs présumés du déversement et nature de leur activité ;
- les date, heure, emplacement et circonstances de l'examen des lieux et des mesures faites sur place : constatations utiles relatives notamment à l'aspect, la couleur et l'odeur du déversement et des eaux réceptrices, l'état apparent de la faune et de la flore à proximité du point de déversement, le résultat des mesures faites sur place ;
- l'identification de chaque échantillon prélevé, accompagnée de l'indication concomitante de l'emplacement, de l'heure, des conditions et circonstances du prélèvement, mention des formalités contradictoires accomplies et du nom du ou des laboratoires choisis ;
- le résultat des analyses réalisées, avec notamment l'indication du bon état des scellés et étiquettes avant analyse, la date de réception des échantillons et d'exécution des analyses, ainsi que tout commentaire ou analyse utile à l'appréciation des résultats.

Le procès-verbal d'infraction, intégrant le cas échéant le procès-verbal de prélèvement et les résultats d'analyse, est transmis au procureur de la République territorialement compétent dans le délai de cinq jours à compter de sa clôture (art. L. 172-16). Copie en est adressée dans le même délai à l'autorité administrative compétente, le préfet de département ou son représentant (le service chargé de la police des eaux).

2.2.3 Recommandations particulières d'un contrôle des eaux par prélèvement pour analyse

Cette organisation réglementaire minimale d'une opération de contrôle des eaux par prélèvement pour analyse peut s'accompagner utilement d'un certain nombre de recommandations complémentaires.

Comme tout pouvoir d'investigation, ces prélèvements et analyses ne s'imposent pas dans toutes les hypothèses ; ils ne revêtent jamais un caractère obligatoire. Au contraire, ils ne doivent être engagés que lorsqu'ils s'avèrent



→ Exemple

[Cass. Crim., 19 octobre 2004, n° 04-82485]. Sur une condamnation pour pollution des eaux par rejet d'hydrocarbures, constatée sans prélèvement ni analyse, malgré le fait justificatif invoqué en défense tiré du respect des normes de rejet réglementaire déterminés par l'autorisation administrative délivrée au titre des installations classées pour la protection de l'environnement, non contrôlable en l'absence d'analyse mais estimable en fonction de constatations simplement visuelles.

indispensables soit à la caractérisation d'une situation illicite ou infractionnelle, soit à la détermination de sa gravité (ampleur, impact/perturbations sur les milieux aquatiques et/ou sur les usages) et doivent être appréciés au cas par cas au regard des faits de l'espèce →.

En cas d'incident affectant l'état des eaux et milieux naturels aquatiques, les opérations de prélèvement pour analyse doivent être engagées rapidement, après analyse de leur intérêt et portée pratiques. Des prélèvements de sédiments, de poissons, etc. peuvent être utiles, en complément des prélèvements d'eaux précités. Ces prélèvements doivent être exercés avec rigueur, selon le protocole défini dans le présent guide.

Il est fortement conseillé que les échantillons soient accompagnés de la fiche de renseignements intitulée *fiche contrôle « Rejets-Pollutions »*, décrite au chapitre 7 du présent guide. Cette fiche regroupe les informations nécessaires à destination du laboratoire d'analyse, ainsi que la majeure partie des informations utiles à la rédaction des documents de police (procès-verbal, rapport). Cette fiche couvre aussi bien les opérations de contrôle de rejets programmées ou inopinées que les interventions sur des pollutions accidentelles ou non, identifiées en flagrance ou suite à un signalement.

Ainsi, il est toujours souhaitable de repérer sur une carte associée les points de situation à partir desquels les prélèvements ont été opérés avec leur référence respective, ainsi que de prendre des clichés photographiques de l'état des eaux et milieux naturels aquatiques aux différents points de prélèvement, lorsque leur altération apparaît visible à l'œil nu.

Les aspects techniques complémentaires sont abordés dans les chapitres suivants du présent guide.

2.3 Différentes infractions susceptibles d'être constatées après un contrôle

Un contrôle de la qualité d'un rejet ou déversement des eaux dans le milieu naturel peut permettre de caractériser différentes situations illicites ou infractionnelles.

2.3.1 Pollutions des eaux

Un contrôle des rejets et déversements dans le milieu naturel peut se justifier pour caractériser une situation de pollution des eaux, c'est-à-dire une altération directe ou indirecte de la qualité des eaux ou de l'état des milieux naturels aquatiques par des substances quelconques dont l'action ou la réaction détériore de manière substantielle, même si cette situation est provisoire, le milieu naturel. Le terme de « substances » est d'interprétation large, et recouvre des matières, corps ou matériaux de toute nature sans aucune limite.

Il existe plusieurs infractions de pollutions des eaux (art. L. 216-6, L. 432-2 et L. 218-73), selon le milieu aquatique ou les usages de l'eau intéressés [cf. tableau page suivante]

L'élément matériel de chacune de ces infractions de pollution est constitué par un dommage à l'eau ou aux milieux naturels aquatiques, caractérisé le cas échéant par le prélèvement et l'analyse.

Infractions	Milieux aquatiques concernés	Usages de l'eau concernés
Art. L. 216-6 du Code de l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Les eaux souterraines. • Les eaux superficielles, y compris les eaux de la mer, à l'exception des eaux au-delà de la limite des eaux territoriales (12 milles). 	<ul style="list-style-type: none"> • La santé. • L'alimentation en eau. • L'usage des zones de baignade. • La flore ou la faune non aquatique (à l'exception des dommages visés aux articles L. 218-73 et L. 432-2).
Art. L. 432-2 du Code de l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Les eaux superficielles en amont de la limite de salure des eaux, à l'exception des plans d'eau classés en eaux closes et des piscicultures (et plans d'eau assimilés). 	<ul style="list-style-type: none"> • La destruction du poisson (de la faune aquatique d'eau douce par extension). • L'altération des conditions de la nutrition, de la reproduction ou de la valeur alimentaire du poisson (de la faune et de la flore aquatiques d'eau douce par extension).
Art. L. 218-73 du Code de l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Les eaux superficielles en aval de la limite de salure des eaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • La destruction des mammifères marins, poissons, crustacés, coquillages, mollusques ou végétaux (de la faune et de la flore aquatiques d'eau salée par extension). • L'altération des conditions de la conservation, de la reproduction ou de la valeur alimentaire des organismes vivants précités.

Les infractions de pollutions des eaux

Fait exceptionnel, le délit de pollution des eaux de l'article L. 216-6 comporte un fait justificatif prévu par la loi, qui est exonératoire de responsabilité pénale : le respect des conditions de rejet au milieu récepteur déterminé par l'autorité administrative (ex : autorisation ICPE ou récépissé de déclaration EAU). En cas de verbalisation de ce chef d'infraction (art. L. 216-6), l'agent contrôleur doit donc systématiquement apprécier le caractère régulier ou non du rejet à l'origine de la pollution au regard des normes techniques l'encadrant (en fonction des paramètres et substances dont le rejet est effectivement réglementé), pour identifier si le responsable présumé du déversement ou son représentant a ou non commis une faute au regard de la réglementation technique qui lui est applicable.

En cas de verbalisation pour les deux infractions de pollution à la faune et à la flore aquatiques, en eau douce (art. L. 432-2) ou en eau salée (art. L. 218-73), ce fait justificatif n'existe pas. Dans ce cas, la faute pénale de comportement résulte soit d'un rejet volontaire et intentionnel, soit d'un rejet irrégulier (comme précité), soit d'une faute, – caractérisée ou non – d'imprudance ou de négligence. Cette faute pénale justifie, – une fois l'élément matériel de la pollution (le dommage aux milieux naturels aquatiques) caractérisé le cas échéant par le prélèvement et l'analyse – des recherches particulières : antécédents sur ce site ou dans ce type de filière technique de production et/ou de dépollution, mauvaise gestion des obligations d'auto-surveillance ou des investissements de modernisation continue des installations, insuffisance ou absence de démarche de progrès dans la politique de prévention des incidents et/ou dans la formation continue des agents d'exploitation, etc.

2.3.2 Non-respect des conditions techniques de rejet des eaux

Certaines installations font peser un risque majeur de dangers ou d'inconvénients pour une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau. C'est la raison pour laquelle elles peuvent faire l'objet, après appréciation préventive de leurs impacts potentiels, d'une réglementation technique particulière, déterminée selon la nature des activités concernées.

Cette réglementation technique particulière peut notamment déterminer les conditions de rejet au milieu récepteur des effluents liquides résiduels, lesquels peuvent dès lors être contrôlés dans le cadre de prélèvements pour analyse.





Les rejets et déversements non conformes, ne respectant pas les prescriptions administratives qui leur sont applicables, caractérisent des infractions diverses, dont les références dépendent de la réglementation applicable :

- lorsque l'installation est réglementée dans le cadre de la police des installations classées pour la protection de l'environnement (au regard d'une des rubriques de cette nomenclature annexée à l'article R. 512-8 du Code de l'environnement), la contravention (de 5^e classe) est déterminée par le 3^o (en régime autorisation), le 3^obis (en régime enregistrement) ou le 4^o (en régime déclaration) de l'article R. 514-4 du Code de l'environnement ;
- lorsque l'installation est réglementée dans le cadre de la police de l'eau et des milieux aquatiques (au regard d'une des rubriques de cette nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du Code de l'environnement), la contravention (de 5^e classe) est déterminée par le 3^o (en régime autorisation) ou le 4^o (en régime déclaration) du §I de l'article R. 216-12 du Code de l'environnement ;
- lorsque l'installation est réglementée dans le cadre de la police de l'énergie hydraulique (au regard de la rubrique 5.2.2.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du Code de l'environnement), la contravention (de 5^e classe) est déterminée par le 3^o du §I de l'article R. 216-12 du Code de l'environnement pour les installations de production d'énergie hydraulique relevant du régime de l'autorisation (production brute maximale non supérieure à 4 500 kilowatts). Mais il y a délit pour les installations de production d'énergie hydraulique relevant du régime de la concession (production brute maximale supérieure à 4 500 kilowatts), qui est alors déterminé par le 2^o du §I de l'article L. 512-2 du Code de l'énergie.

Par ailleurs, à l'instar des installations précitées, certains travaux, ouvrages ou activités font peser un risque majeur de dangers ou d'inconvénients pour une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau. C'est la raison pour laquelle elles peuvent faire également l'objet, après appréciation préventive de leurs impacts potentiels, d'une réglementation technique particulière, déterminée dans le cadre de la police de l'eau et des milieux aquatiques (art. L. 214-1 à L. 214-6). Cette réglementation technique particulière peut notamment déterminer les conditions de rejets au milieu récepteur des effluents liquides résiduels, lesquels peuvent dès lors être contrôlés dans le cadre de prélèvements pour analyse. En cas de violation de cette réglementation, la contravention (de 5^e classe) est déterminée par le 3^o (en régime autorisation) ou le 4^o (en régime déclaration) du §I de l'article R. 216-12 du Code de l'environnement, à l'instar des contraventions concernant le non-respect de toutes les prescriptions générales ou particulières relevant de cette réglementation. En outre, est également réprimée par une contravention (de 5^e classe) déterminée par le 2^o du §I de l'article R. 216-12 du Code de l'environnement le non-respect des engagements clairs et précis en matière de rejet ou déversement, émanant du dossier présenté à l'instruction par le responsable de l'opération.

Ainsi, un contrôle de la qualité de rejet ou de déversement peut permettre de découvrir des installations, ouvrages, travaux ou activités relevant d'une obligation d'autorisation ou déclaration administrative au titre de la police de l'eau et des milieux aquatiques, et dépourvues de ce permis administratif (voir notamment concernant les rejets aux milieux naturels aquatiques les rubriques 2.2.3.0. et 4.1.3.0. de la nomenclature EAU annexée à l'article R. 214-1). Dans ce cas, cette situation irrégulière est réprimée par le délit de défaut d'autorisation (§I de l'art. L. 173-1 ; ex-art. L. 216-8) ou la contravention de 5^e classe de défaut de déclaration (art. R. 216-12 §1 [1^o]) en fonction de la qualité du rejet dont dépend ce régime administratif. Tous les acteurs ayant contribué à mettre en place ce rejet irrégulier sont susceptibles de voir leur responsabilité



engagée. Il en est de même en matière d'installations classées pour la protection de l'environnement, dont les situations irrégulières sont réprimées par le délit de défaut d'autorisation ou d'enregistrement (art. L. 173-1 §1 ; ex-art. L. 514-9) ou la contravention de 5^e classe de défaut de déclaration (art. R. 514-4 [1^o]).

Ces différentes situations irrégulières s'effacent au profit d'un nouveau délit particulier, lorsqu'il est constaté qu'elles sont à l'origine d'atteintes graves à la santé ou la sécurité des personnes ou de dégradation substantielle de la faune et de la flore ou de la qualité de l'air, du sol ou de l'eau (art. L. 173-3).

De même, lorsque le rejet ou déversement est opéré dans un bassin hydrographique ou hydrogéologique ayant fait l'objet d'un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) approuvé, le règlement de ce SAGE peut contenir des règles particulières d'utilisation de la ressource en eau applicables aux opérations entraînant des impacts cumulés significatifs en termes de rejets dans le sous-bassin ou le groupement de sous-bassins concernés (art. R. 212-47 [2^o]). Les dispositions de ce règlement, une fois approuvées par le préfet, sont applicables à l'ensemble des usagers intéressés de la ressource en eau. Le non-respect de ces règles est alors réprimé par la contravention (de 5^e classe) déterminée par l'article R. 212-48 du Code de l'environnement.

Enfin, lorsque ces rejets ou déversements irréguliers ont fait l'objet d'une mise en demeure ou de sanctions administratives au titre de la police de l'eau et des milieux aquatiques ou des installations classées pour la protection de l'environnement, le maintien de la situation irrégulière ou le non-respect de ces injonctions administratives est également répréhensible, sur la base d'un nouveau contrôle (respectivement art. L. 173-1 §II [5^o] ou [3^o] ; ex-art. L. 216-10, alinéas 2nd et 1^{er}).

2.3.3 Rejets ou déversements irréguliers des eaux en situation particulière

Au-delà de cette réglementation générale, des réglementations particulières concernant les rejets sont également susceptibles de qualifier d'autres situations infractionnelles en cas de contrôles.

Certains rejets peu impactants pour l'eau et les milieux naturels aquatiques peuvent exposer leur auteur à des sanctions contraventionnelles :

- en cas de déversement direct d'effluents agricoles dans les eaux superficielles, souterraines ou de la mer (art. R. 216-8 §III) : contravention (de 5^e classe) ;
- en cas de déversement non conforme à une obligation de stockage temporaire des eaux, résultant de mesures de limitation ou de suspension provisoire des usages de l'eau (art. R. 216-9) : contravention (de 5^e classe) ;
- en cas de déversement ou de rejet non conforme à une disposition du règlement sanitaire départemental (art. 7 du décret 2003-462 du 21 mai 2003) : contravention (de 3^e classe) ;
- en cas de déversement sur la voie publique (ou ses annexes, les fossés de bord de route) de substances susceptibles de présenter un risque pour la sécurité ou la salubrité publique (art. R. 116-2 [4^o] du Code de la voirie routière) : contravention (de 5^e classe).





Par ailleurs, les opérations d'épandage sont réglementées, et le non-respect de cette réglementation expose son auteur à diverses contraventions de différentes classes :

- en cas d'épandage irrégulier de boues ou résidus de traitement émanant de stations d'épuration (art. R. 216-7) : contravention (de 5^e classe) ;
- en cas d'épandage irrégulier d'effluents agricoles hors zone vulnérable (art. R. 216-8 §I et §II) : diverses contraventions (de 1^{re} ou 4^e classe) ;
- en cas d'épandage irrégulier d'effluents agricoles en zone vulnérable (art. R. 216-10) : contravention (de 5^e classe).

Enfin, les incidents ou accidents dans l'exploitation d'une installation, d'un ouvrage ou d'une activité réglementée, ou la réalisation d'un ouvrage ou de travaux, occasionnant des rejets ou déversements, doivent être spécialement déclarés à l'autorité administrative (le préfet de département) sans délai. Cette information responsable permet à l'autorité administrative d'apprécier rapidement les dangers et inconvénients découlant de cette situation pour les autres usagers de la ressource en eau, et d'arrêter le cas échéant toute mesure utile et nécessaire à la sauvegarde des intérêts publics en jeu. Toute carence en la matière est également réprimée par une contravention de 5^e classe en fonction de la police administrative applicable (art. R. 216-12 §I [9°] ou art. R. 514-4 [9°], respectivement en matières d'eaux et milieux aquatiques, ou d'installations classées pour la protection de l'environnement), indépendamment des impacts sur l'eau ou les milieux naturels aquatiques. L'absence d'information de l'autorité administrative, comme son information tardive plusieurs heures, voire plusieurs jours, après la découverte des rejets et déversements litigieux, est encore trop souvent constatée lors d'un constat de pollution des eaux, et doit donc faire l'objet d'une constatation systématique par les agents contrôleurs.



Le matériel nécessaire sur le terrain

Les interventions devant être immédiates en cas de pollution, il est nécessaire de disposer en permanence d'un minimum de matériel. Il conviendra de vérifier régulièrement l'état de conservation des réactifs et les appareils. La liste de ce matériel est décrite ci-dessous.

3.1 Matériel de prélèvement et équipement de terrain

Prélèvements d'eaux

- Tige à prélèvement d'eau, télescopique, par exemple en fibre de verre et de longueur 3 à 4 m, avec flacon cerclé ;
- bouteille à prélèvement ;
- seau et corde ;
- flacons en polyéthylène de 1 litre ;
- flacons en verre de 1 litre, voire 2 ou 2,5 litres dans certains cas (en lien avec le laboratoire d'analyses) ;
- petits flacons de 100 ml de préférence (polyéthylène pour la recherche de cyanures, polyéthylène ou verre pour la recherche de chlore) ;
- flacons spéciaux en verre équipés de bouchons pénicilline pour analyse de solvants organo-halogénés volatils avec pince à sertir convenant pour les flacons. Consulter le laboratoire d'analyses pour les dimensions des flacons ;
- matériel pour sceller les échantillons.



L. Richard

Prélèvements de sédiments

- Drague à main, à fond plat [ill. au chap. 5], pour des profondeurs inférieures à 1 mètre ; pour des profondeurs supérieures à 1 mètre, il conviendra d'utiliser la benne à sédiments [ill. au chap. 5] ;
- benne à sédiments pour toute profondeur ;
- bocaux en verre de 1 litre pour la recherche des pesticides appelés substances phytosanitaires et autres composés organiques traces : hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) tels que l'antracène, le pyrène, le phénanthrène, etc. ; polychlorobiphényles (PCB) avec comme dénominations pyralène, arochlor, etc. ;
- flacons en polyéthylène de 1 litre à large ouverture (pour l'analyse physico-chimique du sédiment ou la recherche des métaux) ;
- feuille d'aluminium en rouleau ;
- matériel pour sceller les échantillons.



Remarque

Lors des prélèvements se référer au chapitre 6 « Conditionnement et conservation des échantillons ».

Prélèvements de bryophytes

- Ciseaux ;
- sac à papier Cellophane ;
- matériel pour sceller les échantillons.

Prélèvements de poissons

- Épuisette ;
- matériel à disséquer ;
- sacs en polyéthylène zippables ;
- feuille d'aluminium en rouleau.

Équipement de terrain

- Bottes, cuissardes, *waders*, gants à usage unique (vinyle, nitrile), gilet de sauvetage ;
- savon bactéricide ;
- eau déminéralisée ;
- glacière fonctionnelle ;
- lampe de poche ;
- appareil photo ;
- marqueurs indélébiles.

3.2 Matériel nécessaire aux tests de terrain

Température

- Thermomètre ou appareil électrométrique au 1/10 °C.

pH

- Bandelettes en matière plastique sur l'ensemble de la gamme de pH ¹ ;
- ou comparateur de pH avec tubes ou disques ;
- ou pHmètre avec solutions étalons à pH 4,0 - 7,0 et 9,0 ou 10,0 (se référer à la notice du constructeur).

Remarques :

- les indicateurs de pH ¹ sont utilisés pour des mesures rapides ne nécessitant pas une grande précision ;
- par rapport aux bandelettes papier, les bandelettes en matière plastique ont l'avantage de ne pas déteindre.

Conductivité

- Conductimètre (se référer à la notice du constructeur) ² ;
- solutions étalons de conductivité, dans la gamme de 200 à 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25 °C ;
- thermomètre au 1/10 °C ;
- béchers.

→ Se reporter au chapitre 4 pour la description des différents modes opératoires utilisant ces matériels.

1 - Parmi ceux-ci conviennent en particulier les bandelettes en matière plastique Merck pH 0-14 et Carlo-Erba pH 1-11.
2 - Peut convenir le matériel Hanna.

Oxygène dissous

- Coffret tel que Aquamerck 1.11 107 ;
- ou oxymètre (se référer à la notice du constructeur) 3.

→ Se reporter au chapitre 4 pour la description des différents modes opératoires utilisant ces matériels.

Recherche de sels ammoniacaux

- Tube à essai et compte-gouttes ;
- réactif de Nessler.

Recherche de nitrites

- Coffret tel que Aquamerck 1.08025 (0 - 0,5 mg/l en NO₂-).

Recherche du chlore

- Tube à essai et compte-gouttes ;
- réactifs à la DPD « N,N diéthylphénylène-1,4- diamine » (coffret tel que Aquamerck 1.11174 : 0 - 1,5 mg/l en chlore).

Dans le cas du test positif (présence de chlore), prélever, outre l'échantillon classique de 1 litre, un échantillon de 100 ml dans lequel il sera introduit 2 ml d'une solution d'iodure de potassium à 500 g/l ou 1 g d'iodure de potassium en poudre (environ une spatule). Cet échantillon servira au dosage exclusif du chlore en laboratoire.

Recherche des cyanures

- Tube à essai ;
- coffret tel que Aquaquant 1.14 429 (0,03 à 0,7 mg/l).

Dans le cas de test positif (présence de cyanures), prélever, outre l'échantillon classique de 1 litre, un échantillon de 100 ml dans lequel il sera introduit 2 pastilles de soude afin de stabiliser le toxique. Après agitation, vérifier que le pH est alcalin (pH > 11). Cet échantillon servira au dosage exclusif des cyanures en laboratoire.

Recherche des sulfates

- Tube à essai et compte-gouttes ;
- réactif : solution de chlorure de baryum par exemple à 10 %.

Recherche des chlorures

- Tube à essai et compte-gouttes ;
- réactif : solution de nitrate d'argent par exemple N/10.

Remarque sur les tests

Dans le cas de mesures instrumentales, du matériel multiparamètres peut aussi être utilisé.

La date d'utilisation des réactifs ne doit pas dépasser la date de péremption.



Les premières investigations de terrain

Lors de l'intervention sur le terrain, il est important de décrire l'environnement du lieu de pollution, de noter les constats olfactifs et visuels qui permettent d'orienter les recherches : mort ou comportement anormaux des poissons (agitation, respiration en surface), odeur et couleur du milieu aqueux, présence ou absence de flottants à la surface, de boues organiques, de voile blanchâtre sur les supports immergés ou au fond de l'eau, de dépôt floconneux (couleur), aspect des abords et du lit mineur. Il est à noter qu'une mort de poissons associée à une teneur suffisante de l'oxygène dissous est le signe d'une pollution du milieu aquatique par des toxiques.

Il est recommandé d'accompagner ces observations par la mise en œuvre de tests rapides de terrain.

Les tests de terrain retenus (en plus de la température) sont au nombre de 9 :

Mesures	pH	conductivité	oxygène dissous
Recherches	azote ammoniacal cyanures	nitrites sulfates	chlore chlorures

Ces tests [voir tableau page suivante] ont été choisis pour :

- tenir compte de la nécessité de contrôler et de stabiliser certains toxiques susceptibles de disparaître au cours du transport ;
- faciliter l'identification des pollutions ;
- aider à la localisation du flot polluant ;
- obtenir des indications rapides et précieuses sur l'état du milieu récepteur (teneur en oxygène dissous, altération physico-chimique).

Ils sont d'une grande facilité de mise en œuvre.

Remarques :

- Une pollution pouvant être mixte, il est souhaitable de procéder dans tous les cas au test du pH et de la conductivité.
- Il est inutile de procéder à la mesure de l'oxygène dissous dans les effluents sans mélange avec le milieu récepteur.

	Pollution mécanique (extraction, vidange)	Pollution organique (collectivités, élevages, IAA ^a)	Pollution par substances toxiques ^b	Pollutions spécifiques						Pollution inconnue
				Lessivage de terrils	Traitement de substances carbonées à haute température	Application de béton	Traitement d'eau potable et d'eau de piscine	Détartrage et désinfection	Fabrication de circuits imprimés	
pH		(X)	X	X		X		X	X	X
Conductivité		X	X	X		X		X	X	X
Oxygène dissous	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Azote ammoniacal	(X)	X	X						X	X
Chlore			X		X		X	X		X
Cyanures			X	X	X					X
Nitrites	(X)	X	X							X
Sulfates			X	X				X		X
Chlorures		(X)	X	X				X	X	X

Recommandations

- Pour la réalisation des tests colorimétriques le port de gants de protection est recommandé ainsi que le lavage des mains, par mesure d'hygiène ;
- Les appréciations obtenues par les tests sur l'azote ammoniacal, chlore, cyanures, nitrites, sulfates, chlorures sont qualitatives : néant, traces, présence, forte présence, abondants, etc. ;
- Pour leur bonne conservation, les réactifs affectés à la recherche du chlore, des nitrites et cyanures doivent être conservés à température inférieure à 30 °C.

X : Test à réaliser sur le terrain

(X) : Test souhaitable

*a - industries agro-alimentaires
b - chimie, traitement de surface, industrie mécanique, etc.*





4.1 pH

Définition et signification

Le pH est la grandeur utilisée pour caractériser le degré d'acidité ou de basicité d'un milieu.

Apport d'un acide...

(acides chlorhydrique, sulfurique, nitrique, etc. ;
acides organiques liés à la dégradation de la matière organique)

le pH diminue



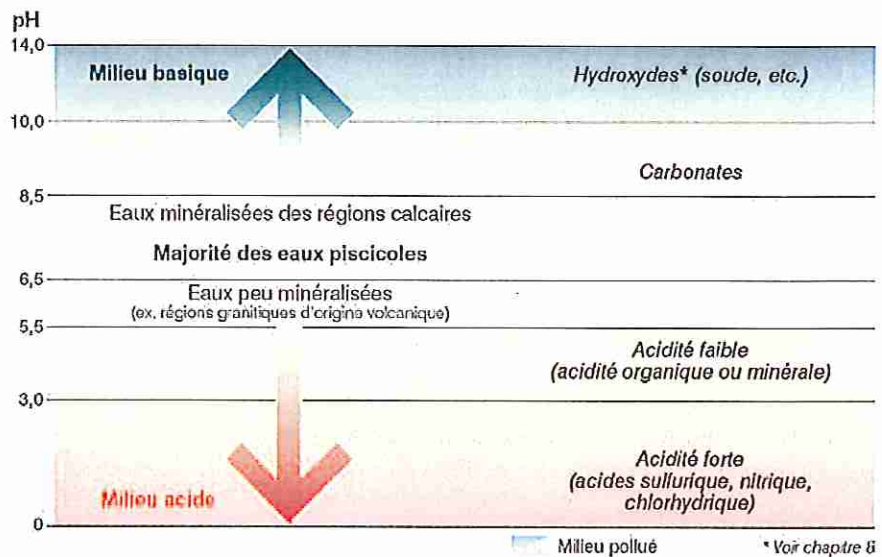
Apport d'une base...

(carbonates, potasse, ammoniacale, soude, etc.)

le pH augmente

La mesure du pH renseigne sur la qualité de l'eau : dans les eaux naturelles non soumises aux rejets, le pH dépend de l'origine de ces eaux et de la nature géologique du terrain. On rencontre des pH faibles (6,5 et même 5,5) dans les régions granitiques, des pH élevés (supérieurs à 8,5) dans les eaux closes, les retenues ou dans les bras morts, consécutifs à la formation temporaire des carbonates alcalins sous l'action d'une photosynthèse très active.

La mesure du pH peut permettre de localiser une source de pollution.



Mode opératoire

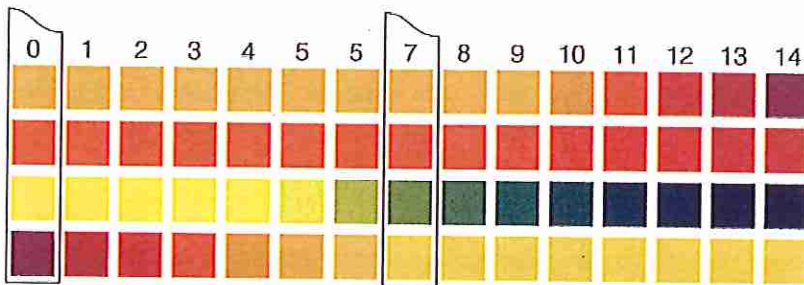
Matériel

- Des bandelettes plastiques. Conviennent en particulier les bandelettes Merck (pH de 0 à 14 par unité pH) et les bandelettes Carlo Erba (pH de 1 à 11 par unité pH) ;
- un pH-mètre avec solutions de référence pH = 4,0 - 7,0 - 9,0 ou 10,0 (longue conservation en flacon brun).

Mode opératoire

→ Estimation directe du pH par comparaison avec une échelle colorée

Exemple de la bandelette en plastique Merck. Elle ne déteint pas et on peut l'utiliser pour des eaux colorées :



Attention : pour des couleurs exactes, se reporter aux nuanciers originaux

→ Méthode électrométrique au moyen du pH-mètre¹

Le mode opératoire est précisé dans la notice du fabricant.

Cette méthode utilisée pour des mesures précises nécessite

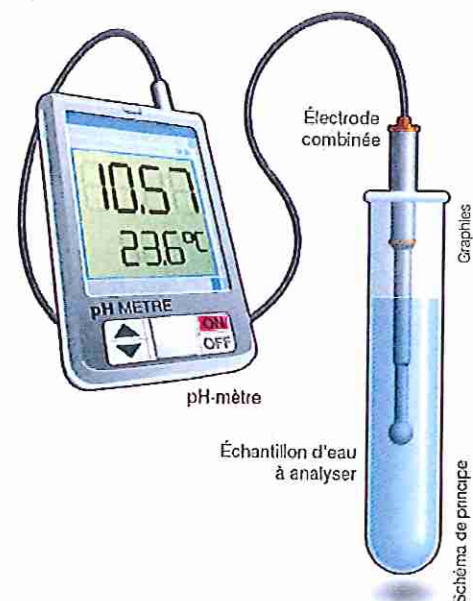
• avant utilisation :

- l'étalonnage de l'appareil avec des solutions du commerce à pH 4,0, 7,0, 9,0 ou 10,0 ou des solutions fournies par le fabricant ;
- le rinçage des électrodes (électrode combinée) et du béccher à l'eau déminéralisée, puis avec la solution à analyser ;

• après utilisation :

- le rinçage à l'eau déminéralisée ;
- la conservation de l'électrode combinée dans une solution tampon pH 7,0.

Les mesures sont exprimées en utilisant le dixième d'unité pH pour dernier chiffre significatif. Par exemple : 8,3 et non 8,32.



¹ - Le principe de la mesure du pH repose sur l'existence entre deux électrodes (conducteur de constitution complexe) d'une tension électrique convertie en unité de pH. Le pH-mètre est en réalité un millivoltmètre.



4.2 Conductivité

Définition et signification

La conductivité d'une eau indique son aptitude à conduire le courant électrique. Cette aptitude dépend de la teneur de l'eau en sels dissous.

Par définition, la conductivité d'une eau est l'inverse de sa résistivité électrique.

$$\text{Conductivité } (\mu\text{mho/cm ou } \mu\text{siemens/cm}) = \frac{1}{\text{Résistivité } (\mu\text{ohm.cm})}$$

La résistivité électrique est la résistance d'une colonne d'eau haute de 1 cm et de section de 1 cm²

$$\text{Résistivité} = \text{résistance} \times \frac{\text{section}}{\text{hauteur}}$$

La conductivité ↗ si les sels dissous ↗

La conductivité permet une bonne appréciation des matières dissoutes.

La conductivité peut faciliter la localisation d'une source de pollution.

Échelle de conductivité
Qualité physicochimique
des eaux en fonction
de la nature géologique
des terrains

1 200
μS/cm

Eaux fortement minéralisées :

- terrain gypseux
ex. : Var, bassin Rhin-Meuse
- terrain à proximité de la mer (chlorures)
ex. : Artois-Picardie (Wateringues)

700

Eaux minéralisées :

- terrain calcaire
ex. : Beauce, Brie
- terrain marneux
ex. : Causses, Champagne pouilleuse

300

Eaux peu minéralisées :

- terrain granitique
ex. : Bretagne
- terrain schisteux d'origine volcanique
ex. : Massif central

50

Mode opératoire

Matériel

- Un thermomètre ;
- un conductimètre équipé d'une électrode de platine. Peut convenir le conductimètre Hanna ;
- des solutions étalons² de conductivité ou des solutions fournies par le fabricant (bonne conservation à l'abri de la lumière).

Mode opératoire

Le mode à suivre est habituellement indiqué sur la notice des constructeurs.

La mesure est directe : plonger l'électrode dans un récipient contenant l'eau à examiner en prenant un certain nombre de précautions :

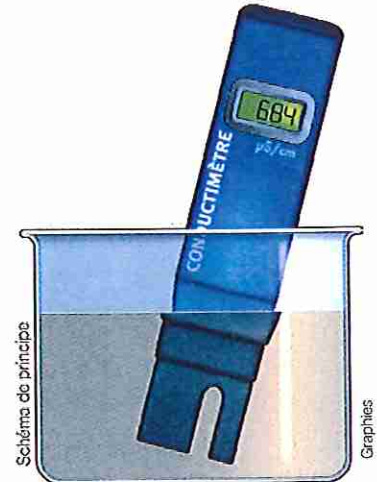
- rinçage préalable de l'électrode avec l'eau à analyser ;
- agitation avant d'effectuer la mesure pour assurer l'homogénéité du milieu et éviter la présence de bulles d'air sur les électrodes ;
- mesure de la température.

Il est indispensable d'étalonner l'appareil. Pour cela, on utilise une série de solutions de chlorure de potassium (KCl) dont on connaît la conductivité à 25 °C en fonction de la concentration.

Solution étalon de KCl	Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}^*$ à 25 °C
N/100	1 410
N/250	575
N/500	290

Si l'appareil est muni d'une sonde de correction de température, le résultat est exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 °C. Cependant, il est préférable de ne pas utiliser la sonde de correction pour des températures inférieures à 15 °C ou supérieures à 30 °C. Dans ce cas, un facteur de correction de température est appliqué [tableau ci-dessous].

Temp. en °C	$f_{25\text{ °C}}$ (par dixièmes de degré Celsius)									
	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
5	1,643	1,638	1,634	1,629	1,624	1,619	1,615	1,610	1,605	1,601
6	1,596	1,591	1,587	1,582	1,578	1,573	1,569	1,564	1,560	1,555
7	1,551	1,547	1,542	1,538	1,534	1,529	1,525	1,521	1,516	1,512
8	1,508	1,504	1,500	1,496	1,491	1,487	1,483	1,479	1,475	1,471
9	1,467	1,463	1,459	1,455	1,451	1,447	1,443	1,439	1,436	1,432
10	1,428	1,424	1,420	1,416	1,413	1,409	1,405	1,401	1,398	1,394
11	1,390	1,387	1,383	1,379	1,376	1,372	1,369	1,365	1,362	1,358
12	1,354	1,351	1,347	1,344	1,341	1,337	1,334	1,330	1,327	1,323
13	1,320	1,317	1,313	1,310	1,307	1,303	1,300	1,297	1,294	1,290
14	1,287	1,284	1,281	1,278	1,274	1,271	1,268	1,265	1,262	1,259
15	1,256	1,253	1,249	1,246	1,243	1,240	1,237	1,234	1,231	1,228
16	1,225	1,222	1,219	1,216	1,214	1,211	1,208	1,205	1,202	1,199
17	1,196	1,193	1,191	1,188	1,185	1,182	1,179	1,177	1,174	1,171
18	1,168	1,166	1,163	1,160	1,157	1,155	1,152	1,149	1,147	1,144
19	1,141	1,139	1,136	1,134	1,131	1,128	1,126	1,123	1,121	1,118
20	1,116	1,113	1,111	1,108	1,105	1,103	1,101	1,098	1,096	1,093
21	1,091	1,088	1,086	1,083	1,081	1,079	1,076	1,074	1,071	1,069
22	1,067	1,064	1,062	1,060	1,057	1,055	1,053	1,051	1,048	1,046
23	1,044	1,041	1,039	1,037	1,035	1,032	1,030	1,028	1,026	1,024
24	1,021	1,019	1,017	1,015	1,013	1,011	1,008	1,006	1,004	1,002
25	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,987	0,985	0,983	0,981



* symbole μ = micro : marque la division d'une unité par un million = 10^{-6} .
 $\mu\text{S}/\text{cm}$: microsiemens par cm.

Facteur f de correction de la température

Exemple

Conductivité C mesurée = $580 \mu\text{S}/\text{cm}$ x
 Température mesurée = 8,7 °C
 f (facteur de correction donné dans le tableau ci-contre) = 1,479
 Conductivité à 25 °C = $580 \times 1,479$
 = $858 \mu\text{S}/\text{cm}$

Remarques concernant

le conductimètre Hanna (conductimètre de mallette de terrain) :

- pour son bon fonctionnement, il est conseillé d'enlever les piles après utilisation ;
- pour obtenir la valeur de conductivité ne pas oublier de multiplier par 10 ;
- pour le réglage du conductimètre, utiliser la vis au dos de l'appareil.

2 - Solutions de KCl pouvant être fournies par le laboratoire d'analyses.



4.3 Oxygène dissous

Définition et signification

La présence d'oxygène dissous dans les eaux est primordiale pour la vie aquatique. Elle favorise le processus d'auto-épuration³ des rivières avec le concours de micro-organismes (bactéries notamment).

L'eau dissout une certaine quantité d'oxygène de l'air.

La solubilité de l'oxygène ↓ si la température ↑

La solubilité de l'oxygène ↓ si la pression ↓

La solubilité de l'oxygène ↓ si la concentration en sels dissous ↑

Solubilité de l'oxygène dans l'eau en équilibre avec l'air à 101,325 kPa

Température	Cs
°C	mgO ₂ /l
0	14,62
1	14,22
2	13,83
3	13,46
4	13,11
5	12,77
6	12,45
7	12,14
8	11,84
9	11,56
10	11,29
11	11,03
12	10,78
13	10,54
14	10,31
15	10,08
16	9,87
17	9,66
18	9,47
19	9,28
20	9,09
21	8,91
22	8,74
23	8,58
24	8,42
25	8,26
26	8,11
27	7,97
28	7,83
29	7,69
30	7,56

Norme Afnor NF EN 25814

La solubilité maximum de l'oxygène dissous (Cs) dans l'eau en fonction de la température est donnée dans l'abaque ci-contre.

Mais d'autres facteurs influent sur la teneur en oxygène dissous : la turbulence du courant, la respiration de la biomasse (ensemble de la faune et de la flore aquatiques).

En présence de beaucoup d'algues par exemple, on peut observer une sur-saturation en oxygène dissous en cours de journée alors que durant la nuit l'oxygène dissous peut se situer nettement au-dessous de la solubilité maximum. Cela tient au fait que, par photosynthèse, les végétaux en produisent le jour dès que l'éclairement est suffisant.

L'oxygène dissous est un paramètre d'une extrême importance pour apprécier l'impact d'une pollution organique. En effet, les bactéries dites aérobies (c'est-à-dire en présence d'air) consomment l'oxygène de l'eau pour dégrader la matière organique.

Pollution organique ⇒ teneur en oxygène dissous ↓ ⇒ milieu réducteur

Une valeur normale d'oxygène dissous n'exclut pas la présence de toxiques.

Valeur limite :

- teneur minimale en oxygène dissous : 6 mg/l (eaux salmonicoles)
- teneur minimale en oxygène dissous : 4 mg/l (eaux cyprinicoles)

Source : article D. 211-10 du Code l'environnement, modifié par décret n° 2008-990 du 18 septembre 2008) concernant la qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons.

3 - Processus biologique ou physico-chimique par lequel un milieu transforme lui-même les déchets organiques.

Mode opératoire

Méthode Winkler

Fixation et dosage de l'oxygène dissous sur le terrain

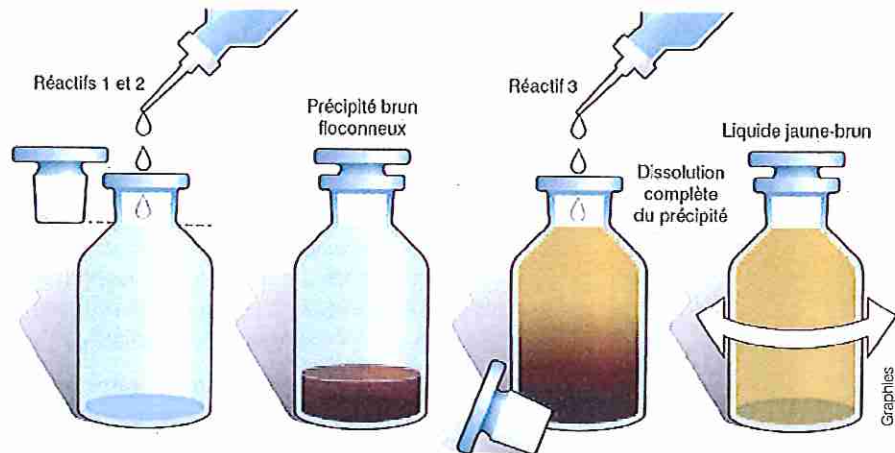
Matériel et réactifs

Peut convenir en particulier le coffret Aquamerck 11107. Ce coffret dispose des réactifs et matériel suivants : solution de chlorure manganéux (réactif 1), lessive de soude iodurée⁴ (réactif 2), acide sulfurique concentré⁴ (réactif 3), solution colorante de type thiodène (réactif 4), solution de titrage (réactif 5), dispositif de titrage.

Mode opératoire

Le mode opératoire est précisé dans la notice du fabricant.

- Remplir le flacon avec l'eau à analyser jusqu'à débordement. Éviter de faire des bulles d'air.
- Enfoncer le bouchon ; vérifier l'absence de toute bulle d'air.
- Introduire les réactifs 1 et 2 ; re-fermer le flacon (sans bulle d'air).
- Agiter (formation d'un précipité floconneux brun), laisser reposer quelques minutes de telle façon que le précipité n'occupe pas plus du tiers du flacon. Il est à noter que le temps prescrit pour la décantation (1 min) est très insuffisant.
- Ouvrir le flacon pour introduire le réactif 3.
- Agiter : le précipité se dissout, on obtient un liquide jaune (le précipité doit être entièrement dissous ; dans le cas contraire, rajouter quelques gouttes du réactif 3).



NB : vérifier la date de péremption des réactifs.

Il y a libération d'iode en quantité proportionnelle à l'oxygène dissous dans l'eau (coloration jaune orangé d'autant plus intense que la teneur en oxygène dissous est élevée). La présence d'une coloration blanchâtre indique une absence d'oxygène dissous.

Méthode électrochimique

Le mode à suivre est indiqué sur la notice des constructeurs. On peut utiliser un oxythermomètre dont il convient, préalablement à la mesure, de vérifier le bon fonctionnement.

Remarques

- Dans le cas des mesurages effectués dans l'eau courante, par exemple dans une veine d'eau, il est nécessaire de s'assurer que la vitesse du courant est suffisante (de l'ordre de 0,2 m/s). Si ce n'est pas le cas, agiter la sonde dans la veine d'eau.
- Lorsque l'appareil n'est pas en service, l'électrode est maintenue dans un manchon dont l'atmosphère est saturée d'humidité (éponge humide au fond du manchon).

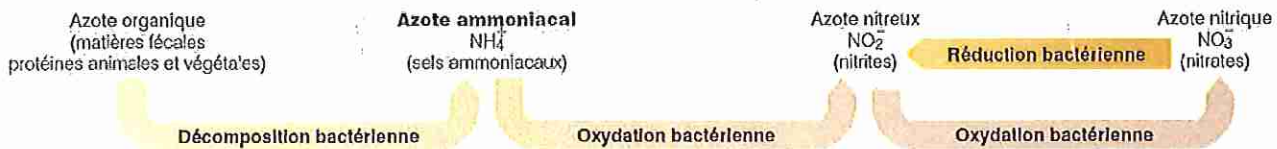
⁴ - Produits dangereux : en cas de brûlure, laver à grande eau. À mettre hors de portée des enfants.



4.4 Azote ammoniacal (ammonium total)

Définition et signification

L'azote ammoniacal (sels ammoniacaux) constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote.



L'azote ammoniacal dans l'eau se trouve sous deux formes en équilibre :



- une forme non ionisée (NH₃), toxique pour le poisson,
- une forme ionisée (NH₄⁺), non toxique pour le poisson.

En effet, NH₄⁺ ne peut diffuser à travers les branchies des poissons alors que NH₃ diffuse librement.

% NH₃ ↗ si pH ↗ ou si température ↗

L'abaque ci-dessous donne le pourcentage de NH₃ (forme non ionisée) par rapport à l'ammonium total en fonction du pH et de la température.

pH	Température °C				
	5	10	15	20	25
6,5	0,04	0,06	0,09	0,13	0,18
7,0	0,12	0,19	0,27	0,40	0,55
7,5	0,39	0,59	0,85	1,25	1,75
8,0	1,20	1,85	2,65	3,85	5,25
8,5	3,75	5,55	8,00	11,2	15,0
9,0	11,0	15,7	21,4	28,5	35,8

D'après Trussel [1].

Exemple

Teneur en ammonium total dans l'eau à pH 9,0 et température 10 °C = 5 mg/l.

Le pourcentage d'ammoniac (NH₃) est de 15,7 % selon l'abaque ci-contre.

La concentration d'ammoniac (NH₃) dans l'eau est donc de :

$$5 \times \frac{15,7}{100} = 0,79 \text{ mg/l en NH}_3.$$

L'azote ammoniacal existe dans les eaux riches en matières organiques en décomposition lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation, c'est-à-dire en principe à l'aval immédiat des foyers de pollution. Sa provenance peut être aussi d'origine industrielle (unité de fabrication ammoniacale, usines d'engrais, textiles, teintureries, etc.).

Toxicité : d'après les travaux de *Thurston R.V., Russo C.R.* [2] il y a mortalité de 50 % d'une population de truites en 96 heures pour une concentration de (0,16 - 0,65) mg/l d'ammoniac (NH₃).

Mode opératoire

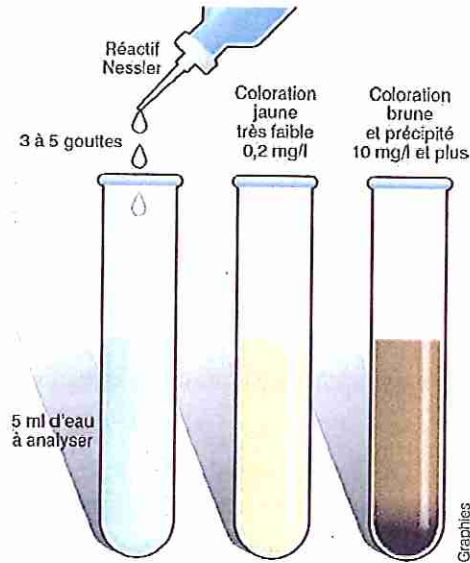
Matériel et réactif

- Des tubes à essai ;
- un compte-gouttes ;
- le réactif de Nessler ⁵.

Mode opératoire

Dans un tube à essai :
5 ml d'eau à analyser
+ 3 gouttes de réactif de Nessler

- absence de coloration
→ < 0,2 mg/l (néant à traces) ;
- coloration jaune faible
→ 0,2 à 1 mg/l (présence) ;
- coloration jaune orangé
→ 1 à 10 mg/l (abondant) ;
- coloration brune avec un précipité
→ > 10 mg/l (très abondant).



5- Le réactif de Nessler se conserve très longtemps en flacon brun et température ambiante. La formation d'un précipité ne nuit pas à l'efficacité du réactif.

Précautions d'emploi : produit toxique car contient de la soude ; en cas de brûlures, laver à grande eau. Réactif à mettre hors de portée des enfants.



4.5 Nitrites

Définition et signification

Il s'agit de la forme oxygénée de l'azote, peu stable, qui s'insère dans le cycle de l'azote entre l'azote ammoniacal (NH_4^+) et l'azote nitrique (NO_3^-).



La présence des nitrites est due soit à l'oxydation bactérienne des sels ammoniacaux (voie *aérobie*), soit à la réduction des nitrates (voie *anaérobie*) ; ainsi on peut trouver dans le milieu, des nitrites issus de la présence de nitrates par défaut d'oxygène dissous.

Les nitrites, tout comme les sels ammoniacaux, sont des indicateurs typiques de pollution des eaux.

La présence de nitrites d'origine naturelle est rare du fait même que l'azote ammoniacal est à l'état de traces et de la cinétique de transformation des nitrites en nitrates plus rapide que celle de l'azote ammoniacal en nitrites. Leur provenance peut être soit d'origine organique (dégradation de la matière organique), soit d'origine industrielle, soit d'origine mixte (réduction des nitrates d'origine agricole ou industrielle par défaut d'oxygène dissous).

Une eau renfermant des nitrites peut être considérée comme suspecte voire toxique pour les poissons, même à de faibles concentrations.

Toxicité : d'après les travaux de *Colt J. Armstrong D.A.* [3], il y a mortalité de 50 % d'une population de truites en 96 heures pour une concentration de (0,66 - 1,3) mg/l de nitrites (NO_2^-). D'après les travaux de *Marie D.* [4], il y a mortalité de 50 % d'une population de truites arc-en-ciel en 48 heures pour une concentration de 0,66 mg/l de nitrites.

Mode opératoire

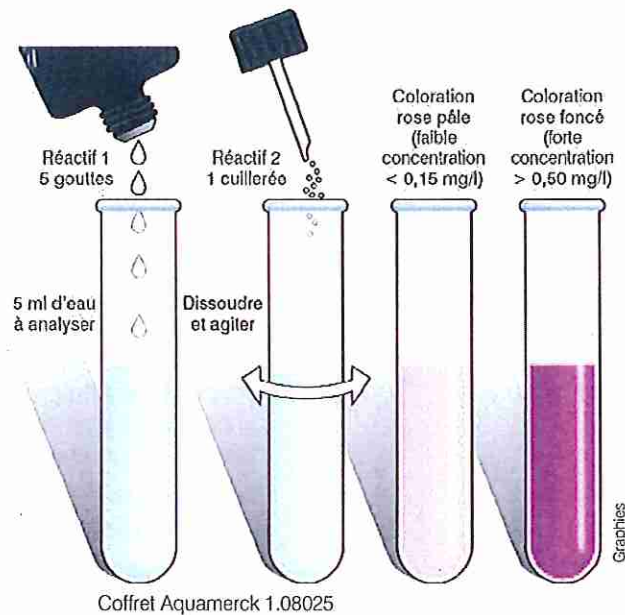
Matériel et réactif

• Réactif de diazotation. Ce réactif est commercialisé sous forme de kit. Peut convenir en particulier le coffret Aquamerck 1.08025 dont la conservation des produits (15 - 25 °C) est de l'ordre de deux ans.

Mode opératoire

Dans le récipient à essai : 5 ml d'eau à analyser.
Ajouter les réactifs ⁶ selon la notice du fabricant.

- absence de coloration
→ < 0,03 mg/l de nitrites (NO_2^-) (néant)
- coloration rose pâle à rose
→ 0,03 à 0,15 mg/l de nitrites (traces à présence)
- coloration rose foncé à rouge violet
→ > 0,50 mg/l de nitrites (abondant).





4.6 Chlore

Définition et signification

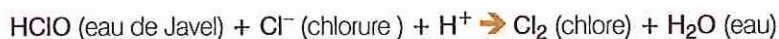
Les eaux naturelles sont exemptes de chlore, produit bactéricide.

Le chlore provient principalement de la désinfection de l'eau de station de traitement d'eau potable et de piscine. Il peut être utilisé aussi pour désinfecter les canalisations après détartrage.

Il peut aussi être présent dans les rejets de traitement de surface car il est souvent utilisé dans la neutralisation d'effluent cyanuré (transformation de cyanures $[\text{CN}^-]$ en cyanates $[\text{CNO}^-]$) ; il peut enfin avoir pour origine le nettoyage des circuits de refroidissement.

Le chlore dans l'eau peut être présent sous forme de chlore libre (chlore dissous, acide hypochloreux, ion hypochlorite) ou sous forme combinée (chloramines). Le chlore total comprend le chlore présent sous forme de chlore libre et de chlore combiné.

On retiendra que l'ajout d'eau de javel en solution acide en présence de chlorure (cas par exemple d'un détartrage de canalisation à l'acide chlorhydrique suivi d'une désinfection) provoque, parallèlement à l'oxydation lente de l'eau, une oxydation rapide du chlorure (Cl^-) en chlore (Cl_2) ce qui provoque la réaction rapide globale :



avec double formation de chlore libre par réduction de l'eau de Javel et oxydation des chlorures.

Toxicité : il convient de rappeler que le chlore est très toxique pour le poisson. En effet, d'après les travaux de *Heath A.G.* [5], il y a mortalité de 50 % d'une population de truites en 24 heures pour une concentration de chlore de 0,28 mg/l.

Stabilisation : le chlore étant volatil, il est nécessaire de le stabiliser par de l'iodure de potassium.

Mode opératoire

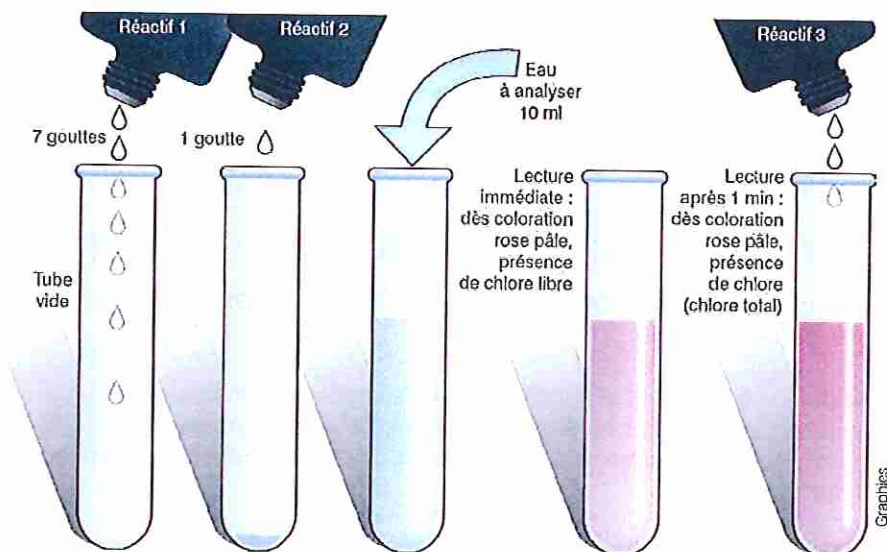
Matériel et réactif

- Des tubes à essai ;
- un compte-gouttes ;
- un flacon en verre brun de 100 ml ;
- une solution d'iodure de potassium à 500 g/l ;
- des réactifs à la DPD (N,N-diéthylphénylène-1,4-diamine) 7.

Mode opératoire

On peut détecter la présence de chlore par l'odeur (eau de javel) entre 0,5 mg/l et 1 mg/l.

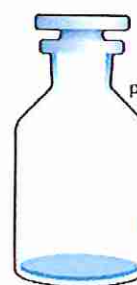
Pour le **test à la DPD**, peut convenir en particulier le coffret Aquamerck 1.11174.0001 dont la conservation des produits (15 à 25 °C) est de l'ordre de deux ans. Se référer à la notice d'emploi jointe au coffret.



Coffret AQUAMERCK 1.111740001
NB : vérifier la date de péremption des réactifs.

Remarques

- Une présence importante de nitrites dans l'eau provoque une interférence positive.
- Dans le cas d'une mortalité massive de poissons, procéder à une recherche systématique du chlore.
- En cas de présence de chlore, le stabiliser par de l'iodure de potassium lors du prélèvement.



Flacon de 100 ml
pour dosage exclusif
du chlore
(2 ml d'iodure
de potassium)



4.7 Cyanures

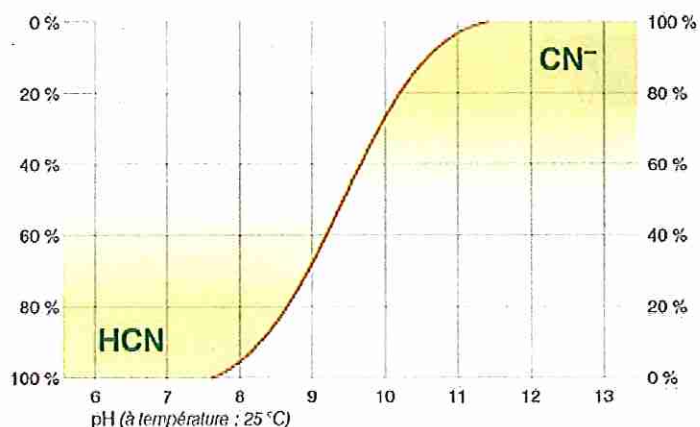
Définition et signification

Les cyanures n'existent pas à l'état naturel dans les milieux aquatiques. Ils proviennent généralement des eaux résiduaires industrielles :

- galvanoplastie, traitement de surface ;
- eaux de lavage de hauts fourneaux ;
- industrie chimique, industrie pharmaceutique.

Dans l'eau, les cyanures se présentent sous deux formes en équilibre :

- en milieu neutre et acide, une forme non dissociée : l'acide cyanhydrique (HCN) ;
- en milieu basique, une forme dissociée : (CN⁻).



Le diagramme ci-contre montre que :

- pour un pH < 7 les cyanures sont entièrement sous forme de HCN (acide cyanhydrique : forme volatile) ;
- pour un pH > 11,5 les cyanures sont entièrement sous forme de CN⁻.

Les deux formes HCN et CN⁻ sont très toxiques pour le poisson. La forme HCN non dissociée semble être la plus dangereuse.

Les cyanures inhibent au niveau des branchies l'enzyme permettant le transfert de l'oxygène du sang dans les tissus.

Toxicité : d'après les travaux de Cairns J. et al. [6], il y a mortalité de 50 % d'une population de truites en 24 heures pour une concentration de cyanures de 0,090 mg/l. D'après la base de données Aquire [7], il y a mortalité de 50 % d'une population de truites arc-en-ciel en 24 heures pour une concentration de 0,055 mg/l de cyanures.

Stabilisation : l'acide cyanhydrique étant volatil, il est nécessaire de le stabiliser en milieu alcalin.

Mode opératoire

Matériel et réactif

- Des tubes à essai ;
- un compte-gouttes ;
- un flacon en polyéthylène de 100 ml ;
- des pastilles de soude ⁸ ;
- un coffret commercial ⁸.

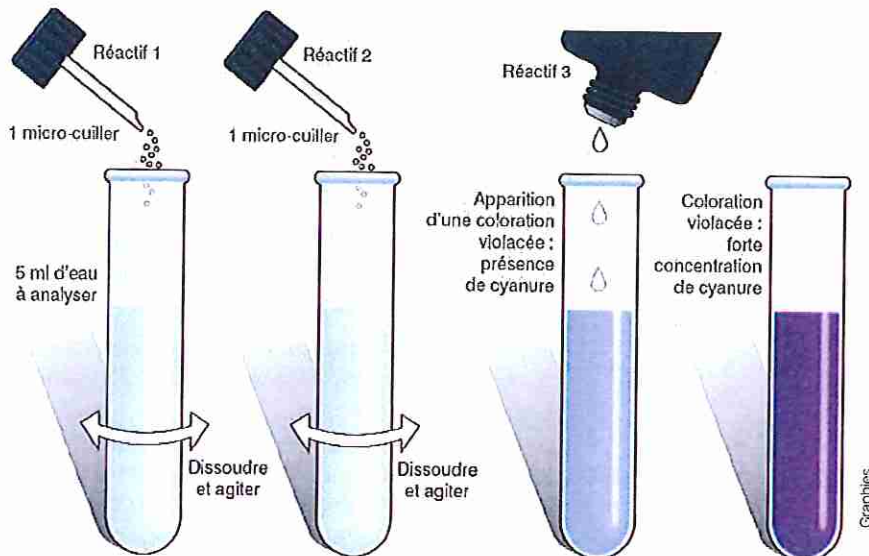
Mode opératoire

On peut détecter la présence de cyanures par l'odeur caractéristique d'amandes amères à partir de 0,03 mg/l (personnes sensibles à cette odeur).

Pour le test à l'acide 1,3 diméthyl barbiturique, peut convenir en particulier le coffret Aquaquant 1.14429 dont la conservation des produits est de l'ordre d'un à deux ans. Vérifier la date de péremption des réactifs.

Se référer à la notice d'emploi jointe au coffret.

Si présence de cyanures : coloration violacée.



Coffret Aquaquant 1.14429

NB : vérifier la date de péremption des réactifs.

Remarques

- ➔ Faire une recherche systématique de cyanures en présence d'une mortalité massive de poissons.
- ➔ En cas de présence de cyanures, les stabiliser en milieu alcalin en ajoutant deux pastilles de soude lors du prélèvement (pH 11,5).



Flacon de 100 ml pour dosage exclusif des cyanures (pastilles de soude)



4.8 Sulfates

Définition et signification

Les sulfates existent dans les eaux courantes à des concentrations variables selon la nature géologique des terrains traversés.

Leurs teneurs dans les eaux superficielles ne dépassent guère 50 mg/l en SO_4^{2-} à l'exception de leur provenance à partir de la dissolution du gypse ($\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) où des valeurs supérieures à 1 g/l peuvent être atteintes.

Ces composés naturels des eaux peuvent aussi provenir du lessivage des terrils pyrifères où les sulfures entraînés s'oxydent par voie biologique en présence de l'air : sulfures (S^{2-}) → sulfates (SO_4^{2-}).

Une augmentation de la teneur en sulfates peut être considérée comme un indice de pollution industrielle de type non agro-alimentaire. Elle est à rapprocher d'une augmentation de la conductivité.

Toxicité : il convient de rappeler que les sulfates ne sont pas considérés comme toxiques pour la faune aquatique. En effet, d'après la base de données de la NLM (HSDB) [24], il n'y a inhibition de 50 % d'une population de daphnies (*Daphnia magna*) en 96 heures que pour une concentration de sulfate de sodium de 4 597 mg/l.

Intérêt du test : l'intérêt du test préliminaire réside dans le fait que les sulfates sont des traceurs de pollution industrielle de type chimique.



Mode opératoire

Matériel et réactif

- Des tubes à essai ;
- un compte-gouttes ;
- un réactif : chlorure de baryum stabilisé. Par exemple une solution à 10 % selon la norme NF T 90-040 (longue conservation à température ambiante).

Mode opératoire

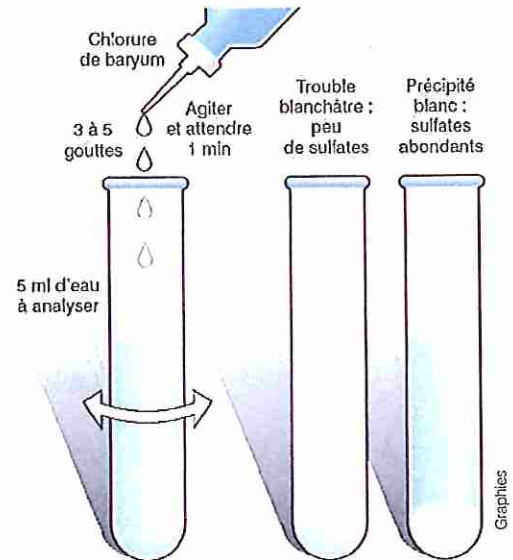
Dans un tube à essai :

- 5 ml d'eau à analyser (acidifier si nécessaire avec quelques gouttes d'HCl)⁹ ;
- 3 à 5 gouttes de chlorure de baryum.

Si présence de sulfates : trouble blanchâtre voire précipité blanc.

Remarques

- L'acidification est nécessaire si le milieu est alcalin, pour s'affranchir de la présence des hydroxydes.





4.9 Chlorures

Définition et signification

Les teneurs rencontrées dans les eaux naturelles sont généralement inférieures à 20 mg/l en chlorures mais peuvent atteindre des concentrations variables selon la situation géographique (proximité de la mer, présence de roches salines comme le chlorure de potassium).

Les chlorures ne participent pas aux processus biologiques (décomposition de la matière organique) et ne subissent donc aucun changement.

Une augmentation de la teneur en chlorures est considérée comme un indice de pollution industrielle. Elle est à rapprocher d'une augmentation de la conductivité.

Toxicité : il convient de rappeler que les chlorures ne sont pas considérés comme toxiques pour la faune aquatique. En effet, d'après des essais Cemagref [23], il n'y a inhibition de 50 % d'une population de daphnies (*Daphnia magna*) en 24 heures que pour une concentration de chlorure de sodium de 5 240 mg/l.

Intérêt du test : l'intérêt du test préliminaire réside dans le fait que les chlorures sont des traceurs de pollution industrielle.

Mode opératoire

Matériel et réactif

- Des tubes à essai ;
- un compte-gouttes ;
- un réactif : solution de nitrate d'argent ¹⁰, solution N/10 par exemple (longue conservation à température ambiante, à l'abri de la lumière).

Mode opératoire

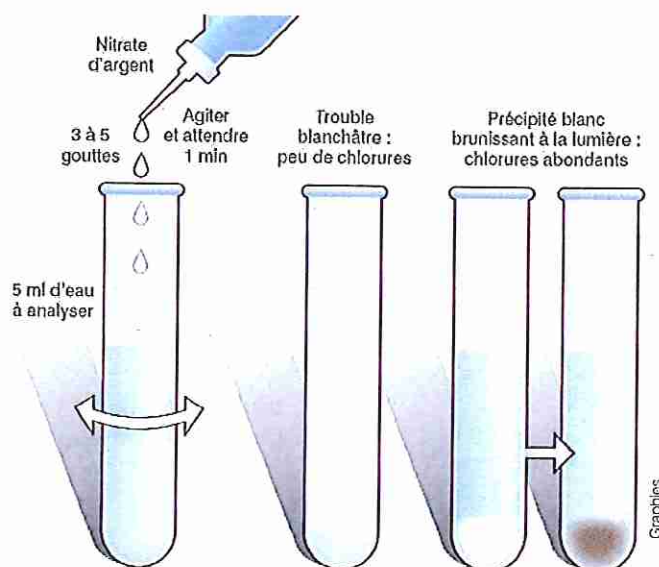
Dans un tube à essai :

- 5 ml d'eau à analyser (acidifier si nécessaire avec quelques gouttes de HNO_3 ¹⁰ ;
- 3 à 5 gouttes de la solution de nitrate d'argent.

Si présence de chlorures : trouble blanchâtre voire précipité blanc brunissant à la lumière.

Remarques

- L'acidification est nécessaire si le milieu est alcalin, pour s'affranchir de la présence des hydroxydes (HNO_3).
- La présence d'un trouble blanchâtre sans brunissement à la lumière est à rapprocher de la présence de sulfates sous forme du précipité de sulfate d'argent. Dans ce cas, on doit procéder au test des sulfates.



¹⁰ - Réactif à mettre hors de la portée des enfants. Se protéger les yeux lors de la manipulation



Les prélèvements : choix des points et des techniques

5

5.1 Prélèvements d'eaux

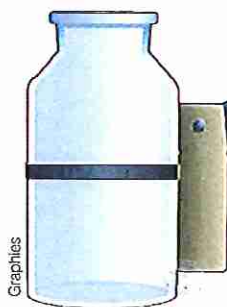
La pratique des prélèvements constitue une garantie et doit permettre de mettre en évidence les faits matériels caractérisant la pollution.

Les prélèvements d'eaux peuvent être réalisés dans la plupart des cas de pollution. Ils doivent être effectués le plus tôt possible après que la pollution ait été constatée car le déversement responsable peut être de courte durée et un prélèvement trop tardif risquerait de n'apporter aucun résultat. D'autres substrats sont à privilégier lorsque les substances présumées sont très peu miscibles à l'eau et très adsorbables sur les particules en suspension.

Les lieux de prélèvement sont choisis en fonction de la localisation du flot polluant et de l'étendue de la pollution, à partir du constat de terrain (mortalité piscicole, effets sur la faune et la flore, aspect et odeur du cours d'eau) et des tests préliminaires.

Les techniques de prélèvement manuel pourront être différentes selon le type de rejet et le milieu récepteur. Le matériel le plus simple pour prélever des échantillons d'eau est le flacon à large col.

Pour tenir compte des contraintes de site, le prélèvement d'eau peut être réalisé au moyen d'un seau et d'une corde (depuis un pont par exemple) ou d'une perche télescopique dotée d'un flacon maintenu par un collier (depuis la rive par exemple). Dans ce cas, l'agent préleveur évitera de remettre en suspension les dépôts (ne pas mettre en contact le seau ou le flacon et les sédiments).

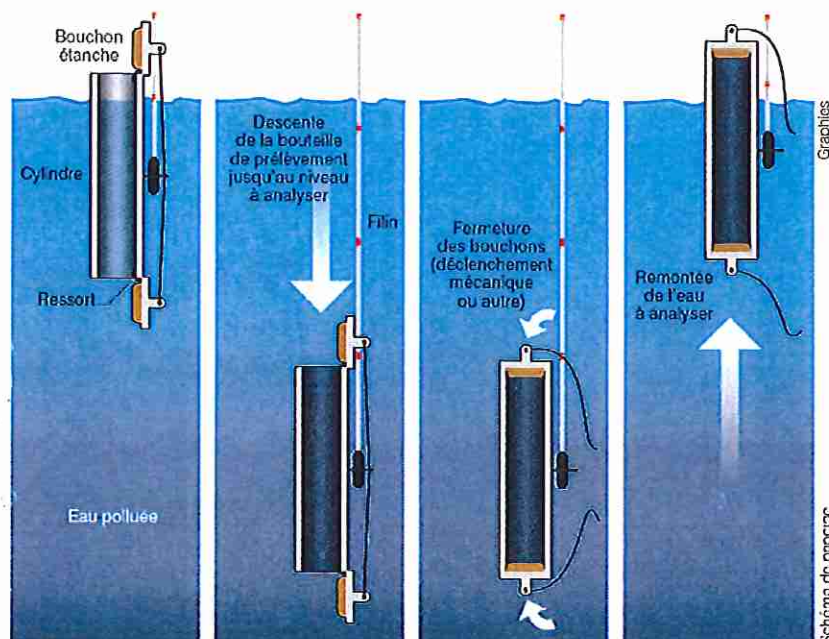


Graphies



M. Bramard, Onema

Dans le cas d'eaux stratifiées (effet de la température, densités différentes rejet-milieu récepteur) et dans le but de pouvoir prélever dans la masse d'eau polluée, la technique de prélèvement nécessite un dispositif particulier constitué d'un cylindre ouvert aux deux extrémités. À la profondeur voulue, le cylindre est fermé aux deux extrémités avant d'être remonté.



5.1.1 Cas général

Les prélèvements seront effectués :

→ Dans la rivière, **en amont du rejet, en un point non influencé par ce dernier**. Dans le cas d'un cours d'eau, ce point peut être fixé à 50 m environ en amont du point de déversement, sauf si d'autres rejets interviennent entre ces deux points. Le prélèvement en amont du rejet permettra de comparer la qualité des eaux entre l'amont du déversement suspecté et l'aval.

Dans le but d'établir objectivement un état initial de référence à partir du point amont, le rapport de contrôle devra toujours préciser qu'il n'est constaté aucun autre rejet entre le point amont du rejet sélectionné et le point du rejet contrôlé.

→ En un point **dans la zone des nuisances où se produit le mélange**. Pour un cours d'eau, ce point est situé à l'aval immédiat du déversement, le prélèvement étant effectué dans une veine d'eau contaminée par l'effluent.

Dans le but de faciliter les recherches des polluants par le laboratoire et de guider l'interprétation des résultats obtenus dans la zone de mélange, il sera utile de disposer d'un échantillon de l'effluent pur avant mélange.

→ Dans la rivière, **à l'aval du point de déversement**, dès qu'est réalisé le mélange de l'effluent et de l'eau de la rivière, c'est-à-dire à une distance comprise le plus souvent entre 3 et 50 m du point de déversement.

→ Dans la rivière, **encore plus en aval, en autant de points qu'il apparaîtra nécessaire** pour apprécier l'ampleur des impacts sur l'eau et les milieux aquatiques.

Les points de prélèvement sont illustrés par les schémas page 46.

Les prélèvements pourront être effectués **dans le courant ou hors du courant**, là où une moindre vitesse d'écoulement peut laisser subsister les traces d'une pollution résiduelle. Une attention toute particulière devra être portée dans le cas d'eaux susceptibles d'être stratifiées.

Il est préférable de **commencer par le point aval** si on descend dans le lit mineur. Si l'agent préleveur avance dans l'eau, il doit prélever en amont de lui, afin d'éviter la remise en suspension des dépôts.



Dans certaines situations, l'impossibilité de choisir un lieu de prélèvement non influencé par la pollution (point amont) ne doit pas faire obstacle à la caractérisation d'un délit. L'interprétation des résultats physico-chimiques et/ou biologiques obtenus uniquement à l'aval du point de déversement, comme leur évolution spatiale dans le cas de différents points de prélèvement échelonnés le long du cours d'eau à l'aval du point de déversement, devra être de nature à caractériser les effets du (des) rejet(s) sur le milieu récepteur.

5.1.2 Cas de rejets de station d'épuration

La procédure selon le cas général reste inchangée. Toutefois, pour essayer de reconnaître un mauvais fonctionnement de station d'épuration :

- il est souhaitable de disposer d'un échantillon « moyen » de l'effluent pur avant mélange, sur une durée de deux heures minimum (intervalle de prélèvement d'une demi-heure) ;
- il est utile d'observer les abords immédiats du point de rejet dans le cours d'eau. En cas de présence, en surface, de flottants (mousses épaisses de couleur marron), ou au fond, de dépôts floconneux brun-marron, des échantillons de ces flottants et dépôts floconneux pourront être prélevés pour un examen microscopique au laboratoire.

Les prélèvements seront effectués de préférence en charge maximale.

5.1.3 Cas de rejets partiellement ou non miscibles

Les substances flottantes (mousses, écumes, graisses, hydrocarbures)

On se rappellera que ce sont de simples prélèvements d'identification. La méthode préconisée sera l'écumage. Lorsque la pollution des eaux visées à l'article L. 432-2 du Code de l'environnement est due à des hydrocarbures qui sont visuellement nettement déterminables, il n'est pas nécessaire de procéder à des prélèvements pour analyse. Mais l'analyse des eaux rejetées au milieu naturel peut demeurer indispensable si les éléments visuels de constatation ne permettent pas d'établir une concentration élevée d'hydrocarbures lorsque la pollution des eaux est susceptible d'être caractérisée au regard de l'article L. 216-6 du Code de l'environnement et lorsqu'elle émane d'une installation réglementée au titre de la police de l'eau et des milieux aquatiques (art. L.V214-1 et suivants du Code de l'environnement) ou de la police des installations classées pour la protection de l'environnement (art. L. 512-1 et suivants du Code de l'environnement). En effet, dans ce dernier cas de figure, le respect des prescriptions techniques de rejet opposables à l'intéressé est de nature à constituer un fait justificatif exonérateur de responsabilité pénale, qui doit le cas échéant être écarté nettement par les constatations réalisées.

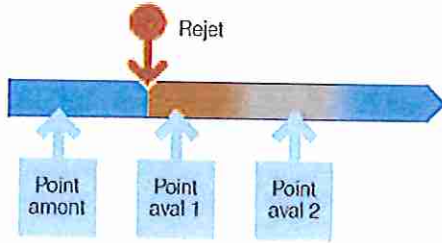
Les substances denses

Pour certaines pollutions, il peut être utile d'effectuer des prélèvements d'eaux au voisinage du fond (effluents de densité élevée : effluents acides, basiques, salins, écoulements mixtes tels que lait de ciment, eaux de lavage, jus concentrés, etc. rejetés au voisinage du fond) ainsi que des prélèvements de sédiments [voir chapitre suivant « Prélèvement de sédiments »].

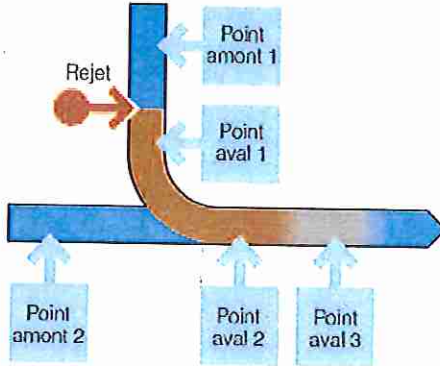




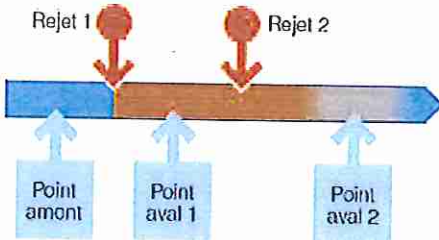
46



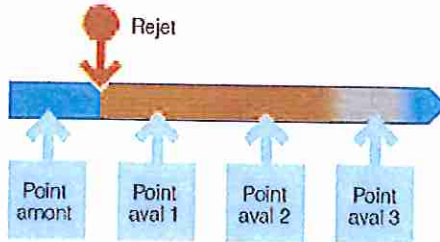
Cas n° 1
Un rejet dans un cours d'eau sans confluence proche



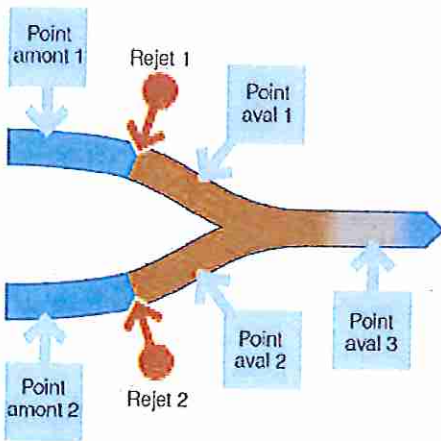
Cas n° 2
Un rejet dans un cours d'eau proche d'une confluence



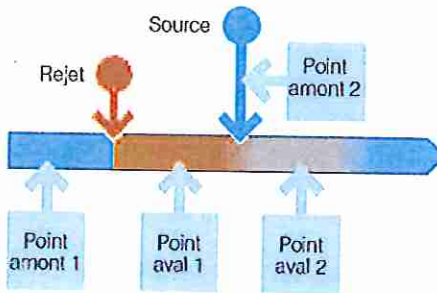
Cas n° 3
Deux rejets dans un cours d'eau sans confluence dans la zone polluée



Cas n° 4
Un rejet dans un cours d'eau sans confluence proche (zone polluée importante)



Cas n° 5
Deux rejets proches d'une confluence



Cas n° 6
Un rejet dans un cours d'eau dont le débit est influencé par une source très proche

→ Point de prélèvement



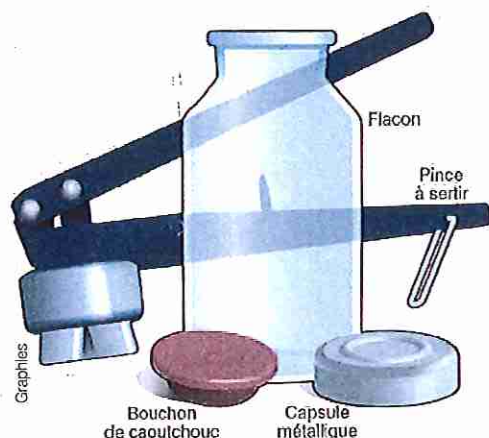
5.1.4 Prélèvements pour analyses spécifiques

Prélèvement pour l'analyse des hydrocarbures halogénés hautement volatils

Les composés organo-halogénés volatils sont des solvants chlorés ou bromés tels que tétrachlorure de carbone, chloroforme, chlorométhane, chloroéthane, chloroéthylène, chlorobromoéthane. Ils sont largement utilisés dans des produits d'usage courant. Leur présence dans le milieu aquatique est due notamment à des rejets d'industries chimiques.

Ce type de prélèvement est à réaliser dans des flacons spéciaux équipés de bouchons pénicilline fournis par le laboratoire d'analyses.

Selon les recommandations de la norme Afnor NF EN ISO 10301 [8], prélever au moins deux échantillons par point. Au moment du prélèvement, rincer le flacon avec l'eau à analyser. Ne pas remplir le flacon complètement (environ aux deux tiers). Boucher le flacon et serrer la capsule métallique face téflonnée vers l'intérieur avec une pince spéciale.



Prélèvement pour l'analyse des cyanures

En cas de présence de cyanures [test positif, cf. chapitre 4], l'échantillon est prélevé dans un flacon de 100 ml dans lequel sont introduites deux pastilles de soude.

Prélèvement pour l'analyse du chlore

En cas de présence de chlore [test positif, cf. chapitre 4], l'échantillon est prélevé dans un flacon de 100 ml dans lequel sont introduits 2 ml d'iodure de potassium à 500 g/l.

5.1.5 Recommandations générales sur les prélèvements d'eaux

- Lors du prélèvement, éviter de remettre en suspension des dépôts ou d'introduire du sédiment.
- S'assurer de la propreté du flacon destiné à recevoir l'échantillon. Le rincer plusieurs fois au préalable avec l'eau à analyser.
- Vérifier que l'échantillon prélevé est représentatif des caractéristiques de la pollution du milieu (aspect, odeur, validité si nécessaire par les tests).



5.2 Prélèvements de sédiments

Les sédiments ont la propriété de concentrer certaines substances présentes dans l'eau à l'état de traces ; ces dernières sont, de ce fait, plus facilement détectables dans ce milieu. Les échantillons de sédiments sont par ailleurs privilégiés aux échantillons d'eaux lorsque le délai d'intervention est tardif (possibilité de traces d'une pollution résiduelle dans l'eau interstitielle du sédiment dont la vitesse d'écoulement est faible par rapport à celle de la colonne d'eau).

Des cas de pollution par des rejets acides, alcalins ou salins ont ainsi été mis en évidence.

Les prélèvements de sédiments s'avèrent, aussi, très utiles lorsque les substances recherchées sont hydrophobes et très adsorbables sur ces substrats.

L'accumulation de sédiments le long d'un cours d'eau de manière continue ou sous forme de bancs individualisés peut se présenter comme un phénomène durable ou transitoire, ayant tendance à s'amplifier ou à s'atténuer et même à disparaître à l'occasion d'un changement de régime important, en période de hautes eaux par exemple.

5.2.1 Choix des points de prélèvement et schéma des lieux

Les distances requises en amont et en aval du rejet sont celles retenues pour les prélèvements d'eaux, de préférence de 30 à 200 m.

Par zone (amont et aval du rejet), un échantillon moyen sera constitué à partir du mélange de deux ou trois échantillons prélevés à peu de distance les uns des autres, dans toute la mesure du possible aux plus fortes accumulations de sédiments fins. On évitera de prélever des échantillons de sédiments trop sableux et sablo-graveleux, sauf si les sables et graviers apparaissent comme noyés dans un mélange beaucoup plus riche en fines particules, presque insensibles au toucher. Ces milieux sont généralement pauvres en éléments fins, à la fois organiques et minéraux, sur lesquels s'effectue l'essentiel de l'analyse physico-chimique.

Un schéma simplifié des lieux de prélèvement comportera les indications suivantes :

- les zones d'accumulation de sédiments fins avec, éventuellement, la présence de bancs de sable, graviers, galets, etc. ;
- les zones à végétaux aquatiques (si ceux-ci abondent sur les lieux de prélèvement) ;
- l'emplacement des prélèvements.

Les points de prélèvement des sédiments seront portés sur le croquis déjà existant des lieux de prélèvement d'eaux.



5.2.2 Techniques de prélèvement

Le choix du matériel se fait en fonction de l'accessibilité du site, de la hauteur d'eau et de l'épaisseur du sédiment à prélever.

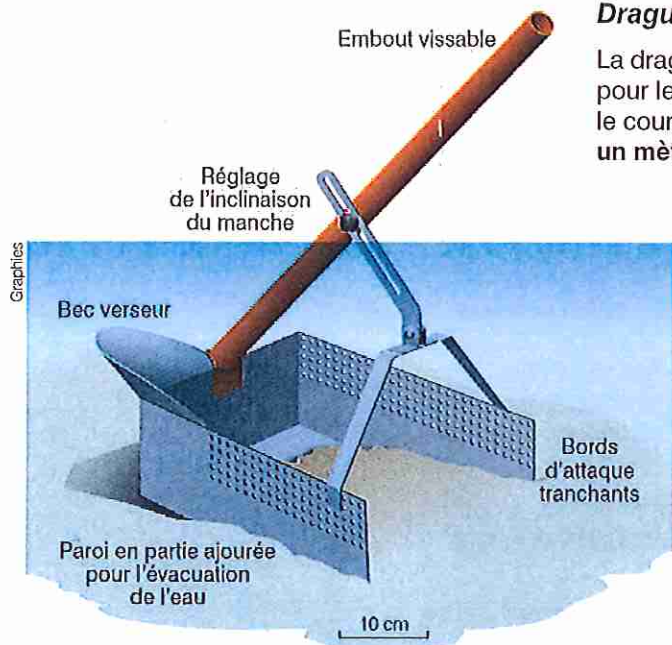
Drague à main à fond plat

La drague à main à fond plat est facile d'utilisation et convient pour les prélèvements de sédiments depuis la berge ou dans le cours d'eau (*waders*) pour des profondeurs inférieures à un mètre.

De forme rectangulaire, elle est munie de parois latérales perforées à mi-hauteur et d'un bec verseur. Un manche articulé sur la paroi frontale permet de régler son inclinaison par rapport à l'horizontale et de racler les fonds parallèlement à leur surface.

Manœuvrée avec précaution en présence de sédiments fins, la drague permet l'observation et le prélèvement convenable de la couche superficielle (sur 5 cm d'épaisseur environ si l'épaisseur de sédiment en place le permet).

Le mélange des échantillons avec les eaux du cours d'eau au moment du prélèvement doit être soigneusement évité (risque de dilution). Le remplissage du flacon de prélèvement doit être complet (sans laisser d'air entre l'échantillon et le couvercle).



Remarque

→ Lorsque les bancs de sédiments sont de petites tailles (exemple : cours d'eau de montagne ou à forte pente), la drague à main peut être remplacée par un outil simple, tel qu'un flacon polyéthylène biseauté, permettant de récupérer la couche superficielle de sédiment fin sans dilution de son eau interstitielle avec l'eau de surface.

Benne

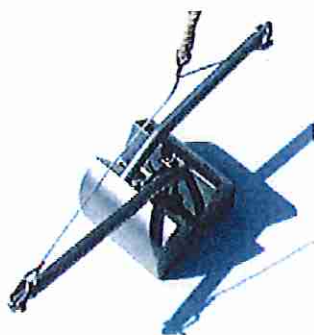
Quelle que soit la hauteur d'eau, les sédiments peuvent aussi être prélevés à la benne. On peut utiliser une petite benne (type *Van Veen*) de 5 kg aux dimensions 15 x 15 x 10 (h) permettant de prélever 0,5 l à 1 l de sédiment sur une épaisseur de 5 cm environ. Elle est conçue pour pénétrer le substrat (mâchoires ouvertes) sous l'effet de sa propre masse. Pour le prélèvement on procède à une descente et remontée lentes de la benne. Il existe de plus petites bennes (2 kg) au fonctionnement similaire.

Recommandations

Les mesures devant traduire des phénomènes récents et les analyses physico-chimiques des sédiments n'étant réalisées que sur la fraction fine, fraction susceptible d'adsorber ou de contenir le plus d'éléments polluants ou toxiques, il convient pour tenir compte de ces exigences d'**opérer uniquement sur la couche supérieure** (inférieure ou égale à 5 cm environ) et fine (fraction inférieure à 2 mm) du substrat.

Le mélange des échantillons par zone devra être effectué dans un récipient non contaminant vis-à-vis des polluants à rechercher : verre, inox ou porcelaine pour les composés organiques traces ; matière plastique (polyéthylène) pour les éléments métalliques.

L. Richard



L. Richard



Benne ouverte (en haut)
et fermée (en bas)

5.3 Prélèvements de bryophytes autochtones

Cette partie est extraite du document de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne [9].

Des prélèvements de bryophytes autochtones peuvent aussi être réalisés. Les bryophytes ont la propriété d'intégrer et de concentrer dans leurs tissus les micropolluants minéraux (métaux) et organiques. Dans ce cas, un échantillon sera constitué par zone (amont et aval du rejet).

5.3.1 Récolte

Les bryophytes seront recherchées sur des supports durs et stables (blocs, seuils, piliers de pont, etc.) auxquels on accèdera à pied ou en bateau. L'échantillon destiné aux analyses sera constitué d'un mélange de prélèvements effectués sur un maillage complet de la zone de prélèvement afin de garantir sa représentativité. Les zones d'émergence et de source seront évitées dans la mesure où elles sont connues.

Les bryophytes recouvertes d'un feutrage d'algues seront évitées. Les apex des bryophytes les plus récents, donc les plus verts, seront prélevés aux ciseaux sur les touffes au feuillage développé.

Dans la mesure du possible une seule espèce sera prélevée. L'ordre de préférence des espèces de bryophytes s'établit comme suit :

1. *Fontinalis antipyretica* et *Rhynchostegium riparioides* ;
2. *Cinclidotus nigricans* et *Cinclidotus danubicus* ;
3. Toute autre espèce.

S'il s'avère impossible d'utiliser une seule espèce, il faut privilégier les associations suivantes à toute autre combinaison :

1. *Fontinalis antipyretica* + *Rhynchostegium riparioides* ;
2. *Cinclidotus nigricans* + *Cinclidotus danubicus*.

Ces quatre espèces de bryophytes font l'objet de fiches signalétiques illustrées de photos [9].

L'échantillon récolté représentera environ 250 g (bryophytes essorées). Chaque site d'échantillonnage fera l'objet d'un repérage précis. Un schéma de situation localisera les emplacements des prélèvements.

5.3.2 Préparation de l'échantillon

L'échantillon récolté est lavé très soigneusement dans l'eau de la rivière afin d'éliminer un maximum d'impuretés (sables, algues, faune, etc.). Pendant cette opération, on veillera à ne pas endommager les bryophytes.

Il est ensuite essoré puis conditionné en sac papier Cellophane étiqueté et transporté au laboratoire en milieu réfrigéré. Une durée de transport ne dépassant pas 48 heures entre le prélèvement et la réception au laboratoire est recommandée.



Fontinalis antipyretica

R. Bernard, Iristea



Daniel Maynadier - Oremta

5.4 Prélèvements de poissons

Le prélèvement de poissons aux fins d'autopsie et/ou d'analyse peut être très utile. Toutefois il est préconisé de ne le réaliser que lorsqu'il est avéré que les prélèvements d'eaux ou de sédiments ne constituent pas une garantie pour mettre en évidence les faits matériels caractérisant la pollution. Dans ce cas, des individus des différentes espèces sont épuisés et examinés. La quantité de poissons morts sera estimée.

Les anomalies constatées sur les poissons prélevés doivent être consignées :

- état des branchies : couleur, nécrose, présence de dépôts, etc. ;
- ulcération sur le corps ;
- état des nageoires ;
- état des yeux ;
- présence de parasites ; ...

Quelques individus des différentes espèces sont emballés individuellement dans une feuille d'aluminium puis dans un sac en polyéthylène zippable et identifiés. Aux fins d'autopsie et/ou d'analyse par un laboratoire spécialisé (services vétérinaires, laboratoires départementaux), ils sont placés rapidement dans une glacière réfrigérée et acheminés en l'état si le délai de livraison est suffisamment court (moins de 24 heures) ou préalablement congelés dans le cas d'une livraison plus longue.

5.5 Prélèvements pour l'analyse des résidus de substances phytosanitaires

Les pollutions accidentelles par pesticides d'origine industrielle, dues en particulier à l'industrie du bois, proviennent souvent de cuves ou de bassins de rétention non étanches ou de ruissellement des aires de stockage. Les pollutions liées à l'activité agricole sont notamment causées par des erreurs de manipulation lors du remplissage du matériel de traitement ou le nettoyage et le rinçage de ce matériel à proximité de cours d'eau, d'égout ou de réseau d'eaux pluviales.

Il apparaît que même si les cas de pollution accidentelle par produits phytosanitaires sont faibles au regard des pollutions organiques, la nocivité de ces produits pour le milieu aquatique reste importante compte tenu de mortalités piscicoles observées et de l'étendue de la pollution constatée dans la majorité des affaires traitées.

Il est important de préciser qu'en comparaison des paramètres habituellement mesurés dans les eaux (indices globaux, paramètres majeurs ou éléments minéraux traces), la recherche des résidus de substances phytosanitaires (essentiellement des composés organiques de synthèse : molécules complexes) est longue et coûteuse. Aussi, les conditions pour réaliser une recherche satisfaisante de ces espèces chimiques imposent d'apporter une attention particulière quant au prélèvement, aux investigations sur le terrain et aux renseignements fournis.

Il est à noter que les substances phytosanitaires peuvent se comporter de façon différente dans le milieu aquatique en fonction de leurs propriétés physico-chimiques et des conditions du milieu, notamment le pH, la nature et la structure des matières en suspension et des sédiments (constituants argileux, organiques, etc.).

Bien que de portée limitée, la possibilité de transfert des substances phytosanitaires à partir de l'eau dans les autres composants du milieu peut être appréciée par quatre critères fondamentaux :

→ **la solubilité** est un indicateur de la tendance du produit à être entraîné par les eaux. Elle est déterminante dans le contrôle de l'absorption de produits systémiques par les plantes ;

→ **le coefficient de partage sol/eau** est un indicateur de l'affinité du produit pour les constituants du sol. Il est mesuré par le K_d ou par le K_{oc} qui est la forme normalisée du K_d rapportée au carbone organique du sol. Le K_{oc} est une bonne estimation de la mobilité du produit quand l'adsorption s'effectue sur la matière organique du sol. La principale exception pour le K_{oc} concerne les substances de nature ionique qui ont une forte affinité pour les argiles ou autres colloïdes minéraux. Il est à noter que la granulométrie d'un sédiment et la richesse en matière organique des différentes fractions granulométriques contribuent sans doute à expliquer les écarts observés entre les valeurs de K_d mesurées sur des sols et des sédiments (Gouy, V. [10]) ;

→ **le coefficient de partage n-octanol-eau (K_{ow})** : ce paramètre sous la forme $\log K_{ow}$ est un indicateur de la tendance à s'accumuler dans les membranes biologiques donc dans les organismes vivants (bioaccumulation) ;

→ **le facteur de bioconcentration (BCF)** équivaut au rapport de la concentration du polluant dans l'organisme d'une espèce donnée à sa concentration dans le milieu ambiant.

Dans le tableau ci-après, il est proposé une grille indicative de première approche du comportement du produit phytosanitaire dans le milieu afin d'orienter utilement le prélèvement.

Solubilité du produit dans l'eau (S)	Conséquences	Eau à prélever
S < 10 mg/l	Substance peu soluble	Oui (si intervention rapide)
10 < S < 200 mg/l	Substance moyennement soluble	Oui
S > 200 mg/l	Substance soluble	Oui
Coefficient de partage sol/eau (K_{oc})	Conséquences	Sédiment à prélever
K_{oc} < 200 cm ³ /g	Substance peu adsorbable	Non
200 < K_{oc} < 1000 cm ³ /g	Substance moyennement adsorbable	Oui
K_{oc} > 1000 cm ³ /g	Substance adsorbable	Oui
Coefficient de partage octanol/eau ($\log K_{ow}$) et facteur de bioconcentration (BCF)	Conséquences	Poisson à prélever
$\log K_{ow}$ < 2 et BCF < 100	Risque de bioaccumulation négligeable	Non
$\log K_{ow}$ > 3 et BCF > 1000	Risque de bioaccumulation élevé	Oui

D'après P. Le Pimpec, Cemagref.

Recommandations

Il est inutile de réaliser des prélèvements d'eaux lorsque le pesticide présumé est peu soluble et le délai d'intervention tardif.

Des prélèvements de poissons peuvent s'avérer utiles si le risque de bioaccumulation est significatif. Des prélèvements de sédiments peuvent s'avérer également opportuns même après intervention tardive (hors crue) si le produit a une capacité d'adsorption certaine sur le substrat.

À titre d'exemple, le tableau des pages suivantes fait état de données issues des fiches élaborées sur les substances actives phytosanitaires (Le Pimpec P. et al [11]).

Pour plus de renseignements

Il est utile de consulter, outre les fiches élaborées sur les substances actives phytosanitaires [11], l'« Index phytosanitaire, Édité. Acta » et, via Internet, les fiches techniques de certains fabricants et les sites Footprint PPDB (<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/fr>) ou Agritox (<http://www.dive.afssa.fr/agritox/php/fiches.php>).



Substance active phytosanitaire	Solubilité dans l'eau (mg/l)	K _{oc} (cm ³ /g)	log K _{ow}	BCF dans poisson	Substrat à prélever		
					•E•	S	P ?
Aclonifen	1,4 - 2,5	5 318 - 12 164	4,37	pas de bioconcentration	•E•	S	
2,4 D	540 - 890	20	2,8	1 (crapet arlequin)	E		
<i>Alachlore</i>	148 - 240	170	2,8 - 3,09		E		P ?
<i>Aldicarbe</i>	4 000 - 6 000	32 - 47	0,05 - 1,15	4 - 42	E		
<i>Aldrine</i>	0,01 - 0,03	rapide adsorption	5,52 - 5,66	bioconcentration et bioamplification	•E•	S	P
Alphaméthrine	< 0,01	16 344	5,16 - 6,94		•E•	S	
Aminotriazole	280 000	100	- 0,97		E		
<i>Atrazine</i>	28 - 33	39 - 173	2,3 - 2,75	3 - 10	E		
Bentazone	570	0,7 - 176	- 0,46		E		
Bétacyfluthrine	0,001 - 0,002	forte adsorption	5,9		•E•	S	
<i>Carbendazime</i>	8	129 - 250	1,38 - 1,56		•E•		
<i>Carbofuran</i>	250 - 700	0 - 160	1,2 - 2,3	pas de bioconcentration			
Chloropyriphos-ethyl	1,4 - 2	6 070	4,70 - 5,11	467 (truite arc-en-ciel)	•E•	S	P
Chlorothalonil	0,6 - 1,2	1 380 - 14 000	1,91 - 2,89	820	•E•	S	P
Deltaméthrine	≤ 0,002	460 000 - 1 630 000	4,6 - 5,3	200-1300 (daphnies)	•E•	S	P
Diazinon	40 - 60	250 - 1 000	1,9 - 3,8	63 (truite)	E	S	
Difénoconazole	3,3 - 15	très forte adsorption sur le sol	4,2	pas de mise en évidence de bioconcentration	•E•	S	
Diflufénicanil	0,05	1 622 - 2 369	4,9		•E•	S	P
<i>Dinosèbe</i>	52	124	3,69	68 (estimation)	E		
<i>Dinoterbe</i>	4,5	245 (sel)	3,51	pas de bioconcentration supposée	•E•	S	
<i>Diquat dibromure</i>	700 000	> 1 000 000	(- 4,6) - (3,5)	pas de bioconcentration	E	S	
<i>Diuron</i>	36 - 42	382 - 480	2,77 - 2,85	1,88 (estimation)	E	S	
<i>DNOC</i>	130	225 - 590 (estimation)	0,08	40 - 52 (estimation)	E	S (sédiment argileux fin ou organique)	
<i>Endosulfan</i>	0,32	3 020 - 19 950	3,6-4,7	1000-1344 (<i>Mugil cephalus</i>)	•E•	S	P (foie)
Esfenvalérate	0,002 - 0,010	très forte adsorption sur le sol	6,22 - 6,77	1 400 (vairon)	•E•	S	(P)
Fénitrothion	21 - 30	103 - 283	3,4 - 3,5	200 - 250 (jeune truite)	E	S	(P)
FenoxaProp-P-ethyl	0,7 - 1,3	9 490	4,1 - 4,6	-	•E•	S	P
Flusilazole	45 - 900	571 - 3 800	3,74	-	E	S	P
Folpel	0,8 - 1	7 400 - 12 300	2,8 - 3,1	86	•E•		
Glyphosate	10 000 - 12 000	2 600 - 4 200 2 400 (sel d'isopropylamine)	(- 4,58) - (- 3,4)	ne se bioconcentre pas, rapidement éliminé	E	S	
<i>Hexachlorobenzène (HCB)</i>	0,035	10 000 - 100 000	5,31 - 6,18	1 160 - 3 740 5 011 - 19 952 (truite)	•E•	S	P
Ioxynil	50 140 000 (sel de sodium)	200 - 510 faible mobilité	0,90 (pH 6,5)	faible (estimation)	E	S	
Iprodione	13	373 - 1 551	3,0		E	S	P ?

Substance active phytosanitaire	Solubilité dans l'eau (mg/l)	K _{oc} (cm ³ /g)	log K _{ow}	BCF dans poisson	Substrat à prélever		
					E	S	P
<i>Isophenphos</i>	18 - 24	267 - 600	4,04	-	E	S	P
Isoproturon	65 - 72	80 - 230	2,25 - 2,5		E		
Lambda-cyhalothrine	0,003	180 000	7		•E•	S	
<i>Lindane</i>	7,3 - 17	1 080 - 1 100	3,61 - 3,8	560	E	S	P
Malathion	145	230 - 1 800	2,36 - 2,89	7,36 (truite de lac)	E	S	
Mancozèbe	6,2 - 20	2 000 et plus	1,33 - 1,38	pas de bioconcentration	E	S	
Mécoprop	620 - 734	12 - 127	0,10		E		
<i>Méthidathion</i>	200 - 250	400	2,2	28	E	S	
<i>Méthomyl</i>	57 900	72 - 160	0,09 - 0,6	1,3 - 1,7	E		
<i>Métolachlore</i>	488 - 530	200 faible adsorption	2,9 - 3,45	< 1 (dans poisson chat car rapide dégradation)	E		
<i>Néburon</i>	4,8 - 5	≥ 500	-	-	•E•	S	
Nicosulfuron	400 (pH 5, 25 °C) 12 200 (pH 7, 25 °C eau tamponnée)	K _d = 0,1 à 1,7 5 - 50	(-1,8) - (-0,36)	pas de bioconcentration	E		
Oryzalin	2,8 - 5,5	75 - 180	3,73	50	•E•		
Oxadiazon	1	1 400 - 3 200	4,8 - 4,91		•E•	S	P?
<i>Oxyquinoléate de cuivre</i>	0,07 - 0,7	forte adsorption	2,46		•E•	S	
<i>Parathion-ethyl</i>	11 - 24	2 000 - 5 000	3,8	bioaccumulation peu probable (biodégradation rapide) 30 (vairon tête-de-boule)	E	S	
Pendiméthaline	0,3	2 400 - 5 000	5,18	métabolisation dans les organismes aquatiques 312 (maximum)	•E•	S	
Pentachloro-phénol	14 - 80	3 000 - 4 000	5,0 - 5,1	250 - 500 (truite arc en ciel) **	E	S	
Perméthrine	< 0,01 - 0,2	63 100 - 100 000	6,1 - 6,5	env. 480 (<i>Cyprinidon variegatus</i>)	•E•	S	P
<i>Phosalone</i>	1,7 - 10	1 800	4,0 - 4,3	pas significatif	•E•	S	
Prochloraze	34 - 55	500 - 1463	4,12 - 4,38		E	S	P
<i>Prométryne</i>	33 - 48	311 - 641	2,9 - 3,3	270	E	S	P
Propétamphos	110		3,82		E	S?	P?
<i>Simazine</i>	3,5 - 6,2	130	1,96 - 2,51	2 (poisson chat)	•E•		
Tau-Fluvalinate	< 0,005	> 110 000	3,8 - 4,2	-	•E•	S	P
<i>Terbufos</i>	5 - 15	500 - 2 400	2,8 - 4,5	369	•E•	S	P
<i>Thiométon</i>	200	579	3,15	30 (valeur calculée)	E	S	
Triclopyr	408 - 440	59 20 (sel) 780 (ester)	- 0,45		E		
<i>Trifluraline</i>	< 1	6 400 - 13 400	4,69 - 5,27	4 570 3 261 (vairon tête-de-boule)	•E•	S	P

E : eau ; •E• : eau (si intervention rapide) ; S : sédiment ; P : poisson.

Matières actives ayant fait l'objet d'un retrait d'autorisation.

** À pH 4 le pentachlorophénol est hautement lipophile alors qu'à pH 9 il est totalement ionisé donc peu lipophile.



5.6 Recommandations sur les risques du travail en rivière

Cette partie reprend quelques éléments du « Guide de recommandations sur les risques du travail en rivière », constitué de six fiches, validé par le CHS du MATE en juin 1998 [12].

L'analyse des risques montre l'importance des actions d'information préventive à mener auprès des agents concernés.

→ L'opération de prélèvement doit être menée de préférence par une équipe de deux personnes plutôt que par une seule. Le préleveur doit avertir au préalable du lieu de prélèvement et être en mesure d'instaurer le contact si nécessaire pendant le déplacement.

→ L'accès aux milieux aquatiques nécessite toujours la plus grande prudence (appréciation de la topographie du terrain). L'agent préleveur doit éviter les prélèvements dans les zones dangereuses telles que les berges instables et glissantes ou les terrains trop accidentés. Avant d'entrer dans l'eau, il doit **bien évaluer les conditions de prélèvement** : vitesse du courant, profondeur, remous, fonds instables, pierres glissantes, troncs d'arbres, débris flottants, etc. et adapter son comportement aux circonstances. Un bâton peut, à l'occasion, servir d'appui dans les endroits peu sûrs ou trop profonds.

→ Les agents doivent disposer d'équipements de travail et de protection individuelle adaptés au travail à réaliser et appropriés aux risques à prévenir.

→ Tout agent opérant dans l'eau doit être équipé d'un **gilet de sauvetage**, tout particulièrement lorsque l'utilisation de cuissardes ou de waders est nécessaire. Dans le cas de prélèvements en aval immédiat d'un barrage, il doit **s'assurer préalablement auprès du gestionnaire de l'ouvrage qu'aucune manœuvre intempestive de vannes n'est à redouter**. Il s'agit là d'une disposition impérative pour les barrages fonctionnant par éclusée, l'intervention en rivière devant être alors précédée d'une consigne préalable claire et précise adressée au gestionnaire de l'ouvrage, tendant à lui faire suspendre toute modification des conditions d'exploitation du barrage le temps de réalisation du contrôle.

→ Il devra être porté **une attention toute particulière aux prélèvements d'eaux dans les égouts** (émanation de gaz liés notamment à la dégradation anaérobie de la matière organique : hydrogène sulfuré, méthane, dioxyde de carbone, etc.) et autres lieux confinés.

Du fait de la dangerosité de cette intervention (présence de gaz et manipulation de charges comme les plaques d'égout), il apparaît nécessaire de préciser qu'elle ne doit pas être réalisée seul et de s'assurer d'un moyen d'alerte opérationnel. En outre, l'intervention doit être consciencieusement préparée (évaluation des risques et mesures à prendre), ce qui nécessite de **disposer d'un équipement adapté** : détecteur de gaz, masque à cartouche, vêtements imperméables, cuissardes ou bottes de sécurité antidérapantes, casque, lampe frontale, lève-plaque, longe de sécurité, treuil, etc.



Madeline Carrouée - Onema



Michal Bramard - Onema

- La pratique du travail en rivière ou plan d'eau, et plus encore en égout, expose les agents à des risques infectieux potentiels. Les maladies auxquelles sont le plus spécifiquement exposés les agents sont le tétanos, la poliomyélite, les fièvres typhoïdes, l'hépatite A ainsi que les leptospiroses (rôle important tenu par les rongeurs dans la dissémination du virus par voie urinaire). Il est recommandé d'avoir **les vaccinations à jour**.
- **Les règles d'hygiène individuelle** sont à la base de la prophylaxie : éviter tout contact avec les muqueuses pendant le travail en rivière, désinfecter toute plaie ou lésion cutanée, porter systématiquement des bottes, cuissardes ou waders, **mettre des gants de protection** et faire usage de produits et savons bactéricides.
- **Une trousse de première urgence** est indispensable dans les véhicules.
- En ce qui concerne les produits chimiques utilisés pour réaliser les tests ou stabiliser les échantillons *in situ*, l'agent préleveur doit **être sensibilisé aux précautions d'usage**.
- L'ensemble des produits doit être maintenu hors de portée des enfants. Les produits dangereux sont signalés au chapitre 4 du guide. En cas de brûlure, il est nécessaire de laver à grande eau.



Conditionnement et conservation des échantillons

6.1 Conditionnement des échantillons d'eaux selon l'origine de la pollution

N°	Origine de la pollution	Type d'analyse	Quantité d'eau	Type de flacon	Bouchon	
1	<ul style="list-style-type: none"> • domestique : • agricole : • agro-alimentaire : • particulière : 	<ul style="list-style-type: none"> • égouts • stations d'épuration • élevage • ensilage • (sans restriction) • industrie énergétique • industrie extractive • vidange de barrage 	analyse physico-chimique (indices globaux composés minéraux majeurs)	1 l (flacon complètement rempli)	polyéthylène ou verre	polyéthylène
2	<ul style="list-style-type: none"> • agricole : • industrielle : 	<ul style="list-style-type: none"> • traitement par substances phytosanitaires • traitement du bois, fabrication de produits phytosanitaires 	substances phytosanitaires	1 l ou plus * en fonction des familles à rechercher (flacon rempli à 80-90 %)	verre (pour le glyphosate, flacon en polyéthylène)	capsule en Téflon
3	<ul style="list-style-type: none"> • industrielle : • diverses : 	<ul style="list-style-type: none"> • fabrication des PCB • vidange de transformateur • mise en déchet de condensateur • relargage de PCB de matières plastiques • dégradation de matières plastiques par incinération 	polychlorobiphényles (PCB)	1 l (flacon rempli à 80-90 %)	verre	capsule en Téflon
4	<ul style="list-style-type: none"> • industrielle : • diverses : 	<ul style="list-style-type: none"> • utilisation des dérivés du pétrole • combustions incomplètes de molécules organiques naturelles ou artificielles 	hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	1 l (flacon rempli)	verre	capsule en Téflon
5	<ul style="list-style-type: none"> • inconnue : • chimique : 	<ul style="list-style-type: none"> • (synthèse organique) 		1 l (flacon rempli)	verre	capsule en Téflon
6	<ul style="list-style-type: none"> • diverses : 	<ul style="list-style-type: none"> • industries chimiques • traitement de surface • sidérurgie, métallurgie • constructions mécaniques • ordures ménagères • tanneries 	recherche de métaux sauf mercure	1 l (flacon rempli)	polyéthylène	polyéthylène
			mercure	500 ml	verre brun	capsule en Téflon

* Se renseigner auprès du laboratoire d'analyses.

Remarques

→ Afin d'éviter toute contamination, les flacons utilisés sont des récipients à usage unique préalablement rincés plusieurs fois avec l'eau à échantillonner à l'exception de ceux contrôlés et fournis par le laboratoire d'analyses.

→ L'emballage sera soigné de façon à éviter le bris des flacons en verre.

→ La durée de transport vers le laboratoire devra être aussi courte que possible : 24 heures de préférence.

Conditionnement des échantillons d'eaux selon l'origine de la pollution (suite)

Origine de la pollution	Type d'analyse (spécifique)	Quantité d'eau nécessaire	Type de flacon	Bouchon
• diverses	hydrocarbures, graisses	1 l (flacon rempli aux 3/4)	verre	bouché à l'émeri ou à défaut enrobé d'aluminium
	détergents anioniques	0,5 l	verre *	
	composés organo-halogénés volatils	flacon spécial fourni par le laboratoire d'analyses	verre	capsule métallique sertie
	cyanures	100 ml	polyéthylène	polyéthylène
	chlore	100 ml (flacon rempli complètement)	polyéthylène ou verre	

* Ne pas laver le flacon à l'aide de détergent

6.2 Conditionnement des échantillons de sédiments, poissons et bryophytes

Origine de la pollution	Nature du prélèvement	Type d'analyse	Quantité ou volume d'échantillon nécessaire	Conditionnement
1 *	sédiments	analyse physico-chimique	1 l	flacon en polyéthylène de 1 l à large ouverture, bouchon vissé
6 *	sédiments	recherche de métaux	1 l	
2, 3 ou 4 *	sédiments	recherche de substances phytosanitaires, de PCB ou HAP	bocal de 1 l	bocal en verre, fermeture avec feuille d'aluminium (sans caoutchouc)
2, 3 ou 6 *	poissons	recherche de substances phytosanitaires, de PCB ou de métaux	en entier ou quantité nécessaire pour 50 g de muscles	congélation dans papier d'aluminium, transport dans emballage polystyrène garni de carboglace ou de glaçons
Eaux résiduelles industrielles diverses	poissons	recherche de cyanures	en entier ou à défaut quantité nécessaire pour 10 g à 20 g de branchies	
2 ou 6 *	bryophytes	recherche de substances phytosanitaires ou de métaux	environ 250 g de mousses essorées	sac en cellophane

Remarques

- Afin d'éviter toute contamination, les flacons utilisés sont des récipients à usage unique préalablement rincés plusieurs fois avec l'eau à échantillonner à l'exception de ceux contrôlés et fournis par le laboratoire d'analyses.
- L'emballage sera soigné de façon à éviter le bris des flacons en verre.
- La durée de transport vers le laboratoire devra être aussi courte que possible : 24 heures de préférence.

* Voir tableau page précédente sur le conditionnement des échantillons d'eaux.



6.3 Conservation des échantillons d'eaux, sédiments et bryophytes

	Technique de conservation
Cas général	Obscurité et à basse température (milieu réfrigéré entre 2 °C et 10 °C)
Cas particuliers *	Ajout d'agent(s) de préservation
Cyanures	Milieu alcalin pH > 11 (2 pastilles de soude pour 100 ml d'échantillon)
Chlore	2 ml d'iodure de potassium à 500 g/l pour 100 ml d'échantillon
Métaux	Milieu acide pH < 2 (1 ml d'acide nitrique** concentré pour 500 ml d'échantillon)

* Sur les échantillons constitués avec ajout d'agent(s) de conservation ne peut être réalisée que l'analyse spécifique.

** Produits dangereux, à utiliser avec précaution. En cas de brûlure il est nécessaire de laver à grande eau. L'emballage sera soigné de façon à éviter le bris des flacons en verre. La durée de transport vers le laboratoire devra être aussi courte que possible : 24 heures de préférence.

6.4 Acheminement des échantillons

Dans le cadre de l'exercice de la police de l'eau et des milieux aquatiques, les prélèvements sont réalisés par des agents commissionnés et assermentés qui ont pour mission de rechercher les infractions, de les constater, d'en rassembler les preuves et d'en identifier les auteurs.

Même si l'activité de contrôle fait l'objet d'une organisation stratégique dans le cadre du plan de contrôle départemental interservice « Eau & Nature » adopté par le préfet et validé par le (ou les) procureur(s) de la République, complété le cas échéant par un protocole d'accord préfet - parquet - Onema - ONCFS, leur intervention n'est pas toujours programmée en cas d'évènement fortuit, comme c'est le cas pour les actions de surveillance de l'état de l'eau et des milieux aquatiques (art. L. 212-2-2).

En conséquence, **la soudaineté et le caractère non prévisible d'une telle intervention peuvent rendre difficile le maintien de la chaîne du froid pour les échantillons** (non disponibilité d'enceinte réfrigérée, difficulté d'accès au lieu du prélèvement) **et le respect des délais préétablis**, pour l'acheminement des échantillons au laboratoire d'analyses (augmentation des délais de transport lorsque les échantillons sont prélevés en fin de semaine ou lorsqu'il est nécessaire de s'adresser à un laboratoire spécialisé éloigné).

En règle générale l'agent préleveur doit choisir le mode de transport le plus rapide pour réduire les délais de transmission des échantillons au laboratoire d'analyses. Toutefois, lorsque les conditions de transport (conservation, durée) ne permettent pas d'y répondre, des réactions physiques, chimiques ou biologiques peuvent avoir lieu au sein de l'échantillon. Dans ce cas et à l'exception de quelques substances (apparition potentielle de nitrites due au processus de dénitrification), la concentration des éléments suspectés est susceptible de diminuer, due aux pertes :

- par volatilisation (composés chlorés, cyanures, sulfures, etc.) ;
- par transformation sous l'action bactérienne (matière biodégradable) ;
- par adsorption sur les parois des récipients (éléments minéraux ou organiques à l'état de traces).

La perte quantitative en éléments suspectés, due à des conditions de transport (conservation, durée) non satisfaisantes, n'a pour conséquence que d'affaiblir le rapport de la preuve des faits susceptibles de caractériser une infraction pénale, mais ne remet pas en cause l'interprétation qui peut être faite des résultats physico-chimiques du laboratoire.



Fiche contrôle « Rejets - pollution »





Fiche contrôle « Rejets - pollutions »

Département Commune Lieu-dit
Date Heure de début Heure de fin
Localisation GPS (WGS84) X : Y :

TYPE DE CONTRÔLE	AGENT(S) CONTROLEUR(S)
------------------	------------------------

Partiel Complet Nom(s) agent(s) référent(s)
 Programmé Flagrance - Signalement

Inopiné Annoncé
 Contrôle respect des prescriptions
 Contrôle de suites administratives Service(s) associé(s)

Contrôle de suites judiciaires
 Contrôle multithématique masse d'eau BE et TBE
Date Nombre d'agents présents

Heure du signalement

MILIEU(X) CONCERNE(S)

Masse d'eau : inscrire le code

Nature du/des milieux : cocher le(s) milieu(x) concerné(s) avec nom et détail(s) éventuel(s)

Cours d'eau Plan d'eau - Mare Zone humide - inondable
 Canal Fossé(s) Eaux souterraines
 Zones urbaines Zone maritime Autre à préciser

Espèces piscicoles dominantes

SITUATION REGLEMENTAIRE

Nature Référence CASCADE Date de l'acte

Déclaration (D)
 Autorisation (A)
 Hors nomenclature
 Autre à préciser

CONTRÔLE / MIS EN CAUSE

Présent lors du contrôle
Nom, prénom/ Adresse

Tél/ Télécopie/
E-mail/ Code Postal
 Mis en cause Adresse

Nom, prénom/raison sociale

Tél/ Télécopie/ Code Postal
E-mail/ N° Kbis (ou SIREN ou SIRET)

Type d'utilisateur

Particulier Agriculteur
 Collectivité Entreprise

Catégorie d'utilisateur

Propriétaire Exploitant
 Maître Maître d'œuvre
d'ouvrage

Type(s) d'usage(s) :

RESULTAT DU CONTRÔLE	SUITE O.N.E.M.A	DESTINATAIRE(S)
----------------------	-----------------	-----------------

Conforme Aucune suite D.D.T.M
 Non conforme Rappel Procureur
 Procès verbal Autre à préciser
 Timbre amende
 Rapport de constatation
 Lettre de transmission

CARACTERISATION TECHNIQUE

cocher les données relevées

<input type="checkbox"/> Type de pollution <input type="checkbox"/> Mécanique <input type="checkbox"/> Thermique <input type="checkbox"/> Organique <input type="checkbox"/> Toxique <input type="checkbox"/> Déchets solides <input type="checkbox"/> Autre à préciser	<input type="checkbox"/> Caractéristique de la pollution <input type="checkbox"/> Chronique <input type="checkbox"/> Non chronique Précisez les circonstances de l'événement:	<input type="checkbox"/> Enjeu périmètre de captage <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> ne sais pas Si oui préciser <input type="checkbox"/> Eloigné <input type="checkbox"/> Rapproché <input type="checkbox"/> Immédiat
<input type="checkbox"/> Débit du rejet (m3/h) <input type="checkbox"/> Volume du rejet (m3) <input type="checkbox"/> Mesuré () <input type="checkbox"/> Estimé ()	<input type="checkbox"/> Traitement préalable au rejet <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Si oui précisez	Nature de l'activité / produits rejetés
Nombre de points de rejets Nombre de rejets polluants Localisation du/des points de rejet polluants : points GPS (WGS 84) et photos X1 X2 X3 X4 X5 <u>Appréciation de l'étendue de la pollution</u> <input type="checkbox"/> Linéaire (en mètre) <input type="checkbox"/> Surface (en m ²) <input type="checkbox"/> Mesuré <input type="checkbox"/> Mesurée <input type="checkbox"/> Estimé <input type="checkbox"/> Estimée		
Prélèvements associés : photos et saisie GPS par prélèvement		
<input type="checkbox"/> Mesures physico-chimiques Paramètre(s) et valeur(s) X Y		
<input type="checkbox"/> Eaux dans effluents Nombre, numéros des échantillons et description X Y		
<input type="checkbox"/> Eaux dans le milieu Nombre, numéros des échantillons et description X Y		
<input type="checkbox"/> Sédiments Nombre, numéros des échantillons et description X Y		
<input type="checkbox"/> Autres prélèvements à préciser Nombre, numéros des échantillons et description X Y		



CARACTERISATION DES INFRACTIONS

Cocher les infractions relevées

Rubriques nomenclatures	Commentaires
<input type="checkbox"/> Rejets soumis à déclaration Préciser la/les rubriques visées <input type="checkbox"/> Rejets soumis à autorisation Préciser la/les rubriques visées <input type="checkbox"/> Autres rubriques visées (à préciser)	Lien vers fiches thématiques correspondantes
Délits	Commentaires
<input type="checkbox"/> L.216-6 ; Pollution "loi eau" <input type="checkbox"/> L.216-8 ; Défaut d'autorisation <input type="checkbox"/> L.432-2 ; Pollution "loi pêche"	
Contraventions	Commentaires
<input type="checkbox"/> R.216-8 ; Rejet agricole direct <input type="checkbox"/> R.216-12 ; Défaut de déclaration ou non respect des prescriptions	

CONTROLE DES PRESCRIPTIONS GENERALES (A/D)

Cocher les critères contrôlés / Indiquer les valeurs fixées / Conformité (oui-non)

Libre accès au contrôleur

oui

non

<input type="checkbox"/> Débit maximal A/D (m3/h) <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Valeur fixée	<input type="checkbox"/> Volume journalier A/D (m3/j) <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Valeur fixée	<input type="checkbox"/> Débit moyen inter annuel du cours d'eau (m3/h)
---	---	---

CONTROLE DES PRESCRIPTIONS DU DOSSIER

Cocher les critères figurant dans le dossier ou les préciser manuellement /

Indiquer les valeurs fixées / Conformité (oui-non)

<input type="checkbox"/> Normes de rejet <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Valeurs fixées
Autres prescriptions à contrôler (les préciser manuellement)

AUTRES PRESCRIPTIONS

<input type="checkbox"/> Périodes de rejets <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Préciser	<input type="checkbox"/> Restriction usage de l'eau <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Préciser
Autres prescriptions à contrôler (les préciser manuellement)	

CONTROLE DES SUITES ADMINISTRATIVES OU JUDICIAIRES

Pollution(s) antérieure(s) oui non Date(s)

Non conformités relevées au dernier contrôle (à préciser)

<input type="checkbox"/> Remise en état des lieux <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> partielle	<input type="checkbox"/> Réaménagement <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> partiel
<input type="checkbox"/> Arrêt de l'activité <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> partiel	<input type="checkbox"/> Cessation de l'infraction <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> partielle
<input type="checkbox"/> Autres prescriptions administratives ou judiciaires (à préciser manuellement)	

EFFETS SUR LE(S) MILIEU(X)

Aspects physico-chimiques					
Points de prélèvement n°					
Distance au point de rejet					
Date/heure					
Aspect de l'eau					
Odeur					
Température (°C)					
pH					
Conductivité en $\mu S/cm$ (°C)					
Bassin versant <input type="checkbox"/> calcaire <input type="checkbox"/> granitique <input type="checkbox"/> autre					
Oxygène dissous (mg/l)					
Sels ammoniacaux (NH_4^+) ¹					
Nitrites (NO_2^-) ¹					
Chlore (Cl_2) ¹					
Cyanures (CN^-) ¹					
Chlorures (Cl^-) ¹					
Sulfates (SO_4^{2-}) ¹					
Débit en m^3/s du cours d'eau <input type="checkbox"/> crue <input type="checkbox"/> étiage <input type="checkbox"/> eaux moyennes					
Rythme d'écoulement (effluent)					

¹ préciser par point de prélèvement : naïf, traces, forte présence, abondants.



Largeur cours d'eau (m)					
Hauteur d'eau (m)					
Vitesse du courant (m/s)					
Nature du fond (galets, sable, limon, argile, vase)					
Colmatage des supports	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non

Pour l'évaluation du débit et de la vitesse, l'agent préleveur pourra utilement s'appuyer sur le document « Guide technique pour le contrôle des débits réglementaires - application de l'article L 214-18 du code de l'environnement - Cemagref/ONEMA année 2011 ».

Éléments toxiques suspectés

- cyanures chlore
- métaux aluminium cadmium chrome cuivre fer
 mercure nickel plomb zinc
- produits organiques de synthèse : substances phytosanitaires (préciser le produit incriminé) :
- autres produits :

Aspects biologiques

<input type="checkbox"/> Présence d'algues, bactéries, champignons	<input type="checkbox"/> Effets sur la flore Description	<input type="checkbox"/> Effets sur la faune Description	photos <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
--	---	---	--

Autre(s) source(s) de pollution suspectée(s)

Situation en amont

Nature et importance des sources de pollution existant éventuellement à l'amont :

Situation en aval

Autres déversements possibles dans le secteur concerné par la pollution :

ECHANTILLONS DESTINES AU LABORATOIRE

- nombre et nature (eaux sédiments poissons à préciser) :
- échantillons supplémentaires stabilisés : oui non
- identification (cachet) :
- mode de conservation :
- conditionnement : verre polyéthylène
- quantité d'échantillon par point de prélèvement :
- date d'envoi au laboratoire :



CROQUIS DES LIEUX ET REPERAGE DES POINTS DE PRELEVEMENT

Sur le croquis réalisé de manière simple apparaîtront clairement le cours d'eau pollué, ses affluents dans le secteur étudié, le ou les point(s) de rejet sauf cas particuliers (préciser s'il s'agit du rejet pur ou dilué avec le milieu récepteur), les autres points de prélèvement, le sens du courant. Pourra être joint en complément un extrait de carte en indiquant l'échelle.

COMMENTAIRES

À, le

Signature

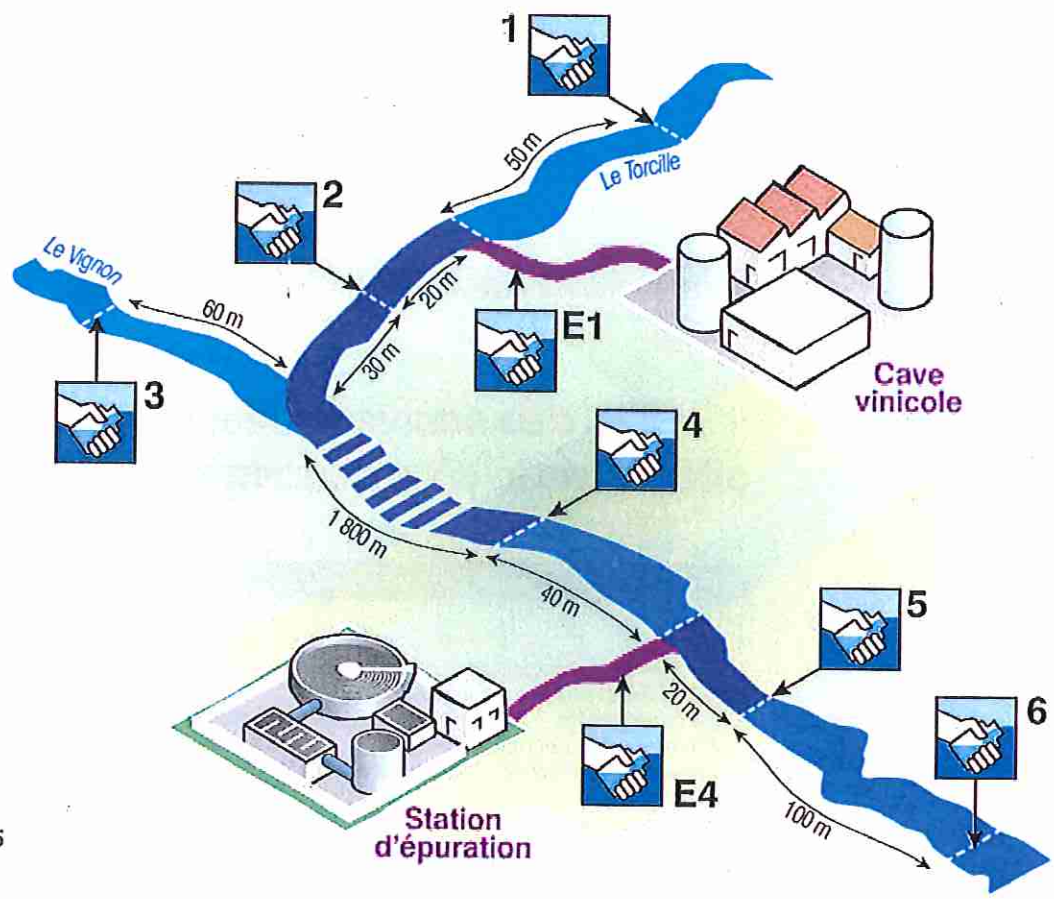


Illustration point 5
Exemple

Nombre d'échantillons

Règles de numérotation des échantillons

Il est recueilli deux échantillons à chaque point de prélèvement.

Chaque échantillon est identifié par un numéro ; il sera adopté une numérotation continue et constante d'amont en aval pour le même cours d'eau.

Les effluents seront identifiés par la lettre E affectée du numéro du point de prélèvement immédiatement en amont, par exemple dans le cas le plus général où il n'y a qu'un seul point de déversement :

- 1 - E1 - 2 - 3 - etc.

S'il y a deux points de déversement :

- 1 - E1 - 2 - 3 - E3 - 4 - 5 etc.
- ou 1 - E1 - 2 - 3 - 4 - E4 - 5 - 6 etc.

Le n° 1 étant le prélèvement à l'amont du point de déversement, le n° E1 l'effluent, le n° 2 le premier prélèvement à l'aval du point de déversement, le n° 3 le deuxième prélèvement à l'aval du point de déversement, une fois le mélange réalisé, etc.

Analyses physico-chimiques et biologiques



8.1 Liste des analyses de laboratoire effectuées le plus couramment dans les eaux

Paramètres physiques, indices globaux et composés minéraux majeurs

pH	Hydroxyle > basicité	Acidité
Conductivité	Carbonate > basicité	Calcium
MES (matières en suspension)	Hydrogénocarbonate (bicarbonate)	Sodium
MVS (matières volatiles en suspension)	Chlorure	Potassium
Essai de putrescibilité	Fluorure	Ammonium
DCO (demande chimique en oxygène)	Nitrate	
Oxygène cédé par le permanganate de potassium (Oxydabilité)	Nitrite	
Carbone organique, glucides	Orthophosphate	
Azote organique (ou azote Kjeldahl)	Sulfate	
Sulfure (hydrogène sulfuré ou sulfure)		
Agents de surface anioniques (détergents anioniques)		
Substances extractibles au chloroforme (lipides)		
Indice hydrocarbures		

Composés minéraux traces

(Aluminium)	Chrome	(Fer)	Nickel	Vanadium
Argent	Cobalt	Manganèse	Plomb	Zinc
Arsenic	Cuivre	Mercure	Sélénium	Chlore
Baryum	Étain	Molybdène	Titane	Cyanures
Cadmium				

→ Voir page suivante
Composés organiques traces
(produits phytosanitaires)

Composés organiques traces (autres que phytosanitaires)

Benzènes et aromatiques	Polychlorobiphényles (PCB)
Benzène	Congénères 28, 52, 101, 138, 153, 180
Chlorobenzènes	
Chlorotoluènes	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
Éthylbenzène	Benzo(a)pyrène, Benzo(k) fluoranthène, ...
Toluène	
Xylènes	
Composés organohalogénés volatils	Composés organostanniques
Chloroéthanes	DBT (cation dibutylétain)
Chloroéthylènes	MBT (cation monobutylétain)
Chloroforme	TBT (cation tributylétain), ...



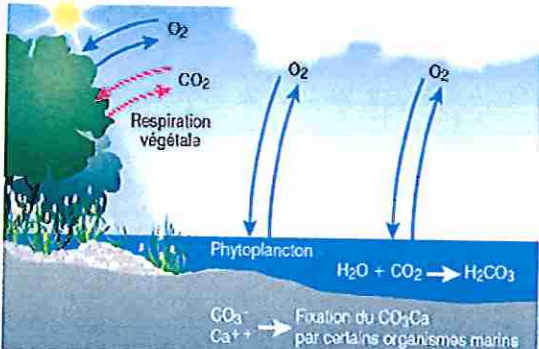
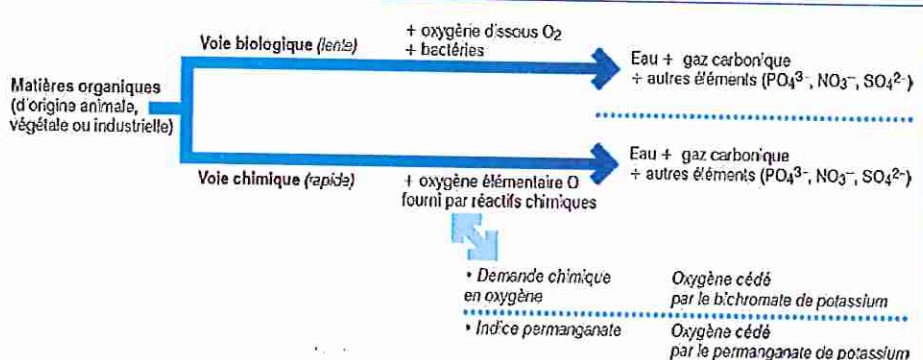
Composés organiques traces (produits phytosanitaires)					
Composés organo-phosphorés		(action)	Composés organo-phosphorés		(action)
Azinphos ethyl		(I, A)	Malathion		(I, A)
Azinphos methyl		(I, A)	Méthidathion		(I, A)
Bromophos ethyl		(I, A)	Mévinphos		(I, A)
Bromophos methyl		(I)	Parathion ethyl		(I, A)
Carbophénouthion		(I, A)	Parathion methyl		(I, A)
Chlorfenvinphos		(I, A)	Phosalone		(I, A)
Chlorpyrifos ethyl		(I)	Pyrimiphos-ethyl		(I)
Chlorpyrifos methyl		(I)	Pyrimiphos-methyl		(I)
Diazinon		(I, A)	Propétamphos		(I, A)
Dichlofention		(I)	Quinalphos		(I, A)
Dichlorvos		(I, A)	Tétrachlorvinphos		(I)
Diméthoate		(I, A)	Thiométon		(I)
Fénitrothion		(I)	Triazophos		(I, A)
Fenthion		(I)	Trichlorfon		(I)
Urées substituées			Urées substituées		
Chlorotoluron		H	Méthabenzthiazuron		H
Diuron		H	Métobromuron		H
Isoproturon		H	Métoxuron		H
Linuron		H	Monolinuron		H
Composés organo-chlorés			Composés organo-organoazotés (triazines)		
Aldrine		(I)	Amétryne		H
Chlordane (a, g)		(I)	Atrazine		H
DDE op' et pp'		(I)	Cyanazine		H
DDT op' et pp'		(I)	Desméthryne		H
Dieldrine		(I)	Hexazinone		H
Endosulfan (a et b)		(I, A)	Prométryne		H
Endrine		(I)	Propazine		H
HCB		(F)	Sébutylazine		H
HCH (a, b, g, d)		(I)	Simazine		H
Heptachlore		(I)	Terbuméton		H
Heptachlore époxyde		(I)	Terbutylazine		H
Méthoxychlore		(I)			
Pyréthroïdes de synthèse			Composés acides (phytohormones de synthèse)		
Alphaméthrine		(I)	2,4 D		(H)
Bétacyfluthrine		(I)	2,4 DB		(H)
Cyperméthrine		(I)	2,4,5 T		(H)
Deltaméthrine		(I)	Dicamba		(H)
Esfenvalérate		(I)	Dichlorprop (2,4 DP)		(H)
Fenpropathrine		(I, A)	Fénoprop (2,4 TP)		(H)
Fenvalérate		(I, A)	MCPA		(H)
Permethrine		(I)	MCPB		(H)
Téfluthrine		(I)	Mécoprop (MCP)		(H)
Carbamate			Composés nitrés		
Pyrimicarb		(I)	Dinoterbe (phénol)		(H)
Phénols					
Pentachlorophénol (chloré)		(F, I)			
Autres					
Aclonifen (diphényléther, chloré, nitré)		(H)	Glyphosate composé et son métabolite AMPA		(H)
Alachlore (chloroacétamide)		(H)	Métazaclore (chloroacétamide)		(H)
Benfluraline (dinitroaniline)		(H)	Métolachlore (chloroacétamide)		(H)
Bentazone (diazine, azoté)		(H)	Oxadiazon (Oxidiazole)		(H)
Bromopropylate (carbinol, bromé)		(A)	Pendiméthaline (Toluidine, nitré)		(H)
Bromoxynil (benzotrile, phénol, bromé)		(H)	Roténone (composé hétérocycle)		(I)
Captafol (phthalimide)		(F)	Tétradifon (bridged diphenyl)		(A)
Chlorothalonil (dérivé benzène chloré)		(F)	Triadiméfon (triazole, azoté, chloré)		(F)
Diflufénicanil (composé fluoré)		(H)	Trifluraline (Toluidine, fluoré)		(H)
			Vinclozoline (composé chloré, azoté)		(H)

Certains de ces produits sont aussi dosés dans les matrices complexes (sol, sédiment, poisson). Consulter le laboratoire d'analyses.

(H) : herbicide
(I) : insecticide
(A) : acaricide
(F) : fongicide

8.2 Paramètres physiques, indices globaux et composés minéraux majeurs

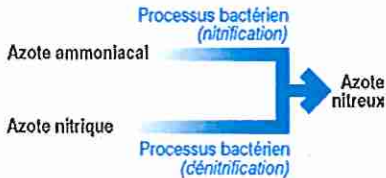
symbole, définition, signification

Paramètre	Symbole ou abrégé.	Définition et signification	Remarques
Potentiel hydrogène	pH	Grandeur utilisée pour caractériser le degré d'acidité ou de basicité d'une eau.	[voir chap. 4]
Conductivité		Aptitude d'une eau à conduire le courant électrique. La conductivité est étroitement liée à la teneur en sels dissous de l'eau (salinité).	[voir chap. 4]
Matières en suspension	MES	Matières solides séparées par filtration sur disque filtrant en fibres de verre ou par centrifugation et séchées à 105 °C.	Terme désignant les matières en suspension, décantables ou non.
Matières volatiles en suspension	MVS	Perte de masse des MES due à leur calcination dans un four à 550 °C. Cette perte correspond à la fraction organique des MES ; la masse restante représente la fraction minérale.	Terme impropre utilisé couramment. Le résultat des MVS est généralement exprimé en % de la masse des MES.
Essai de putrescibilité		Essai non normalisé permettant de mettre en évidence le pouvoir réducteur des matières organiques, c'est-à-dire l'aptitude à fixer l'oxygène, par la décoloration d'une solution de bleu de méthylène.	Durée maximale de l'essai : 5 jours (essai positif en X heures ou en X jours ou essai négatif).
		<p>Bleu de méthylène décoloré traduit un essai de putrescibilité positif. \longleftrightarrow Consommation de l'oxygène dissous du milieu (disparition des nitrates le cas échéant).</p>	
Élément oxygène	O	 <p>Principaux échanges d'oxygène dans la nature CO_3Ca : carbonate de calcium O_2 : oxygène moléculaire CO_2 : anhydride carbonique H_2O : eau Ca : calcium</p>	
Élément oxygène	O	 <p>Matières organiques (d'origine animale, végétale ou industrielle)</p> <p>Voe biologique (lente) + oxygène dissous O_2 + bactéries</p> <p>Voe chimique (rapide) + oxygène élémentaire O fourni par réactifs chimiques</p> <p>Eau + gaz carbonique + autres éléments (PO_4^{3-}, NO_3^-, SO_4^{2-})</p> <p>• Demande chimique en oxygène Oxygène cédé par le bichromate de potassium • Indice permanganate Oxygène cédé par le permanganate de potassium</p>	



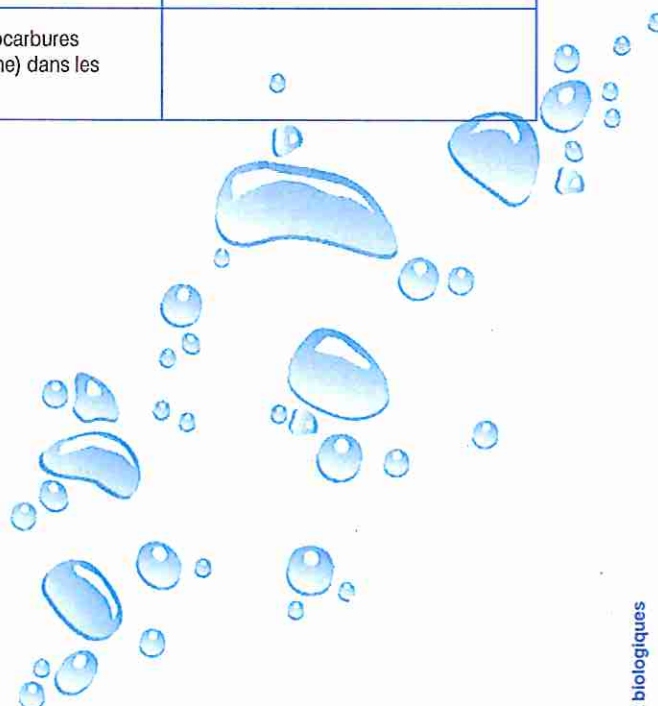
Paramètre	Symbole ou abrégé.	Définition et signification	Remarques
Demande chimique en oxygène	DCO	Quantité d'oxygène consommée par voie chimique dans les conditions de l'essai pour assurer la dégradation des matières réductrices. Par simplification, on admettra que la DCO est une mesure représentative de la charge organique d'une eau.	La mesure de la DCO est effectuée sur les eaux résiduaires (effluents, aval immédiat des rejets). Elle n'est pas applicable aux eaux naturelles ou faiblement polluées (manque de précision).
Indice permanganate		Même principe que celui correspondant à la DCO mais dégradation moins forte des matières réductrices.	La mesure de l'indice permanganate remplace celle de la DCO sur les eaux de rivière (amont et aval des rejets).
Carbone organique	C	Carbone présent dans les matières organiques dissoutes et en suspension dans l'eau.	Le carbone organique permet une bonne évaluation des substances organiques présentes dans l'eau (peut remplacer la DCO et l'indice permanganate).
Glucides		Les glucides (ou sucres ou hydrates de carbone) sont des composés organiques carbonés répondant à la formule $C_n(H_2O)_n$. Ils peuvent être simples (oses tels que glucose, fructose, etc.) ou complexes (osides tels que amidon, glycogène, cellulose, etc.).	La mesure des glucides permet une caractérisation plus fine de la matière organique ; elle est un indicateur utile pour la typologie des pollutions (exemple : sucrerie, confiserie, fabrication jus de fruits, etc.).
Azote organique	N	Azote présent dans les matières organiques dissoutes et en suspension dans l'eau.	L'azote organique permet une bonne évaluation des substances organiques azotées présentes dans l'eau ; utile pour la typologie des pollutions (exemple : jus d'ensilage, purin, etc.).
Azote Kjeldahl	Nk	Somme de l'azote sous forme organique et ammoniacale exprimée en N *.	
Protéines		Constituants azotés extrêmement importants des cellules vivantes. Ce sont des macromolécules formées par la condensation d'un grand nombre d'unités d'acides aminés (de 50 à plusieurs milliers).	La mesure des protéines permet une caractérisation plus fine de la matière organique. Elle est un indicateur utile pour la typologie des pollutions.
Sulfure et hydrogène sulfuré	S^{2-} et H_2S	Les sulfures sont susceptibles d'être rencontrés dans les eaux usées industrielles (usines chimiques, papeteries, raffineries, etc.) ou urbaines (issus par exemple de la décomposition de la matière organique). Dans l'eau, les sulfures peuvent se présenter, en milieu acide, sous la forme de gaz (gaz incolore, d'odeur très caractéristique d'œuf pourri : hydrogène sulfuré) ou en milieu alcalin sous la forme de sel de l'hydrogène sulfuré. La présence d'hydrogène sulfuré indique un milieu dépourvu d'oxygène dissous.	
Hydroxyle (hydroxydes)	OH^-	Les hydroxydes n'existent pas à l'état naturel. Ils proviennent de rejets industriels contenant de la soude, de l'ammoniaque, de la potasse, etc.	
Carbonate	CO_3^{2-}	Les carbonates peuvent exister à l'état naturel (formés temporairement sous l'action de la photosynthèse dans des milieux riches en algues) ou provenir de rejets industriels.	Les carbonates et hydroxydes ne sont présents dans l'eau que pour des valeurs de pH supérieures à 8,4.

* Azote global = somme de l'azote Kjeldahl + nitrite en N + nitrate en N.

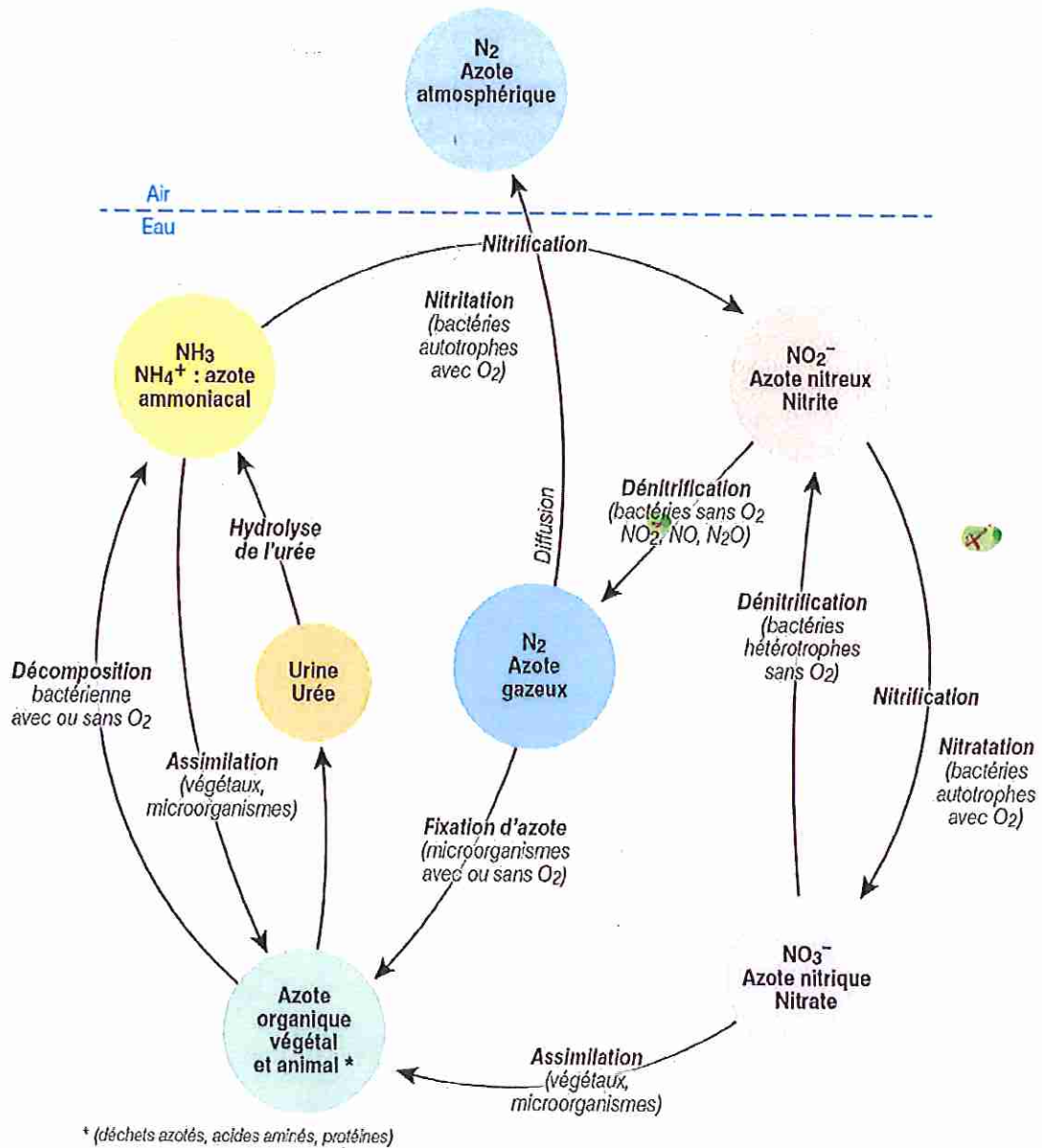
Paramètre	Symbole ou abrégé.	Définition et signification	Remarques
Hydrogénocarbonate	HCO_3^-	Élément en solution dans l'eau sous forme d'hydrogénocarbonate (ou bicarbonate) de calcium. Les hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes représentent l'alcalinité totale d'une eau. La présence de ces éléments est liée à un certain nombre de facteurs (teneur en gaz carbonique, température, minéralisation de l'eau, etc.).	
Chlorure	Cl^-	Les chlorures existent dans les eaux courantes à des concentrations variables selon la situation géographique (par exemple : proximité de mer, présence de roches salines dans le bassin versant). Ils sont également d'origine urbaine ou industrielle. Ils ne participent pour ainsi dire pas aux processus biologiques (décomposition de la matière organique, etc.) et ne subissent donc aucun changement. De ce fait, ils peuvent être considérés comme un traceur potentiel de pollution.	Si la teneur en chlorures augmente la conductivité augmente.
Sulfate	SO_4^{2-}	Les sulfates existent dans les eaux courantes à des concentrations variables selon la nature géologique des terrains traversés (dissolution du gypse). Une augmentation de la teneur en sulfates peut être considérée comme un indice de pollution industrielle.	Si la teneur en sulfates augmente la conductivité augmente.
Nitrite	NO_2^-	<p>Forme oxygénée de l'azote, peu stable, qui s'insère dans le cycle de l'azote entre l'azote ammoniacal (NH_4^+) et l'azote nitrique (NO_3^-). On peut trouver des nitrites par défaut d'oxygène dissous dans le milieu.</p>  <p>Le diagramme illustre le cycle de l'azote. À gauche, deux entrées sont indiquées : 'Azote ammoniacal' et 'Azote nitrique'. Des flèches bleues convergent vers une boîte centrale 'Azote nitreux'. Une flèche bleue pointe de la boîte 'Azote nitreux' vers la droite. Au-dessus de la flèche d'entrée, il est écrit 'Processus bactérien (nitrification)'. En dessous de la flèche de sortie, il est écrit 'Processus bactérien (dénitrification)'.</p> <p>La présence de nitrites d'origine naturelle est rare. Une eau renfermant des nitrites peut être considérée comme suspecte voire toxique pour les poissons.</p>	
Nitrate	NO_3^-	Forme la plus oxygénée de l'azote. À de fortes concentrations, la présence de nitrates indique une pollution d'origine industrielle ou due à un lessivage de terrains de culture.	Un excès de nitrates peut entraîner une prolifération anormale d'algues.
Orthophosphate	PO_4^{3-}	Il représente la forme minérale prépondérante du phosphore dans l'eau. Il provient de la dégradation de la matière organique ou des polyphosphates (utilisés pour le traitement des eaux ou comme adjuvants actifs dans les détergents). Sa présence dans l'eau est également liée à l'utilisation des engrais, etc.	Un excès de phosphates peut entraîner une prolifération anormale d'algues.
Calcium	Ca^{2+}	Élément généralement dominant des terrains sédimentaires carbonatés. Il existe surtout sous forme combinée aux hydrogénocarbonates dans les eaux naturelles et en quantité nettement moindre sous forme de sulfate et chlorure. Les apports de calcium peuvent provenir de rejets industriels (exemple : neutralisation par de la chaux).	Le terme « dureté totale » désigne en général la somme de calcium + magnésium. Le magnésium est présent dans l'eau à des teneurs très faibles sauf pour la région méditerranéenne.
Sodium	Na^+	Constituant mineur de l'eau en référence au calcium, essentiellement sous forme de chlorure de sodium. Des teneurs anormalement élevées peuvent être dues à la situation géographique ou à des apports industriels ou urbains.	



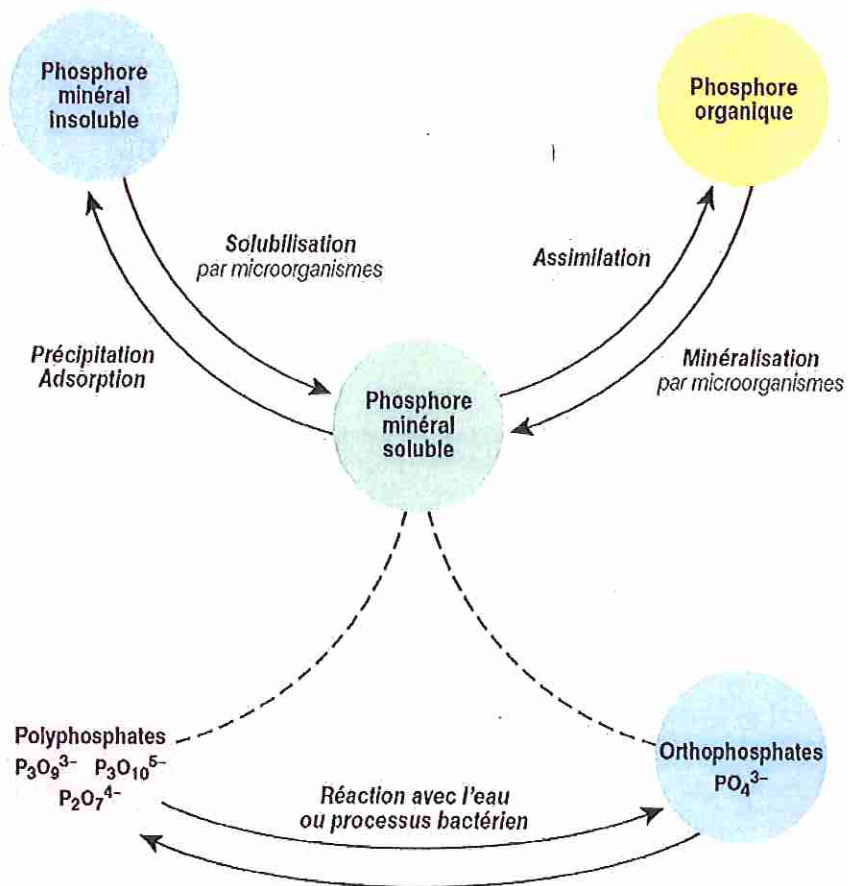
Paramètre	Symbole ou abrégé.	Définition et signification	Remarques
Potassium	K^+	Élément naturel de l'eau, de concentration très inférieure à celle du sodium (les sels de potassium sont adsorbés dans le sol). Le potassium est un traceur de la pollution organique (effluents d'industries agro-alimentaires, d'élevage) et minérale (engrais).	
Ammonium	NH_4^+	Dans le processus de minéralisation de la matière organique, première forme d'apparition de l'azote minéral pouvant évoluer sous forme d'azote nitreux et nitrique (en présence de bactéries). L'origine des sels ammoniacaux est due essentiellement aux déversements d'effluents d'élevage, d'eaux usées urbaines ou industrielles et au lessivage des terrains de culture.	
Agents de surface		Les agents de surface (appelés aussi détergents ou tensioactifs) anioniques ont la propriété de former avec le bleu de méthylène des composés solubles dans le chloroforme. Comme d'autres substances peuvent aussi réagir avec le bleu de méthylène, il est préférable de qualifier les produits détectés de « substances actives vis-à-vis du bleu de méthylène (SABM) ».	Les détergents anioniques sont les détergents les plus employés et sont utilisés notamment pour les usages ménagers et industriels.
Substances extractibles au chloroforme (lipides)		Sous ce terme on désigne habituellement les « graisses ». (lipides : composés relativement simples comme les acides gras et les esters de glycérol de ces acides gras mais aussi de substances plus complexes comme les stérols, les terpènes et les cires. Dans les effluents, les unités de base restent les acides gras et les esters d'acides gras en majeure partie).	Substances recherchées en particulier dans les effluents d'industries agro-alimentaires (graisses d'origine animale ou végétale).
Indice hydrocarbures		Sous ce terme, on désigne la quantité d'hydrocarbures (produits constitués de carbone et d'hydrogène) dans les eaux, obtenue selon la méthode normalisée.	



Cycle simplifié de l'azote

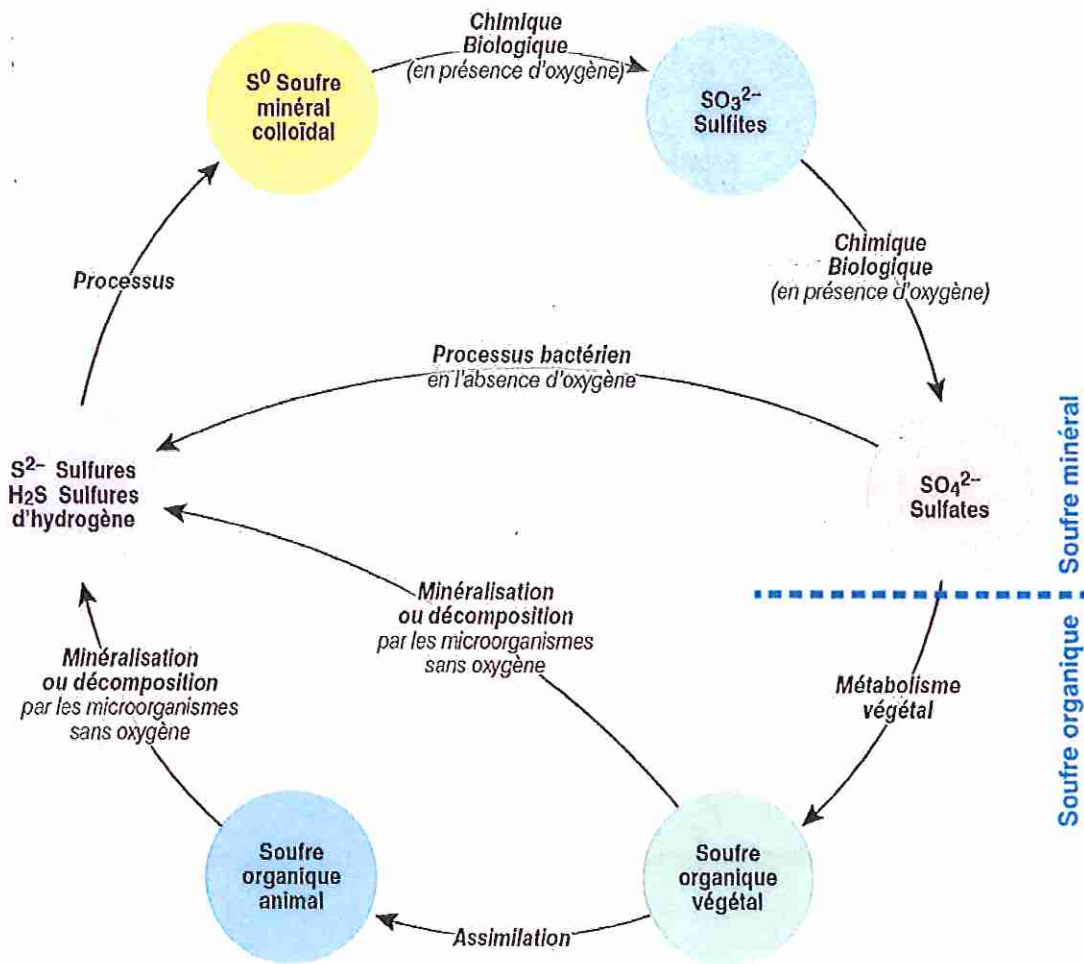


Cycle simplifié du phosphore

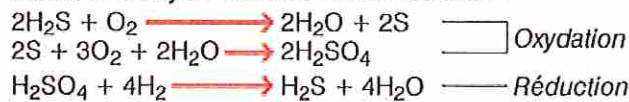


La transformation du phosphore par voie microbienne ne nécessite pas la présence d'oxygène.

Cycle simplifié du soufre



Réaction d'oxydo-réduction avec bactéries :





8.3 Micropolluants

Sont rassemblées sous le terme « micropolluants », les substances toxiques ou indésirables à l'état de traces usuellement scindées en deux groupes :

- les composés minéraux traces ;
- les composés organiques traces.

Les composés minéraux traces (les métaux en particulier) peuvent être présents à l'état naturel, à des concentrations variables en fonction de la géochimie des roches. Par contre, le chlore et les cyanures (éléments non métalliques) en sont absents.

Les composés organiques traces, principalement des molécules de synthèse plus ou moins complexes, sont utilisés par l'homme dans tous les secteurs d'activité (agricole, industriel, public, domestique). Parmi ces substances, les produits phytosanitaires (autrement nommés pesticides ¹, produits de protection des plantes) occupent une place particulièrement importante en raison de leur effet écotoxicologique et des quantités importantes utilisées chaque année. La France est le quatrième pays consommateur de pesticides au monde après le Brésil, les États-Unis et le Japon. C'est le premier utilisateur européen avec quelques trois cents matières actives autorisées qui entrent dans la composition des spécialités commerciales homologuées.

→ **les substances phytosanitaires** sont classées, par les producteurs et les utilisateurs, selon la nature des organismes alors considérés comme nuisibles.

Substance utilisée	...pour détruire
Herbicides	les végétaux indésirables
Fongicides organiques	les champignons parasites
Insecticides	les insectes
Rodenticides	les rongeurs, avec comme sous-classe les raticides
Acaricides	les acariens, les araignées, etc.
Nématicides	les nématodes (petits vers qui pullulent dans le sol et qui s'attaquent aux racines des cultures)
Molluscicides	les mollusques notamment les escargots et les limaces

Les herbicides représentent 45 % de la consommation en 2004, les fongicides organiques 32 % et les insecticides 4 % [source UIPP] ².

Les analystes préfèrent classer les produits phytosanitaires d'après leurs structures chimiques. Ainsi on distingue les organo-chlorés, les organo-phosphorés, les organo-azotés (triazines), les urées substituées, les pyréthrinoides de synthèse, les phytohormones, etc. ³.

Certains produits phytosanitaires sont classés comme « substances toxiques » ou « substances dangereuses » par la législation française. La réglementation relative à la qualité des eaux se fonde sur les directives de la Communauté européenne ⁴. En ce qui concerne la qualité des eaux potables, la concentration maximale admissible est de 0,1 µg/l par substance individualisée (0,03 µg/l pour l'aldrine, le dieldrine, l'heptachlore et l'heptachlore-époxyde) et de 0,5 µg/l au total pour les pesticides (directive n° 98/83/CE).

La détection des micropolluants présents à des concentrations très faibles (de l'ordre du microgramme) fait appel à des techniques de micro-analyse élaborées, longues et coûteuses nécessitant au préalable un conditionnement spécifique des échantillons afin de minimiser tout risque de contamination de ces derniers ⁵.

1 - D'après Colas cité par Lamathe et al. [13]. « On appelle pesticide, toute substance naturelle ou synthétique qu'elle soit ou non mélangée à d'autres produits (support, adjuvant, tensio-actifs) utilisée :

- dans la lutte contre les vecteurs des maladies humaines et animales, à l'exclusion des médicaments ;
- pour la lutte contre les ennemis des plantes et des récoltes ;
- pour la protection des matériaux et produits stockés ou mis en œuvre ».

2 - Union des industries de la protection des plantes.

3 - Voir au chapitre 7 le tableau « Composés organiques traces (produits phytosanitaires) ».

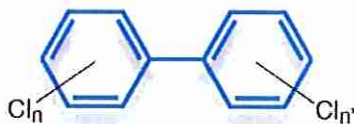
4 - Voir au chapitre 9 les valeurs seuils des substances prioritaires pour le respect du bon état chimique des eaux.

5 - Voir au chapitre 6 le tableau « Conditionnement des échantillons ».

Il est indispensable de préciser au laboratoire les produits incriminés d'autant plus que les substances phytosanitaires actuellement utilisées sont variées et leurs méthodes d'analyse différentes selon les produits recherchés.

→ **Les chlorobenzènes** sont des substances organiques chlorées susceptibles d'être présentes dans les effluents industriels. Leur recherche dans les eaux est effectuée selon une méthode européenne normalisée.

→ **Les PCB (polychlorobiphényles)** répondent principalement à la formule chimique générale. Ces corps très stables thermiquement sont utilisés essentiellement comme plastifiants, fluides caloporteurs dans les échangeurs de chaleur et isolants électriques.



Les sources de pollution par ces substances peuvent être leurs lieux de fabrication, la vidange d'un transformateur, la mise en déchet de condensateurs, la dégradation de matières plastiques notamment par incinération et entraînement dans l'air puis dans l'eau, etc.

Ce sont des composés présentant une certaine stabilité dans l'environnement. Ils présentent une toxicité aiguë vis à vis des poissons, s'accumulent dans les sédiments et se concentrent dans la chaîne alimentaire (poissons).

→ **Les hydrocarbures halogénés hautement volatils** recherchés actuellement comprennent le tétrachlorure de carbone, le chloroforme, les chloroéthanés, chloroéthylènes, chlorométhane, chlorobromoéthanés et bromoforme. Utilisés comme produits de base de synthèse, ils sont présents dans les effluents industriels et très largement utilisés dans des produits d'usage courant.

La recherche de ces substances dans les eaux a pour origine la nécessité d'un contrôle de la qualité des eaux destinées à la production d'eau potable.

La mise en œuvre du protocole d'analyse nécessite l'adoption de précautions scrupuleuses lors de l'échantillonnage *in situ* ⁶.

→ **Les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)** sont des composés organiques dont les sources de pollution sont essentiellement liées aux activités humaines (transport routier, transport du pétrole, effluents industriels, chauffage, etc.). Ils sont notamment synthétisés lors de combustions incomplètes de matières organiques.

Les HAP, en raison de leur faible solubilité dans l'eau, ont tendance à s'adsorber sur les particules en suspension. Très liposolubles, ils auraient tendance, après ingestion ou inhalation, à gagner les tissus riches en lipides, mais ils sont pris en charge par un système de biotransformation qui vise à les excréter hors de l'organisme. Toutefois certains de ces composés sont transformés en des métabolites très réactifs qui au bout d'un certains temps peuvent impacter la reproduction des poissons et favoriser l'apparition de tumeurs. La plupart des données font part, pour ces substances, d'un risque cancérigène.

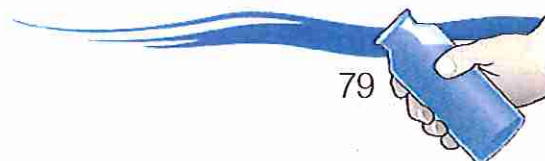
→ **Les composés organostanniques** (ou organo-étains) sont des produits industriels de synthèse utilisés pour les applications biocides (produits phytosanitaires, protection du bois et dans de nombreux produits domestiques) et non biocides (stabilisation des matières plastiques, etc.). Ils figurent sur la liste des polluants prioritaires de la Communauté européenne ⁷.

→ **Remarque**

Une analyse de substances phytosanitaires doit être justifiée par une enquête de terrain minutieuse et n'a de sens que dans la mesure où elle vient en confirmation de cette dernière.

⁶ - Voir chapitre 5 « Prélèvements ».

⁷ - voir chapitre 9.



8.4 Essais de toxicité

L'analyse chimique est un outil indispensable pour caractériser les composantes d'une eau naturelle ou d'un effluent. Néanmoins, certains polluants ne sont pas (ou très difficilement) identifiables et quantifiables dans l'eau (limite de sensibilité des appareils, recherche toujours partielle des corps présents dans une eau, etc.).

L'analyse chimique ne suffit pas toujours à elle seule pour juger des effets toxiques que les polluants provoquent sur la flore et la faune aquatiques. Les essais écotoxicologiques réalisés doivent donc aider à mettre en évidence les effets toxiques éventuels sur le milieu et permettre leur évaluation en fonction du critère de toxicité retenu.

Test « daphnies »

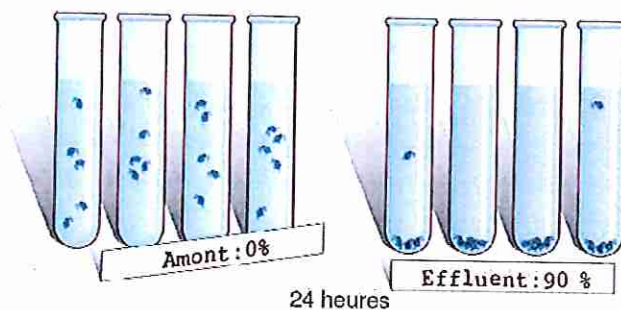
Il s'agit de la détermination de l'inhibition de la mobilité de *Daphnia magna*. C'est un essai de toxicité aiguë.

Mode opératoire [référence norme NF EN ISO 6341]

Les essais de toxicité sont réalisés dans des conditions standardisées :

- pour chaque échantillon (ou dilution) répartition dans quatre tubes à essai,
- 10 ml d'eau à analyser par tube,
- cinq daphnies par tube,
- obscurité totale et température à 20 °C pendant 24 heures.
- au bout de ce temps, dénombrement des daphnies immobiles ou incapables de se déplacer pendant au moins 15 secondes.

Le résultat est exprimé en pourcentage d'inhibition sur l'échantillon. Pour la daphnie, on ne parle pas de mort de l'organisme mais d'inhibition de tout mouvement.



→ Remarques

• Comme les effets toxiques d'une substance peuvent être variables selon les caractéristiques physico-chimiques générales d'une eau, les dilutions éventuelles sont faites avec l'eau du prélèvement en amont du rejet.

• Ces essais étant réalisés sur une période de temps très courte (24 heures), la mise en évidence de la toxicité implique une pollution déjà nettement marquée.

• Pour des pollutions chroniques, il serait nécessaire de faire appel à des tests de longue durée (trois semaines) qui sont beaucoup plus lourds à mettre en œuvre.

Test « photobactérium »

Il s'agit de la détermination de l'effet inhibiteur d'échantillons d'eau sur la luminescence de *Vibrio fischeri* (essai de bactéries luminescentes). Cette méthode utilise des bactéries lyophilisées.

Mode opératoire [référence norme NF EN ISO 11348-3]

Le critère suivi est la luminescence, mesurée après un temps de contact de 15 ou de 30 minutes. L'effet inhibiteur de l'échantillon d'eau peut être déterminé sous forme de valeurs de DMSE (dilution minimale sans effet) ou de valeurs de CE₂₀ et/ou de CE₅₀ au moyen d'une série de dilutions (CE est la concentration effective).

→ Remarque

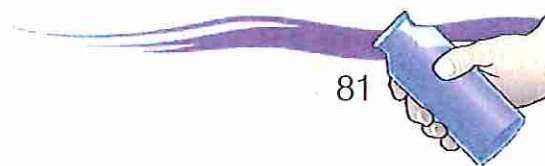
Pour des essais de toxicité se reporter à la liste des laboratoires agréés par le ministère chargé de l'Environnement

Bases d'interprétation des résultats d'analyses physico-chimiques

9.1 Valeurs guides des composantes physico-chimiques dans le milieu naturel

9.1.1 Eau : concentrations satisfaisantes pour le milieu aquatique (eaux douces)

Paramètres	Eaux minéralisées (régions de type calcaire)	Eaux peu minéralisées (régions à substrat acide)	Eaux salmonicoles (*1)		Eaux cyprinicoles (*1)		Concentrations satisfaisantes pour le milieu aquatique (eaux douces)
			G	I	G	I	
T (°C)				(*2)		(*2)	
pH (unité pH)	6,5 à 8,5	6,0 à 6,5		6 à 9		6 à 9	6,0 à 8,5
Conductivité à 25°C (µS/cm)	300 à 600 sauf terrain particulier	50 à 250					< 700 sauf terrain particulier
MES (concentrations moyennes)			< 25		< 25		< 25
Indice de putrescibilité	si indice de putrescibilité positif ⇒ milieu réducteur ⇒ absence d'oxygène dissous voire absence des formes oxygénées de l'azote						
DBO			< 3		< 6		< 4
DCO							< 30
Indice permanganate	< 4	< 8					< 8*
Carbone organique dissous COD	< 4	< 8					< 8*
Azote Kjeldahl N	paramètre effectué pour apprécier la quantité restante d'azote organique						
Oxygène dissous			> 7	> 6	> 5	> 4	> 6.0
Sulfure H ₂ S							ND
Carbonate CO ₃ ²⁻							< 5
Hydrogénocarbonates HCO ₃ ⁻	100 à 300	20 à 100					< 400
Chlorures Cl ⁻	3 à 20	2 à 5 sauf rivières bretonnes (20 à 30)					< 50
Sulfates SO ₄ ²⁻							< 100 sauf terrain gypseux
Nitrites NO ₂ ⁻			≤ 0,01		≤ 0,03		< 0,20
Nitrates NO ₃ ⁻							< 20
Orthophosphates PO ₄ ³⁻			≤ 0,2			≤ 0,4	< 0,30
Acidité H ⁺							≤ 0,01



Suite

Paramètres	Eaux minéralisées (régions de type calcaire)	Eaux peu minéralisées (régions à substrat acide)	Eaux salmonicoles (*1)		Eaux cyprinicoles (*1)		Concentrations satisfaisantes pour le milieu aquatique (eaux douces)
			G	I	G	I	
Calcium Ca ⁺⁺	40 à 100	5 à 30 - 40					150
Magnésium Mg ⁺⁺							5 à 10 sauf la région du Midi et quelques cours d'eau lorrains (10 à 30)
Sodium Na ⁺							< 30
Potassium K ⁺							< 10
Ammonium NH ₄ ⁺			< 0,04	< 1 (*3)	< 0,2	< 1 (*3)	< 0,30
Ammoniac NH ₃			< 0,005	< 0,025	< 0,005	< 0,025	
Fer total Fe							< 0,30
Manganèse Mn							< 0,10
Aluminium Al (µg/l)							< 100
Arsenic As (µg/l)							≤ 10 **
Cadmium Cd (µg/l)							≤ 0,5 **
Chrome hexavalent Cr ⁶⁺ (µg/l)							< 10
Chrome total Cr (µg/l)							≤ 10 **
Cuivre Cu (µg/l)			< 40 (*4)		< 40 (*4)		≤ 10 **
Mercuré Hg (µg/l)							≤ 0,2 **
Nickel Ni (µg/l)							≤ 10 **
Plomb Pb (µg/l)							≤ 10 **
Zinc Zn (µg/l)				≤ 300 (*5)		≤ 1 000 (*5)	≤ 70 **
Chlore résiduel total (mg/l HOCl)			< 0,005		< 0,005		ND
Cyanures libres en CN ⁻ (µg/l)							ND
Substances actives au bleu de méthylène (détergents anioniques en lauryl sulfates)							< 0,10
Pentachlorophénol (µg/l)							ND
Substances extractibles au chloroforme							< 10
Hydrocarbures totaux				(*6)		(*6)	< 0,5
Substances phytosanitaires (µg/l)							< 0,1

D'après P. LE PIMPEC, Cemagref.

* I : valeurs impératives ; G : valeurs guides.

• Les résultats de ce tableau sont exprimés en mg/l sauf précision. Expression : 1 mg/l = 1 000 µg/l.

• ND : non détecté.

* Toute valeur naturelle supérieure serait à rapprocher d'eaux de tourbières.

** Valeur du niveau de qualité 1 de la grille de qualité relative aux métaux dans l'eau (DIREN [14]).

(*1) : Tableau II de l'article D. 211-10 du Code de l'environnement - Qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons.

(*2) : les valeurs de ces paramètres sont prises en compte dans le cadre de la réglementation générale sur la lutte contre la pollution des eaux.

(*3) : Dans des conditions géographiques ou climatiques particulières et notamment dans le cas de températures d'eau basses et de dénitrification réduite, ou lorsqu'il peut être prouvé qu'il n'y a pas de conséquences nuisibles pour le développement équilibré des peuplements de poissons, des valeurs supérieures à 1 mg/l peuvent être fixées.

(*4) : Cuivre soluble pour dureté de l'eau de 100 mg/l de CaCO₃.

(*5) : Zinc total pour dureté de l'eau de 100 mg/l de CaCO₃.

(*6) : Les hydrocarbures d'origine pétrolière ne doivent pas être présents à des concentrations telles qu'ils forment un film visible à la surface de l'eau ou qu'ils déposent en couches sur le lit des cours d'eau et des lacs ou qu'ils communiquent aux poissons une saveur perceptible d'hydrocarbures ou qu'ils provoquent des effets nocifs chez les poissons.

9.1.2 Normes de qualité environnementales (NQE) pour les substances prioritaires et certains autres polluants

CMA : concentration maximale admissible. Les NQE sont exprimées en concentrations totales dans l'échantillon d'eau non filtré sauf dans le cas du cadmium, du plomb, du mercure et du nickel pour lesquels elles se rapportent à la phase dissoute (filtre 0,45 µm).

N°	Nom de la substance	NQE CMA ⁴ eaux de surface intérieures ^{1,3} µg/l	NQE CMA ⁴ autres eaux de surface ¹ µg/l	Koc ²	Valeurs seuils sur sédiments µg/kg ²
1	Alachlore	0,7	0,7	-	-
2	Antracène	0,4	0,4	15 800	34
3	Atrazine	2,0	2,0	-	-
4	Benzène	50	50	-	-
5	Diphényléthers bromés ⁵	sans objet	sans objet	556 800 à 1 590 000	6 pour le Pentabromo
6	Cadmium et ses composés (suivant les classes de dureté de l'eau) ⁶	≤ 0,45 (classe 1) 0,45 (classe 2) 0,6 (classe 3) 0,9 (classe 4) 1,5 (classe 5)	≤ 0,45 (classe 1) 0,45 (classe 2) 0,6 (classe 3) 0,9 (classe 4) 1,5 (classe 5)	-	bruit de fond
6 bis	Tétrachlorure de carbone ⁷	sans objet	sans objet	-	-
7	Chloroalcanes C10-13	1,4	1,4	199 526	1750
8	Chlorofenvinphos	0,3	0,3	479	0,7
9	Chlorpyrifos (éthylchlorpyrifos)	0,1	0,1	5 012	3
9 bis	Pesticides cyclodiènes Aldrine ⁷ Dieldrine ⁷ Endrine ⁷ Isodrine ⁷	sans objet	sans objet	- 48 500 14 125 11 420 105 682	- 10 3 1 11
9 ter	DDT total ^{7,8} para-para-DDT ⁷	sans objet sans objet	sans objet sans objet	152 000 152 000	83 600 33 400
10	1,2-Dichloroéthane	sans objet	sans objet	-	-
11	Dichlorométhane	sans objet	sans objet	-	-
12	Di(2-éthylhexyl) phtalate (DEHP)	sans objet	sans objet	165 000	4 720
13	Diuron	1,8	1,8	-	-
14	Endosulfan	0,01	0,004	6 770	0,7
15	Fluoranthène	1	1	41 700	83
16	Hexachlorobenzène	0,05	0,05	130 000	85
17	Hexachlorobutadiène	0,6	0,6	32 360	71
18	Hexachlorocyclohexane	0,04	0,02	3 800	8
19	Isoproturon	1,0	1,0	-	-
20	Plomb et ses composés	sans objet	sans objet	-	bruit de fond
21	Mercure et ses composés	0,07	0,07	-	bruit de fond
22	Naphthalène	sans objet	sans objet	871	48
23	Nickel et ses composés	sans objet	sans objet	-	bruit de fond

1 - Extrait de la directive 2008/105/CE du Parlement européen et du Conseil du 16/12/2008 Annexe 8 de l'arrêté ministériel « Évaluation état des eaux » du 25 janvier 2010 modifié.

2 - Extrait de la circulaire DCE 2005/12 n° 14 du 28 juillet 2005.

3 - Les eaux de surfaces intérieures comprennent les rivières, les lacs et les masses d'eau artificielles ou sérieusement modifiées qui y sont reliées.

4 - Ce paramètre est la norme de qualité environnementale exprimée en concentration maximale admissible (NQE-CMA). Lorsque les NQE-CMA sont indiquées comme étant « sans objet », les valeurs retenues pour le NQE-MA sont considérées comme assurant une protection contre les pics de pollution à court terme dans les rejets continus, dans la mesure où elles sont nettement inférieures à celles définies sur la base de la toxicité aiguë.

5 - Pour le groupe de substances prioritaires « diphényléthers bromés » (n° 5) retenu dans la décision n° 2455/2001/CE, une NQE n'est établie que pour les numéros des congénères 28, 47, 99, 100, 153 et 154.

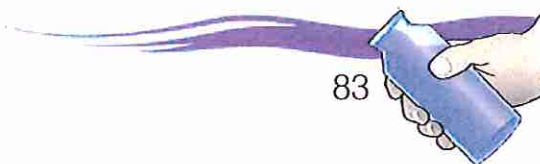
6 - Pour le cadmium et ses composés (n° 6), les valeurs retenues pour les NQE varient en fonction de la dureté de l'eau telle que définie suivant les cinq classes suivantes :

- classe 1 : < 40 mg CaCO₃/l ;
- classe 2 : 40 à < 50 mg CaCO₃/l ;
- classe 3 : 50 à < 100 mg CaCO₃/l ;
- classe 4 : 100 à < 200 mg CaCO₃/l ;
- classe 5 : ≥ 200 mg CaCO₃/l.

7 - Cette substance n'est pas une substance prioritaire mais un des autres polluants pour lesquels les NQE sont identiques à celles définies dans la législation qui s'appliquait avant le 13 janvier 2009.

8 - Le DDT total comprend la somme des isomères suivants :

- 1,1,1-trichloro-2,2 bis (p-chlorophényl) éthane (numéro CAS 50-29-3 ; numéro UE 200-024-3) ;
- 1,1,1-trichloro-2 (o-chlorophényl)-2(p-chlorophényl) éthane (numéro CAS 789-02-6 ; numéro UE 212 332 5) ;
- 1,1 dichloro-2,2 bis (p-chlorophényl) éthylène (numéro CAS 72 55-9 ; numéro UE 200-784 6) ;
- 1,1-dichloro-2,2 bis (p-chlorophényl) éthane (numéro CAS 72 54-8 ; numéro UE 200-783-0).



Suite

N°	Nom de la substance	NQE CMA ⁴ eaux de surface intérieures ^{1,3} µg/l	NQE CMA ⁴ autres eaux de surface ¹ µg/l	Koc ²	Valeurs seuils sur sédiments µg/kg ²
24	Nonylphénol (4-nonylphénol)	2,0	2,0	5 360	35
25	Octylphénol (4-(1,1', 3,3 - tétraméthylbutyl)- phénol)	sans objet	sans objet	18 400	24
26	Pentachlorobenzène	sans objet	sans objet	40 000	3
27	Pentachlorophénol	1	1	3 800	170
28	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ⁹	sans objet	sans objet	-	-
	Benzo(a)pyrène	0,1	0,1	6 920 000	7 600
	Benzo(b)fluoranthène	sans objet	sans objet	156 000	170
	Benzo(k)fluoranthène			22 000	14
	Benzo(g,h,i)perylène	sans objet	sans objet	406 000	140
	Indeno (1,2,3-cd)pyrène			1 600 000	560
29	Simazine	4	4	-	-
29 bis	Tétrachloroéthylène ⁷	sans objet	sans objet	-	-
29 ter	Trichloroéthylène ⁷	sans objet	sans objet	-	-
30	Composés du tributylé- tain (tributylétain-cation)	0,0015	0,0015	3 750	0,01
31	Trichlorobenzènes	sans objet	sans objet	1 400 à 1 430	13
32	Trichlorométhane	sans objet	sans objet	-	-
33	Trifluraline	sans objet	sans objet	8 500	6

1, 2, 3, 4, 7 - Voir page précédente.

9 - Pour le groupe de substances prioritaires « hydrocarbures aromatiques polycycliques » (HAP) (n° 28), chacune des différentes NQE est applicable, c'est à dire que la NQE pour le benzo(a)pyrène, la NQE pour la somme du benzo(b)fluoranthène et du benzo(k)fluoranthène et la NQE pour la somme du benzo(g,h,i)perylène et de l'indéno(1,2,3-cd)pyrène doivent être respectées.

9.1.3 L'état écologique « cours d'eau »

Paramètres physico-chimiques soutenant la biologie
(invertébrés, diatomées, poissons)

Paramètres	Limites supérieure et inférieure du bon état	
Bilan de l'oxygène		
Oxygène dissous (mg O ₂ /l)	]8 - 6]	]7,5 - 6] ¹
Taux de saturation en O ₂ dissous (%)	]90- 70]	]80 - 65] ¹
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	]3 - 6]	
Carbone organique (mg C/l)	]5 - 7]	]8 - 9] ²
Température		
Eaux salmonicoles	]20 - 21,5]	
Eaux cyprinicoles	]24 - 25,5]	
Nutriments		
PO ₄ ³⁻ (mg PO ₄ ³⁻ /l)	]0,1 - 0,5]	
Phosphore total (mg P/l)	]0,05 - 0,2]	
NH ₄ ⁺ (mg NH ₄ ⁺ /l)	]0,1 - 0,5]	]0,1 - 1] ³
NO ₂ ⁻ (mg NO ₂ ⁻ /l)	]0,1 - 0,3]	
NO ₃ ⁻ (mg NO ₃ ⁻ /l)	]10 - 50]	
Acidification		
pH minimum	]6,5 - 6]	]6 - 5,8] ⁴
pH maximal	]8,2 - 9]	
Salinité		
Conductivité Chlorures Sulfates	Les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des valeurs seuils fiables pour cette limite	

¹ - Cours d'eau naturellement pauvres en oxygène.

² - Cours d'eau naturellement riches en matières organiques.

³ - Cours d'eau naturellement froids (température < 14 °C) et peu alcalins.

⁴ - Cours d'eau naturellement acides.

NB : pour les cours d'eau des zones de tourbières, non prise en compte du carbone organique.

Pour les cours d'eau de température naturellement élevée, non prise en compte de la température.

Source : annexe 3 de l'arrêté ministériel évaluation état des eaux du 25 janvier 2010 modifié.

9.1.4 Sédiments

Paramètres	Concentrations satisfaisantes pour le milieu aquatique (eaux douces)	Unité
pH	6 ¹ à 8	unité pH
Matières volatiles ou perte au feu	≤ 12	% MS ²
Carbone organique	≤ 6	
Ammonium (NH ₄ ⁺) dans eau interstitielle	≤ 12	mg/l
Arsenic en As	≤ 30	mg/kg de MS ²
Cadmium en Cd	≤ 2	
Chrome en Cr	≤ 150	
Cuivre en Cu	≤ 100	
Mercure en Hg	≤ 1	
Nickel en Ni	≤ 50	
Plomb en Pb	≤ 100	
Zinc en Zn	≤ 300	
PCB totaux	≤ 0,68	
HAP totaux	≤ 22,8	

1 - Le pH peut être légèrement inférieur pour quelques substrats naturellement acides.

2 - MS : matière sèche du sédiment (fraction inférieure à 2 mm).

: Extrait de l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du Code de l'environnement.

D'après P. Le Pimpec, Cemagref.

9.1.5 Bryophytes

Paramètres	Concentrations satisfaisantes pour le milieu aquatique (eaux douces) ¹	Unité
Arsenic en As	≤ 18	mg/kg de bryophytes ²
Cadmium en Cd	≤ 6	
Chrome en Cr	≤ 42	
Cuivre en Cu	≤ 114	g/kg de bryophytes ²
Fer en Fe	≤ 18	
Manganèse en Mn	≤ 3,6	mg/kg de bryophytes ²
Mercure en Hg	≤ 0,48	
Nickel en Ni	≤ 120	
Plomb en Pb	≤ 114	
Zinc en Zn	≤ 1 200	

1 - Valeurs de niveau de qualité 1 de la grille de qualité relative aux métaux dans les bryophytes (DIREN [14]).

2 - Bryophytes séchées à 60 °C environ.

9.2 Grands types de pollution

9.2.1 Pollution mécanique

Paramètres caractéristiques

Paramètres caractéristiques	Origine présumée
Aspect de l'eau	Industrie extractive : carrière, sablière, forage géothermique
MES	Vidange de barrage, d'étang, etc.

La pollution mécanique est caractérisée par une accumulation importante de matières en suspension.

MVS	• origine minérale	• pourcentage faible de matières volatiles < 5 % (exemple : sablière)
	• apport organique	• pourcentage plus élevé de matières volatiles > 10 % (exemple : certaines vidanges de barrage et de plans d'eau)
DCO	• $\frac{DCO}{MES} < 0,05$	• apport très minéral
	• $\frac{DCO}{MES}$ de 0,5 à 1,5	• apport très organique

La nature de cette pollution est précisée par les paramètres MVS et DCO.

Évolution des paramètres dans le milieu récepteur

Les paramètres tels que pH, conductivité, nitrites, nitrates, sels ammoniacaux, orthophosphates et oxydabilité ne sont pas modifiés par la pollution mécanique de type minéral.

Dans le cas d'apport organique, ces paramètres sont susceptibles d'évoluer [voir ci-après « Pollution organique »].

Conséquences sur le milieu aquatique

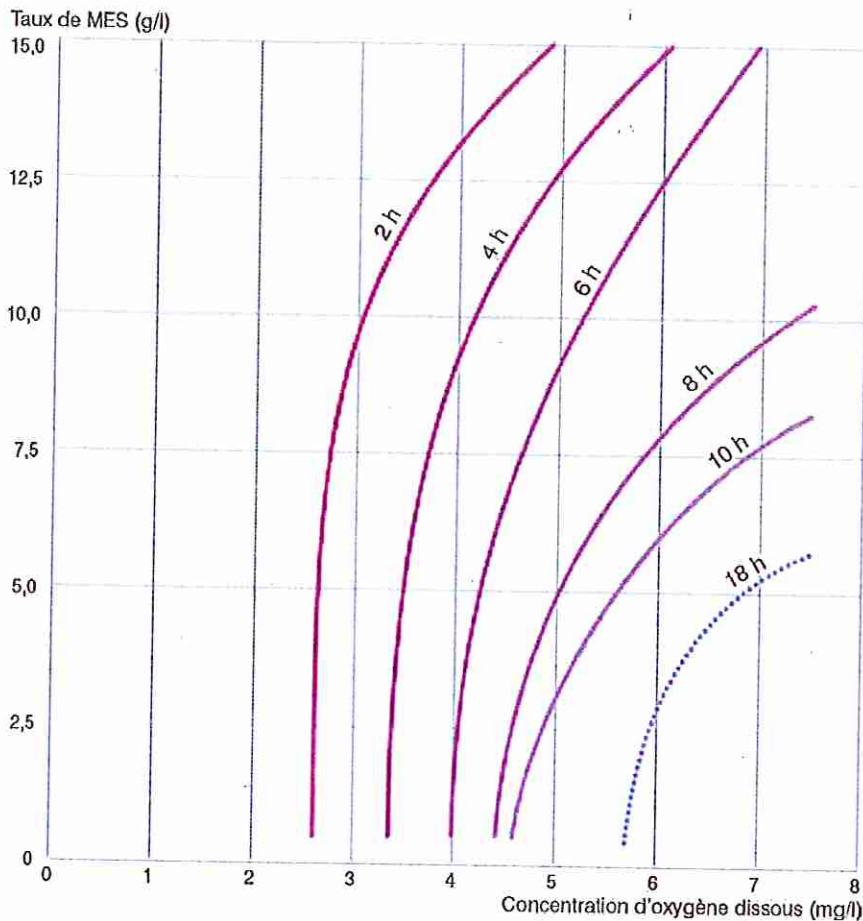
Les conséquences possibles sur le milieu aquatique sont :

- l'augmentation de la turbidité ;
- les effets abrasifs ;
- la chute de l'oxygène dissous par apports et remises en suspension de matériaux organiques (boues, vases) dans cas de vidanges ;
- la sédimentation entraînant la floculation des organismes planctoniques ;
- la réduction de la photosynthèse ;
- la disparition des bryophytes et autres végétaux ;
- la réduction de l'habitabilité des supports pour les invertébrés benthiques ;
- le colmatage des supports et des frayères ;
- l'asphyxie des œufs, des alevins ;
- le colmatage des branchies ;
- la simplification de la zoocénose par disparition d'espèces.

- Les vidanges de plans d'eau sont soumises à la police de l'eau et des milieux aquatiques, et doivent être autorisées ou déclarées préalablement à leur intervention conformément à la rubrique 3.2.4.0. de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du Code de l'environnement.

Les dégâts occasionnés lors des vidanges de barrages sont dus à l'effet conjoint de l'augmentation des matières en suspension (MES), de la diminution du taux d'oxygène, de l'augmentation du taux d'ammoniaque et du relargage possible de polluants contenus dans les sédiments.

Les conditions les plus dangereuses pour l'édifice biologique devraient pouvoir être évitées si l'on respecte les durées de vidanges apparaissant sur les courbes isochrones des TL10 (temps léthal pour 10 % de la population) pour les paramètres oxygène/MES.



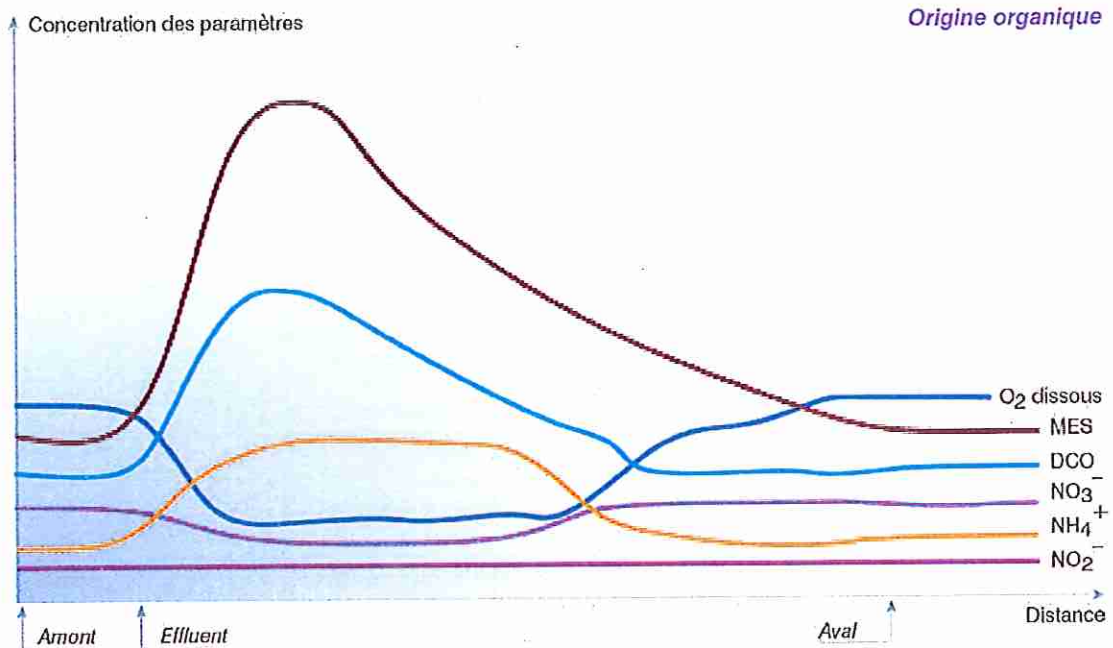
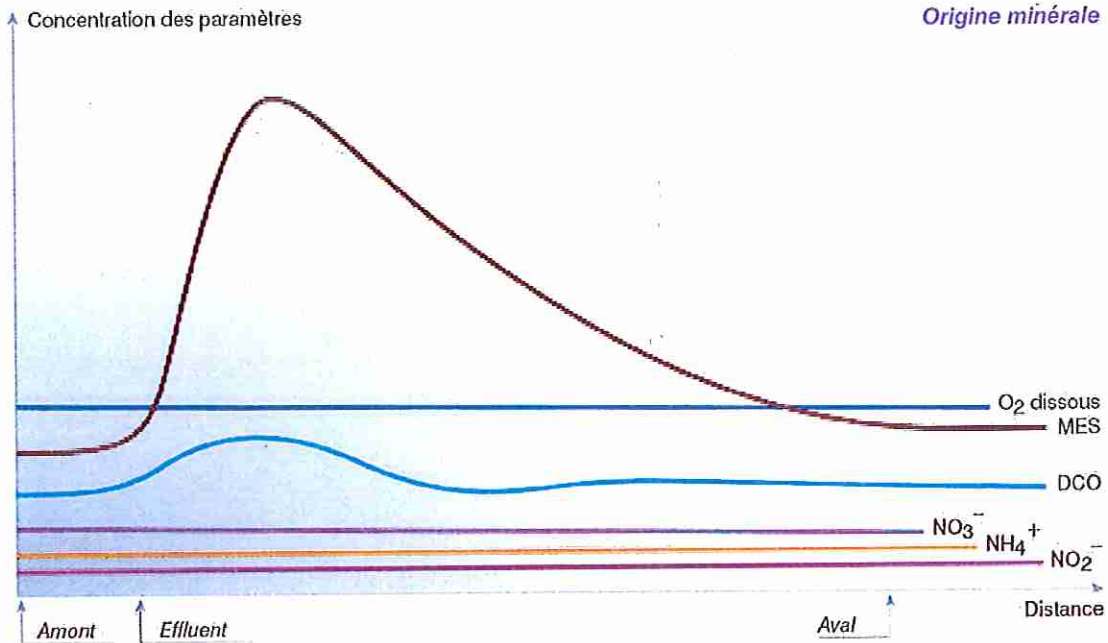
Courbes isochrones
du seuil 10% de mortalité

Pour l'ammoniaque, la concentration létale en 24 heures pour 50 % de la population est égale à $0,62 \text{ mg l}^{-1}$ de NH_3 non ionisé.

Les résultats donnés dans les graphiques ci-dessus ont été calculés à partir d'essais réalisés sur *Salmo trutta* [15].



Évolution des paramètres dans le milieu récepteur



9.2.2 Pollution organique

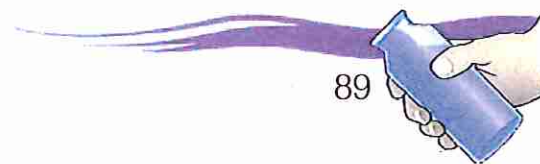
Les matières organiques apportées par les effluents sont des molécules complexes essentiellement formées de carbone, d'hydrogène, d'azote, de phosphore avec quelquefois du soufre.

Paramètres caractéristiques	Origine présumée
<ul style="list-style-type: none"> Aspect, odeur de l'eau MES, MVS essai de putrescibilité oxygène dissous DCO et oxydabilité azote organique, sels ammoniacaux orthophosphates 	<p>Domestique :</p> <ul style="list-style-type: none"> égouts, déversoirs d'orage station d'épuration
<p>Les paramètres correspondant à une pollution d'origine domestique auxquels s'ajoutent :</p> <ul style="list-style-type: none"> pH (acidité organique) conductivité (indicateur de sels dissous) sels dissous (hydrogénocarbonates, potassium, ammonium dans les effluents d'élevage) azote organique (dans les jus d'ensilage) 	<p>Agricole :</p> <ul style="list-style-type: none"> élevages ensilages
<p>Les paramètres correspondant à une pollution d'origine agricole auxquels s'ajoutent :</p> <ul style="list-style-type: none"> substances extractibles au chloroforme ou graisses ou lipides (cas particuliers : industrie de la viande, du lait, industrie des corps gras) glucidés ou sucres (cas particuliers : sucreries, fabriques de jus de fruits, confiseries) 	<p>Agro-alimentaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> industrie laitière sucreries industrie de la viande : abattoirs, équarrissages, conserveries de viande et de poissons, salaisons conserveries de fruits et légumes brasseries, fabriques de jus de fruit, conditionnement des eaux minérales établissements de vinification et de conditionnement de vins distilleries

Paramètres caractéristiques

La pollution organique est généralement caractérisée par les paramètres suivants :

MES-MVS	Dépôt organique important se traduisant par un pourcentage élevé de matières volatiles (> 15% et généralement de 50 à 90%)		
Essai de putrescibilité	Essai positif (bleu de méthylène décoloré)	→ Milieu réducteur (présence abondante de matières organiques)	→ Peu ou pas d'oxygène dissous, disparition de nitrates (si présence en amont)
Azote organique	Présent dans les effluents de station d'épuration en état de mauvais fonctionnement, d'ensilages, et d'industries agro-alimentaires (molécules insuffisamment dégradées: protéines animales et végétales, matières fécales)		
DCO Indice permanganate	DCO ou indice permanganate élevé. Plus une eau est chargée en matières organiques, plus la demande en oxygène cédé par voie chimique est importante		
Sels ammoniacaux	Rencontrés en concentrations élevées lorsque le milieu est insuffisamment oxygéné pour assurer leur transformation complète		
Orthophosphates	Souvent présents à des teneurs élevées (proviennent en partie de la dégradation de la matière organique). Ils sont peu consommés lors des processus épuratoires biologiques.		



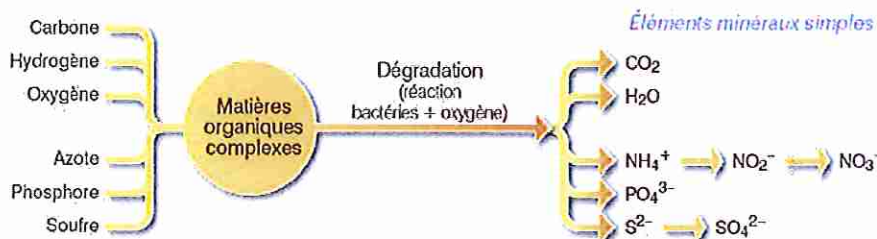
Les paramètres tels que pH, conductivité, azote organique, glucides, apportent une information complémentaire dans le cas de rejet d'ensilage ou d'effluent agro-alimentaire.

pH	Possibilité de rencontrer des pH faibles (<6,5) liés à la présence d'acidité organique dans les effluents suivants: ensilage, laiterie, industries des fruits et des vins, etc.
Conductivité	Peut être élevée pour les effluents d'élevage et de type agro-alimentaire car liée à la présence de sels dissous. Exemples: - industries de la viande: conserveries, salaisons (chlorure de sodium); - élevage (hydrogénocarbonates de potassium et d'ammonium). Compte tenu de son pouvoir tampon un effluent d'élevage a un pH neutre (pH=7)
Azote organique	Un rapport [azote organique/azote ammoniacal] élevé est indicateur d'une matière organique peu dégradée (exemple: jus d'ensilage)
Glucides	La présence de matière organique (DCO) peu protéinée (faible en azote organique) et riche en glucides est indicatrice d'effluents de type confiserie.

Évolution des paramètres dans le milieu récepteur

La pollution organique entraîne dans le milieu récepteur une amplification du processus naturel de dégradation par voie aérobie (en présence d'oxygène). On observe :

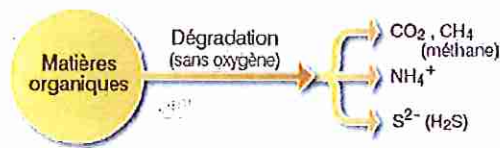
- une multiplication de micro-organismes de l'eau, essentiellement des bactéries;
- une consommation de l'oxygène de l'eau (oxygène dissous) puis des composés oxygénés de l'azote (nitrates et nitrites). Cet oxygène est utilisé par les bactéries pour dégrader les matières organiques selon le schéma suivant:



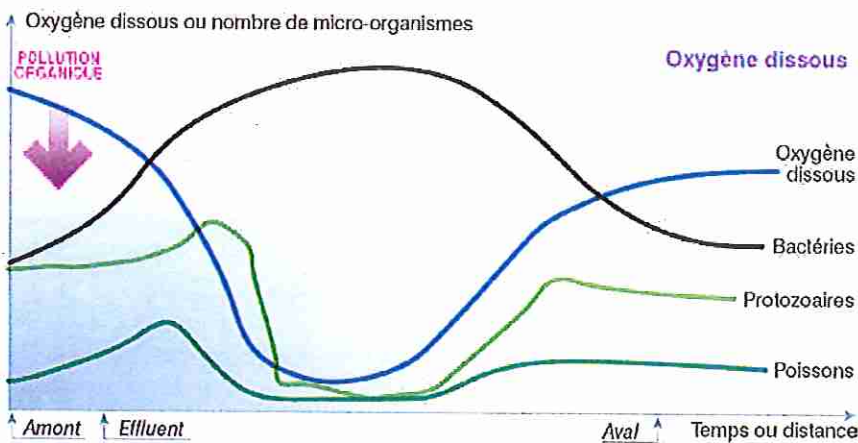
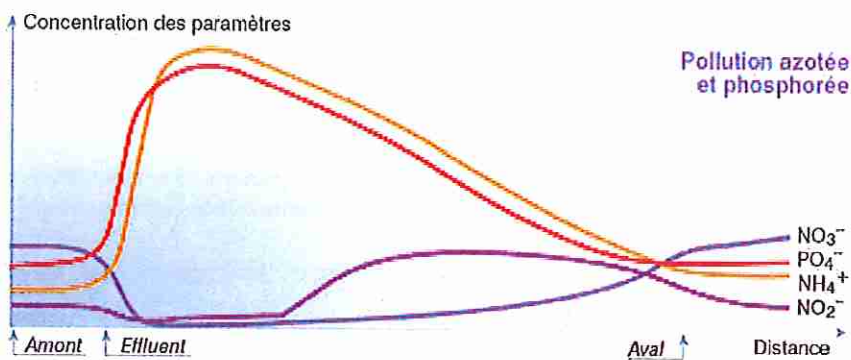
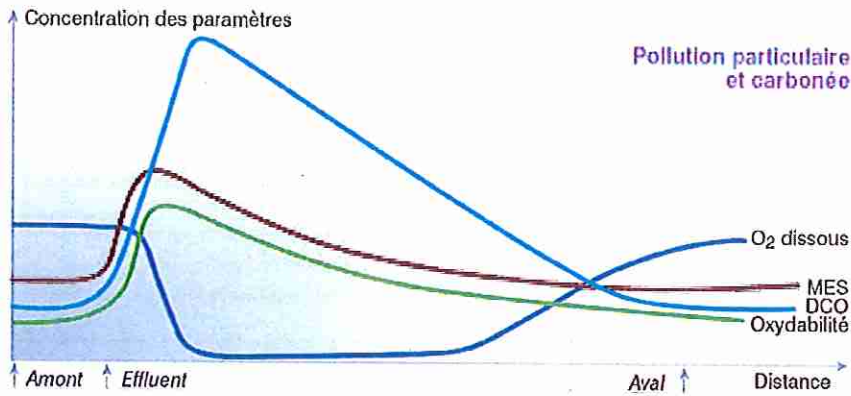
Lorsque toute la matière organique a été utilisée par la biomasse et transformée en éléments minéraux (H_2O , CO_2 , NH_4^+ , PO_4^{3-} , etc.), les concentrations en oxygène et en nitrates augmentent progressivement pour tendre vers les teneurs initiales et le nombre de bactéries diminue; c'est le phénomène d'auto-épuration.

Si la capacité de réoxygénation de l'eau est insuffisante (pollution trop importante), le processus de dégradation de la matière organique est différent. En l'absence d'oxygène (milieu anaérobie), la matière organique est minéralisée selon le schéma ci-dessous.

Si la fermentation anaérobie est utilisée de façon efficace dans le traitement de certains effluents (type agro-alimentaire), elle ne doit pas se produire en milieu naturel car dans ce cas toutes les formes supérieures de la vie disparaissent au bénéfice des bactéries.



Évolution des paramètres dans le milieu récepteur



Évolution de l'oxygène dissous et des principaux constituants de la biomasse aquatique après réception d'un rejet polluant

Le temps est à prendre en considération après un rejet ponctuel dans un système fermé type lac et la distance dans le cas d'un rejet continu en rivière.

D'après R. Cabridenc[16].

Conséquences sur le milieu aquatique

Les conséquences possibles sur le milieu aquatique sont :

- une forte diminution de la teneur en oxygène dissous ;
- la libération d'ammoniac et de nitrites (toxiques) suite à la minéralisation biologique des substances azotées dans le milieu récepteur ;
- la présence (le cas échéant) de boues putrides et de gaz toxiques (méthane, hydrogène, sulfure, etc.) ;
- le colmatage des fonds avec prolifération de bactéries filamenteuses (*Sphaerotilus*) et champignons (*Leptomitus*) ;
- l'augmentation des populations d'agents pathogènes ;
- la prolifération de végétaux suite à la production de nutriments ;
- la substitution et la disparition de macro-invertébrés benthiques ;
- la fuite voire la mortalité des poissons



9.2.3 Pollution par substances toxiques

Paramètres caractéristiques

Paramètres caractéristiques	Origine présumée
• Aspect, odeur de l'eau	• Industrie chimique, parachimique
• pH (acide, base)	• Traitements de surface
• Conductivité (sels dissous)	• Blanchisseries, teintureries
• Métaux	• Métallurgies
• Composés minéraux traces	• Industrie textile
• Composés organiques traces	• Industrie du papier, carton
• Essai de toxicité	• Mégisserie, tanneries
	• Sidérurgie
	• Constructions mécaniques, garages
	• Ordures ménagères ;
	• Traitement de l'eau potable
	• Industrie du bois et dérivés
	• Traitement des sols et cultures
	• etc

Contrairement aux eaux usées ménagères et urbaines, les eaux résiduaires industrielles sont de composition variable pour chaque branche de l'industrie et souvent même pour chaque établissement industriel.

Les rejets industriels, en dehors de la charge organique qu'ils peuvent apporter au milieu récepteur, peuvent contenir :

→ **des éléments minéraux** tels qu'acides, bases, sels, métaux (exemple : industrie chimique, métallurgie, traitement de surface, tannerie, ordures ménagères, etc.). Dans le tableau ci-après sont rassemblés les principaux métaux mis en évidence dans les cas de pollutions antérieures selon l'origine.

Origine	Métaux
Ordures ménagères	Fe, Cu, Zn
Traitement eau potable	Fe, Al
Traitement de surface	Cd, Cr, Cu, Ni, Zn
Construction mécanique, sidérurgie	Fe, Cr, Zn, Ni, Cu, Cd
Industrie du papier, carton	Al, Zn, Cu
Teinturerie	Zn, Cr, Cu
Tannerie	Al, Cr, Cu
Peinture	Zn, Cr, Pb
Électronique	Cu

→ **des toxiques non métalliques minéraux ou organiques** tels que :

Toxiques	Origine
Cyanures	Traitements de surface, industrie chimique, sidérurgie, lavages de rejets à haute température...
Chlore	Station de traitement d'eau potable, piscine, chloration de canalisations...
Agents de surface anioniques	Industrie chimique, blanchisserie industrielle, industrie textile...
Hydrocarbures totaux	Raffinage du pétrole, industrie de la métallurgie, construction automobile, mécanique, garage...
Pesticides	Traitement des cultures, fabrication des produits phytosanitaires, industrie du bois et dérivés...

Certains paramètres sont précieux pour déceler ce type de pollution :

Aspect	<ul style="list-style-type: none"> • irisé : présence d'hydrocarbures ou de détergents • coloré (bleu, rose, vert, ...) : présence de colorants ou de sels métalliques
Odeur	<ul style="list-style-type: none"> • aromatique (parfumerie, solvant...) • chlorée • d'hydrocarbures • d'amandes amères (si présence de cyanures) • chimique

Les variations de pH et de conductivité peuvent être bien supérieures à celles rencontrées dans le cas d'une pollution organique.

pH	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de trouver des pH très faibles (< 3) liés à la présence d'acide fort (exemple : acide sulfurique, nitrique, chlorhydrique, mauvaise neutralisation d'un effluent acide) • Possibilité de trouver des pH très élevés (> 10) liés à la présence d'une base forte (exemple : soude, chaux, potasse, mauvaise neutralisation d'un effluent basique, ...)
Conductivité	Peut être très élevée pour certains effluents car liée à la présence de sels dissous (exemple : industrie chimique avec présence de chlorures, sulfates, sodium ou sels ammoniacaux provenant d'un déversement d'acide chlorhydrique, sulfurique, de soude ou d'ammoniaque). Dans le cas d'une conductivité élevée, la recherche in situ de chlorures et sulfates s'avère très utile.

Évolution des paramètres dans le milieu récepteur

Les courbes représentatives des paramètres DCO, oxydabilité, sels ammoniacaux, orthophosphates ont la même allure que celles relatives à la pollution organique.

Par contre, d'autres paramètres peuvent évoluer différemment :

MES	Peuvent être plus importantes dans le milieu récepteur en aval du rejet lorsque celui-ci contient des éléments dissous susceptibles de précipiter dans la rivière lors d'une modification de pH (exemple : composés de l'aluminium, du fer, autres composés métalliques sous forme d'hydroxydes ou d'oxydes, hydrogénocarbonates se transformant en carbonates sous l'action d'une base)
Oxygène dissous	Teneur non modifiée après rejet de toxiques, ceux-ci étant le plus souvent à l'état de traces et pas nécessairement biodégradables
Nitrates	Sauf apports spécifiques, teneur pouvant être constante ; en effet dans le cas de non-apport organique il n'y a pas de dénitrification
Nitrites	Dans le cas d'apport chimique et de non-apport organique ce paramètre peut suivre la même évolution que les orthophosphates (augmentation par l'apport chimique et diminution par la dilution des eaux)

Conséquences sur le milieu aquatique

Les conséquences possibles sur le milieu aquatique sont :

- une diminution de l'oxygène dissous du milieu due à la dégradation biologique de matières étrangères d'accompagnement ;
- une accumulation de toxiques dans les sédiments ;
- un colmatage des supports et frayères par production de boues métalliques due à des variations de pH ;
- une accumulation dans les poissons de substances organiques à l'état de traces ayant une grande stabilité chimique (toxicité à long terme) ;
- une perturbation d'une fonction donnée (propriétés paralysantes), etc. ;
- une manifestation à un stade particulier du développement d'une espèce ;
- une toxicité à un niveau déterminé de la chaîne trophique ;
- une mortalité en présence de certains toxiques tels que acides, bases, cyanures, chlore, métaux dissous, pesticides, autres composés organiques de synthèse, etc. ;
- une altération de la saveur du poisson (phénols, hydrocarbures, etc.);
- une simplification de l'édifice biologique ;
- une réduction du pouvoir auto-épurateur du milieu aquatique.

La présence de substances chimiques dans le milieu aquatique peut se traduire par une mortalité massive et spectaculaire des poissons pouvant conduire dans les cas extrêmes à un milieu abiotique.



9.3 Quelques cas concrets de pollution

→ Légende

Lieux de prélèvement des échantillons :

- colonne 1 : amont rejet ;
- colonne E : rejet ;
- colonne 2 : aval rejet.

Les paramètres et les valeurs caractéristiques du type de pollution sont en gras dans les tableaux.

Pollution mécanique - Carrière			
Éléments dosés	1	E	2
Aspect au laboratoire	incolore, limpide	marron, très soluble	jaunâtre, trouble
Aspect du dépôt		marron	marron
pH (unité pH)	7.0	7.0	7.0
Conductivité à 20 °C ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	90	100	90
MES en mg/l	< 5	12 530	875
Fraction organique en % des MES		4.7	5.8
Nitrites en mg/l NO_2^-	< 0.02	< 0.02	< 0.02
Ammonium mg/l NH_4^+	< 0.02	< 0.02	< 0.02

Pollution organique - Station d'épuration en dysfonctionnement			
Éléments dosés	1	E	2
Aspect au laboratoire	incolore, limpide	jaunâtre, trouble	jaunâtre, trouble
Aspect du dépôt		marron	marron
Odeur	néant	putride	légèrement putride
MES en mg/l	< 5	449	46
Fraction organique en % des MES		69.4	
Indice de putrescibilité	négatif	positif en 5 minutes	positif en 2 h 25 min
DCO en O_2 mg/l		810	68
Indice permanganate en O_2 mg/l	0.5		
Nitrites en mg/l NO_2^-	0.03	0.06	0.03
Nitrates en mg/l NO_3^-	1.1	< 0.20	< 0.20
Orthophosphates en mg/l PO_4^{3-}	< 0.03	42.0	6.0
Ammonium en mg/l NH_4^+	0.02	77.4	11.4

Pollution organique - Élevage de bovins			
Éléments dosés	1	E	2
Aspect au laboratoire	incolore, limpide	marron, trouble	jaunâtre, trouble
Aspect du dépôt		marron	marron
Odeur	néant	purin	purin
Conductivité à 20 °C ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	270	3 040	1 015
MES en mg/l	< 5	895	457
Fraction organique en % des MES		54.3	43.7
Indice de putrescibilité	négatif	positif en 30 min	positif en 1 heure
DCO en O_2 mg/l		6 560	1 780
Indice permanganate en O_2 mg/l	4.7		
Oxygène dissous en mg/l	9.0		3.5
Nitrites en mg/l NO_2^-	0.03	< 0.02	< 0.02
Nitrates en mg/l NO_3^-	2.7	< 0.20	< 0.20
Orthophosphates en mg/l PO_4^{3-}	0.14	202	43
Ammonium en mg/l NH_4^+	0.06	122	50
Hydrogénocarbonate en mg/l HCO_3^-	100	610	460
Potassium en mg/l K^+	2.5	900	210

Pollution organique - Jus d'ensilage			
Éléments dosés	1	E	2
Aspect au laboratoire	incolore, limpide	trouble, verdâtre	trouble, jaunâtre
Aspect du dépôt		vert	marron
Odeur	néant	putride	légèrement putride
pH (unité pH)	6,8	3,8	5,9
Conductivité à 20 °C (µs/cm)	255	880	395
MES en mg/l	12	37	30
Indice de putrescibilité	négatif	positif en 1 h 30	positif en 15 h
DCO en O₂ mg/l	< 30	2320	195
Indice permanganate en O ₂ mg/l	2,55	-	-
Azote organique en mg/l N	1,10	35,0	8,50
Nitrites en mg/l NO ₂ ⁻	0,05	< 0,02	< 0,02
Nitrates en mg/l NO ₃ ⁻	2,9	< 0,20	< 0,20
Orthophosphates en mg/l PO ₄ ³⁻	0,25	2,70	0,65
Ammonium en mg/l NH ₄ ⁺	0,06	5,50	1,20

Pollution organique - Laiterie, fromagerie			
Éléments dosés	1	E	2
Aspect au laboratoire	incolore, limpide	blanchâtre, trouble	blanchâtre, trouble
Aspect du dépôt		blanc	blanc
Odeur	néant	petit lait	petit lait
pH (unité pH)	8.1	4.8	6.3
Conductivité à 20 °C (µs/cm)	440	5 260	1 280
MES en mg/l	33	4 840	502
Fraction organique en % des MES		92.9	74.5
Indice de putrescibilité	négatif	positif en 1 h	positif en 1 h
DCO en O₂ mg/l	< 30	46 860	8 600
Indice permanganate en O ₂ mg/l	4.7		
Oxygène dissous	9.0		5.5
Nitrites en mg/l NO ₂ ⁻	0.03	0.07	0.07
Nitrates en mg/l NO ₃ ⁻	2.7	1.2	2.1
Orthophosphates en mg/l PO ₄ ³⁻	0.14	931	162
Ammonium en mg/l NH ₄ ⁺	0.06	4.6	1.45

Pollution organique - Cave vinicole			
Éléments dosés	1	E	2
Aspect au laboratoire	incolore, limpide	violacé très trouble	grisâtre, trouble
Aspect du dépôt	marron	noir	noir
Odeur	néant	de vinasse	légère de vinasse
pH (unité pH)	7,7	3,8	6,2
Conductivité à 20 °C (µs/cm)	465	1 030	680
MES en mg/l	16	595	95
Fraction organique en % des MES		88,3	-
Indice de putrescibilité	négatif	positif en 3 h	positif en 26 h
DCO en O₂ mg/l	< 30	18 320	2 500
Indice permanganate en O ₂ mg/l	1,7	-	-
Nitrites en mg/l NO ₂ ⁻	0,03	0,15	0,10
Nitrates en mg/l NO ₃ ⁻	12	< 0,20	< 0,20
Orthophosphates en mg/l PO ₄ ³⁻	< 0,03	10,0	1,05
Ammonium en mg/l NH ₄ ⁺	< 0,02	0,54	0,15
Potassium mg/l K⁺	3,2	210	45

→ Légende

Lieux de prélèvement des échantillons :

- colonne 1 : amont rejet ;
- colonne E : rejet ;
- colonne 2 : aval rejet.

Les paramètres et les valeurs caractéristiques du type de pollution sont en gras dans les tableaux.





→ Légende

Lieux de prélèvement
des échantillons :

- colonne 1 : amont rejet ;
- colonne E : rejet ;
- colonne 2 : aval rejet.

Les paramètres et les valeurs
caractéristiques du type de pollution
sont en gras dans les tableaux.

Pollution organique - Fabrique de bonbons			
Éléments dosés	1	E	2
pH (unité pH)	7.4	5.0	6.8
Conductivité à 20 °C (µs/cm)	455	530	470
MES en mg/l	11	176	46
Indice de putrescibilité	négatif	positif en 1 h	positif en 4 jours
DCO en O₂ mg/l		6 950	195
Indice permanganate en O ₂ mg/l	2.0		
Azote organique en mg/l N	1.5	5,0	3,0
Nitrites en mg/l NO ₂ ⁻	0.10	0.10	3.80
Nitrates en mg/l NO ₃ ⁻	26	0.75	6.1
Orthophosphates en mg/l PO ₄ ³⁻	0.14	0.24	0.03
Ammonium en mg/l NH ₄ ⁺	0.10	impossible	0.04
Glucides en mg/l glucose	nd	4 500	170

Pollution par substances toxiques ou indésirables - Décharge d'ordures ménagères			
Éléments dosés	1	E	2
MES en mg/l	6	1 395	5
Fraction organique en % des MES.		36.4	
DCO en O ₂ mg/l		470	
Indice permanganate en O ₂ mg/l	5.0		5.1
Nitrites en mg/l NO ₂ ⁻	0.03	0.03	0.03
Nitrates en mg/l NO ₃ ⁻	0.70	< 0.20	1.4
Orthophosphates en mg/l PO ₄ ³⁻	0.03	0.03	0.03
Ammonium en mg/l NH ₄ ⁺	0.03	0.52	0.05
Cuivre (µg/l)	< 20	< 20	< 20
Fer (µg/l)	350	29 000	2 500
Zinc (µg/l)	< 20	110	< 20

Pollution par substances toxiques - Traitement de surface			
Éléments dosés	1	E	2
pH (unité pH)	7.2	3.4	5.5
Conductivité à 20 °C (µs/cm)	69	5110	435
MES en mg/l	< 5	690	7
DCO en O ₂ mg/l		440	< 30
Indice permanganate en O ₂ mg/l	2.2		
Nitrites en mg/l NO ₂ ⁻	0.03	0.07	0.03
Nitrates en mg/l NO ₃ ⁻	4.3	4.4	3.5
Orthophosphates en mg/l PO ₄ ³⁻	0.37	141	4.0
Ammonium en mg/l NH ₄ ⁺	0.04	1.45	0.48
Chlorures en mg/l Cl⁻	< 2	1 040	66
Sulfates en mg/l SO₄²⁻	7	1 700	115
Substances actives au bleu de méthylène en mg/l LS	< 0.05	6.8	0.40
Cadmium (µg/l)	< 10	< 10	< 10
Chrome (µg/l)	< 50	3 100	< 50
Cuivre (µg/l)	< 20	1 430	50
Nickel (µg/l)	< 50	25 000	470
Zinc (µg/l)	20	36 700	1 100

Pollution par substances toxiques - Traitement d'eaux potables			
Éléments dosés	1	E	2
Aspect du dépôt		floconneux	floconneux
MES en mg/l	< 5	960	585
Fraction organique en % des MES		46.9	46.8
DCO en O ₂ mg/l		375	245
Indice permanganate en O ₂ mg/l	2.2		
Nitrites en mg/l NO ₂ ⁻	< 0.02	0.07	0.03
Nitrates en mg/l NO ₃ ⁻	5.2	7.1	3.5
Orthophosphates en mg/l PO ₄ ³⁻	0.37	0.15	0.27
Ammonium en mg/l NH ₄ ⁺	0.04	0.25	0.27
Aluminium (µg/l)	< 100	130 000	82 000
Fer (µg/l)	400	36 600	23 700

→ Légende

Lieux de prélèvement des échantillons :

- colonne 1 : amont rejet ;
- colonne E : rejet ;
- colonne 2 : aval rejet.

Les paramètres et les valeurs caractéristiques du type de pollution sont en gras dans les tableaux.

Pollution par substances toxiques - Traitement phytosanitaire :				
Prowl 400 (matière active Pendiméthaline) et Challenge 600 (matière active Aclonifen)				
Éléments dosés	1	E ₁ *	E	2
Aspect au laboratoire	incolore limpide	échantillon * de terre	incolore limpide	incolore limpide
Humidité	-	12 %	-	-
Pendiméthaline (µg/l)	nd	110 mg/kg sec	nd	nd
Aclonifen (µg/l)	nd	400 mg/kg sec	0,25	0,05
Chlorothalonil ** (µg/l)	nd	20 mg/kg sec	nd	nd

* Échantillon de terre au point de remplissage de la cuve de traitement.

nd : non détecté,

** : détecté par spectrométrie de masse.



9.4 Références de toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques

Paramètres physiques - Indices globaux - Composés minéraux majeurs						
Produit	Taxon ¹	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
pH	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (24 h)	9.8 à 9.9	[17]
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₃₀₋₅₀ (24 h)	9.5 après passage de 8 à 9.5 en 6 h	[18]
Fuel oil n° 2	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₁₂ (21 j)	100 mg/l	[19]
Fuel oil bunker n° 6 ²	Poissons	<i>Cyprinodon variegatus</i>	-	CL ₅₀ (24 h)	4.7 mg/l	[20]
Phénols	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (24 h)	5.6 à 1.1 mg/l phénol	[21]
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	Limite mortelle	10 mg/l phénol	[22]
		<i>Perca fluviatilis</i>	Perche	Limite mortelle	5 à 10 mg/l phénol	[22]
		<i>Esox lucius</i>	Brochet	Limite mortelle	5 mg/l phénol	[22]
		<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	Limite mortelle	12 à 14 mg/l crésol	[22]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Limite toxicité	12 à 28 mg/l crésol	[22]
		<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Limite toxicité	0.6 mg/l hydroquinone	[22]
<i>Daphnia magna</i>		Daphnies	Limite toxicité	0.8 mg/l resorcine	[22]	
Chlorure de Sodium	Poissons	<i>Danio rerio</i>	Poisson zèbre	CL ₅₀ (24 h)	11 100 mg/l	[23]
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (24 h)	21 900 mg/l	[23]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (24 h)	5 240 mg/l	[23]
Sulfate de sodium	Poissons	<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	12 750 mg/l	[24]
		<i>Gambusia affinis</i>	Mosquito fish	CL ₅₀ (48 h)	17 500 mg/l	[24]
		<i>Pimephales promelas</i>	Vairon tête-de-boule	CL ₅₀ (24-96 h)	13 500 à 14 000 mg/l	[24]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (96 h)	4 597 mg/l	[24]
Ammoniac (NH ₃) forme non ionisée	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.16 à 0.65 mg/l	[2]
		<i>Abramis brama</i>	Brème	CL ₅₀ (96 h)	0.32 mg/l	[25]
		<i>Ictalurus punctatus</i>	Poisson chat	CL ₅₀ (7 j)	1.27 mg/l	[24]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.53 à 2.77 mg/l	[26]
	Algues		Diatomées	TL _m 50 (420 mg/l)	5 jours	[24]
Nitrites	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (48 h)	0.66 mg/l	[4]
			Truite	CL ₅₀ (98 h)	0.66 à 1,33 mg/l	[3]
Aluminium	Poissons			Action toxique 7 j	0.1 mg/l (nitrate, sulfate, alun)	[22]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	3.9 mg/l	[27]

¹ Taxon ou unité systématique : désigne un ensemble d'organismes appartenant à une classe, un ordre, une famille, un genre ou une espèce.
² Fraction soluble.

→ Légende

- CL₅₀ (24 h) : concentration correspondant à une mortalité de 50 % d'une population en 24 h.
- Cl₅₀ (24 h) : concentration correspondant à une inhibition de 50 % d'une population en 24 h.
- TL_m50 : temps d'exposition moyen correspondant à une réduction de 50 % de la croissance.
- CSEO (NOEC) : concentration sans effet observé.
- CE₅₀ (96 h) : concentration effective (réellement dosée) correspondant à une réduction de 50 % de la croissance.
- CMEO (LOEC) : concentration minimale avec effet observé.

Composés minéraux traces						
Produit	Taxon	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
Chlore	Poissons	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (3 h)	1.82 mg/l	[7]
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (24 h)	0.28 mg/l	[5]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (24 h)	0.076 à 0.16 mg/l	[28]
Cyanures alcalins (CN ⁻)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (24 h)	0.036 mg/l	[7]
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	Mort en 5 j	0.05 mg/l	[22]
		<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	CL ₅₀ (24 h)	0.09 mg/l	[29]
		<i>Lepomis machrochirus</i>	Crapet arlequin	Mort (48 h)	0.06 mg/l	[30]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.52 à 0.96 mg/l	[7]
Arsenic	Poissons	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	Saumon coho	CSEO (NOEC) 180 j	0.1 mg/l	[31]
		<i>Pimephales promelas</i>	Vairon tête-de-boule	CL ₅₀ (96 h)	14.1 mg/l	[31]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	1.5 mg/l	[31]
		<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CSEO (NOEC) 28 j	0.68 mg/l	[31]
Cadmium	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.0026 à 0.0031 mg/l	[31]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (96 h)	0.005 mg/l	[31]
		<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.03 mg/l	[31]
	Algues	<i>Scenedesmus subcapitatus</i>		CL ₅₀ (96 h)	0.1 mg/l	[31]
Chrome	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CSEO (NOEC) (32 s)	0.020 mg/l	[31]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (24 h)	0.35 mg/l	[31]
		<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CSEO (NOEC) 21 j	0.018 mg/l	[31]
	Algues	<i>Scenedesmus subcapitatus</i>	-	CL ₅₀ (96 h)	0.35 mg/l	[31]
		<i>Scenedesmus capricornutum</i>	-	CL ₅₀ (2-3 s)	0.24 mg/l	[31]
Cuivre	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.08 mg/l	[31]
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CSEO (NOEC) (63 j)	0.031 mg/l	[31]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	Limite toxicité	0.35mg/l CuSO ₄ 5H ₂ O	[22]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.015mg/l	[31]
	Algues	<i>Chlorella vulgaris</i>	Chlorelles	CE ₅₀ (96 h)	0.062 mg/l	[31]
		<i>Elodea canadensis</i>	Élodée du Canada	CSEO (NOEC) (42 j)	0.69 mg/l	[31]
Mercure	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.22 à 0.4 mg/l	[32]
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	Concentration toxique	0.002 mg/l	[22]
		<i>Gastrosteus aculeatus</i>	Epinoche	CL ₅₀ (7 j)	0.02 mg/l (nitrate)	[22]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.005 mg/l	[31]
Nickel	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	(NOEC) (85 j)	0.062 mg/l	[31]
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CME0 (LOEC) (85 j)	0.134 mg/l	[31]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.92 mg/l	[31]
	Algues	<i>Scenedesmus subcapitatus</i>	-	CL ₅₀ (96 h)	0.36 mg/l *	[31]
Plomb	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	1.47 mg/l	[31]
		<i>Salvelinus fontinalis</i>	Saumon de fontaine	CSEO (NOEC) (112 j)	0.18 mg/l *	[31]
	Algues	<i>Chlorella vulgaris</i>	Chlorelles	CE ₅₀ (96h)	2.2 mg/l *	[31]
		<i>Chlorella vulgaris</i>	Chlorelles	CSEO (NOEC) (72 h)	0.06 mg/l *	[31]
Zinc	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.098 mg/l	[31]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (24 h)	0.334 mg/l	[31]
		<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CSEO (NOEC) (7 j)	0.043 mg/l	[31]
	Algues	<i>Navicula seminulum</i>		CE ₅₀ (5 j)	1.32 mg/l *	[31]


* Effets sur la croissance.



Composés organiques traces (hydrocarbures halogénés - PCB - HAP)						
Produit	Taxon	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
Tétrachlorure de carbone	Poissons	<i>Lepomis macrochyrus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	27 mg/l	[33]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (24 h)	29 mg/l	[34]
	Cyanobact.	<i>Mycrocystis aeruginosa</i>	-	CE0 (8 j)	105 mg/l	[33]
Chloroforme	Poissons	<i>Pimephales promelas</i>	Vairon tête-de-boule	CL ₅₀ (96 h)	103 à 177 mg/l	[33]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (7 j)	65 mg/l	[33]
	Cyanobact.	<i>Mycrocystis aeruginosa</i>	-	CE0 (8 j)	185 mg/l	[33]
Tétrachloroéthane	Poissons	<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy	CL ₅₀ (7 j)	37 mg/l	[33]
1,1,1 Trichloroéthane	Poissons	<i>Pimephales promelas</i>	Vairon tête-de-boule	CL ₅₀ (96 h)	53 mg/l	[33]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (17 j)	5.4 mg/l	[33]
1,1,2 Trichloroéthane	Poissons	<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy	CL ₅₀ (7 j)	94 mg/l	[33]
	Algues	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	-	CL ₅₀ (7 j)	430 mg/l	[33]
1,2 Dichloroéthane	Poissons	<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy	CL ₅₀ (7 j)	106 mg/l	[33]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (7 j)	324 à 383 mg/l	[35]
	Cyanobact.	<i>Mycrocystis aeruginosa</i>	-	CE0 (8 j)	105 mg/l	[33]
Trichlorotrifluoroéthane	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	7.4 mg/l	[33]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	71 mg/l	[33]
Tétrachloroéthylène	Poissons	<i>Lepomis macrochyrus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	18 mg/l	[33]
Trichloroéthylène	Poissons	<i>Lepomis macrochyrus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	41 mg/l	[33]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CSEO (NOEC) (48 h)	100 mg/l	[33]
	Cyanobact.	<i>Mycrocystis aeruginosa</i>	-	CE0 (8 j)	63 mg/l	[33]
HAP	Crustacés	<i>Daphnia pulex</i>	Daphnies	court terme	0,005 à 0,01 mg/l	[28]



Composés organiques traces (substances phytosanitaires)						
Composés organo-chlorés						
Produit	Taxon	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
Aldrine	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.0026 mg/l	[36]
		<i>Pimephales promelas</i>	Vairon tête-de-boule	CL ₅₀ (96 h)	0.0082 mg/l	[36]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (24 h)	0.030 mg/l	[33]
	Algues	<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CE ₅₀ *	0.025 mg/l	[31]
Endosulfan	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.0003 mg/l	[31]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	0.0012 mg/l	[36]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.06 mg/l	[31]
		<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CSEO (NOEC) 64 j	0.0027 mg/l	[31]
	Algues	Algue verte	-	CE ₅₀ (72 h)	> 0.56 mg/l	[37]
HCB	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.03 mg/l	[34]
		<i>Pimephales promelas</i>	Vairon tête-de-boule	CL ₅₀ (96 h)	22 mg/l	[36]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	12 mg/l	[36]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.0075 mg/l	[31]
Lindane	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.027mg/l	[24]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (96 h)	0.09 mg/l	[36]
	Crustacés	<i>Gammarus pulex</i>	Gammares	Cl ₅₀ (96 h)	0.024 mg/l	[31]

Composés organo-phosphorés						
Chlorfenvinphos	Poissons		Salmonidé	CL ₅₀ (96 h)	1.1 mg/l	[34]
	Crustacés			CL ₅₀ (48 h)	0.00025 mg/l	[34]
Chlorpyrifos ethyl	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.003 mg/l	[37]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (48 h)	0.13 mg/l	[33]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.0017 mg/l	[37]
Diazinon	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	3.1 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.001 mg/l	[34]
	Invertébrés	<i>Chironomus riparius</i>	Chironomes	CL ₅₀ (96 h)	0.023 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	6.4 mg/l	[34]
Fénitrothion	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	1.3 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.0086 mg/l	[34]
	Invertébrés	<i>Chironomus riparius</i>	Chironomes	CL ₅₀ (96 h)	0.0017 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>		CL ₅₀ (72 h)	1.3 mg/l	[34]
Isophenphos	Poissons	<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	1.8 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.0039 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	6.8 mg/l	[34]
Malathion	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.068 mg/l	[24]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (96 h)	6.59 mg/l	[36]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.0007 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CE ₅₀ (72 h)	13 mg/l	[34]


Composés organiques traces (substances phytosanitaires) > Composés organo-phosphorés [suite]

Produit	Taxon	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
Méthidathion	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.01 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.0064 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	22 mg/l	[34]
Parathion ethyl	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.75 mg/l	[36]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	0.4 mg/l	[36]
		<i>Carassius auratus</i>	Carassin doré	CL ₅₀ (96 h)	1.83 mg/l	[36]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.00037 mg/l	[37]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀	0.50 mg/l	[37]
Phosalone	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.63 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.00074 mg/l	[34]
	Invertébrés	<i>Chironomus riparius</i>	Chironomes	CL ₅₀ (28 h)	0.019 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	1.1 mg/l	[34]
Propétamphos	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	4.6 mg/l	[37]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (96 h)	7 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.0145 mg/l	[37]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	2.9 mg/l	[37]
Terbufos	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.004 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.00031 mg/l	[34]
Thiométon	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	3.7 mg/l	[34]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (96 h)	13.2 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (24 h)	8.2 mg/l	[37]
	Algues	Algue verte		CE ₅₀ (96 h)	12,8 mg/l	[37]

Composés organo-azotés (triazines)

Atrazine	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	4.5 à 11 mg/l	[37]
		<i>Ictalurus punctatus</i>	Poisson-chat	CL ₅₀ (96 h)	7,6 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	6.9 mg/l	[31]
		<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CSEO (NOEC) 64 j	0.14 mg/l	[31]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	0.043 mg/l	[37]
		<i>Chlorella sp</i>	Chlorelles	CE ₅₀ 48 h (croissance)	0.022 mg/l	[33]
Prométhryne	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	5.5 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	12.7 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	0.002 mg/l	[34]
Simazine	Poissons	<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	90 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	2.5 mg/l	[34]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	0.04 mg/l	[34]

Composés organiques traces (substances phytosanitaires)

Produit	Taxon	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
Triazoles						
Difénoconazole	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	1.1 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.77 mg/l	[34]
	Invertébrés	<i>Chironomus riparius</i>	Chironomes	CL ₅₀ (96 h)	0.045 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	1.2 mg/l	[34]
Flusilazole	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	1.2 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	3.4 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	6.4 mg/l	[34]
Tébuconazole	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	4.4 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	2.79 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	1.96 mg/l	[34]

Urées substituées

Diuron	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	4.9 mg/l	[31]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	5.9 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (24 h)	1.4 mg /	[33]
		<i>Daphnia pulex</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	1.4 mg /	[31]
	Algues	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Chlorelles	CE ₅₀ (96 h)	0.024 mg/l	[31]
Flufénoxuron	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.0049 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.000065 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	0.00395 mg/l	[34]
Isoproturon	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	37 mg/l	[37]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (96 h)	193 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.56 mg/l	[34]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	0.021 mg/l	[31]
Néburon	Poissons	espèce non précisée	-		0.1 mg/l	[34]
	Algues	espèce non précisée	-		0.015 mg/l	[34]
Nicosulfuron	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96h)	65.7 mg/l	[34]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	> 1000 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	90 mg/l	[34]
	Algues	Algue verte	-	CSEO (NOEC) 96 h	7.8 mg/l	[34]

Pyrétrinoïdes de synthèse

Alphamétrine	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.0028 mg/l	[37]
		<i>Pimephales promelas</i>	Vairon tête-de-boule	CL ₅₀ (96 h)	0.00093 mg/l	[38]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.0003 mg/l	[37]
	Algues	<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	> 0.1 mg/l	[38]
Bétacyflutrène	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.000089 mg/l	[37]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	0.000028 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.00023 mg/l	[37]
	Algues	<i>Scenedesmus subpicatus</i>	-	CE ₅₀ (72 h)	10 mg/l	[34]


Composés organiques traces (substances phytosanitaires) > Pyrétroïdes de synthèse [suite]

Produit	Taxon	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
Deltaméthrine	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.00091 mg/l	[37]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	0.00058 mg/l	[39]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.0035 mg/l	[31]
	Invertébrés	<i>Culex quinquefasciatus</i>	-	CL ₅₀ (24 h)	0.000024 mg/l	[31]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀ (48 h)	> 1000 mg/l	[38]
		<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	>9.1 mg/l	[31]
Esfenvalérate	Poissons	espèce non précisée	-		0.001 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.000052 mg/l	[34]
	Invertébrés	<i>Chironomus riparius</i>	Chironomes	CL ₅₀ (96 h)	0.00013 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	0.0065 mg/l	[34]
Lamda-cyhalothrine	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.00024 mg/l	[37]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin		0.00021 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.00036 mg/l	[34]
Perméthrine	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.0025 mg/l	[37]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	0.0018 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.0006 mg/l	[37]
Tau-Fluvalinate	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.0027 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.0089 mg/l	[34]
	Invertébrés	<i>Chironomus riparius</i>	Chironomes	CL ₅₀ (28 h)	0.24 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	10 mg/l	[34]

Composés acides (phytohormones de synthèse)

2.4.D	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (48 h)	1.1 mg/l	[33]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe <i>Carrasius</i>	CL ₅₀ (96 h)	96.5 mg/l	[33]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (24 h)	100 mg/l	[34]
	Algues	<i>Chlorella vulgaris</i>	Chlorelles	CE ₅₀	19 mg/l	[33]
		<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CE ₅₀ (72 h)	24.2 mg/l	[34]
Mécoprop	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	150-220 mg/l	[37]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	> 100 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	420 mg/l	[37]

Composés nitrés

Dinosébe	Poissons	<i>Ictalurus punctatus</i>	Poisson-chat	CL ₅₀ (96 h)	0.118 mg/l	[33]
		<i>Ictalurus punctatus</i>	Poisson-chat	CL ₅₀ (96 h)	0.058 mg/l	[40]
		<i>Pimephales promelas</i>	Vairon tête-de-boule	CL ₅₀ (96 h)	0.088 mg/l	[40]
	Crustacés	<i>Gammarus fasciatus</i>	Gammars	CL ₅₀ (96 h)	1.8 mg/l	[33]
Dinoterbe (phénol)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.0034 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.47 mg/l	[39]
	Algues	<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CE ₅₀ (72-96 h)	3.24 mg/l	[31]

Composés organiques traces (substances phytosanitaires) > Composés nitrés [suite]

Produit	Taxon	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
DNOC	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.45 mg/l	[37]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (96 h)	6 à 13 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (24 h)	5.7 mg/l	[37]
		<i>Daphnia pulex</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.148 mg/l	[24]
	Algues	<i>Senedemus quadricauda</i>	-	CE (0,7 j)	13 mg/l	[33]
		<i>Senedemus quadricauda</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	6 mg/l	[37]

Carbamates

Aldicarbe	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.56 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.42 mg/l	[34]
	Invertébrés	<i>Chironomus riparius</i>	Chironomes	CL ₅₀ (96 h)	0.004 mg/l	[34]
	Algues	<i>Skeletonema costatum</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	50 mg/l	[34]
Carbofuran	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.362 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.009 mg/l	[34]
	Invertébrés	<i>Chironomus riparius</i>	Chironomes	CL ₅₀ (96 h)	0.046 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	6.5 mg/l	[34]
Méthomyl	Poissons	<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	0.63 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.0076 mg/l	[34]
	Invertébrés	<i>Chironomus riparius</i>	Chironomes	CL ₅₀ (96 h)	0.032 mg/l	[34]
	Algues	espèce non précisée	-	CL ₅₀ (72 h)	60 mg/l	[34]

Phénols

Pentachlorophénol (organochloré)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.052 mg/l	[36]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	0.32 mg/l	[36]
	Crustacés	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	Gammare	Cl ₅₀ (96 h)	0.121 mg/l	[31]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	0.080 mg/l	[33]
		<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	0.42 mg/l	[33]

Autres substances phytosanitaires

Aclonifen (diphényléther, chloré, nitré)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.67 mg/l	[37]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (96 h)	1.7 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	2.5 mg/l	[37]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	0.0067 mg/l	[38]
Alachlore (chloroacétamide)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	1.4 mg/l	[31]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	2,8 mg/l	[38]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	10 mg/l	[37]
	Algues	<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	TL ₅₀ (72 h)	0.012 mg/l	[37]
		<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Chlorelles	CL ₅₀ (24 h)	1.43 mg/l	[31]


Composés organiques traces (substances phytosanitaires) > Autres substances phytosanitaires [suite]

Produit	Taxon	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
Aminotriazole (triazole, azoté)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	243 mg/l	[31]
		<i>Pimephales promelas</i>	Vairon tête-de-boule	CL ₅₀ (96 h)	> 100 mg/l	[36]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	30 mg/l	[33]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	2.3 mg/l	[38]
		<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CE ₅₀ (24 h)	3.75 mg/l	[31]
Azoxystrobine (strobililine)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.47 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.26 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	0.36 mg/l	[34]
Bentazone (diazine, azoté)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	> 100 mg/l	[37]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (8 h)	40 mg/l	[33]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	64 mg/l	[34]
	Algues	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	-	CE ₀ (72 h)	47,3 mg/l	[37]
Carbendazime (carbamate, azoté)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.36 à 0.83 mg/l	[39]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (96 h)	0.0061 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.13 à 0.22 mg/l	[37]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀ (72 h)	0.419 mg/l	[37]
		<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CE ₅₀ (72 h)	1.3 mg/l	[37]
Chlorothalonil (dérivé du benzène, chloré)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.049 mg/l	[37]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (48 h)	0.11 mg/l	[33]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.07 mg/l	[37]
	Algues	<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CE ₅₀ (72 h)	0.13 mg/l	[37]
Diffufécanil (composé fluoré)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	56 à 100 mg/l	[37]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (96 h)	105 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	10 mg/l pas d'effet	[37]
	Algues			96 h	Pas d'inhibition Croissance à 10 mg/l	[37]
Dimétomorphe (morpholine)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	3.4 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	10.6 mg/l	[34]
Diquat (bipyridylum)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	20 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	3 mg/l	[34]
	Algues	<i>Anabaena inaequalis</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	0.005 mg/l	[34]
Fenoxaprop-P-ethyl (aryloxyphenoxy- propionate)	Poissons	<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	0.19 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	1.06 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	0.54 mg/l	[34]
Folpel (phthalimide)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.233 mg/	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.68 mg/l	[34]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	10 mg/l	[34]

Composés organiques traces (substances phytosanitaires) > Autres substances phytosanitaires [suite]

Produit	Taxon	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
Glyphosate (phosphonoglycine)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	8.2 mg/l	[34]
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc en ciel	CL ₅₀ (96 h)	130 mg/l	[36]
		<i>Pimephales promelas</i>	Vairon tête-de-boule	CL ₅₀ (96 h)	97 mg/l	[36]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	11 mg/l	[34]
		<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CSEO (NOEC) 64 j	> 1 000 mg/l	[37]
Algues	<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CE ₅₀ (21j)	0.0038 mg/l	[31]	
Ioxynil (benzanitrile, phénol)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	3.2 mg/l	[34]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	Cl ₅₀ (48 h)	3.3 mg/l	[24]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	3.9 mg/l	[37]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀ (96 h)	24 mg/l	[37]
Iprodione (composé chloré, azoté)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	4.1 mg/l	[37]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	3.7 mg/l (sel de sodium)	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.25 mg/l	[37]
	Algues	<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CE ₅₀ (120 h)	1.9 mg/l	[37]
Oryzalin (dinitroaniline)	Poissons	<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	3.54 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	1.02 mg/l	[34]
	Invertébrés	<i>Chironomus riparius</i>	Chironomes	CL ₅₀ (96 h)	1 mg/l	[34]
	Algues	<i>Anabaena flos-aquae</i>	-	CL ₅₀ (72 h)	18.1 mg/l	[34]
Mancozèbe (dithiocarbamate)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (48 h)	0.66 mg/l	[34]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (48 h)	4 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.073 mg/l	[34]
	Algues	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Chlorelles	CE ₅₀ (96 h)	1.1 mg/l	[31]
Métolachlore (chloroacétamide)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	3.9 mg/l	[37]
		<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CL ₅₀ (96 h)	4.9 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	25 mg/l	[37]
	Algues	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	-	CE ₅₀	0.1 mg/l	[37]
Oxadiazon (oxidiazole, chloré, azoté)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	1.2 mg/l	[37]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	1.2 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	>2.4 mg/l	[37]
	Algues	<i>Scenedesmus subcapitata</i>	-	CE ₅₀ (42 h)	0.04 mg/l	[34]
Pendiméthaline (toluidine, nitré)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.14 mg/l	[37]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	0.2 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CE ₅₀ (48 h)	0.28 mg/l	[38]
	Algues	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	-	CE ₅₀ (72 h)	0.006 mg/l	[34]
Prochloraze (azole, chloré, azoté)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	1 mg/l	[39]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	2.2 mg/l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	4.3 mg/l	[37]
	Algues	<i>Scenedesmus subcapitata</i>	-	CE ₅₀ (72 h)	0.0055 mg/l	[34]
Roténone (biopesticide)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.0019 mg/l	[34]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.004 mg/l	[34]



Composés organiques traces (substances phytosanitaires) > Autres substances phytosanitaires [suite]						
Produit	Taxon	Espèce		Durée essais	Valeurs	Réf.
Trichlopyr (composé acide, chloré)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.0019 mg/l	[34]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Daphnies	CL ₅₀ (48 h)	0.004mg/l	[34]
Trifluraline (toluidine, nitré, fluoré)	Poissons	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	CL ₅₀ (96 h)	0.088 mg/l	[34]
		<i>Lepomis macrochirus</i>	Crapet arlequin	CL ₅₀ (96 h)	0.02 – 0.09 mg /l	[37]
	Crustacés	<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	Cl ₅₀ (48 h)	0.245 mg/l	[34]
		<i>Daphnia magna</i>	Daphnies	CSEO (NOEC) (21 j)	0.051 mg/l	[37]
	Algues	<i>Selenastrum capricornutum</i>	-	CSEO (NOEC) (30 j)	0.0122 mg/l	[34]

→ **Remarque**

Pour plus d'informations sur les paramètres et substances (propriétés et comportement physico-chimiques, effets biologiques) se reporter au recueil de fiches paramètres/substances dans le milieu aquatique (*Le Pimpec et al* [11]).

Notions de chimie

Comportement physico-chimique des substances dans le milieu aquatique

10.1 Notions de chimie

L'atome

L'atome est une partie de matière extrêmement petite, constituée d'un noyau autour duquel gravitent un ou plusieurs électrons. Toute la masse d'un atome est concentrée dans son noyau.

Le noyau comprend des neutrons électriquement neutres et des protons chargés d'électricité positive.

Un atome est électriquement neutre car les charges électriques positives contenues dans son noyau (protons) sont équilibrées exactement par les charges électriques négatives portées par les électrons circulant autour du noyau.

Le symbole chimique C représente l'atome-gramme de carbone, constitué par 6×10^{23} atomes¹ et pesant 12 grammes (masse atomique).

Le symbole chimique O représente l'atome-gramme d'oxygène, constitué par 6×10^{23} atomes et pesant 16 grammes.

La molécule

Une molécule est un ensemble électriquement neutre d'atomes, liés les uns aux autres dans des structures géométriques bien définies formant le plus petit échantillon d'un corps pur (simple ou composé).

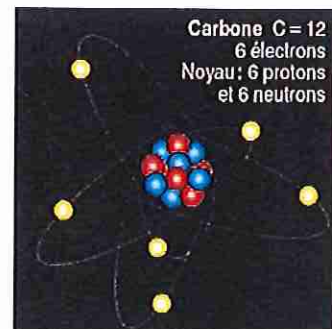
La molécule d'un corps simple est formée de plusieurs atomes d'un même élément.

→ Exemple : H_2 , O_2 , N_2 , molécules diatomiques.

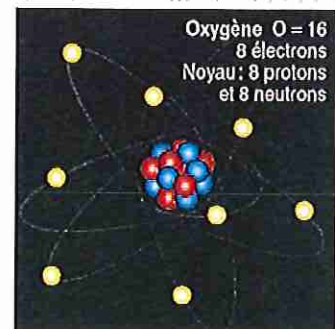
La molécule d'un corps composé est formée d'atomes d'au moins deux éléments différents.

→ Exemples : NH_3 , molécule d'ammoniac, constituée d'un atome d'azote et de trois atomes d'hydrogène ; H_2O , molécule d'eau, constituée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène.

La formule chimique d'un corps pur représente la mole² ou molécule-gramme, constituée par 6×10^{23} molécules, dont la masse est la masse molaire.



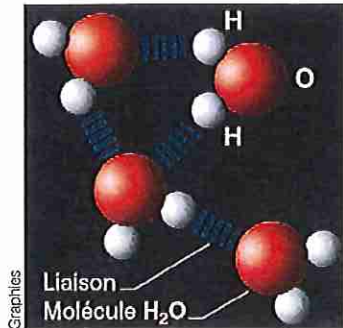
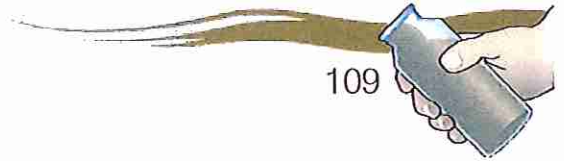
Graphies



Graphies

¹ La valeur 6×10^{23} est le « nombre d'Avogadro ».

² Une millimole (mmole) = 10^{-3} mole = 0,001 mole.



→ Exemples :

• la formule H_2O représente une mole ou molécule-gramme d'eau, constituée par 6×10^{23} molécules d'eau, dont la masse est de :

- (2 x 1) → masse de l'atome-gramme d'hydrogène (masse atomique)
- + 16 → masse de l'atome-gramme d'oxygène (masse atomique)
- = 18 → masse molaire de l'eau

• la formule O_2 représente une mole d'oxygène dont la masse est de :

- (2 x 16) → masse atomique de l'oxygène
- = 32 → masse molaire de l'oxygène

L'ion

Un ion est un atome qui a perdu sa neutralité électrique.

Dans certaines conditions, des atomes peuvent perdre un ou plusieurs électrons, la charge positive du noyau l'emporte sur les charges négatives des électrons restants, si bien que l'ensemble est chargé d'électricité positive : on a un **ion positif ou cation**³. Un atome qui perd ainsi un, deux ou trois électrons devient un ion porteur de un, deux ou trois charges positives :

→ Exemples :

- le cation sodium Na^+ , atome Na moins un électron ;
- le cation calcium Ca^{++} , atome Ca moins deux électrons.

D'autres atomes peuvent gagner un ou deux électrons et donner un **ion négatif ou anion**³. Un atome qui gagne ainsi un ou deux électrons devient un ion porteur de un ou deux charges négatives :

→ Exemples :

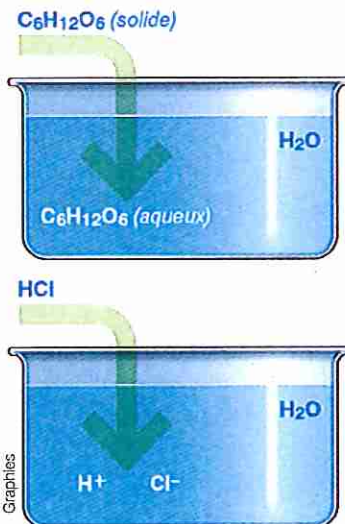
- l'anion chlorure Cl^- , atome Cl plus un électron ;
- l'anion sulfure S^{2-} , atome S plus deux électrons ;
- l'anion nitrate NO_3^- est constitué d'un atome N, de trois atomes O et d'un électron supplémentaire ;
- l'anion sulfate SO_4^{2-} est constitué d'un atome S, de quatre atomes O et de deux électrons supplémentaires.

La dissolution d'un produit dans l'eau consiste à laisser des molécules de ce produit s'introduire au milieu des molécules d'eau.

→ Exemple : dans l'eau les molécules de glucose $C_6H_{12}O_6$ (glucide) se dissolvent [ci-contre].

La dissociation dans l'eau est une réaction permettant la rupture des liaisons chimiques entre noyaux atomiques, sous l'effet de la présence de l'eau.

→ Exemple : dans l'eau, les molécules HCl se dissocient en ions H^+ (cation) et Cl^- (anion) [ci-contre].



³ Les noms de cations et d'anions viennent de ce que, dans une électrolyse (réactions chimiques provoquées par le passage du courant électrique), les ions positifs se dirigent vers la cathode négative et les ions négatifs vers l'anode positive.

L'acide

Un acide est un corps qui, en solution dans l'eau, libère des ions H^+ (par simplification) :

→ Exemples :

- HCl dans l'eau se dissocie en ions H^+ et Cl^-
- H_2SO_4 dans l'eau se dissocie en ions H^+ et SO_4^{2-}

On dit que HCl et H_2SO_4 sont des acides ou qu'ils possèdent la fonction acide.

Les acides en solution présentent un certain nombre de caractères communs :

- action sur les indicateurs colorés : en présence d'acide, l'hélianthine rougit ;
- action sur certains métaux en donnant un dégagement d'hydrogène ;
- attaque du calcaire ;
- saveur piquante ;
- pH inférieur à 7.

La base

Une base est un corps qui, en solution dans l'eau, libère des ions OH^- (ion hydroxyle) :

→ Exemple : $NaOH$ dans l'eau se dissocie sous forme Na^+ et OH^- .

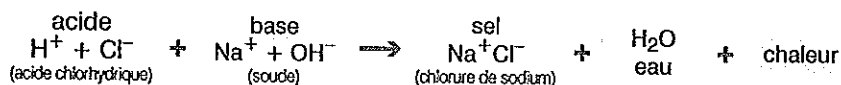
Les bases en solution présentent un certain nombre de caractères communs :

- action sur les indicateurs colorés : en présence de base, la phénolphtaléine rougit ;
- action sur les métaux (précipitation sous forme d'hydroxydes métalliques) ;
- pH supérieur à 7.

Le sel

Un sel est le résultat de l'action d'un acide sur une base.

→ Exemple :



Un sel peut être obtenu par action d'un acide sur certains métaux.

→ Exemple :

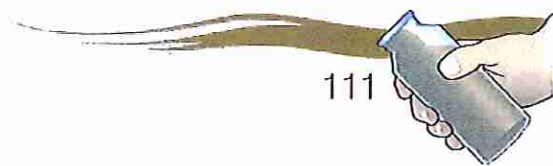


Un sel est un composé ionique. Par exemple, le chlorure de sodium est constitué du cation Na^+ et de l'anion Cl^- .

Un sel en solution se dissocie.

Les noms des sels dérivent de ceux de leurs ions. Ainsi :

- les sels donnés par l'acide chlorhydrique sont des chlorures : leur anion est l'ion chlorure Cl^- ;
- les sels donnés par l'acide nitrique sont des nitrates : leur anion est l'ion nitrate NO_3^- ;



- les sels obtenus avec la soude ont tous comme cation, l'ion Na^+ : ce sont des sels de sodium ;
- les sels obtenus avec la potasse ont tous comme cation, l'ion K^+ : ce sont des sels de potassium.

L'oxydo-réduction (au sens strict)

Un réducteur (au sens strict) est un corps, qui dans certaines conditions, peut prendre de l'oxygène à un composé oxygéné.

→ Exemple : les matières organiques.

Un oxydant (au sens strict) est un corps, qui dans certaines conditions, peut céder de l'oxygène.

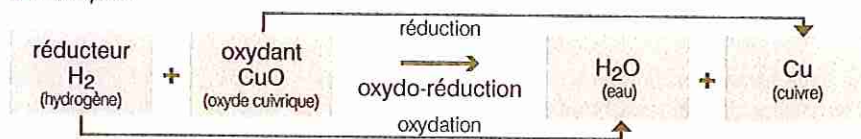
→ Exemple : certains composés oxygénés (ozone, eau oxygénée, etc.).

La réduction (au sens strict) est une réaction dans laquelle un composé perd de l'oxygène.

L'oxydation (au sens strict) est une réaction dans laquelle un élément se combine à l'oxygène.

L'oxydation d'un composé s'accompagne toujours de la réduction d'un autre et la réaction est appelée une oxydo-réduction.

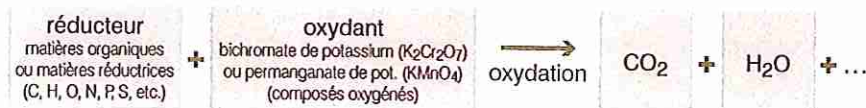
→ Exemple :



L'hydrogène enlève de l'oxygène à l'oxyde cuivrique et fixe cet oxygène pour former l'eau ; on dit qu'il joue le rôle de réducteur. L'oxyde cuivrique qui cède son oxygène à l'hydrogène joue le rôle d'oxydant. Comme l'oxydation de l'hydrogène et la réduction de l'oxyde cuivrique se produisent simultanément, la réaction est appelée une oxydo-réduction.

Une oxydation ou une réduction au sens strict peut donc se définir comme un transfert d'oxygène.

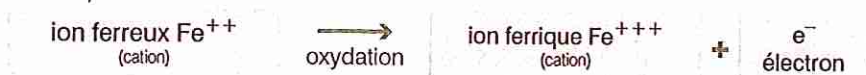
→ Exemple : oxydation dans le cas de la demande chimique en oxygène (DCO) ou de l'oxydabilité au permanganate.



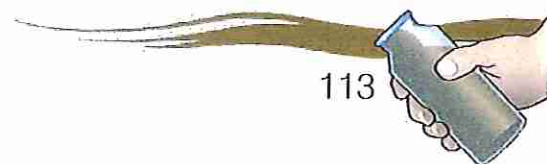
L'oxydo-réduction (au sens large)

Un réducteur (au sens large) est un corps dont les molécules ou les ions peuvent, dans certaines conditions, céder un ou plusieurs électrons.

→ Exemple :



L'oxydation se traduit par une perte d'électrons.



L'électronégativité

L'électronégativité se définit comme l'aptitude d'un atome dans une molécule à attirer à lui les électrons de liaison. Les éléments qui perdent aisément des électrons sont situés en bas et à gauche de la classification périodique ; plus l'électron est loin du noyau, plus il est facile de l'arracher. Ils sont appelés éléments électropositifs. Les éléments qui captent facilement des électrons se trouvent dans la partie supérieure droite de la classification périodique. Ils sont appelés éléments électronégatifs.

→ *Exemple : le césium est très électropositif, le fluor très électronégatif.*

Plus la différence d'électronégativité entre deux éléments est grande, plus la réactivité entre ces éléments est forte.

La réaction chimique

Une réaction chimique est une transformation au cours de laquelle des corps purs (simples ou composés) mis en présence disparaissent en donnant naissance à d'autres corps purs. Dans une réaction chimique la masse et la nature des éléments se conservent. Le noyau ne subit pas de transformation.

Le catalyseur

Un catalyseur est une substance présente lors d'une réaction mais qui n'y participe pas ; son rôle est d'optimiser la réaction.

→ *Exemples : chaleur ; enzyme dans une réaction de type organique*

La saturation

La saturation (ou solubilité maximale) est la quantité maximale d'une substance qu'un solvant peut dissoudre par unité de volume.

→ *Exemples à 10 °C (dans l'eau) : 11,26 mg/l pour l'oxygène dissous ; 263,2 g/l pour le chlorure de sodium (NaCl).*

La solubilité dépend du solvant, de la nature du produit à dissoudre et de la température. Elle croît, à l'exception des gaz, avec la température.

Le pouvoir tampon

Le pouvoir tampon est la propriété d'une solution caractérisée par un pH qui varie peu, par addition d'un acide ou d'une base ou par dilution.

→ *Exemple : le pouvoir tampon de l'eau est lié notamment à sa teneur en hydrogénéocarbonate. Plus une eau est riche en HCO_3^- , plus son pouvoir tampon est élevé.*

L'indicateur coloré

Il s'agit d'une substance ayant la propriété de changer de couleur sous l'influence d'un acide ou d'une base (ex. : BDH, phénolphtaléine) ou sous l'influence d'un oxydant ou d'un réducteur (ex. : bleu de méthylène, ferroïne).

→ *Exemples : les bandelettes plastifiées de pH contiennent des indicateurs colorés de base et d'acide ; le bleu de méthylène est bleu en milieu oxygéné et incolore en milieu réduit.*

La concentration

La concentration est la quantité de substance dans un volume ou une masse donnée. La concentration peut être exprimée en mg/l, $\mu\text{g/l}$, % ou mmole/l. Pour convertir la concentration molaire en mg/l, il faut multiplier la concentration molaire par la masse molaire (en g) et par 10^3 .

→ Exemple : la solution de NaCl à 0,002 mole/l est une solution à $0,002 \times (23 + 35,5) \times 10^3 \text{ mg/l}$ soit 117 mg/l.

Le flux

Le flux est la quantité de substance par unité de temps.

$$\text{Flux} = \text{concentration} \times \text{débit}$$

Le flux peut être exprimé en mg de substance/s, kg de substance/j, etc.

La dureté de l'eau

La dureté totale d'une eau est la somme des concentrations en calcium et en magnésium. Elle est exprimée en degrés français (°F). Pour convertir en mg/l de CaCO_3 la dureté exprimée en °F, il suffit de multiplier par 10 ($1 \text{ °F} = 10 \text{ mg de CaCO}_3$ ou 4 mg de Ca^{2+} ou 2,4 mg de Mg^{2+}).

→ Exemple : une eau contenant 84 mg/l de calcium et 10 mg/l de magnésium a une dureté de $(21 + 4,2) \text{ °F}$, soit 25,2 °F.

10.2 Comportement physico-chimique des substances dans le milieu aquatique

Le comportement d'une substance chimique dans le milieu récepteur peut dépendre de plusieurs phénomènes ou processus : volatilisation, photolyse, hydrolyse, complexation, précipitation, adsorption. La substance peut aussi avoir une action directe sur les caractéristiques du milieu (pH, potentiel d'oxydo-réduction).

La volatilisation

La constante de Henry, calculée à partir de la solubilité dans l'eau et de la tension de vapeur à la même température, permet d'évaluer la tendance d'un produit à se volatiliser, c'est à dire à passer de l'état dissous dans l'eau à l'état gazeux. Plus la constante de Henry est élevée, plus le produit a tendance à se volatiliser.

La constante de Henry est un indicateur de la volatilisation plus adapté que la seule tension de vapeur.

Des composés pour lesquels la valeur de la constante de Henry est inférieure à $10^{-5} \text{ Pa.m}^3.\text{mol}^{-1}$ sont peu susceptibles de se volatiliser.

→ Exemples :

- les polychlorobiphényles (PCB) ont une constante de Henry comprise entre 58 et $722 \text{ Pa.m}^3.\text{mol}^{-1}$ pour les mélanges commerciaux. Cette facilité de volatilisation explique la large contamination de l'environnement par les PCB [11] ;





• le diuron, herbicide, a une constante de Henry de $5,1 \times 10^{-5} \text{ Pa.m}^3.\text{mol}^{-1}$, ses pertes par volatilisation sont négligeables [11].

La photolyse

La photolyse (ou photodégradation) est un processus de dégradation sous l'action de la lumière. Elle n'affecte que les molécules possédant une absorption significative dans le domaine de l'UV-visible.

→ Exemple : alors que le diuron est rapidement dégradé à la lumière, la photolyse n'est pas une voie importante de dégradation du lindane (insecticide) dans l'environnement [11].

L'hydrolyse

L'hydrolyse est la décomposition d'une substance RA par l'eau selon :



Elle est une voie importante de dégradation des substances organiques dans l'environnement. L'hydrolyse dépend de la température et notamment du pH. Les résultats de la dégradation par hydrolyse renseignent sur la stabilité dans l'eau à différents pH.

→ Exemple : l'hydrolyse de l'atrazine (herbicide) est rapide dans les eaux acides ou basiques mais plus difficile à pH neutre.

La complexation

La complexation est une réaction qui associe un complexant, constitué par une molécule en général organique et de grande dimension, à un ion minéral en vue de former un complexe. La complexation peut dépendre aussi des conditions de pH.

→ Exemple : les ions métalliques (cuivre, plomb notamment) sont complexés par la matière organique du milieu aquatique qui joue le rôle de complexant. Ainsi une présence de matière organique peut entraîner une diminution de la toxicité métallique vis à vis de la faune piscicole.

La précipitation

La précipitation d'une substance, c'est à dire le passage de l'état dissous dans l'eau à l'état solide, se fait dès que son produit de solubilité (Ps) est dépassé. Le produit de solubilité est spécifique à une substance et est une constante à une température donnée.

→ Exemples : les produits de solubilité de certains sels métalliques sont très faibles ce qui peut avoir pour conséquence la présence de dépôts métalliques sur les sédiments. Le fer, sous l'action de l'air, a tendance à précipiter en donnant des dépôts d'hydrate de fer brun qui recouvrent les sédiments. Les sels d'aluminium précipitent dans le milieu aquatique sous forme d'hydroxyde d'aluminium, dépôt blanc, léger et floconneux.

L'adsorption

Par simplification, l'adsorption est la rétention à la surface d'un solide, des molécules d'une substance en solution.

L'adsorption d'une substance chimique sur les matières en suspension ou le sédiment est un processus important qui affecte sa distribution dans l'environnement. La rétention d'une substance dans le sédiment dépend des propriétés de la substance et de la composition du sédiment.

Le coefficient de partage sol-eau (K_d) ou le coefficient de partage sol-eau rapporté à la matière organique (K_{oc}) permet une estimation de la mobilité moyenne de la substance ou la possibilité de son transfert vers le sédiment.

Des composés pour lesquels le coefficient de partage K_{oc} est inférieur à $200 \text{ cm}^3/\text{g}$ sont peu adsorbables.

→ Exemple : les cyanures alcalins (NaCN , KCN) ne s'adsorbent pas. La perméthrine et la deltaméthrine (insecticides) se fixent fortement sur les particules [11].

L'influence de la substance sur le pH du milieu

L'apport d'une substance acide ou basique au milieu aquatique modifie d'autant plus le pH de ce milieu que sa teneur en hydrogénocarbonate de calcium est faible (faible pouvoir tampon). Ceci peut avoir pour conséquence un effet sur la toxicité vis-à-vis du poisson, soit direct (effet pH), soit indirect par la modification des espèces ionisées et non ionisées pour des substances susceptibles de s'ioniser.

→ Exemple : l'apport de soude modifie directement le pH du milieu, déplace l'équilibre $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ vers la forme NH_3 qui est toxique vis-à-vis du poisson.

L'influence de la substance sur le potentiel d'oxydo-réduction du milieu

Par comparaison au pH utilisé comme paramètre d'intensité d'un équilibre acide-base, le potentiel d'oxydo-réduction est défini comme un paramètre d'intensité pour un équilibre d'oxydo-réduction.

De même qu'un pH faible indique des conditions acides, un potentiel d'oxydo-réduction faible signifie des conditions réductrices. À l'inverse, un potentiel d'oxydo-réduction fort signifie des conditions oxydantes.

Comme l'hydrolyse ou la formation de complexes, l'apport d'une substance oxydante ou réductrice au milieu aquatique provoque une modification de l'intensité d'oxydo-réduction. Ceci peut avoir pour conséquence un effet sur la toxicité vis-à-vis du poisson, soit direct (exemple : apport de substances réductrices comme les sulfites diminuant la teneur en oxygène dissous), soit indirect suite à la modification des espèces chimiques.

CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

62 150,36
 Numéro atomique
 Point d'ébullition (°C) 1803
 Point de fusion (°C) 1072
Sm
 Symbole (3)
 Masse volumique (g/cm³) (1) 7,353
 Structure électronique (Xe) 4f⁶ 5d⁰ 6s²
Samarium
 Nom

Gaz																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Métalloïdes : de B à At																	rares																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Groupe IA					Groupe IIA					Groupe IIIA			Groupe IVA			Groupe VA			Groupe VIA			Groupe VIIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1 1,00794 H 1,007	2 4,0026 He 0,125	3 6,941 Li 0,535	4 9,01218 Be 1,848	5 9,01218 B 2,07	6 12,011 C 2,267	7 14,007 N 0,81	8 15,9994 O 1,14	9 16,9994 F 1,11	10 20,1797 Ne 1,23	11 22,98977 Na 0,968	12 24,305 Mg 1,738	13 26,98153 Al 2,70	14 28,0855 Si 2,33	15 30,97376 P 1,96	16 32,066 S 1,96	17 35,4527 Cl 1,56	18 39,948 Ar 1,48	19 39,0983 K 0,86	20 40,078 Ca 1,55	21 85,4678 Rb 1,37	22 87,62 Sr 2,63	23 132,905 Cs 3,510	24 137,257 Ba 3,510	25 178,49 La 6,145	26 180,9075 Ce 6,145	27 183,85 Pr 6,145	28 186,207 Nd 6,145	29 188,9062 Pm 6,145	30 191,224 Sm 6,145	31 193,054 Eu 6,145	32 196,96655 Gd 6,145	33 200,59 Tb 6,145	34 203,071 Dy 6,145	35 207,2 Ho 6,145	36 208,9804 Er 6,145	37 222,0175 Fr 6,145	38 223,01973 Ra 6,145	39 226,0254 Ac 6,145	40 227,02771 Th 6,145	41 232,0377 Pa 6,145	42 238,02891 U 6,145	43 244,04187 Np 6,145	44 247,07131 Pu 6,145	45 252,08328 Am 6,145	46 257,10358 Cm 6,145	47 261,10728 Bk 6,145	48 265,10927 Cf 6,145	49 269,10989 Es 6,145	50 273,1144 Fm 6,145	51 287,10602 Md 6,145	52 291,10683 No 6,145	53 295,10829 Lr 6,145	54 299,10946 La 6,145	55 303,10991 Ce 6,145	56 307,11027 Pr 6,145	57 311,11072 Nd 6,145	58 315,11117 Pm 6,145	59 319,11162 Sm 6,145	60 323,11207 Eu 6,145	61 327,11252 Gd 6,145	62 331,11297 Tb 6,145	63 335,11342 Dy 6,145	64 339,11387 Ho 6,145	65 343,11432 Er 6,145	66 347,11477 Tm 6,145	67 351,11522 Yb 6,145	68 355,11567 Lu 6,145	69 359,11612 La 6,145	70 363,11657 Ce 6,145	71 367,11702 Pr 6,145	72 371,11747 Nd 6,145	73 375,11792 Pm 6,145	74 379,11837 Sm 6,145	75 383,11882 Eu 6,145	76 387,11927 Gd 6,145	77 391,11972 Tb 6,145	78 395,12017 Dy 6,145	79 399,12062 Ho 6,145	80 403,12107 Er 6,145	81 407,12152 Tm 6,145	82 411,12197 Yb 6,145	83 415,12242 Lu 6,145	84 419,12287 La 6,145	85 423,12332 Ce 6,145	86 427,12377 Pr 6,145	87 431,12422 Nd 6,145	88 435,12467 Pm 6,145	89 439,12512 Sm 6,145	90 443,12557 Eu 6,145	91 447,12602 Gd 6,145	92 451,12647 Tb 6,145	93 455,12692 Dy 6,145	94 459,12737 Ho 6,145	95 463,12782 Er 6,145	96 467,12827 Tm 6,145	97 471,12872 Yb 6,145	98 475,12917 Lu 6,145	99 479,12962 La 6,145	100 483,13007 Ce 6,145	101 487,13052 Pr 6,145	102 491,13097 Nd 6,145	103 495,13142 Pm 6,145	104 499,13187 Sm 6,145	105 503,13232 Eu 6,145	106 507,13277 Gd 6,145	107 511,13322 Tb 6,145	108 515,13367 Dy 6,145	109 519,13412 Ho 6,145	110 523,13457 Er 6,145	111 527,13502 Tm 6,145	112 531,13547 Yb 6,145	113 535,13592 Lu 6,145	114 539,13637 La 6,145	115 543,13682 Ce 6,145	116 547,13727 Pr 6,145	117 551,13772 Nd 6,145	118 555,13817 Pm 6,145	119 559,13862 Sm 6,145	120 563,13907 Eu 6,145	121 567,13952 Gd 6,145	122 571,13997 Tb 6,145	123 575,14042 Dy 6,145	124 579,14087 Ho 6,145	125 583,14132 Er 6,145	126 587,14177 Tm 6,145	127 591,14222 Yb 6,145	128 595,14267 Lu 6,145	129 599,14312 La 6,145	130 603,14357 Ce 6,145	131 607,14402 Pr 6,145	132 611,14447 Nd 6,145	133 615,14492 Pm 6,145	134 619,14537 Sm 6,145	135 623,14582 Eu 6,145	136 627,14627 Gd 6,145	137 631,14672 Tb 6,145	138 635,14717 Dy 6,145	139 639,14762 Ho 6,145	140 643,14807 Er 6,145	141 647,14852 Tm 6,145	142 651,14897 Yb 6,145	143 655,14942 Lu 6,145	144 659,14987 La 6,145	145 663,15032 Ce 6,145	146 667,15077 Pr 6,145	147 671,15122 Nd 6,145	148 675,15167 Pm 6,145	149 679,15212 Sm 6,145	150 683,15257 Eu 6,145	151 687,15302 Gd 6,145	152 691,15347 Tb 6,145	153 695,15392 Dy 6,145	154 699,15437 Ho 6,145	155 703,15482 Er 6,145	156 707,15527 Tm 6,145	157 711,15572 Yb 6,145	158 715,15617 Lu 6,145	159 719,15662 La 6,145	160 723,15707 Ce 6,145	161 727,15752 Pr 6,145	162 731,15797 Nd 6,145	163 735,15842 Pm 6,145	164 739,15887 Sm 6,145	165 743,15932 Eu 6,145	166 747,15977 Gd 6,145	167 751,16022 Tb 6,145	168 755,16067 Dy 6,145	169 759,16112 Ho 6,145	170 763,16157 Er 6,145	171 767,16202 Tm 6,145	172 771,16247 Yb 6,145	173 775,16292 Lu 6,145	174 779,16337 La 6,145	175 783,16382 Ce 6,145	176 787,16427 Pr 6,145	177 791,16472 Nd 6,145	178 795,16517 Pm 6,145	179 799,16562 Sm 6,145	180 803,16607 Eu 6,145	181 807,16652 Gd 6,145	182 811,16697 Tb 6,145	183 815,16742 Dy 6,145	184 819,16787 Ho 6,145	185 823,16832 Er 6,145	186 827,16877 Tm 6,145	187 831,16922 Yb 6,145	188 835,16967 Lu 6,145	189 839,17012 La 6,145	190 843,17057 Ce 6,145	191 847,17102 Pr 6,145	192 851,17147 Nd 6,145	193 855,17192 Pm 6,145	194 859,17237 Sm 6,145	195 863,17282 Eu 6,145	196 867,17327 Gd 6,145	197 871,17372 Tb 6,145	198 875,17417 Dy 6,145	199 879,17462 Ho 6,145	200 883,17507 Er 6,145	201 887,17552 Tm 6,145	202 891,17597 Yb 6,145	203 895,17642 Lu 6,145	204 899,17687 La 6,145	205 903,17732 Ce 6,145	206 907,17777 Pr 6,145	207 911,17822 Nd 6,145	208 915,17867 Pm 6,145	209 919,17912 Sm 6,145	210 923,17957 Eu 6,145	211 927,18002 Gd 6,145	212 931,18047 Tb 6,145	213 935,18092 Dy 6,145	214 939,18137 Ho 6,145	215 943,18182 Er 6,145	216 947,18227 Tm 6,145	217 951,18272 Yb 6,145	218 955,18317 Lu 6,145	219 959,18362 La 6,145	220 963,18407 Ce 6,145	221 967,18452 Pr 6,145	222 971,18497 Nd 6,145	223 975,18542 Pm 6,145	224 979,18587 Sm 6,145	225 983,18632 Eu 6,145	226 987,18677 Gd 6,145	227 991,18722 Tb 6,145	228 995,18767 Dy 6,145	229 999,18812 Ho 6,145	230 1003,18857 Er 6,145	231 1007,18902 Tm 6,145	232 1011,18947 Yb 6,145	233 1015,18992 Lu 6,145	234 1019,19037 La 6,145	235 1023,19082 Ce 6,145	236 1027,19127 Pr 6,145	237 1031,19172 Nd 6,145	238 1035,19217 Pm 6,145	239 1039,19262 Sm 6,145	240 1043,19307 Eu 6,145	241 1047,19352 Gd 6,145	242 1051,19397 Tb 6,145	243 1055,19442 Dy 6,145	244 1059,19487 Ho 6,145	245 1063,19532 Er 6,145	246 1067,19577 Tm 6,145	247 1071,19622 Yb 6,145	248 1075,19667 Lu 6,145	249 1079,19712 La 6,145	250 1083,19757 Ce 6,145	251 1087,19802 Pr 6,145	252 1091,19847 Nd 6,145	253 1095,19892 Pm 6,145	254 1099,19937 Sm 6,145	255 1103,19982 Eu 6,145	256 1107,20027 Gd 6,145	257 1111,20072 Tb 6,145	258 1115,20117 Dy 6,145	259 1119,20162 Ho 6,145	260 1123,20207 Er 6,145	261 1127,20252 Tm 6,145	262 1131,20297 Yb 6,145	263 1135,20342 Lu 6,145	264 1139,20387 La 6,145	265 1143,20432 Ce 6,145	266 1147,20477 Pr 6,145	267 1151,20522 Nd 6,145	268 1155,20567 Pm 6,145	269 1159,20612 Sm 6,145	270 1163,20657 Eu 6,145	271 1167,20702 Gd 6,145	272 1171,20747 Tb 6,145	273 1175,20792 Dy 6,145	274 1179,20837 Ho 6,145	275 1183,20882 Er 6,145	276 1187,20927 Tm 6,145	277 1191,20972 Yb 6,145	278 1195,21017 Lu 6,145	279 1199,21062 La 6,145	280 1203,21107 Ce 6,145	281 1207,21152 Pr 6,145	282 1211,21197 Nd 6,145	283 1215,21242 Pm 6,145	284 1219,21287 Sm 6,145	285 1223,21332 Eu 6,145	286 1227,21377 Gd 6,145	287 1231,21422 Tb 6,145	288 1235,21467 Dy 6,145	289 1239,21512 Ho 6,145	290 1243,21557 Er 6,145	291 1247,21602 Tm 6,145	292 1251,21647 Yb 6,145	293 1255,21692 Lu 6,145	294 1259,21737 La 6,145	295 1263,21782 Ce 6,145	296 1267,21827 Pr 6,145	297 1271,21872 Nd 6,145	298 1275,21917 Pm 6,145	299 1279,21962 Sm 6,145	300 1283,22007 Eu 6,145	301 1287,22052 Gd 6,145	302 1291,22097 Tb 6,145	303 1295,22142 Dy 6,145	304 1299,22187 Ho 6,145	305 1303,22232 Er 6,145	306 1307,22277 Tm 6,145	307 1311,22322 Yb 6,145	308 1315,22367 Lu 6,145	309 1319,22412 La 6,145	310 1323,22457 Ce 6,145	311 1327,22502 Pr 6,145	312 1331,22547 Nd 6,145	313 1335,22592 Pm 6,145	314 1339,22637 Sm 6,145	315 1343,22682 Eu 6,145	316 1347,22727 Gd 6,145	317 1351,22772 Tb 6,145	318 1355,22817 Dy 6,145	319 1359,22862 Ho 6,145	320 1363,22907 Er 6,145	321 1367,22952 Tm 6,145	322 1371,22997 Yb 6,145	323 1375,23042 Lu 6,145	324 1379,23087 La 6,145	325 1383,23132 Ce 6,145	326 1387,23177 Pr 6,145	327 1391,23222 Nd 6,145	328 1395,23267 Pm 6,145	329 1399,23312 Sm 6,145	330 1403,23357 Eu 6,145	331 1407,23402 Gd 6,145	332 1411,23447 Tb 6,145	333 1415,23492 Dy 6,145	334 1419,23537 Ho 6,145	335 1423,23582 Er 6,145	336 1427,23627 Tm 6,145	337 1431,23672 Yb 6,145	338 1435,23717 Lu 6,145	339 1439,23762 La 6,145	340 1443,23807 Ce 6,145	341 1447,23852 Pr 6,145	342 1451,23897 Nd 6,145	343 1455,23942 Pm 6,145	344 1459,23987 Sm 6,145	345 1463,24032 Eu 6,145	346 1467,24077 Gd 6,145	347 1471,24122 Tb 6,145	348 1475,24167 Dy 6,145	349 1479,24212 Ho 6,145	350 1483,24257 Er 6,145	351 1487,24302 Tm 6,145	352 1491,24347 Yb 6,145	353 1495,24392 Lu 6,145	354 1499,24437 La 6,145	355 1503,24482 Ce 6,145	356 1507,24527 Pr 6,145	357 1511,24572 Nd 6,145	358 1515,24617 Pm 6,145	359 1519,24662 Sm 6,145	360 1523,24707 Eu 6,145	361 1527,24752 Gd 6,145	362 1531,24797 Tb 6,145	363 1535,24842 Dy 6,145	364 1539,24887 Ho 6,145	365 1543,24932 Er 6,145	366 1547,24977 Tm 6,145	367 1551,25022 Yb 6,145	368 1555,25067 Lu 6,145	369 1559,25112 La 6,145	370 1563,25157 Ce 6,145	371 1567,25202 Pr 6,145	372 1571,25247 Nd 6,145	373 1575,25292 Pm 6,145	374 1579,25337 Sm 6,145	375 1583,25382 Eu 6,145	376 1587,25427 Gd 6,145	377 1591,25472 Tb 6,145	378 1595,25517 Dy 6,145	379 1599,25562 Ho 6,145	380 1603,25607 Er 6,145	381 1607,25652 Tm 6,145	382 1611,25697 Yb 6,145	383 1615,25742 Lu 6,145	384 1619,25787 La 6,145	385 1623,25832 Ce 6,145	386 1627,25877 Pr 6,145	387

Notions d'hydro-écologie

Qualité biologique des eaux courantes

11.1 Écosystème aquatique

Définition

Tout milieu aquatique est fondamentalement un écosystème ; c'est-à-dire un système unitaire et fonctionnel incluant une communauté d'organismes vivants (la biocénose) et leur environnement (le biotope).

Le biotope

Le biotope est constitué par l'eau et le substrat (lit et berges des écosystèmes d'eau courante, cuvettes des écosystèmes d'eau stagnante). Il dépend de facteurs climatiques, géologiques et topographiques ayant trait au bassin versant.

Il peut être caractérisé par un certain nombre de composantes qui interagissent de façon complexe rendant délicate l'analyse de l'état global d'un milieu en constante évolution : variation des débits, concentration en éléments chimiques, etc.

Les biocénoses

À quelques rares exceptions, l'ensemble des grands groupes végétaux et animaux est susceptible d'être rencontré dans les eaux douces (virus, bactéries, algues, végétaux supérieurs, protozoaires, invertébrés et vertébrés). Ces organismes peuvent être regroupés en grandes communautés occupant un espace donné dans le milieu aquatique : planctonique¹, périphtyque², benthique³, etc.

Les organismes ont, entre eux, des relations intra ou interspécifiques, de nature trophique (relation proie/prédateur), parasitaire (relation hôte/parasite), etc.

L'habitat

Les différents facteurs de l'écosystème aquatique peuvent être rassemblés en trois catégories :

- **les facteurs physico-chimiques** (pH, sels dissous, etc.), qui, dans leur ensemble, peuvent être considérés comme relativement stables à une grande échelle spatiale (tronçon de cours d'eau) ;
- **les facteurs morphodynamiques** (granulométrie, vitesse du courant, hauteur d'eau, etc.) susceptibles de variations importantes à des échelles beaucoup plus petites ;
- **les facteurs biotiques** (ensemble des relations intra et interspécifiques).

1 - Planctonique : se dit des organismes vivant en pleine eau, mais sans autonomie de déplacement.

2 - Périphtyque : qui vit sur les supports végétaux.

3 - Benthique : qui vit sur le fond ou dans le sédiment.

Les facteurs morphodynamiques et biotiques vont contribuer de façon majeure à répartir, en fonction de leurs exigences écologiques et biologiques, les organismes dans les milieux aquatiques. L'interdépendance de tous ces facteurs et leurs variabilités spatiales et temporelles font du fonctionnement des écosystèmes aquatiques un équilibre dynamique en perpétuel ajustement.

Dans un contexte physico-chimique donné, les facteurs morphodynamiques mesurés à l'échelle des différents organismes vont déterminer, pour chacun d'entre eux, le cadre, essentiellement physique, de l'habitat, dans lequel chaque individu va accomplir les fonctions biologiques permettant le maintien des populations. La juxtaposition des différents habitats dont les limites sont susceptibles de variations dans le temps, conduit à une structure habitationnelle du type « mosaïque » dont la complexité apparaît, en l'absence de toute perturbation de nature physico-chimique, garante d'une biodiversité élevée.

Le rôle central que joue l'habitat fait que tous travaux (curage, endiguement, rescindement, reprofilage, etc.) en perturbant les équilibres morphodynamiques, affaibliront les capacités du milieu à héberger, protéger et assurer le déroulement normal du cycle de développement des différents organismes.

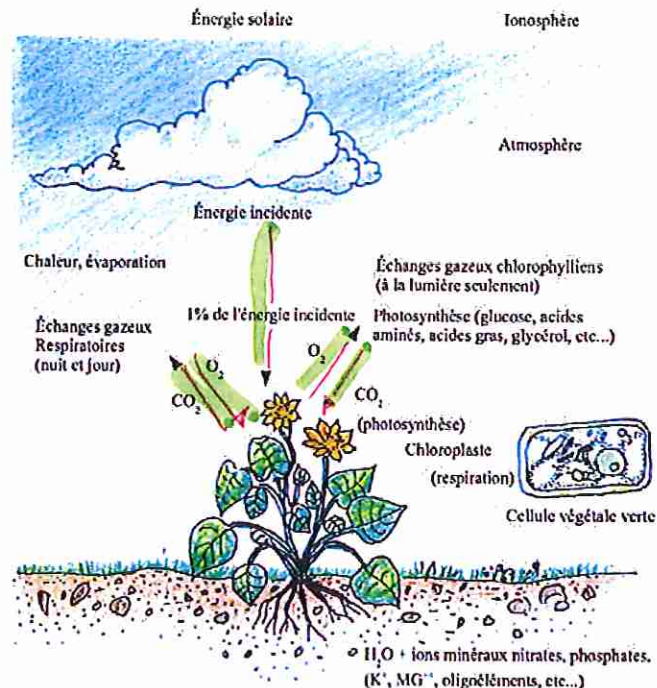
L'édifice trophique

Les relations inter-organismes s'expriment entre autres, à travers la nécessité pour chacun de se nourrir. L'organisation de l'écosystème en réseau trophique apparaît donc fondamentale et conduit au recyclage permanent de la matière organique et minérale. Ce recyclage passe par deux étapes essentielles : l'assimilation par les organismes et la décomposition de ces organismes après leur mort.

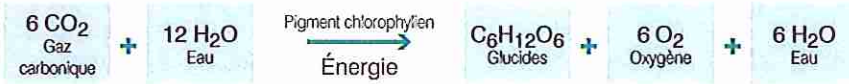
Les végétaux aquatiques chlorophylliens ont la propriété de synthétiser leur propre matière organique carbonée à partir du gaz carbonique dissous dans l'eau. Cette réaction nécessite une source d'énergie externe apportée par le rayonnement solaire et aboutit à la synthèse de molécules complexes (glucides, protides, lipides, etc.).

La photosynthèse
L'extraordinaire usine que constitue une plante, capable de convertir les éléments minéraux puisés dans le sol et dans l'eau en tissus organiques, a, pour source d'énergie, le soleil et, pour « ateliers », les cellules chlorophylliennes qui peuvent être considérées comme les meilleurs capteurs solaires existant actuellement.
Les plantes vertes se nourrissent d'aliments minéraux qu'elles puisent dans l'air ou dans l'eau (CO_2).

Schéma de la photosynthèse
d'après Friedel H. [41]



La réaction globale qui nécessite la présence de lumière et de pigments dans les cellules végétales peut s'écrire :



Ces végétaux, autotrophes pour le carbone, puisent dans le sol ou dans l'eau les autres éléments nutritifs (azote, phosphore, etc.) indispensables à leur développement. Ils constituent le premier niveau du réseau trophique, celui des producteurs ; ils seront alors consommés par des organismes phytophages ou herbivores, encore appelés consommateurs primaires. Ces derniers vont être à leur tour l'objet d'une prédation par des organismes dits consommateurs secondaires, etc. Ainsi les algues microscopiques benthiques et planctoniques, mais également la matière organique en cours de décomposition, constitueront les deux principales sources de nourriture des invertébrés aquatiques qui entreront eux mêmes largement dans le régime alimentaire de la plupart des poissons.

En général, pour un écosystème donné le nombre de niveaux est limité (quatre à cinq). Un même organisme au cours de son développement peut changer de régime alimentaire et passer d'un stade consommateur C1 à CII ou CIII.

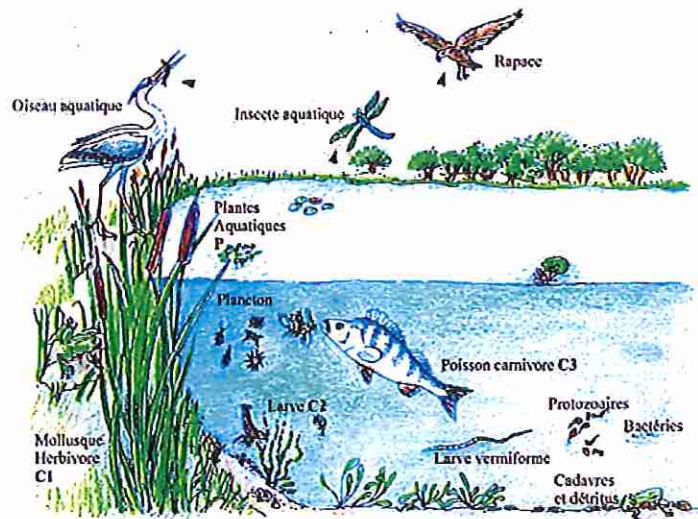
Les déchets produits par ces organismes, ainsi que leurs cadavres seront transformés par des organismes (bactéries et champignons) qui dégraderont la matière organique (ce qui s'accompagne d'une consommation d'oxygène) et restitueront au milieu des éléments simples minéralisés susceptibles d'être réutilisés par les végétaux chlorophylliens.

Ainsi l'existence de relations alimentaires étroites entre les organismes aquatiques fait que toute altération de l'édifice trophique se traduira par une réduction de la capacité de l'écosystème aquatique à produire, à nourrir et à transformer.

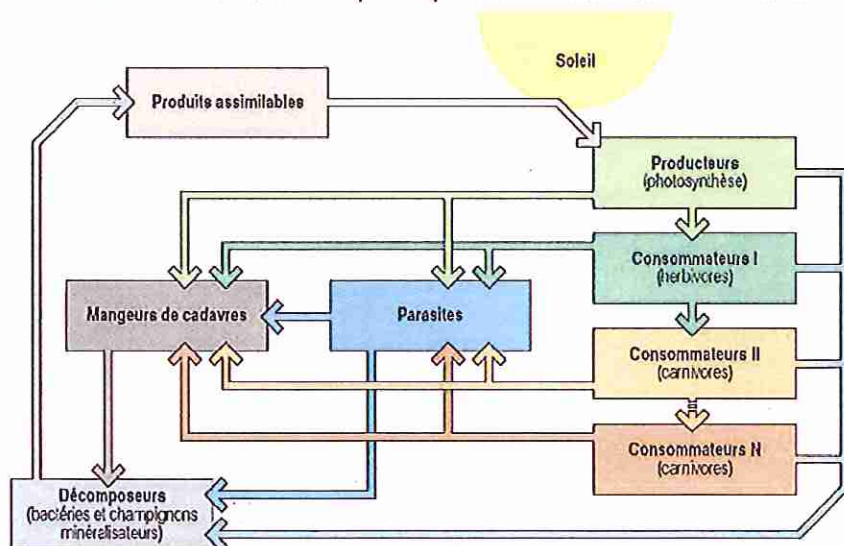
L'ensemble de ces relations complexes peut être résumé sur le schéma suivant.

La chaîne alimentaire de l'étang

Les plantes chlorophylliennes utilisant l'énergie solaire sont le point de départ des chaînes alimentaires terrestres et aquatiques qui, toutes, sont fermées par l'action des bactéries qui minéralisent excréments et cadavres.



P : producteur
C : consommateur (C1, C2, C3)



Les principales étapes du cycle alimentaire dans un écosystème.



11.2 Dynamisme et notion d'eutrophisation

L'écosystème évolue dans l'espace mais également dans le temps sous le contrôle de facteurs s'exprimant, pour certains d'entre eux, à différentes échelles : la nature géologique, le climat, la pente globale de la vallée mais également les débits, la végétation rivulaire, etc.

À court terme, l'écosystème sera le siège d'ajustements permanents. À long terme, des processus souvent imperceptibles à l'échelle humaine se caractérisant entre autres, par une augmentation des ressources minérales et organiques, conduiront le milieu aquatique d'un stade oligotrophe (qui nourrit peu) à un stade eutrophe (qui nourrit bien). Ce phénomène est nommé *sensu stricto* eutrophisation.

Ce processus va se traduire au niveau de la biocénose par une augmentation de la biomasse vivante et, à terme, conduire à l'élaboration d'un édifice trophique le plus complet et le plus diversifié possible.

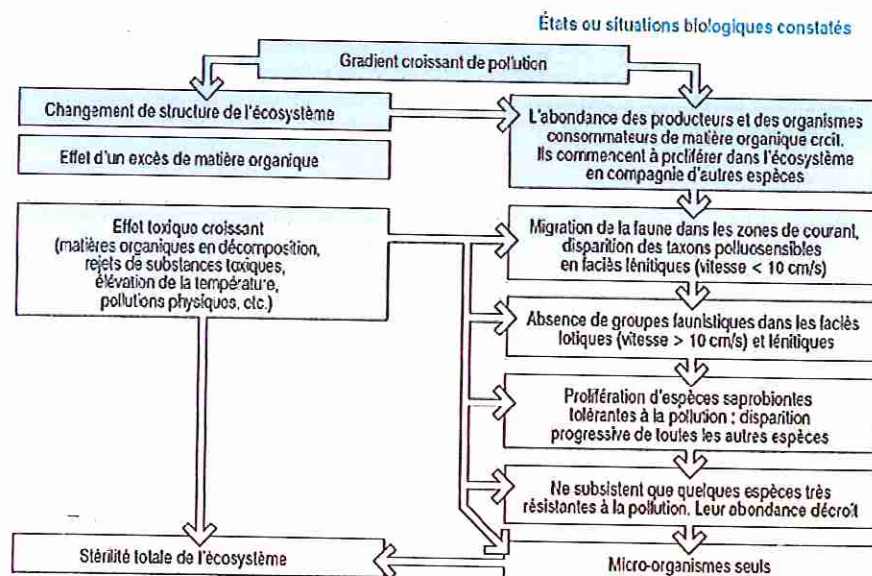
11.3 Conséquences écologiques liées à la pollution des eaux

Les agressions des milieux aquatiques peuvent prendre des aspects très variés : déversements de toutes natures, localisés ou diffus, (domestiques, agricoles, industriels), pompage d'eau, recalibrage des cours d'eau, échauffement de l'eau, etc.

Sous l'action des rejets, l'évolution du milieu va occasionner des changements plus ou moins rapides, qualitatifs et quantitatifs de la structure de l'édifice biologique en place afin d'utiliser au mieux les conditions nouvelles offertes par le milieu. Un certain nombre de phénomènes vont se dérouler en fonction de la nature, de la quantité, du rythme des apports [schéma ci-dessous] et de la structure du milieu récepteur.

Le milieu modifié devient inhospitalier à un nombre de plus en plus grand d'espèces disparaissant dans un ordre bien précis, en fonction de leur plus

Schéma synthétique de l'impact des activités humaines sur un système d'eau courante.
D'après Lafont et al. [42].



ou moins grande tolérance aux variations de certaines composantes mésologiques⁴. Dans le cas de rejets de matières organiques susceptibles de s'intégrer dans l'édifice trophique, ces disparitions s'accompagnent de la prolifération d'un nombre limité d'espèces particulièrement adaptées aux nouvelles conditions de milieu.

Globalement, l'édifice trophique apparaît de plus en plus simplifié entraînant en retour une chute du pouvoir auto-épurateur de l'écosystème. Le processus évolue de façon accélérée.

Quant aux apports n'ayant que des effets toxiques ou inhibiteurs vis-à-vis des peuplements, ils entraînent d'emblée une raréfaction des organismes pouvant conduire dans le cas le plus extrême à un système abiotique.

Ainsi, quelle que soit la nature des rejets et du milieu considéré, les effets des pollutions sur la structure des biocénoses aquatiques se traduisent dans tous les cas par une simplification de l'édifice biologique en place.

11.4 Détection rapide de certains types de pollution

La prolifération de certains organismes, souvent à cycles de développement courts, constitue un excellent outil de détection d'une pollution importante de nature organique ou minérale.

En présence de ces types de contamination, leur développement spectaculaire les rendent facilement observables.

Ces organismes sont pour la plupart des bactéries, des champignons et des plantes vertes (algues et phanérogames) et ne sont à considérer dans ce cas, que comme éléments d'appréciation pour l'étude de ces pollutions.

Éléments d'appréciation
pour l'étude de certains types
de pollution à partir de bactéries,
champignons, plantes vertes.

D'après R. Bonnard, Cemagref.

Voir aussi photos ci-contre.

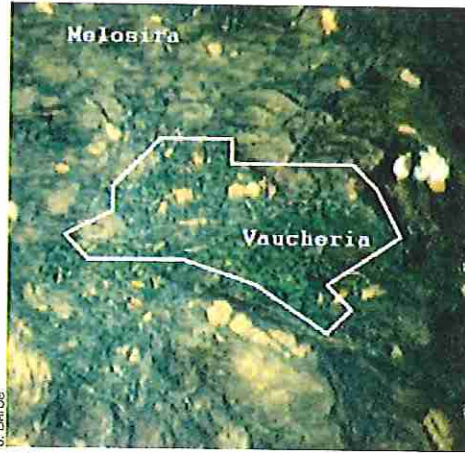
Organismes	Aspects macroscopiques	Nature de la pollution
<i>Sphaerotilus</i> sp.	Bactéries formant des touffes en « queues d'agneau » blanchâtres, gélatineuses au toucher et retenues par différents supports immergés	Pollution organique (essentiellement glucidique).
<i>Beggiatoa alba</i> <i>Thiothrix</i> sp.	Bactéries constituant un voile blanc plus ou moins épais, au fond de l'eau	Eaux privées d'oxygène dissous et concentration importante en hydrogène sulfuré
<i>Chromatium</i> sp.	Bactéries formant des nuages rouges dans l'eau	
<i>Leptomitilus lacteus</i>	Champignons présentant le même aspect que <i>Sphaerotilus</i>	Pollution organique
<i>Fusarium aquaeductum</i>	Champignons constituant des croûtes de couleur rouge en présence de fortes vitesses d'écoulement des eaux	Pollution organique très importante
Algues bleues (Cyanobactéries)	Algues unicellulaires agglomérées dans une substance mucilagineuse recouvrant les différents substrats d'un enduit gluant de couleur vert-bleu ou vert-brun	Pollution par matières organiques plus ou moins minéralisées
<i>Aphanisomenon</i> sp. (Cyanobactérie planctonique)	Algues pluricellulaires non ramifiées teintant les eaux stagnantes (étangs, lacs, canaux) en vert bleuté	Éléments minéraux (sels de phosphore)
<i>Spirogyra</i> sp., <i>Zygnema</i> sp. <i>Melosira</i> sp., <i>Vaucheria</i> sp.	Algues pluricellulaires formant des filaments vert-brun, non ramifiés, plus ou moins visqueux (soyeux pour <i>Vaucheria</i>) au toucher	Matière organique fortement minéralisée (sels d'azote et de phosphore)
<i>Cladophora</i> sp.	Algues pluricellulaires constituées de filaments vert sombre, ramifiés et rêches au toucher (milieu courant)	
Phanérogames (Nymphéacée, <i>Potamogeton</i> sp., <i>Ranunculus</i> sp., <i>Polygonum</i> sp., <i>Lemna</i> sp.)	Plantes immergées ou flottantes envahissant les milieux aquatiques	Éléments minéraux (sels d'azote et de phosphore)



J.M. Gracía
Sphaerotilus sp.



J. Barbe
Chromatium sp.



J. Barbe
Melosira sp. et Vaucheria sp.



J. Barbe
Aphanisomenon sp.



J. Barbe
Cladophora sp.



J. Barbe
Lemna sp.

Certaines observations simples et rapides sur les poissons et les invertébrés apportent des éléments précieux de diagnostic :

- pour les poissons, il convient de rappeler l'observation classique de mortalités massives ou limitées, dues à des déficits en oxygène ou à la présence de toxiques ; les mortalités limitées peuvent être la conséquence de relargages de substances toxiques piégées dans les sédiments ;
- pour les invertébrés, quelques observations simples se révèlent intéressantes :

Éléments simples d'appréciation rapide de cas de pollutions à partir d'invertébrés.

D'après M. Lafont, Cemagref.

Invertébrés	Observations	Habitats	Causes suspectées
Seuls présents : • <i>Dendrocoelidae</i> • Oligochètes • Sangsues • <i>Asellidae</i> • <i>Chironomidae</i> .	Prolifération d'un ou de plusieurs de ces organismes *	Blocs ou pierres de bordures (cours d'eaux ou lacs) et dans le lit du cours d'eau	• Pollution organique si plusieurs groupes sont présents • Pollution mixte (organique + toxique) si un ou deux groupes sont présents
		Blocs ou pierres de bordures (cours d'eaux ou lacs)	Effet de substances toxiques ou effet physique (batillage, ...)
	Absence ou rareté de ces organismes **	Blocs ou pierres dans le lit du cours d'eau	Effet de substances toxiques

* En outre, si un ou plusieurs groupes de ces organismes sont englués dans un biofilm d'algues et/ou de microorganismes, la pollution organique est certaine ; l'absence ou une faible épaisseur du biofilm peut être la résultante d'une contamination par des toxiques.

** Ces organismes peuvent être absents lorsque des algues bleues sont présentes : ce sont alors les algues bleues qui constituent la cause principale de disparition de ces organismes.

Remarque : dans des têtes de réseau en bassin hydrographique, cristallin, les *Heptageniidae* et beaucoup d'invertébrés sont absents en raison d'une acidification du milieu, en l'absence de toute forme de rejet.

11.5 Effets de certains types de pollutions

Impacts hydromorphologiques et écologiques

La pollution (par contamination) de l'eau et des sédiments ne constitue qu'un sous-ensemble des facteurs de dégradation des hydrosystèmes. L'atteinte au lit mineur d'un cours d'eau (modification des écoulements) est de nature à conduire, comme les rejets, à des dysfonctionnements avec des effets plus ou moins accentués sur les édifices biologiques en place.

Rescindement de méandre et recalibrage

Originellement sinueuses, de nombreuses portions de cours d'eau sont rectifiées à des fins généralement agricoles. Cela se traduit par une augmentation localisée de la pente moyenne du secteur, un abaissement de la nappe phréatique et une incision du lit mineur mettant en péril les ouvrages de génie civil et isolant les annexes hydrauliques (anciens méandres). Cette évolution concourt à une homogénéisation des habitats aquatiques, à une accentuation de la sévérité des étiages avec pour conséquence la simplification des édifices biologiques.

Il convient également de noter ici que ces travaux s'accompagnent la plupart du temps de protection des berges (par structures artificielles) ce qui accentue encore les dysfonctionnements et les effets sur les biocénoses.

Suppression de la ripisylve

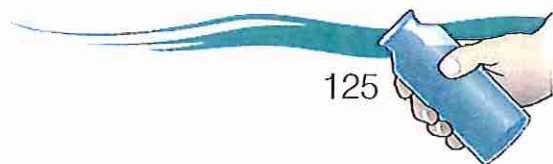
S'il apparaît nécessaire de « gérer » la ripisylve (contenir son exubérance, favoriser sa diversité, assurer sa pérennité, etc.), sa suppression implique rapidement l'apparition de tout un ensemble de dysfonctionnements d'ordre mécanique ou structurant, habitationnel et trophique.

En effet, la végétation rivulaire, en ombrageant les milieux aquatiques, freine l'élévation de la température des eaux en été et limite le développement anarchique des hydrophytes en bordure. Par l'intermédiaire de son appareil racinaire mais également de sa partie végétative dans le cas de strates arborescente et herbacée, elle participe à la fixation des sols environnants et tout particulièrement des berges. Elle apparaît à ce titre comme un agent essentiel de stabilisation du tracé des cours d'eau.

Les formations végétales jouent également un rôle majeur vis-à-vis de la zoonose aquatique ou inféodée à ce milieu. Le chevelu racinaire fréquemment observé en sous-berges constitue un habitat de choix pour de nombreuses espèces d'invertébrés comme de vertébrés aquatiques. Il en est de même en ce qui concerne la partie aérienne de ces végétaux. Cette dernière permet à bon nombre d'organismes aquatiques dont le cycle de développement présente une phase aérienne de se dissimuler, se reposer, et se nourrir.

Enfin l'apport aux milieux aquatiques de ces structures végétales en terme de matière organique et donc d'entrée d'énergie, est loin d'être négligeable. Celui-ci s'inscrit normalement dans l'édifice trophique pour un retour plus ou moins rapide, selon les voies empruntées, des éléments au monde minéral.





Perturbations hydromorphologiques par ouvrages transversaux

Elles sont observées en présence de seuils ou de barrages. Si les seuils, de taille modeste, dans la mesure où ils favorisent la diversité morphodynamique naturelle du secteur de cours d'eau au bénéfice de l'édifice biologique en place peuvent être admis, la plupart du temps les dysfonctionnements générés par ce type d'ouvrages sont importants.

En créant un effet retenue, les flux liquides et solides sont profondément modifiés. Le secteur amont est alors soumis à une augmentation des hauteurs d'eau et à une réduction des vitesses de courant. La disparition des faciès lotiques s'accompagne d'une généralisation de la sédimentation sur tout le secteur. À ce contexte morpho-dynamique très homogénéisé est alors associé un édifice biologique particulièrement réduit.

En ce qui concerne le secteur aval, selon l'objectif des ouvrages (dérivation, création d'un plan d'eau, production d'électricité par turbinage, etc.) et donc leur gestion, les dysfonctionnements seront très divers. Parmi les plus fréquemment observés il convient de noter un colmatage des supports grossiers, et une sévérité accrue des étiages avec comme effets, des proliférations algales et une simplification des zoocénoses.

11.6 Méthode de détermination de la qualité biologique des eaux

Généralités

La méthode de détermination de la qualité biologique des eaux repose sur la **polluosensibilité des organismes** qui les peuplent.

Différentes méthodes sont de nos jours utilisées : celles qui recherchent la présence d'organismes considérés comme indicateurs d'un certain type de pollution (analyses bactériologiques, etc.) et celles, plus globales, qui sont fondées sur l'étude d'une large partie des peuplements aquatiques : les analyses biocénotiques.

Jusqu'à présent les administrations et leurs services d'application sont à la recherche de la méthode idéale (simple, fiable, précise) susceptible d'être largement appliquée. Les hydrobiologistes travaillent depuis de nombreuses années à l'élaboration de méthodes basées sur des analyses biocénotiques et se heurtent à un certain nombre de difficultés d'ordre pratique ou fondamental :

- si l'échantillonnage des zones amont des cours d'eau pose peu de problèmes, celui des milieux potamiques⁵ apparaît particulièrement délicat du fait de l'importance des hauteurs d'eau ;
- des méthodes biocénotiques spécialisées particulièrement adaptées à la mise en évidence de certains types de pollution, requièrent la détermination à l'espèce, et parfois à des limites plus fines que l'espèce, de certains groupes taxonomiques. Or, les services d'applications souhaitent des méthodes pratiques, pouvant être mises en œuvre par des agents généralistes ;

5 - Milieu potamique : cours d'eau de plaine, rivière large à courant lent.

- la diversité et la variabilité des systèmes aquatiques impliquent, dans les méthodes d'applications générales, la prise en compte d'organismes largement représentés dans les systèmes aquatiques, afin de s'affranchir des phénomènes de remplacement des espèces les unes par les autres le long des cours d'eaux ;
- s'il est de nos jours possible de rencontrer des cours d'eau à truites encore peu touchés par la pollution, les zones de référence parmi les milieux potamiques ont disparu depuis longtemps des cours d'eau européens. Il apparaît donc délicat de nos jours de définir des critères biologiques relatifs à certains types de milieu.

Cependant, dans l'ignorance de la nature et de l'ampleur des atteintes portées au milieu et tenant compte du caractère intégrateur des espèces, il apparaît réaliste d'établir un diagnostic à partir de l'étude des peuplements du site apparaissant comme l'effet résultant de l'ensemble des contraintes. L'évaluation des changements au niveau des communautés est particulièrement intéressante lorsqu'il s'agit de comparer l'amont et l'aval d'une source de dégradation afin de faire ressortir l'ampleur des nuisances provoquées au sein de l'édifice biologique et par contre-coup la baisse de qualité biologique qui en résulte.

De plus, les progrès de l'industrie chimique font que de nouvelles substances apparaissent quotidiennement sur le marché avec de grands risques de se retrouver un jour ou l'autre dans les milieux aquatiques. Ces nouveaux composés présents parfois à l'état de traces, sont difficiles à identifier et à doser par les méthodes chimiques actuelles alors que les modifications biologiques induites permettent de déceler (analyses biocénologiques) l'altération des eaux, même en dehors des phases aiguës de la pollution.

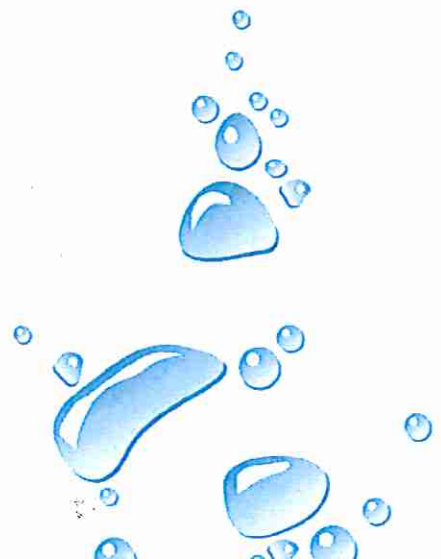
Indice biologique

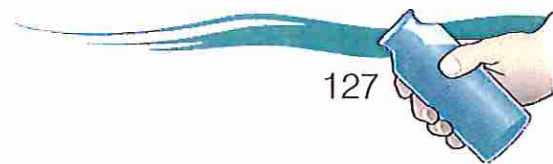
Les services d'applications Onema, Dreal, etc., après avoir utilisé au cours des trente dernières années différentes méthodes dont l'indice biotique (*Tuffery et Vermeaux* [43]) disposent aujourd'hui d'un outil homologué (*Afnor* [44]) : l'**indice biologique global normalisé (IBGN)**.

L'application de l'IBGN ne concerne pas les canaux, les grandes rivières, les fleuves et de manière générale tous les écosystèmes où l'habitat aquatique se révèle homogène, que ce soit en raison de causes naturelles ou humaines. De plus, le protocole de prélèvement de cet indice, favorisant l'échantillonnage des habitats les plus biogènes aux dépens des dominants, les résultats obtenus sont susceptibles de masquer l'effet de certaines altérations.

Afin de pallier certaines de ces limites et dans le cadre de la mise en œuvre de la directive cadre européenne sur l'eau (DCE), un nouveau protocole de prélèvement et de traitement des échantillons des macroinvertébrés benthiques est en cours d'élaboration. Conforme aux exigences de la DCE et plus cohérent avec les différentes méthodes utilisées au niveau européen, il donne une image plus représentative du peuplement de macroinvertébrés d'une station en distinguant plus nettement les zoocénoses des habitats dominants de celles des habitats marginaux.

Ce protocole d'échantillonnage et de traitement des échantillons (*Prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivière peu profonde*, norme XP T90-333 et *Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau*, norme XP T90-388) se substitue à celui de l'IBGN et constitue les deux premières étapes de l'évolution de l'IBGN vers un nouvel indice.





Il convient enfin de signaler qu'une version de l'IBGN (IBGA) adaptée aux grands cours d'eau et permettant de mieux caractériser l'état de ces hydro-systèmes est en cours de développement.

Autres indices et perspectives

Au cours de ces dix dernières années, les gestionnaires ont pris conscience du fait qu'un seul indice biologique n'était pas toujours suffisant pour apprécier la qualité écologique d'un écosystème, particulièrement en présence de polluants (organiques et minéraux) et de perturbations physiques.

On se dirige donc actuellement vers l'utilisation d'une palette de méthodes, stratégie préconisée également au niveau de la Commission européenne. En outre, la détermination des organismes à l'espèce n'est plus actuellement considérée comme un obstacle à la mise en réseau de nouveaux outils. On rappellera à ce titre que l'espèce, voire la souche, constitue l'unité biologique de base en écotoxicologie. De même, le développement de techniques telles que les mésocosmes⁶ ou les canaux expérimentaux fait appel à des déterminations à l'espèce, qui permettent de comprendre de façon plus approfondie les phénomènes de toxicité *in situ*.

Actuellement, dans le cadre du SEQ biologique des agences de l'eau, on s'oriente vers la mise en réseau de cinq indices biologiques : un seul indice, en cours d'évolution aujourd'hui, nécessite encore des déterminations simplifiées à la famille (l'IBGN). Les quatre autres méthodes retenues sont basées sur la prise en considération du genre ou de l'espèce (indices diatomique, macrophyte, oligochète, poisson). On assistera donc, au cours des prochaines années, à la proposition de méthodes nouvelles et opérationnelles nécessitant des déterminations plus précises.



Principales filières de traitement d'eaux usées

12.1 Principes généraux de l'épuration

L'épuration consiste à séparer l'eau des substances indésirables, apportées au cours des divers usages domestiques ou industriels, afin que son rejet après traitement n'induisse pas de dommages (aux plans physico-chimique et hydrobiologique) au milieu récepteur et que ce dernier reste compatible pour d'autres usages situés en aval. Ces substances, souvent organiques, se présentent sous trois formes réparties de la façon suivante dans des eaux usées d'origine domestique :

- **la fraction particulaire**, assimilée aux matières en suspension (MES) décantables [voir plus loin *décanteur-digesteur*] représente 40 % de la charge polluante¹, exprimée sous forme de demande en oxygène (DCO ou DBO) ;
- **la fraction colloïdale**, difficile à caractériser, étant donné la quasi-continuité entre les colloïdes les plus fins et les matières dissoutes. Arbitrairement, on considère en général comme colloïdale toute fraction qui peut être retenue sur une membrane de 0,45 micron (μm) ;
- **la fraction dissoute**.

Ces deux dernières fractions représentent, à parts presque égales, environ 60 % de la charge polluante.

Différents processus, physiques et biologiques, voire dans certains cas physico-chimiques, sont appliqués à l'eau usée pour séparer une part plus ou moins importante de ces différentes fractions afin d'en diminuer la charge polluante. Ils sont rassemblés et mis en œuvre dans les différentes filières de traitement utilisées en épuration qui ne sont donc pas toutes capables de performances identiques. En effet, contrairement à ce que pourrait laisser penser l'étymologie du verbe « épurer », on constate qu'il ne s'agit pas de refaire de l'eau pure, ni même de l'eau potable. De surcroît, l'élimination d'une partie, plus ou moins importante, de la charge polluante de l'eau usée se traduit par la production de déchets divers dont la part essentielle est constituée par les boues dites « d'épuration ».

Ces boues ainsi produites doivent trouver une destination qui, au pire, limitera les nuisances résultant de leur élimination, et, au mieux, sous certaines conditions présentées plus loin, cherchera à tirer parti de leur composition riche en matière organique pour les épandre sur des terrains agricoles.

La quantité de boues produites est en partie sous la dépendance du niveau de traitement exigé pour les eaux usées. Celui-ci est encadré par la réglementation visant à protéger les milieux récepteurs et les divers usages rendus possibles en fonction de la qualité préservée de leur eau.

¹ - Charge polluante (ou flux polluant) : expression qui permet de quantifier les différentes formes de pollution (DCO, azote, phosphore, etc.). On l'obtient en multipliant un volume donné (en m^3/jour) par une teneur ou concentration (en mg/l ou g/m^3) ; le produit s'exprime en g/jour ou kg/jour de l'élément considéré.



12.2 Aspects réglementaires de l'assainissement

La conception, l'aménagement et l'exploitation du système de collecte et de la station d'épuration des eaux usées sont déterminés par un arrêté interministériel du 22 juin 2007 « relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité et aux dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/jour de DBO₅ ».

Cet arrêté concerne des systèmes d'une taille minimale de vingt équivalent-habitants (EH)² conçus comme des ensembles techniques cohérents ; il comporte six chapitres et cinq annexes. Ces dernières fixent notamment les performances minimales des stations d'épuration en fonction de leur taille ainsi que les modalités de leur autosurveillance.

Un arrêté interministériel du 7 septembre 2009, détermine les prescriptions techniques applicables aux systèmes d'assainissement non collectif (ANC) recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg par jour de DBO₅. Il intéresse donc la très grande majorité des habitations dites « unifamiliales ».

12.3 Principales filières de traitement d'effluents de collectivités

12.3.1 Prétraitements

Leur rôle est de séparer de l'eau usée brute les matières ne pouvant être normalement dégradées lors du traitement et qui, de plus, risqueraient d'entraver la bonne marche des équipements constitutifs de la filière de traitement.

Dégrilleur

Il protège la station d'épuration contre l'introduction de déchets volumineux ou non dégradables qui pourraient obturer les conduites ou bloquer des organes mécaniques. Il est constitué d'une grille plus ou moins sophistiquée dont l'espacement entre les barreaux ou éléments filtrants est adapté aux conditions de fonctionnement de la station. Le nettoyage peut être effectué manuellement ou être automatisé.

Dessableur

Son rôle est, comme son nom l'indique, de retenir les sables et autres particules lourdes, souvent abrasives qui pourraient détériorer les équipements (pompes notamment) et constituer des dépôts dans les ouvrages.

Dégraisseur

Il ôte les graisses et les huiles de l'effluent car ce sont des substances qui ne peuvent se dégrader facilement dans les stations d'épuration. En effet, elles forment des pellicules à la surface des liquides ou s'agglomèrent en amas gênant le traitement et pouvant boucher des canalisations.

2 - Équivalent-habitant : par définition, c'est la quantité de pollution engendrée quotidiennement par un habitant, fixée à 60 g de DBO₅.

À l'exception des refus de dégrillage qui peuvent rejoindre les traitements d'ordures ménagères, les sables et substances graisseuses retenus par les prétraitements constituent des déchets qui sont désormais traités directement dans les grosses stations (traitement biologique des graisses et lavage des sables qui sont souvent réutilisés pour du remblaiement). Généralement, ces stations peuvent accueillir les déchets des autres stations plus petites de la collectivité (communauté de communes, syndicat intercommunal, etc.).

12.3.2 Traitements primaires

Décantation simple

Un simple traitement physique par décantation, qui consiste à séparer, sous la seule action de la gravité, les particules les plus denses ou les plus grosses, concerne la fraction particulaire. Son rendement, en terme d'abattement de la charge polluante d'une eau usée de type domestique, n'excède théoriquement pas 40 %. Dans la pratique, avec les dimensionnements généralement appliqués, les rendements effectifs sur les MES sont la plupart du temps de 50 à 70 %, avec des abattements souvent voisins de 30 % pour la DCO et la DBO₅ et d'environ 10 % en ce qui concerne l'azote et le phosphore.

Un décanteur constitue souvent le premier étage de traitement de filières biologiques sensibles au colmatage (biofiltres pour les moyennes ou grosses collectivités, lits bactériens ou disques biologiques pour celles de moindres tailles). Les dépôts – ou boues – ainsi piégés sont transformés par voie anaérobie (sans oxygène) dans le digesteur immédiatement placé sous le décanteur dans le modèle le plus courant, (décanteur-digesteur constituant la fosse *Imhoff*) afin qu'ils présentent moins de nuisances (notamment des odeurs) lorsqu'ils sont périodiquement évacués. Pour des collectivités de petites tailles (≤ 500 EH), le décanteur-digesteur est souvent remplacé par une fosse septique toutes eaux (FTE, très souvent utilisée en ANC) à compartiment unique qui est en général dimensionné pour recevoir le débit moyen par temps sec reçu en trois jours. La vidange des boues accumulées dans cet ouvrage doit intervenir dès que ces dernières occupent 50 % du volume utile.

Le décanteur primaire et la FTE ne peuvent constituer à eux seuls des dispositifs de traitement capables de répondre aux exigences de la réglementation.

Traitement physico-chimique

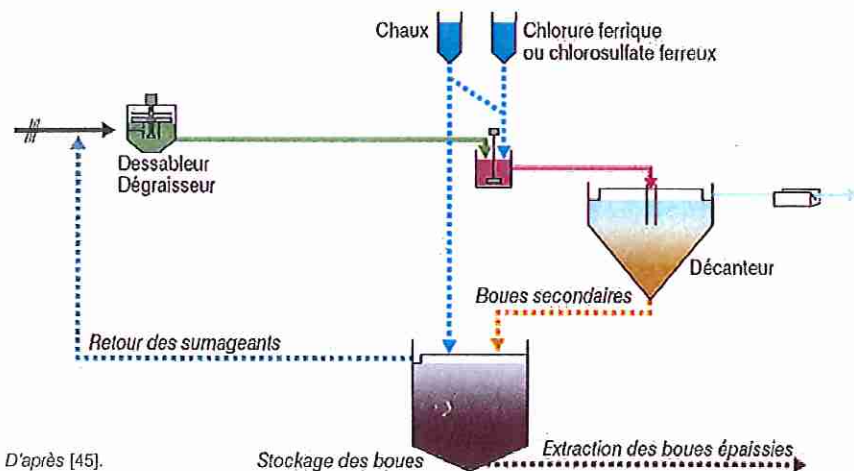
Lorsqu'une séparation plus efficace des matières en suspension est exigée, plutôt que d'augmenter la surface et le volume du décanteur primaire, il est préférable d'ajouter à l'eau usée différentes substances (coagulants³ et floculants⁴) visant à agglomérer les particules entre elles afin qu'elles décantent plus rapidement. Corrélativement à leur action sur les particules, les coagulants (sels de fer et/ou d'aluminium) précipitent les orthophosphates qui se retrouvent alors piégés avec les boues. Les rendements constatés sur le phosphore total sont en général importants et fonction des doses de coagulants appliquées (cf. point 12.4).

Même pour les stations recevant une charge brute de pollution inférieure ou égale à 120 kg/j de DBO₅, les procédés physico-chimiques ne peuvent atteindre le rendement minimum de 60 % sur la DBO₅. Ils sont donc toujours associés à des traitements biologiques dont ils constituent :

- soit un traitement primaire de décantation poussée ;
- soit un maillon ajouté au traitement secondaire biologique pour améliorer la décantation des floccs bactériens et conjointement assurer une partie importante de la rétention des orthophosphates.

3 - Coagulant : produit qui transforme les charges électriques à la périphérie des particules leur permettant ainsi de se rassembler plutôt que de se repousser mutuellement.

4 - Floculant : substance dense, d'aspect souvent gélatineux qui favorise le regroupement de particules en amas appelés « flocc ».



D'après [45].

S'ils ont une action marquée sur la fraction particulaire et dans une moindre mesure sur la fraction colloïdale, les traitements physico-chimiques sont sans effet sur la fraction carbonée et les composés azotés dissous (sels ammoniacaux, notamment).

12.3.3 Traitements secondaires biologiques

Les filières de traitement biologiques anaérobies, dans des digesteurs spécialement aménagés, certes efficaces sur des eaux usées très concentrées, ne permettent pas d'atteindre un niveau de qualité compatible avec un rejet direct vers le milieu naturel. Elles sont, de ce fait, essentiellement utilisées en traitement préalable aux filières biologiques aérobies (en présence d'oxygène) dans des industries agro-alimentaires de grosse taille (distilleries, notamment). Elles ne seront donc pas exposées ici.

L'activité épuratoire par les procédés biologiques en milieu aérobie s'appuie sur le développement de certaines bactéries (normalement présentes dans le sol, l'eau et l'air) se nourrissant de matière organique. La pollution est donc transformée en corps bactériens et réserves alimentaires, qui s'agglomèrent en particules appelées floccs. Des organismes plus évolués (protozoaires) figurent aussi dans les premiers maillons de cette micro-chaîne alimentaire. Leur action est importante pour améliorer la qualité de l'eau interstitielle dans laquelle baigne le floc dont ils facilitent la décantation.

Le développement de cette biomasse peut s'effectuer de différentes façons :

- en suspension dans l'eau à traiter : on parle ainsi de *cultures libres* ;
- sur supports : il s'agit alors de *cultures fixées*. Selon la taille du support, on distingue les cultures fixées sur supports grossiers (la gamme de taille est de l'ordre du centimètre) et les cultures fixées sur supports fins (dont la taille est comprise entre quelques millimètres pour les gravillons et sables et quelques dizaines de microns pour les sols, dont les lits filtrants et tranchées d'infiltration constituent les exemples les plus communs, en ANC notamment).

■ Cultures libres

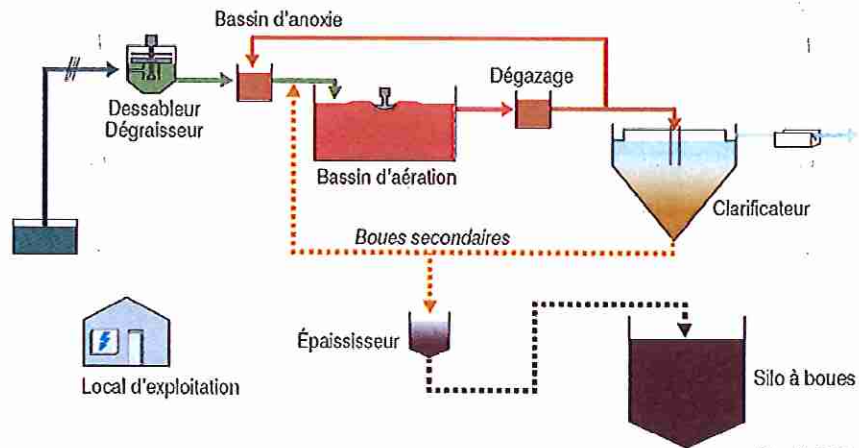
Boues activées en aération prolongée

Les boues activées constituent la référence des traitements biologiques aérobies en cultures libres. L'aération est assurée mécaniquement, soit par des aérateurs de surface (turbines, brosses), soit par insufflation d'air associée à des diffuseurs placés au fond du bassin d'aération. La culture bactérienne est séparée de l'eau traitée par décantation dans le clarificateur, puis une importante partie est réintroduite dans les bassins de traitement (c'est-à-dire dans le cas le plus simple, le bassin d'aération) grâce à la recirculation des boues et le reste est évacué de la filière eau (boues en excès).

Il existe plusieurs types de stations à boues activées classés selon la quantité de pollution appliquée à la culture bactérienne. On parlera de différents domaines de charge, dont le paramètre principal est appelé charge massique et s'exprime en kg de DBO₅/kg de MVS/jour⁵.

Compte tenu des objectifs fixés par la loi sur l'eau (niveau de rejet minimal), le respect du rejet nécessite de travailler dans le domaine de la faible charge voire de l'aération prolongée (charge massique de 0,1 kg de DBO₅/kg de MVS/j d'où une charge volumique de l'ordre de 0,35 kg de DBO₅/m³/j), appelé boues activées en aération prolongée.

Pour les autres domaines de charge, forte et moyenne, dont les performances sont insuffisantes pour le respect des niveaux de rejet, la partie boues activées sera retenue comme premier étage de traitement qui devra être complété par un autre procédé biologique : bio-filtres dédiés au traitement de l'azote, par exemple.



D'après [45].

La boue activée en aération prolongée s'adapte à une très large gamme de tailles allant de quelques centaines d'habitants à plusieurs milliers. C'est un procédé capable d'assurer une excellente qualité d'effluents épurés :

- faible quantité de matière organique résiduelle ;
- le traitement de l'azote est rendu possible en raison d'un âge de boue suffisant pour permettre le développement de la biomasse responsable de la nitrification. La dénitrification est indispensable et assurée par une bonne optimisation des réglages d'aération ;
- le traitement du phosphore peut être de type biologique si l'installation est équipée d'ouvrage spécifique (bassin anaérobie en tête, notamment) ou par déphosphatation physico-chimique par ajout de coagulants dans le bassin d'aération.

De plus, le domaine de l'aération prolongée permet une plus faible production spécifique de boue (kg de MES / kg de DBO₅ éliminée) avec une fraction organique (MVS) moindre.

La principale innovation dont bénéficie la boue activée concerne la séparation des phases liquide et solide. Elle n'est désormais plus seulement assurée par un décanteur ou clarificateur mais par des dispositifs membranaires de différents types (membranes à fibres creuses ou planes, immergées dans le bassin d'aération ou dans un volume externe dédié). Le procédé appelé bio-réacteur à membrane qui permet d'obtenir un effluent débarrassé des matières en suspension et de toute bactérie, répond à des niveaux de qualité sanitaire compatibles avec des milieux sensibles (rejet en zone de baignade) et avec la réutilisation des eaux traitées.

Cette technologie qui conduit à des installations plus compactes, évolue très rapidement. La diminution des coûts des membranes, ainsi que l'optimisation de l'exploitation (réduction de l'énergie électrique nécessaire pour l'air de décolmatage des membranes) devraient permettre d'étendre son domaine d'application. Pour l'instant, son utilisation concerne essentiellement des tailles supérieures à 3 000 habitants en raison de coûts d'investissements et

5 - MVS : matière volatile en suspension, assimilée ici à la biomasse vivante et active.



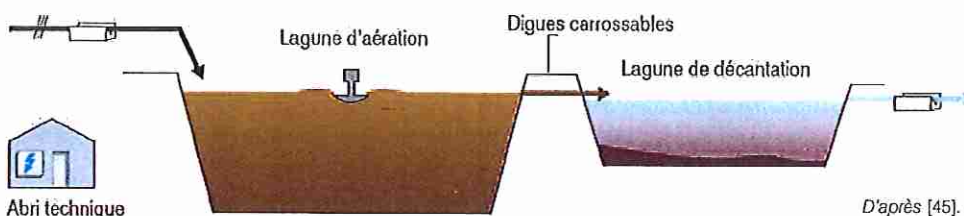
d'exploitation encore élevés auxquels il faut ajouter, une bonne technicité des agents chargés d'en assurer le fonctionnement.

→ **Performances attendues** : $DBO_5 \leq 25 \text{ mg/l}$, $DCO \leq 125 \text{ mg/l}$, $MES \leq 25 \text{ mg/l}$, $NK \leq 10 \text{ mg/l}$, $NGL^6 \geq 80 \%$ d'élimination voire bien supérieures avec une filtration membranaire en remplacement du clarificateur.

D'une manière générale, le traitement par boues activées (indépendamment du mode de séparation de l'eau interstitielle et de la boue) procure un bon niveau de traitement mais la pérennité des performances exige une exploitation soutenue et une gestion optimisée de la production de boues, par un personnel ayant des compétences tant en biologie qu'en électromécanique.

Lagunage aéré

Le lagunage aéré se différencie des boues activées par l'absence de recirculation de la culture bactérienne séparée par décantation dans une ou deux lagunes à l'aval de celle d'aération. Dans cette dernière, la croissance de la population bactérienne est donc en équilibre avec la disponibilité, restreinte, de matière organique.



Ceci a deux conséquences :

- la faible densité de bactéries entraîne un temps de traitement long dans la lagune d'aération (temps de séjour de vingt jours) pour dégrader la majeure partie de la matière organique dissoute. On est donc ici en présence d'un système peu intensif, aux performances limitées mais néanmoins au fonctionnement très stable. Cela lui permet de s'adapter à des types d'effluents variés, plus concentrés comme peuvent l'être des eaux usées domestiques mélangées, par exemple, avec des eaux d'une industrie agro-alimentaire, raccordée au réseau communal ;
- les bactéries sont faiblement floculées en sortie de la lagune d'aération. Ceci suppose une séparation lente avec l'eau interstitielle au sein d'une lagune de décantation (temps de séjour de cinq jours), beaucoup plus largement dimensionnée que ne l'est un clarificateur de boues activées. Cette biomasse épuratoire s'accumule au fond de la lagune de décantation d'où elle est évacuée, sous forme de boues, tous les deux ans environ.

Les performances relativement modestes présentées ci-dessous et l'emprise au sol non négligeable limitent l'utilisation de ce procédé aux collectivités rejetant une charge de pollution inférieure à 120 kg/j de DBO_5 . Il peut cependant être utile pour des collectivités recevant aussi des eaux usées industrielles (agro-alimentaire, notamment) susceptibles de modifier l'équilibre nutritionnel des effluents pouvant favoriser le développement de bactéries filamenteuses gênantes pour une station à boues activées.

→ **Performances attendues** : $DBO_5 \leq 35 \text{ mg/l}$, $DCO \approx 135 \text{ mg/l}$, $MES \leq 35 \text{ mg/l}$, $NK \approx 30 \%$ d'élimination et $NGL \approx 25 \%$ d'élimination.

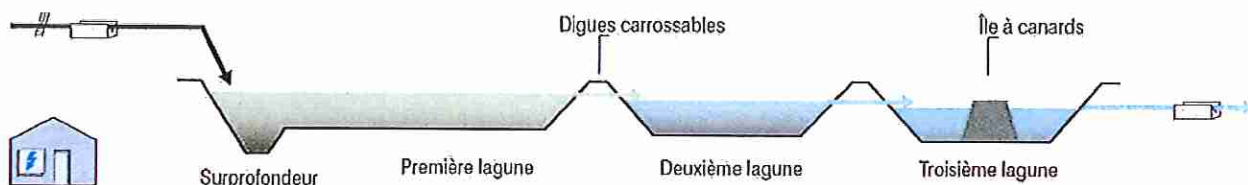
Lagunage naturel

L'épuration repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux microscopiques (algues) en présence de rayonnements lumineux.

6 - NGL : azote global ; il regroupe toutes les formes de composés azotés qu'ils soient réduits ou oxydés.

Le dimensionnement s'appuie sur l'observation du fonctionnement de lagunes installées depuis une vingtaine d'années en France. On recommande une surface utile de 11 m^2 par équivalent-habitant, répartie en trois bassins :

- la première lagune ($6 \text{ m}^2/\text{EH}$) est le siège prépondérant de l'abattement de la charge polluante carbonée. En sortie de ce bassin, la concentration en algues microscopiques peut être importante. Il est éventuellement équipé, en tête, d'une surprofondeur qui piège une partie des MES apportées par le réseau d'assainissement et dont la vidange annuelle facilite le curage des boues qui s'accumulent progressivement sur le fond de l'ensemble du bassin ;
- la deuxième lagune ($2,5 \text{ m}^2/\text{EH}$) permet un abattement de l'azote, du phosphore et une réduction de la concentration en algues ;
- la troisième lagune ($2,5 \text{ m}^2/\text{EH}$) continue l'abattement obtenu dans la deuxième lagune. Elle permet aussi de conserver une bonne qualité de traitement lors d'un incident (dysfonctionnement) ou d'une opération d'entretien (curage) survenant sur le premier bassin.



Abri technique

D'après [45].

Les rendements sont en partie sous la dépendance des saisons (plus faibles en hiver), notamment ceux concernant les nutriments (azote et phosphore) que les algues consomment pour leur croissance.

À partir du 1^{er} janvier 2013, les lagunages devront atteindre les performances minimales retenues dans le tableau 1 de l'annexe I de l'arrêté interministériel du 22 juin 2007, soit un rendement en DCO de 60 % sur échantillons non filtrés.

→ **Performances attendues** : DCO ≥ 60 % d'élimination, MES $\leq 150 \text{ mg/l}$, NK ≥ 60 % d'élimination, NGL ≈ 60 % et PT ≈ 60 % d'élimination.

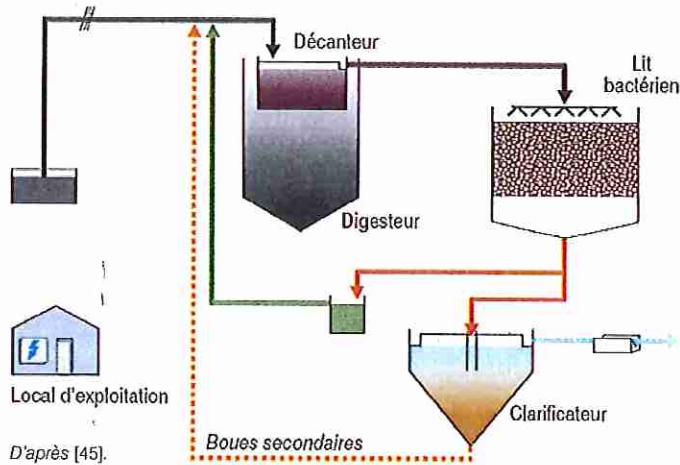
■ Cultures fixées

Lit bactérien

En France, les filières de traitement de type lit bactérien et disques biologiques sont relativement peu développées. Ces procédés font donc l'objet d'un moindre effort de recherche de la part des constructeurs nationaux qui importent souvent une partie des équipements. De ce fait, la plupart des innovations ainsi que les principaux critères de conception sont établis à partir de recommandations provenant d'autres pays européens.

La biomasse épuratoire est fixée sur un support sur lequel l'eau à épurer ruisselle. Les larges interstices de ce support dit « grossier » permettent une ventilation nécessaire au bon fonctionnement.

Le lit bactérien est l'ancêtre des procédés d'épuration apparus en Grande Bretagne il y a plus d'un siècle. Depuis le milieu des années soixante-dix, l'utilisation de garnissages « plastiques », ayant des surfaces développées de 150 à 200 m^2 par m^3 et des indices de vide plus importants (95 %) que ceux des matériaux traditionnels (pouzolane, cailloux, qui ne dépassent pas 50 %), permet d'accepter de fortes charges organiques avec peu de risque de colmatage.



Des progrès ont été réalisés pour contrôler la croissance du biofilm (ou biomasse épuratoire fixée sur le support), grâce à une augmentation de la charge hydraulique par recyclage, en tête de station ou de lit, d'une partie des flux traités. Une plus grande maîtrise de l'arrosage est aussi obtenue par l'utilisation de sprinklers motorisés (réduisant la vitesse de rotation des bras d'arrosage qui se situe aux environs de six tours par minute sur les distributeurs entraînés par simple réaction à l'écoulement).

Les performances sont liées à la charge volumique traitée ; on citera ci-dessous celles obtenues pour une charge journalière limitée à $0,7 \text{ kg de DBO}_5/\text{m}^3$ de matériau. Une charge volumique plus faible et, par conséquent, un volume de lit bactérien plus important, les améliorerait mais ne serait pas compétitif en terme de coût d'investissement par comparaison avec une boue activée.

Pour des collectivités rejetant une charge polluante inférieure à $120 \text{ kg/j de DBO}_5$, apparaissent des configurations nouvelles pour lesquelles le décanteur-digester est remplacé par un tamisage fin (grille de maille 3 mm , en général avec compactage des déchets qui sont évacués avec les ordures ménagères). Le clarificateur est remplacé par des lits de clarification-séchage plantés de roseaux dans lesquels les boues se déshydratent et s'accumulent en bénéficiant conjointement d'une minéralisation aérobie. Souvent au nombre de quatre, ces lits sont alimentés individuellement en alternance pendant une semaine puis mis au repos pendant trois semaines. Leur vidange n'intervient que lorsque la boue s'est accumulée pendant plusieurs années mais, en raison du développement récent de cette technique, il n'est pas encore possible de savoir quelle épaisseur de boues ne permettra plus de faire passer tout le débit reçu par la station dans chacun des lits. La qualité du rejet peut être améliorée pour les paramètres indicateurs de la matière organique (DCO, DBO_5 et MES) mais le recul n'est pas encore suffisant pour connaître l'influence de la minéralisation des boues sur les concentrations des nutriments.

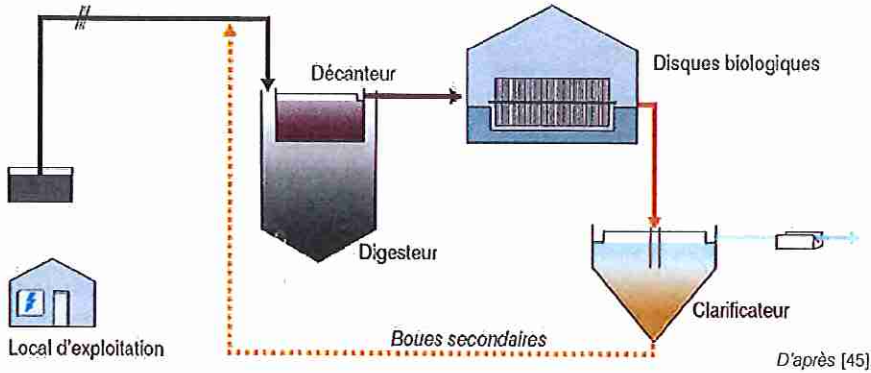
→ **Performances attendues** avec un clarificateur : $\text{DBO}_5 \leq 35 \text{ mg/l}$, $\text{DCO} \approx 125 \text{ mg/l}$, $\text{MES} \leq 30 \text{ mg/l}$, $\text{NK} \approx 50 \%$, $\text{NGL} \approx 40$ et $\text{PT} \approx 30 \%$ d'élimination.

Disques biologiques

Les disques biologiques ont connu un fort abandon depuis 1975 en France, justifié par de nombreuses défaillances mécaniques et un sous-dimensionnement chronique. Dans d'autres pays européens, en Allemagne et au Royaume-Uni notamment, cette technique figure toujours en bonne place, parmi celles réputées adaptées au traitement des eaux usées domestiques.

Par conséquent, les constructeurs présents dans ces pays ont normalement fait évoluer la technologie vers une plus grande robustesse et fiabilité de la partie mécanique, d'une part, et vers le développement de nouveaux supports, légers et offrant souvent une surface développée accrue d'autre part.

Comme pour les lits bactériens, la qualité de l'eau épurée est directement liée à la charge polluante appliquée par unité de surface mouillée des disques. Des performances réalisées pour une charge journalière limitée à 8 ou 9 g de



D'après [45].

DBO₅/m² qui s'inscrit dans un compromis technico-économique couramment pratiqué sont présentées dans le tableau page 140.

Un constructeur propose également la mise en place de lits de clarification-séchage de boues mais là-aussi, le recul n'est pas suffisant pour connaître tous les avantages et inconvénients de cette technique.

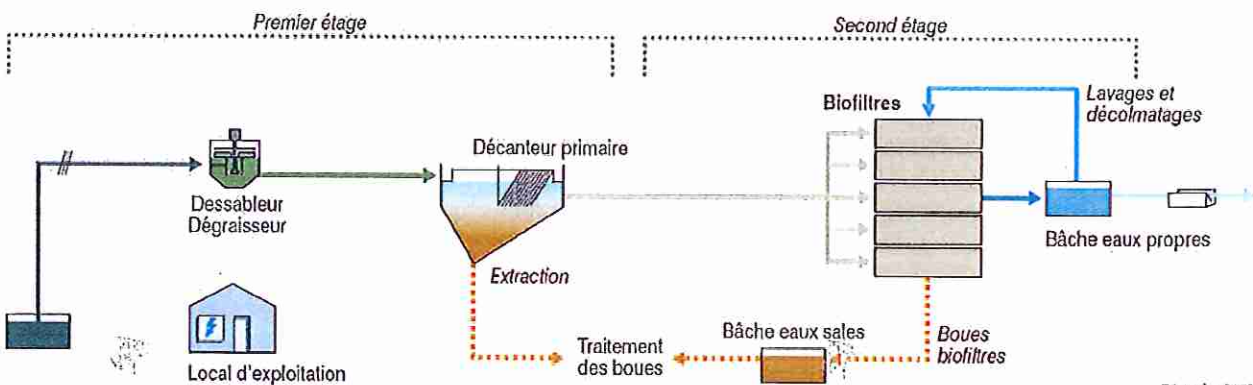
→ **Performances attendues** avec un clarificateur : DBO₅ ≤ 35 mg/l, DCO ≈ 125 mg/l, MES ≤ 30 mg/l, NK ≈ 50 %, NGL ≈ 40 % et PT ≈ 30 % d'élimination.

Biofiltres

Les biofiltres sont toujours précédés d'un étage de traitement primaire physico-chimique. Cependant de nouvelles générations de systèmes apparaissent et seraient capables de traiter des eaux usées simplement prétraitées ; il s'agit de filières dont la conception évolue rapidement en raison d'un effort de recherche soutenu.

À la différence de toutes les filières déjà présentées, les supports, en matériaux synthétiques ou minéraux sont immergés complètement dans l'eau à traiter. Ils peuvent être aérés (traitement de la matière organique et nitrification) ou non (dénitrification) en fonction des traitements recherchés. Lorsqu'ils sont aérés, l'oxygène est apporté artificiellement par le fond via des dispositifs d'insufflation alimentés par des surpresseurs. Le support de la biomasse constitue aussi un filtre qui piège les matières en suspension, ce qui permet de rejeter en sortie de biofiltre les eaux vers le milieu récepteur (absence de clarification finale des effluents).

En revanche, des lavages avec de l'air et/ou de l'eau, injectés à forts débits, doivent être régulièrement effectués. Ils permettent d'évacuer la biomasse excédentaire produite et les MES retenues. Plusieurs cellules de traitement sont nécessaires et doivent fonctionner en parallèle. Un nombre minimal



D'après [45].



de trois est indispensable pour permettre le maintien du traitement lors du lavage d'une cellule. Ce lavage est piloté par un automate plus ou moins sophistiqué assurant la gestion des diverses phases de traitement (filtration, lavage, besoins en O₂). Les eaux de lavage, chargées des MES retenues dans le biofiltre et la biomasse en excès détachée du support, sont stockées et concentrées le plus souvent sur l'étage primaire.

Il s'agit donc de systèmes complexes dont la gestion des outils de contrôle et commande des divers organes électro-mécaniques impose un haut niveau de technicité. En revanche, ils sont capables de traiter des fortes charges sur des espaces réduits mais ils sont réservés à des collectivités ou des sites industriels dont la capacité est souvent supérieure à 10 000 EH.

→ **Performances attendues** : différents systèmes ont été conçus pour s'adapter à des objectifs de traitement différenciés (traitement de la fraction carbonée de la matière organique ou nitrification et dénitrification). Couplés avec un traitement primaire physico-chimique, ils peuvent pratiquement s'adapter à toutes les exigences en matière de rétention de phosphore au regard des doses de coagulant introduites.

■ Autres systèmes sur supports fins

Principes généraux de fonctionnement.

Globalement, il s'agit de systèmes biologiques de traitement des eaux usées pour lesquels la culture bactérienne épuratrice se développe sur des supports minéraux rapportés ou en place [45], de faible taille (de l'ordre de quelques millimètres pour les graviers jusqu'à quelques dizaines de microns pour les sols en place réputés adaptés).

La recherche d'une grande fiabilité de fonctionnement, d'un niveau de traitement élevé et d'une relative simplicité de mise en œuvre et d'exploitation, impose des critères de conception et de fonctionnement spécifiques :

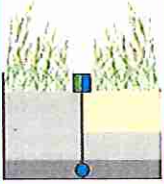

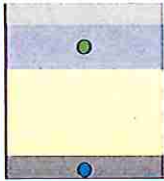
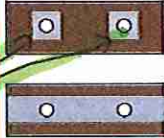

- apport de très faibles charges organiques, pour limiter le développement de la biomasse par restriction de la nourriture disponible ;
- fonctionnement alterné de plusieurs réacteurs en parallèle, pour que l'aération des interstices du matériau, nécessairement lente car s'opérant essentiellement par diffusion moléculaire, permette de rétablir, au moins partiellement, un taux d'oxygène compatible avec une nouvelle phase d'alimentation.

La mise au repos d'un massif filtrant accentue également la régulation du développement de la biomasse qui se trouve ainsi placée dans des conditions de disette extrême. Elle doit, de ce fait, consommer ses réserves et passer en état de respiration endogène⁷, voire régresser par prédation.

En outre, le fractionnement du réacteur en plusieurs massifs filtrants facilite, dans une certaine mesure, la nécessaire répartition de flux limités d'eaux usées (de l'ordre de 150 mm/jour pour les filtres enterrés) sur des surfaces relativement importantes. En effet, une distribution uniforme de l'eau usée ne peut être assurée que si elle est temporairement stockée et envoyée à fort débit pendant un temps limité. Ce processus s'appelle l'alimentation par bâchées. Les dispositifs utilisés pour réaliser l'alimentation par bâchées peuvent être un siphon auto-amorçant, une chasse pendulaire ou à clapet, un système d'électrovannes couplé à des détecteurs de niveaux dans le bassin de stockage, un jeu de pompes ou, pour les petites installations, un auget basculant dont le volume ne peut guère excéder 250 litres.

⁷ - Respiration endogène : consommation minimale d'oxygène par la biomasse lorsqu'elle n'assimile plus de matière organique.

Les critères de dimensionnement sont établis en fonction du type de matériau, support de la biomasse et de la visibilité ou non, du système de distribution de l'eau usée qui détermine l'accessibilité au massif filtrant pour son entretien périodique, comme l'explique brièvement le tableau ci-dessous.

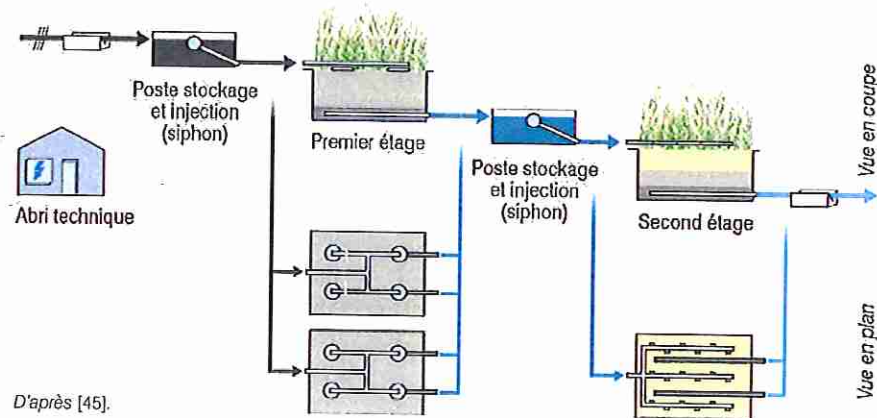
Caractéristiques sommaires des divers types de cultures fixées sur supports fins		
	<p>Filtres plantés de roseaux</p> <p>Matériau support de la biomasse :</p> <ul style="list-style-type: none"> • premier étage : graviers fins ; • second étage : sable. <p>Couche drainante.</p>	<p>Alimentation à l'air libre.</p> <p>Dimensionnement usuel : 2 m²/habitant répartis sur deux étages :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1,2 m²/habitant pour les trois filtres du premier étage ; • 0,8 m²/habitant pour les deux filtres du second étage. <p>Rejet d'effluent dans le réseau hydrographique superficiel la plupart du temps.</p> <p>Pas de traitement primaire.</p>
	<p>Infiltration-percolation sur sable</p> <p>Matériau support de la biomasse : sable.</p> <p>Couche drainante.</p>	<p>Alimentation à l'air libre.</p> <p>Dimensionnement : 1,5 m²/habitant.</p> <p>Rejet d'effluent dans le réseau hydrographique superficiel ou dans le sol pour les systèmes non drainés.</p> <p>Traitement primaire indispensable.</p>
	<p>Filtres enterrés</p> <p>Couche superficielle de gravier.</p> <p>Couche de distribution.</p> <p>Matériau support de la biomasse : sable.</p> <p>Couche drainante.</p>	<p>Alimentation enterrée.</p> <p>Dimensionnement : 3,0 m²/habitant en assainissement non collectif et env. 5 m² par habitant en ANC (couche superficielle de sol en place).</p> <p>Rejet d'effluent dans le réseau hydrographique superficiel ou dans le sol pour les systèmes non drainés.</p> <p>Traitement primaire indispensable.</p>
	<p>Épandage souterrain</p> <p>Matériau support de la biomasse : sol en place.</p> <p>Couche de distribution.</p>	<p>Alimentation enterrée.</p> <p>Dimensionnement selon la perméabilité du sol en place.</p> <p>Rejet dans le sol.</p> <p>Traitement primaire indispensable.</p>
	<p>Épandage superficiel</p> <p>Matériau support de la biomasse : sol en place.</p>	<p>Alimentation enterrée.</p> <p>Dimensionnement selon la perméabilité du sol en place.</p> <p>Rejet dans le sol.</p> <p>Traitement primaire indispensable.</p>

Filtres plantés de roseaux

Parmi les cultures fixées sur supports fins avec une distribution d'effluent à l'air libre, les filtres plantés de roseaux constituent aujourd'hui la filière largement dominante avec un parc de stations estimé à environ mille unités dans une gamme de taille allant d'environ 100 à 2 000 habitants. On trouve cependant quelques installations qui dépassent cette taille ; elles résultent souvent du réaménagement d'anciens lagunages naturels qui occupaient une grande surface et qui ne peuvent plus accueillir la charge rejetée par une agglomération en expansion.

Cette filière connaît un grand succès du fait de son alimentation en eaux usées brutes sans décantation qui simplifie beaucoup la gestion des boues primaires. Elles s'accumulent ici sous la forme d'un terreau bien structuré à raison de 15 à 20 mm/an qui doit être évacué lorsque la hauteur des dépôts atteint une vingtaine de centimètres.

La contribution des roseaux à la prévention du colmatage des gravillons qui constituent la couche superficielle la plus active des filtres du premier étage est essentielle. La plupart des installations sont aussi constituées de filtres drainés à écoulement vertical au second étage, à l'instar de ceux du premier,



D'après [45].

mais on peut trouver des filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal en fin de traitement. Pour ceux-ci, le gravier de remplissage est saturé d'eau maintenue à un niveau constant de 5 cm sous la surface lorsqu'un abattement d'azote global est requis pour le maintien des objectifs de qualité du milieu récepteur. Des recherches sont en cours dans cette même configuration pour mettre en place des matériaux spécifiques capables de retenir le phosphore des eaux usées.

Le succès que connaissent les filtres plantés de roseaux résulte de l'image positive véhiculée par les traitements auxquels sont associées des plantes et, dans ce cas précis des végétaux aquatiques. Il convient toutefois de préciser que « l'action épuratrice » est toujours liée à une activité bactérienne qui peut certes être stimulée dans l'environnement racinaire des roseaux jouant ainsi un rôle indirect largement exagéré lorsque le terme de « phyto-épuration » est employé. De même, les prélèvements de nutriments pour la croissance des roseaux sont négligeables au regard des surfaces en jeu [46].

Systèmes utilisés en assainissement non collectif

En raison de son important domaine rural (36 000 communes dont 20 000 de moins de 2 000 habitants), la France possède un parc important d'installations d'ANC estimé à cinq millions d'unités pour environ douze millions d'habitants concernés par ce mode d'assainissement. Le pays a privilégié le rejet dans le sol en place assurant aussi le traitement quand ses caractéristiques le permettent (perméabilité suffisante et absence d'hydromorphie) et pour des raisons sanitaires (absence de contact direct des usagers avec des eaux usées traitées non indemnes de germes pathogènes).

De ce fait, les tranchées d'infiltration et les lits filtrants (qui ressemblent beaucoup à l'épandage souterrain présenté dans le tableau précédent) constituent une part assez importante des installations d'ANC. Les filtres à sable, drainés ou non, ou leur version surélevée dénommée « tertre » quand le niveau de la nappe l'exige, sont vraisemblablement les systèmes qui viennent ensuite en nombre. La mise en œuvre de ces systèmes est expliquée dans une norme expérimentale qui fait l'objet d'améliorations plus ou moins régulières (XP DTU 64.1).

Situés en aval de fosses septiques ou fosses toutes eaux, ces ouvrages sont soumis à des charges surfaciques plus faibles qu'en assainissement collectif et sont, de ce fait, constitués d'un seul réacteur fonctionnant en permanence dans lequel l'eau usée prétraitée est plus ou moins bien répartie en l'absence d'alimentation par bâchées.

D'autres dispositifs de traitement sont désormais disponibles, sous réserve qu'ils aient suivi la procédure selon les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO₅ (sous-section 2-2 de l'arrêté du 7 septembre 2009). Sur plateforme, l'évaluation doit montrer un rejet moyen maximum de 30 mg/l de MES et 35 mg/l de DBO₅.

Les collectivités locales compétentes en matière d'assainissement non collectif devront, avant le 31 décembre 2012, puis selon une périodicité qui ne peut pas excéder dix ans, organiser la vérification de la conception et du bon fonctionnement des installations et dresser, si nécessaire une liste des travaux de mise en conformité à réaliser (art. L. 2224-8 du Code général des collectivités territoriales).

12.4 Classement des filières de traitement d'effluents de collectivités au regard de leurs performances

Le tableau suivant fournit seulement une indication de la qualité du rejet qui peut être attendue en sortie de chacun des dispositifs décrits précédemment au regard de « concentrations-types » représentatives d'une eau usée domestique « normale » (c'est-à-dire basée sur la charge polluante supposée rejetée par un équivalent-habitant [EH] dans un volume journalier de 150 litres).

Performances attendues en sortie des filières décrites (en mg/l ou % d'élimination)						
Type de traitement	DCO	DBO ₅	MES	NK en N	NGL en N	PT en P
Eau usée brute (entrée station)	800 mg/l	330 mg/l	270 mg/l	80 mg/l	80 mg/l	15 mg/l
Décantation simple	≥ 30 %	≥ 30 %	≥ 50 %	10 à 15 %	10 à 15 %	10 à 15 %
Physico-chimique	≥ 50 %	≥ 50 %	50 à 80 %	15 à 20 %	15 à 20 %	60 à 95 %
Boues activées en aération prolongée	≤ 125 mg/l	≤ 25 mg/l	≤ 25 mg/l	≤ 10 mg/l	≥ 80 %	
Lagunage aéré	≈ 135 mg/l	≤ 35 mg/l	≤ 35 mg/l	≈ 30 %	≈ 30 %	≈ 25 %
Lagunage naturel ¹	≥ 60 %	Non signif. ²	≤ 150 mg/l (algues)	≥ 60 %	≈ 60 % ³	≈ 60 %
Biofiltration	≤ 125 mg/l	25 mg/l	≤ 35 mg/l	*	*	*
Lit bactérien et disques biologiques	≈ 125 mg/l	≤ 35 mg/l	≤ 30 mg/l	≈ 50 %	≈ 40 %	≈ 30 %
Filtres plantés de roseaux à écoulement vertical	≤ 125 mg/l	≤ 25 mg/l	< 25 mg/l	< 10 mg/l	25 - 30 %	25 - 30 %
Cultures fixées sur supports fins (sur sol en place)	Pas de rejet superficiel					

DCO : indicateur de la charge organique biodégradable ou non d'une eau.

DBO (demande biochimique en oxygène) : indicateur de la charge organique biodégradable d'une eau.

NK (azote Kjeldahl) : azote organique + azote ammoniacal

NGL (azote global) : azote organique + azote ammoniacal (NH₄⁺) + azote nitreux (NO₂⁻) + azote nitrique (NO₃⁻)

PT (phosphore total) : phosphore organique + polyphosphates + orthophosphates (PO₄³⁻)

* Valeurs dépendantes du dimensionnement.

1 - Abattements en pourcentages calculés à partir des flux entrant et sortant de l'ouvrage.

2 - Non significatif à cause des algues en suspension.

3 - Abattement en nutriments variables selon les saisons (meilleur en été, plus faible en hiver).



Cette construction est assez théorique sachant que :

- la charge polluante rejetée par un habitant est généralement plus élevée en ville (notamment les plus grandes) en raison de la collecte d'une part variable d'eaux de ruissellement de chaussées lors d'épisodes pluvieux qui provoquent des pointes considérables de débit et de charge, notamment au début des épisodes pluvieux ;
- pour des réseaux très séparatifs et compte tenu du renchérissement du prix de l'eau potable, le volume collecté peut être sensiblement inférieur à 150 litres/habitant/jour (90 à 120 litres) ;
- pour des réseaux drainants, les volumes peuvent être très supérieurs à 150 l par habitant et, par conséquent, les concentrations bien moindres car diluées par des eaux claires.

12.5 Traitement d'eaux usées particulières

12.5.1 Effluents vinicoles

Les effluents vinicoles résultent du lavage du matériel utilisé lors de la récolte (machines à vendanger, bennes, etc.), du lavage des sols, des soutirages et lavages de cuves qui leur sont associés, de la mise en bouteille et du détartrage des cuves. Ils contiennent, d'une part, une partie insoluble composée de débris végétaux, de terres de filtration et tartre et, d'autre part, d'éléments solubles qui constituent la majorité de la charge polluante et sont présents dans le raisin et le vin (sucre, alcool, acides, polyphénols, etc.) auxquels s'ajoutent les produits de nettoyage et de désinfection.

Cette activité est encadrée par diverses réglementations relevant du Code de l'environnement ou du Code de la santé publique, selon l'importance de l'activité, afin de prévenir tout rejet dans les milieux aquatiques de produits pouvant nuire à la faune et à la flore ou à des usages ultérieurs de la ressource en eau.

Chais ou caves produisant plus de 500 hl de vin par an

Ces établissements sont soumis à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (*rubrique 2251 de la nomenclature Installation classée, annexée à l'art. R. 511-9 du Code de l'environnement*). Ils sont soumis soit à autorisation, soit à déclaration préalable, en fonction de leur capacité de production.

- **Le régime de « l'autorisation »** (sous-entendu : d'exploitation) est le plus contraignant. Il s'applique aux établissements produisant plus de 20 000 hl de vin par an. L'autorisation est délivrée par le préfet de département, sur la base d'une étude d'impact environnementale adaptée aux enjeux, après enquête publique et diverses consultations. Les conditions d'aménagement et d'exploitation de ces installations sont réglementées par l'arrêté ministériel « intégré » du 2 février 1998 applicable à toutes les installations classées relevant de ce régime, et spécialement par l'arrêté ministériel du 3 mai 2000. Si ces deux arrêtés comportent des normes techniques de même nature, ce sont celles prévues par l'arrêté spécial du 3 mai 2000 qui priment. Ces normes peuvent être spécialement renforcées si nécessaire par l'arrêté préfectoral individuel d'autorisation délivré au gestionnaire de l'installation. À ce titre, ces installations sont soumises à de nombreuses prescriptions techniques générales, notamment en matière de raccordement à une station d'épuration collective

et de valeurs limites de rejet d'effluents en milieu naturel (35 à 100 mg/l de MES, 30 à 100 mg/l de DBO₅, 125 à 300 mg/l de DCO selon les flux rejetés journallement, pH compris entre 5,5 et 8,5).

• **Le régime de la « déclaration »** (sous-entendu : d'exploitation) est moins contraignant. Il s'applique aux établissements ayant une production annuelle comprise entre 500 et 20 000 hl de vin. Le récépissé de déclaration est délivré par le préfet de département, sur la base d'une simple notice d'impact sans procédure particulière. Les conditions d'aménagement et d'exploitation de ces installations sont réglementées par l'arrêté ministériel du 15 mars 1999. À ce titre, elles sont soumises à de nombreuses prescriptions techniques générales, notamment en matière de rejet :

Rejet	MES	DBO ₅	DCO
Rejet en réseau d'assainissement	600 mg/l	800 mg/l	2 000 mg/l
Rejet en milieu naturel	100 mg/l <i>si flux < 15 kg/lj</i>	100 mg/l <i>si flux < 35 kg/lj</i>	300 mg/l <i>si flux < 100 kg/lj</i>
	35 mg/l <i>si flux > 15 kg/lj</i>	30 mg/l <i>si flux > 35 kg/lj</i>	125 mg/l <i>si flux > 100 kg/lj</i>

Petits établissements non raccordés

Les chais ou caves produisant moins de 500 hl de vin par an, qui ne seraient pas raccordés pour l'alimentation en eau et l'assainissement à un réseau collectif géré par une collectivité locale, et qui seraient donc en contact direct avec les milieux aquatiques tant en terme de prélèvement et d'alimentation en eau qu'en matière de rejet et assainissement, sont soumis à la réglementation des opérations soumises à la loi sur l'eau et les milieux aquatiques⁸. Ils sont soumis soit à autorisation, soit à déclaration préalable, en fonction de leur impact potentiel sur l'eau et les milieux aquatiques.

• **Le régime de « l'autorisation »** (sous-entendu : d'aménagement ou d'exploitation) est le plus contraignant. L'autorisation est délivrée par le préfet de département, sur la base d'un document d'incidences aquatiques adapté aux enjeux, après enquête publique et diverses consultations. Les conditions d'aménagement et d'exploitation de ces installations sont réglementées le cas échéant par arrêté ministériel en fonction des rubriques applicables et spécialement si nécessaire par l'arrêté préfectoral individuel d'autorisation délivré au gestionnaire de l'installation.

• **Le régime de la « déclaration »** (sous-entendu : d'aménagement ou d'exploitation) est moins contraignant. L'autorisation est délivrée par le préfet de département, sur la base d'un document d'incidences aquatiques adapté aux enjeux. Les conditions d'aménagement et d'exploitation de ces installations sont réglementées le cas échéant par arrêté ministériel en fonction des rubriques applicables et spécialement si nécessaire par l'arrêté préfectoral individuel de récépissé de déclaration délivré au gestionnaire de l'installation.

Petits établissements raccordés

Les chais ou caves produisant moins de 500 hl de vin par an, raccordés pour l'alimentation en eau et l'assainissement à un réseau collectif géré par une collectivité locale, échappent à la réglementation du code de l'environnement. Ils doivent cependant respecter la réglementation prévue par le code de la santé publique, et notamment le règlement sanitaire départemental qui détermine les prescriptions techniques minimales pour assurer l'hygiène et la salubrité

⁸ - Voir notamment les rubriques 1.1.2.0, 1.2.1.0, 1.2.2.0 et 1.3.1.0 pour les prélèvements, les rubriques 2.1.4.0, 2.2.1.0, 2.2.3.0, 2.3.1.0 de la nomenclature eau, annexée à l'art. R. 214-1 du Code de l'environnement.



publique aux activités non réglementées au titre du code de l'environnement. Le règlement sanitaire départemental est arrêté par le préfet de département sur la base d'un modèle national déterminant un règlement type.

Précisions techniques et réglementaires

Au plan technique, le traitement de ce type d'effluents peut désormais être réalisé par une palette de procédés aérobies plus ou moins sophistiqués, qui vont de la boue activée classique ou séquentielle (SBR) aux procédés les plus simples : stockage aéré prolongé, puis épandage sur des terres agricoles exploitées (avec exportation des récoltes) qui constitue souvent la destination ultime, y compris après des traitements physiques par évaporation naturelle ou forcée après stockage.

La méthanisation par voie anaérobie, en général réservée à des grosses unités, ne permet pas d'atteindre les normes de rejet à elle seule ; elle doit être couplée à un traitement aérobie de finition.

Enfin, le raccordement au réseau public de collecte des eaux usées de la collectivité peut aussi constituer une solution efficace. Elle est conditionnée à la délivrance d'une autorisation administrative préalable de la collectivité (art. L. 1331-10 du Code de la santé publique), qui peut donner lieu à une convention de raccordement qui précise sa durée, les caractéristiques des eaux déversées (qui peuvent justifier un prétraitement plus ou moins poussé avant rejet au réseau), les conditions de surveillance du déversement et la participation de l'auteur du déversement aux dépenses d'investissement entraînées par la réception de ces eaux.

12.5.2 Eaux usées et lisiers des élevages

Différents types d'effluents sont produits dans les élevages agricoles. Les plus chargés sont ceux constitués ou contenant une part importante de déjections animales, notamment les lisiers et les purins qui présentent un état liquide. Du fait de leurs concentrations en matière organique et aussi en éléments fertilisants, leur destination naturelle est l'épandage sur des parcelles agricoles exploitées au titre des « engrais de ferme », dans le respect de l'équilibre agronomique de la fertilisation.

Les élevages intensifs sont soumis à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement, relevant du Code de l'environnement, selon l'importance de l'activité, afin de prévenir tout rejet dans les milieux aquatiques de produits pouvant nuire à la faune et à la flore ou à des usages ultérieurs de la ressource en eau.

Ces élevages sont soumis soit à autorisation, soit à déclaration préalable, en fonction de leur capacité de production. Ils font l'objet d'une réglementation technique nationale, déterminée par arrêté ministériel et complétée le cas échéant pour les installations déclaratives par arrêté préfectoral. Ainsi, deux arrêtés ministériels du 7 février 2005 fixent les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les élevages de bovins, de volailles et/ou de gibier à plumes et de porcs relevant pour l'un du régime de l'autorisation, pour l'autre du régime de la déclaration.

Tout rejet direct d'effluents dans les eaux souterraines ainsi que dans les eaux superficielles douces et marines est strictement interdit (art. 15). Les distances minimales des parcelles d'épandage par rapport à toute habitation occupée par des tiers ainsi que les délais d'enfouissement après épandage sont réglementées (art. 16).



Élevage	Rubrique
Bovins	n° 2101
Porcs	n° 2102
Lapins	n° 2110
Volailles	n° 2111

Rubriques de la nomenclature « Installation classée » annexée à l'article R. 511-9 du Code de l'environnement

Les conditions dans lesquelles les effluents d'élevage de l'exploitation peuvent être soumis à une épuration naturelle par le sol et son couvert végétal sont également réglementées (*art. 18, modifié par arrêté le 5 janvier 2009*). Cela concerne tout particulièrement la fertilisation azotée qui doit correspondre aux capacités exportatrices réelles de la culture ou de la prairie concernée.

De plus, tout épandage est subordonné à la production d'un plan d'épandage. Ce plan définit, en fonction de leur aptitude à l'épandage, les parcelles qui peuvent faire l'objet d'épandage d'effluents organiques. Il doit démontrer que chacune des parcelles réceptrices, y compris, celles mises à disposition par des tiers, est apte à permettre la valorisation agronomique des effluents.

Face à ces contraintes, l'exploitant va être incité à n'épandre que les produits les plus concentrés (lisiers, fumiers, purins) ; pour tous les autres effluents moins chargés, un traitement plus ou moins poussé peut-être intéressant car les contraintes liées à l'épandage (investissement dans un stockage de grande capacité, temps passé, matériel nécessaire et son renouvellement, etc.) ne seront pas compensées par la valeur agronomique des effluents moins concentrés en éléments fertilisants. Nous citerons les eaux blanches issues du bloc traite ou d'ateliers de transformation laitière, les eaux vertes obtenues à partir du nettoyage de la salle de traite, les eaux brunes correspondant aux eaux pluviales des aires d'exercice non couvertes et les lixiviats des fumiers stockés sur plate-forme non couverte. Il convient alors de les traiter dans des filières qui ont fait l'objet d'une validation au plan national et qui sont recensées dans la circulaire DGFAR du 31 juillet 2007.

Leurs principes de fonctionnement et leur mise en œuvre sont détaillés dans une synthèse publiée par l'Institut de l'élevage sur le site internet suivant :

http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/spip.php?page=article_espace&id_espace=933&id_article=16989

12.6 Boues

Les boues sont des sous-produits de l'épuration des eaux usées des collectivités; selon leur provenance au cours du traitement, on parle ainsi :

- de « boues primaires », lorsqu'elles sont issues d'un traitement primaire par décantation simple ou dopée par l'adjonction de produits spécifiques ;
- de « boues secondaires », lorsqu'elles proviennent d'un traitement secondaire de type biologique ;
- ou de « boues mixtes », lorsqu'il s'agit d'un mélange de ces deux types.

12.6.1 Traitements préalables, tonnages et destination des boues

Quelle que soit leur destination finale (épandage, incinération, etc.), les boues doivent passer par des étapes de traitement destinées à les concentrer en éliminant une part plus ou moins importante d'eau interstitielle.

Ces traitements peuvent aller du simple épaissement statique jusqu'au séchage et au conditionnement en granulés en passant par des étapes de tamisage, centrifugation ou filtration sur des toiles après addition de flocculants pour accélérer et intensifier le processus de déshydratation.





La production globale de boues en France s'est établie à 1,1 million de tonnes de matières sèches en 2006 dont plus de 60 % ont été valorisées en agriculture. Les autres voies d'élimination sont l'incinération et la mise en centre d'enfouissement technique.

En dépit de son importance, la solution de l'épandage, priorité politique au niveau national et au niveau européen, reste l'objet de nombreux débats qui sont parfois tendancieux de la part notamment de certains industriels de la filière agroalimentaire. Pour vanter leurs produits, ils jugent « profitable » d'annoncer que ces derniers sont issus de champs ne recevant pas de boues.

On estime que 15 % sont incinérées, seules ou avec des ordures ménagères. Après combustion de la matière organique, il reste des sous-produits minéraux qui, selon leur nature, peuvent être incorporés dans certains bétons, utilisés pour les soubassements des routes ou sont mis en décharge. Cette technique implique aussi un traitement adapté des fumées générées.

La mise en centre d'enfouissement technique de classe 2 (déchets municipaux et industriels banals) des boues, sous réserve qu'elles présentent une siccité minimale de 30 %, est censée avoir disparu depuis le 1^{er} juillet 2002 par application de la loi du 13 juillet 1992 sur les déchets et de la directive européenne de 1999. Or cette filière d'élimination représenterait encore aujourd'hui près de 20 % des volumes produits en France. Ceux-ci devront à terme être absorbés par les autres filières de valorisation.

Si l'on considère que la dégradation des eaux usées rejetées annuellement par un habitant produit de l'ordre de 15 à 20 kg d'équivalent en matière sèche de boues, la production potentielle de boues d'origine domestique est actuellement, en France, d'environ 1,5 million de tonnes de matière sèche. Conjointement avec l'augmentation des branchements aux réseaux d'assainissement, le bilan est également alourdi par des qualités de rejet croissantes (élimination de l'azote et du phosphore en particulier) qui génèrent une production de boues plus importante, notamment en temps de pluie.

Si pendant longtemps la politique d'assainissement était orientée vers le tout collectif, la pression réglementaire concerne aussi l'assainissement non collectif (ANC) avec une gestion adaptée des matières de vidange (MV) et de leur traitement avant de leur trouver, elles aussi, une destination privilégiée qui devrait être la réutilisation sur des terres agricoles.

12.6.2 Aspects réglementaires liés à l'épandage des boues

Les conditions de gestion et de traitement des boues de stations d'épuration issues des dispositifs d'assainissement collectif et des matières de vidange issues des dispositifs d'assainissement non collectif sont réglementées par les articles R. 211-25 et suivants du Code de l'environnement. Un arrêté interministériel du 8 janvier 1998 (modifié par arrêté du 3 juin 1998) précise les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles.

Ils stipulent, entre autres, que les boues ont un statut de déchet dont la responsabilité de l'élimination incombe au producteur (exploitant des unités de collecte et de traitement) qui est le seul susceptible de maîtriser l'ensemble de la filière. Pour l'assainissement non collectif, ce sont les vidangeurs.

Parmi les principales dispositions, on retiendra notamment les suivantes :

- les matières de curage de réseaux ne peuvent être épandues brutes, c'est-à-dire sans un traitement préalable destiné à éliminer les sables et les

graisses. La plupart des stations de taille supérieure ou égale à environ 10 000 habitants sont équipées de dispositifs de lavage des sables et de traitements biologiques des graisses ; elles peuvent, de ce fait, traiter leur propres produits mais aussi accepter ceux d'autres unités de traitement figurant dans la circonscription territoriale de compétence (syndicat intercommunal, communauté de communes, etc.) ;

- il est interdit de mélanger des boues d'origines différentes (notion de traçabilité des boues sur toute la filière) ;
- le producteur doit s'assurer de l'innocuité des boues après un traitement adapté si nécessaire visant à réduire leur pouvoir fermentescible et les risques sanitaires liés à leur utilisation. Il doit aussi définir l'aptitude des sols à les recevoir par l'intermédiaire d'un plan d'épandage (matériels et parcelles mises à disposition répondant à certains critères vis à vis de la protection des cours d'eau, nappes et captages) et préciser régulièrement leur intérêt agronomique ;
- le producteur a l'obligation de disposer d'une filière alternative à l'épandage au cas où les boues deviendraient temporairement impropres à l'épandage (l'incinération par exemple).

Cette réglementation générale peut être complétée au cas par cas par une réglementation particulière, au titre des opérations soumises à la loi sur l'eau et les milieux aquatiques⁹. Les opérations d'épandage de boues peuvent, en fonction de leur importance, relever du régime de l'autorisation ou de la déclaration préalable, en fonction de leur quantité annuelle de matières sèches ou d'azote total, voire de DBO₅ ou de leur volume annuel. Ces autorisations ou récépissés de déclaration peuvent alors déterminer si nécessaire des prescriptions techniques particulières, qui compléteront utilement la réglementation technique générale précitée.

12.7 Reconnaître un mauvais fonctionnement de station d'épuration

L'impact du rejet sur le milieu récepteur est souvent lié au type de station et à son fonctionnement. Appréhender le fonctionnement d'une station d'épuration par l'intermédiaire d'un simple prélèvement ponctuel à la sortie n'est ni aisé, ni recommandable. Il conviendra en premier lieu d'examiner les résultats des bilans de fonctionnement effectués réglementairement en auto-contrôle et, le cas échéant, de réaliser de nouveaux tests selon la procédure suivante.

Diagnosics et procédures simplifiés

Le diagnostic peut être amélioré en effectuant, par exemple cinq prélèvements à une demi-heure d'intervalle pendant deux heures, sur lesquels on peut effectuer les tests du pH et de sels ammoniacaux avant d'envoyer un échantillon au laboratoire. Lorsqu'un effluent domestique est correctement traité, il est en effet généralement clair, inodore et de pH proche de 7, sauf dans le cas d'une simple décantation¹⁰.

En eaux usées domestiques, trois cas significatifs de mauvaise qualité de l'effluent de sortie, témoignant d'un traitement insuffisant et/ou d'un fonctionnement défectueux de l'unité de traitement sont présentés dans le tableau ci-après.

9 - Rubriques 2.1.3.0, voire 2.1.4.0 de la nomenclature eau, annexée à l'art. R. 214-1 du Code de l'environnement.

10 - Niveau D1 de la circulaire DEVPR9700005C n° 97-31 du 17 février 1997 relative à l'assainissement collectif de communes - ouvrages de capacité inférieure à 120 kg DBO₅/jour (2000 FH)



Premier cas

L'eau est trouble, de couleur grisâtre, présentant une odeur d'égout, un pH < 6 et des sels ammoniacaux > 50 mg/l (formation d'un précipité dense et abondant avec le réactif de Nessler).

Filière physico-chimique

Sels ammoniacaux peu significatifs.

La couleur et l'odeur de l'effluent témoignent par contre d'un traitement déficient. Les problèmes sont vraisemblablement à rechercher au niveau de l'ajout des réactifs : mauvais réglages, panne d'équipements (pompes doseuses notamment).

Le pH faible révélera un manque de chaux si ce réactif est prévu dans le traitement de l'eau ou d'un surdosage en chlorure ferrique par exemple.

Filières biologiques

Défaut de conception ou de dimensionnement, surcharge momentanée ou chronique (toutes filières).

Panne de l'aérateur (boues activées).

Rupture de l'entraînement des disques.

Blocage ou colmatage du répartiteur du lit bactérien.

Deuxième cas

L'eau est chargée de fines particules de couleur marron clair, sans odeur apparente avec un pH \approx 7 et des sels ammoniacaux < 10 mg/l. Dans le flacon, on observe nettement une décantation des particules ; le phénomène se produit de préférence l'après-midi (suite aux pointes de débit du matin et du midi).

Filière physico-chimique

Sels ammoniacaux non significatifs et pH peut être légèrement inférieur à 7, si absence de chaux dans le traitement. On peut alors soupçonner un engorgement du décanteur pouvant avoir diverses origines (panne de recirculation ou d'extraction des boues, ...) ou une surcharge hydraulique régulière ou non.

Filières biologiques

Boues activées uniquement.

Également surcharge hydraulique ou sous-dimensionnement du décanteur.

Développement de bactéries filamenteuses qui réduisent la décantabilité des boues.

À l'inverse d'une décantation, on peut aussi avoir des flocs bactériens remontant à la surface sous l'effet de microbulles de gaz azote résultant d'une dénitrification dans le clarificateur. Il convient alors d'optimiser les réglages (d'aération, notamment) pour que ce processus se déroule plus en amont dans la filière de traitement (bassin d'aération, zone d'anoxie) sans nuire à la qualité du rejet notamment vis à vis de l'azote global (NGL).

Troisième cas

L'eau est claire, à peine trouble ; elle présente une légère odeur d'égout, les sels ammoniacaux sont abondants (30 à 35 mg/l) et une fine mousse blanche se développe au voisinage du point de rejet.

Filière physico-chimique

Ce constat est normal pour ce type de traitement, les rendements épuratoires sur l'azote et les détergents sont peu élevés (15 à 20 % sur l'azote et 15 % sur les détergents). La présence de détergents non dégradés dans l'effluent épuré provoque le développement d'une mousse blanche, légère, lorsque le liquide est brassé et aéré (au niveau de la chute, au point de rejet dans le milieu récepteur, par exemple).

Filières biologiques

Lit bactérien, disques biologiques, boues activées en aération prolongée : cette situation est tout à fait anormale ; elle témoigne d'un traitement insuffisant qui est généralement dû à une surcharge chronique. On peut également noter dans ce cas un pH inférieur à la neutralité (6 à 6,5).

Pollution des milieux aquatiques par les pesticides

La question de la contamination des eaux par les pesticides et des moyens de la limiter est importante par les enjeux sanitaires, écologiques et socio-économiques qu'elle recouvre, en particulier pour atteindre l'objectif de « bon état » du milieu aquatique visé par la directive cadre sur l'eau (DCE). Une expertise scientifique collective réalisée par l'INRA et le Cemagref en 2005 fait un point très complet sur cette question [47].

La présence de produits phytosanitaires dans les eaux peut être due :

- soit à des **pollutions ponctuelles** (ou accidentelles). Il s'agit d'erreurs de manipulation, de mauvaise gestion des fonds de cuve de pulvérisateur, de fuites, de déversements accidentels, d'absence de gestion des emballages vides ;
- soit à des **pollutions diffuses**. Les produits sont entraînés par la circulation de l'eau ou du vent vers le milieu naturel pendant ou après leur application (ruissellement, infiltration, etc.).

Les substances actives peuvent également être retrouvées dans les eaux sous leur forme transformée. On parle alors de produits de dégradation ou de métabolites.

L'expertise scientifique « Pesticides »

Les documents de l'expertise scientifique collective INRA - Cemagref « Pesticides, agriculture et environnement : réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux » (décembre 2005) sont disponibles en ligne sur le site de l'INRA :

http://www.inra.fr/1_institut/expertise/expertises_realisees/pesticides_agriculture_et_environnement

Pour ce qui concerne le sujet traité ici, voir la synthèse et les chapitres 3 (transferts) et 6 (actions techniques) du rapport complet.

13.1 Transfert diffus des pesticides vers les milieux aquatiques

Pesticides dans les eaux et réglementation

Les pesticides sont au cœur d'enjeux sanitaires et environnementaux majeurs. C'est la raison pour laquelle une directive 2009/128/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009, instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable, complétée par un règlement 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009, concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, encadre leur usage au niveau européen.

La réglementation sanitaire (art. R. 1321-2 et R. 1321-3 du Code de la santé publique, annexe I de l'arrêté ministériel du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine) détermine une concentration maximale en pesticides dans les eaux destinées à la consommation humaine, qui ne doit pas dépasser 0,1 µg/L par molécule et 0,5 µg/L pour l'ensemble des pesticides présents



(conformément à la directive européenne 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998, relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine).

Cette réglementation sanitaire est complétée par une réglementation sanitaire intégrant les enjeux environnementaux (art. R. 1321-7 et R. 1321-38 et suivants du Code de la santé publique, annexe III de l'arrêté ministériel du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine), qui détermine pour les seules eaux brutes superficielles des limites de qualité pour utiliser une eau à des fins de production d'eau alimentaire : ces eaux de rivières ne doivent pas dépasser 0,1 µg/L par molécule (0,03 µg/L pour l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachlorepoxyde) et 0,5 µg/L pour l'ensemble des pesticides présents (la dilution des différentes eaux superficielles étant prise en compte), mais des dérogations limitées et encadrées restent mobilisables si ces eaux ne dépassent pas 2 µg/L par molécule et 5 µg/L pour l'ensemble des pesticides présents.

La réglementation environnementale a été révisée récemment, conformément à la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE du 23 octobre 2000 qui détermine notamment une obligation de bon état chimique des eaux complétée par la directive 2008/105/CE du 16 décembre 2008, établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau.

Ainsi, un certain nombre de pesticides sont concernés par les normes de qualité environnementale (NQE) établies par l'arrêté ministériel du 25 janvier 2010, relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état des eaux de surface (état écologique, état chimique et potentiel écologique), voire plus précisément la liste des polluants concernés et normes de qualité environnementales correspondantes déterminée par le § 1 de l'annexe 8 consacrée à l'évaluation de l'état chimique des eaux. Sur la quarantaine de molécules (ainsi que les métabolites et produits de dégradation et de réaction pertinents) faisant l'objet d'une NQE dans cette liste, une quinzaine sont des pesticides, dont deux seulement sont encore autorisés en France (l'isoproturon et l'éthylchlorpyrifos).

De même, tous les pesticides sont concernés par les normes de qualité environnementale (NQE) établies par l'arrêté ministériel du 17 décembre 2008, établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines, et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines. L'annexe 1 de l'arrêté détermine les concentrations pour toutes les substances actives des pesticides, ainsi que les métabolites et produits de dégradation et de réaction pertinents à raison de 0,1 µg/L par molécule et 0,5 µg/L pour l'ensemble des pesticides présents (la dilution de différentes eaux souterraines étant prise en compte).

Ces normes de qualité sont établies à partir des résultats de tests d'écotoxicité réalisés en laboratoire dans des conditions standards simplifiées ; l'impact effectif des pesticides dans les eaux naturelles est difficile à isoler de l'ensemble des agressions que subissent les organismes aquatiques, et constitue un thème de recherche encore insuffisamment développé.

L'utilisation des produits phytosanitaires fait l'objet d'une réglementation nationale. Un arrêté ministériel du 12 septembre 2006, pris en application des articles R. 253-1 et suivants du Code rural et de la pêche maritime, détermine les conditions générales d'utilisation des produits phytosanitaires, qui peuvent être complétées localement sur certains points par arrêté du préfet de département.

La zone non traitée (ZNT) est définie comme une « zone caractérisée par sa largeur en bordure d'un point d'eau, correspondant pour les cours d'eau, en dehors des périodes de crues, à la limite de leur lit mineur, définie pour un



usage d'un produit utilisé dans les conditions prévues par sa décision d'autorisation de mise sur le marché et ne pouvant recevoir aucune application directe, par pulvérisation ou poudrage, de ce produit. » (art. 1^{er} de l'arrêté du 12 septembre 2006).

Un point d'eau est défini comme un « cours d'eau, plan d'eau, fossé et point d'eau permanent ou intermittent figurant en points, traits continus ou discontinus sur les cartes au 1:25 000 de l'Institut géographique national. » (art. 1^{er} de l'arrêté du 12 septembre 2006). La liste des points d'eau peut être précisée par arrêté préfectoral pour tenir compte de caractéristiques locales particulières. La largeur de la ZNT peut être de **cinq mètres** (c'est, en l'absence de mention sur l'étiquette, la largeur minimale à respecter), **vingt, cinquante ou plus de cent mètres** selon les produits. Elle est définie, pour un usage d'un produit donné, sur des critères d'écotoxicité dans le cadre de l'homologation.



Exemple d'une zone non traitée : une bande enherbée le long de l'Ardières, dans le Rhône.

G. Le Hénaff

Transfert des pesticides dans les bassins versants

Habituellement, seule une très faible proportion de la quantité de produits appliqués se retrouve dans les eaux, de quelques pour mille à quelques pour cent : néanmoins, ces valeurs modérées peuvent suffire à engendrer des niveaux de concentrations problématiques dans les eaux.

Outre une origine ponctuelle de cette pollution (due à la manipulation des produits et au nettoyage des engins), deux origines diffuses sont possibles : d'une part la contamination des cours d'eau par les gouttelettes de pulvérisation lors des traitements, voire par des pesticides issus d'autres formes de transport aérien (volatilisation, redéposition, etc.), d'autre part la pollution diffuse d'origine hydrique causée par l'entraînement des produits dans les eaux de ruissellement ou d'infiltration.

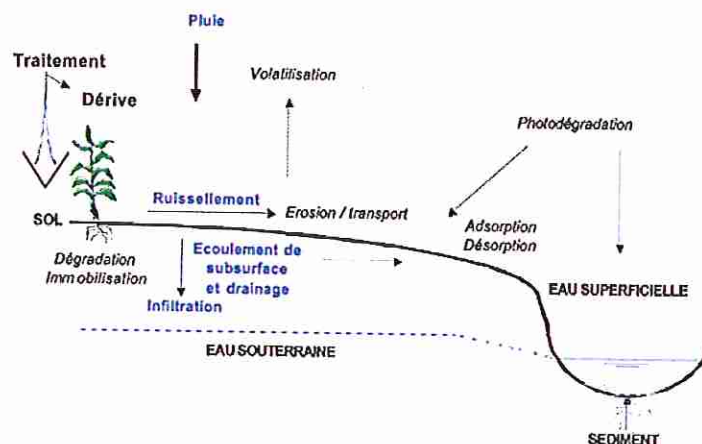
Les facteurs qui influent sur le devenir des pesticides transportés par voie hydrique sont nombreux et interfèrent largement entre eux comme

- les propriétés des molécules (aptitude à la fixation et à la dégradation) ;
- les paramètres du milieu physique et du climat ;
- les pratiques agricoles et l'aménagement du paysage.

Les pesticides suivent les mouvements de l'eau. **Leur rétention et leur dégradation sont conditionnées par la durée et la qualité du contact entre l'eau et les substrats qu'elles rencontrent** : l'infiltration lente, comme le contact avec des substrats riches en matière organique, favorisent ces processus. À l'inverse, la circulation rapide de l'écoulement, à la surface du sol ou dans un milieu fissuré ou grossier ne permettra qu'une élimination limitée.

Les contaminations peuvent être réduites par des mesures appropriées, mais **il est illusoire de penser que l'on peut utiliser des pesticides et garantir qu'on n'en retrouvera jamais aucune trace dans le milieu aquatique.**

Le fonctionnement du transfert, très sommairement présenté ci-contre, a de nombreuses





conséquences.

En règle générale, la contamination des eaux de surface est plus importante que celle des eaux souterraines. Il y a cependant des exceptions, notamment les milieux karstiques où le ruissellement peut rejoindre directement l'aquifère par les engouffrements. Par ailleurs, si les eaux de surface sont les plus vulnérables, on y observe plus rapidement des résultats d'amélioration corrélativement aux actions de reconquête de la qualité de l'eau.

Les transferts milieu terrestre - milieu aquatique sont très inégalement répartis dans l'année. Dans les cours d'eau, la part la plus importante se produit pendant une durée brève, souvent lors des premières pluies qui suivent le traitement : la détection de ces contaminations parfois fugaces est donc une opération délicate dans les petits cours d'eau, mais également dans les rivières plus importantes.

Il y a également une très forte variabilité interannuelle de l'importance des transferts, en particulier en relation avec l'importance et la date d'occurrence des pluies : le délai entre l'application des produits de traitement et les premiers mouvements de l'eau sur et dans le sol (ruissellement ou infiltration) joue un rôle déterminant et peut varier considérablement d'une année à l'autre. Il faut donc être très prudent dans l'interprétation d'une éventuelle évolution de la qualité de l'eau à partir de résultats obtenus sur une courte période (inférieure à 2-3 ans).

Le Corpen

Le Corpen est un comité sous double tutelle des ministères chargés de l'Agriculture et de l'Écologie. Jusqu'en 2010, il a « élaboré et diffusé des recommandations concernant les pratiques agricoles contribuant à la réduction des pollutions et permettant une meilleure prise en compte des enjeux environnementaux ».

Dans le domaine des pesticides, le Corpen a publié des brochures concernant le diagnostic aux différentes échelles, le désherbage, les bandes enherbées, les indicateurs pour les plans d'action et les zones tampons [48].

La plupart de ces documents sont disponibles en ligne sur le site : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Notes-et-rapports-d-etapes.html>

Actions correctives

Pour choisir les actions correctives les mieux adaptées aux particularités d'un territoire donné (à l'échelle de la parcelle, du bassin versant ou de la région), il est important de réaliser au préalable un diagnostic des risques de contamination, comme le préconise la démarche élaborée par le Corpen. Du fait du rôle essentiel joué par les mouvements de l'eau dans le transfert des pesticides, cette démarche de diagnostic est centrée sur l'examen des circulations hydriques prépondérantes.

Les éléments du paysage non traités (ou exceptionnellement) et à couverture végétale pérenne (prairies, bandes enherbées, bois, haies, etc.) qui interceptent et ralentissent les écoulements superficiels constituent des zones tampons aptes à réduire les transferts vers les milieux aquatiques. Des zones humides artificielles sont susceptibles de jouer un rôle analogue vis-à-vis des milieux naturels [voir la fiche sur les zones tampons accessible en ligne sur le site : http://sinfotech.cemagref.fr/asp/domaine2.asp?theme=75&id_domaine=91]

Ces zones tampons, quand elles sont situées en bordure de cours d'eau, assurent en plus le rôle de « zone non traitée », destinée à protéger les milieux aquatiques.

Pour sa part, le plan *Écophyto 2018*, mis en place par le ministère chargé de l'agriculture à la suite du « Grenelle de l'environnement » intervenu en 2007, constitue le prolongement de l'expertise collective. Il vise à réduire de 50 % l'usage des produits phytosanitaires en agriculture, à l'horizon 2018, si possible. Il s'agit à la fois de réduire l'usage de ces produits et de limiter l'impact de ceux qui resteront indispensables pour protéger les cultures des parasites, des mauvaises herbes et des maladies.

Ce plan se présente sous la forme de huit axes et se décline actuellement en 105 fiches-actions consultables sur le site du ministère chargé de l'agricul-

ture : <http://agriculture.gouv.fr/les-fiches-action-du-plan-ecophyto>.

L'expertise collective INRA - Cemagref de 2005 précitée abordait l'ensemble des actions techniques possibles, classées en trois groupes :

- groupe I : les actions visant à réduire les transferts de pesticides ;
- groupe II : les actions visant à réduire l'utilisation des pesticides en affinant les critères de décisions de traitement et de dosage des applications ;
- groupe III : les actions visant à réduire l'utilisation des pesticides par le recours à des méthodes non chimiques et à rendre les systèmes de cultures moins dépendants de leur utilisation.

On renverra aux documents de cette expertise pour une présentation de ces actions, en se limitant ici à donner quelques exemples dans le tableau ci-dessous et à apporter quelques précisions sur leur intérêt respectif et leur complémentarité.

Les actions visant à limiter le recours aux pesticides sont bien évidemment les plus séduisantes, puisqu'elles règlent le problème à sa source. En effet, seule une réduction drastique peut garantir une diminution très significative de la contamination. Par ailleurs, ces techniques innovantes sont encore assez peu maîtrisées et développées. Elles nécessitent la mise en œuvre de programmes scientifiques et techniques importants dont les retombées pratiques relèvent du moyen et long terme : l'enjeu, complexe, étant de viser, avec d'autres techniques que celles qui dominent actuellement, une produc-

Les actions correctives possibles et quelques exemples

Réduction des transferts [groupe I]

- **Améliorer les formulations** et les buses pour limiter la dérive.
- **Agir sur les pratiques culturales** : adapter les dates de traitement, notamment en sols drainés ; utiliser des molécules moins mobiles ; limiter le ruissellement.
- **Mettre en place des zones tampons** et veiller à leur bon fonctionnement : une bonne « infiltrabilité » du sol est primordiale pour l'efficacité des bandes enherbées. [49]

Raisonnement de l'utilisation [groupe II]

- **Observer les parasites** ou bio-agresseurs (insectes, maladies, mauvaises herbes) : observations visuelles, piégeages.
- **Développer les avertissements** : les BSV (bulletin de santé du végétal) sont disponibles pour chaque filière au plan régional.
- **Utiliser des modèles de décision** : ces outils d'aide à la décision (OAD) permettent pour certaines maladies ou certains ravageurs une évaluation du risque en lien en général avec la biologie du parasite et le climat de la saison en cours.
- **Alterner les molécules** pour notamment éviter l'apparition de résistances : le développement d'individus résistants peut en effet accroître le recours aux phytosanitaires pour pallier la baisse d'efficacité.
- **Affiner les analyses bénéfice/risque** : quel niveau de population d'un ravageur est tolérable (économiquement et écologiquement) sur une culture donnée, dans un contexte pédoclimatique donné ?

Réduction de l'utilisation [groupe III ou groupe Système]

- **Agir sur les itinéraires techniques** :
 - *lutte biologique* : lâchers inondatifs de trichogrammes contre la pyrale du maïs, confusion sexuelle chez certains papillons nocturnes en arboriculture et viticulture, etc. ;
 - *désherbage mécanique* et recours aux moyens mécaniques pour la gestion de l'interculture.
- **Agir sur les systèmes de production** :
 - *allongement des rotations céréalières ou légumières* permettant de réduire les pressions parasitaires ;
 - *introduction de cultures assainissantes* : implantation d'intercultures « étouffantes » vis-à-vis des mauvaises herbes ou à effets bénéfiques pour la culture suivante (moutarde brune et rhizoctone de la betterave sucrière, certaines crucifères sont des pièges à nématodes, etc.) ;
 - *sélection variétale* : pommiers tolérants à la tavelure, variétés de blé d'hiver tolérantes aux maladies foliaires, ou de l'épi, variétés de colza tolérantes au phoma, pommes de terre moins sensibles au mildiou, etc.



tivité et une rentabilité agricole acceptables.

Dans un premier temps, ces actions s'appliquent prioritairement à des territoires limités à enjeu fort (bassin d'alimentation d'AEP¹ par exemple), où la baisse de rentabilité économique pourra être compensée par des financements spécifiques notamment dans le cadre du Programme de développement rural hexagonal (PDRH, 2007-2013) : MAET (mesures agri-environnementales territorialisées), PVE (Plan végétal environnement).

À l'inverse, les actions visant à limiter les transferts [50] ou à perfectionner le raisonnement du traitement sont actuellement diversifiées et mieux connues. Il reste cependant encore à faire, en termes scientifiques et techniques, pour que leur maîtrise soit totalement satisfaisante. Il y a également des efforts importants à fournir au niveau socio-économique (et c'est aussi vrai pour les pollutions ponctuelles) pour que les acquis actuels soient effectivement mis en pratique à une échelle suffisante pour produire des effets.

Il convient d'insister sur ce dernier point : si ces techniques n'ont pas le caractère séduisant des modifications de systèmes et si elles peuvent donner des résultats variables (en particulier en fonction des conditions pédoclimatiques), elles sont par contre susceptibles d'être développées rapidement si on s'en donne les moyens, et d'apporter des réponses assez rapides face à des échéances rapprochées (« bon état écologique » de la directive cadre sur l'eau).

Enfin, ces actions dans leur ensemble devraient être évaluées dans un cadre plus large que la stricte considération de la pollution des milieux par les pesticides dans une perspective plus complète :

- réaliser des écobilans (ou analyse des cycles de vie). Un exemple très limité, mais illustratif, est donné par le désherbage mécanique confronté au désherbage chimique : le premier limite sensiblement l'utilisation des herbicides, mais est bien plus consommateur en carburant ;
- étudier la durabilité, en incluant les questions socio-économiques envisa-

Liens utiles

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Notes-et-rapports-d-etapes.html>

http://www.inra.fr/_institut/expertise/expertises_realisees/pesticides_agriculture_et_environment

<http://agriculture.gouv.fr/sections/magazine/focus/phyto-2018-plan-pour>

http://sinfotech.cemagref.fr/asp/domaine2.asp?theme=75&id_domaine=91

gées en prenant en compte l'ensemble des filières et le contexte général.

13.2 Pollutions ponctuelles

Une amélioration importante est intervenue ces dernières années concernant la prévention des pollutions ponctuelles : informations des applicateurs (opérations *PhytoMieux*), amélioration des équipements et des pratiques (plans de désherbage communaux, etc.), plans de contrôles en lien notamment avec l'écoconditionnalité des aides « grandes cultures » de la PAC, collectes des emballages vides (EVPP) et de produits phytosanitaires non utilisés, interdits ou périmés (PPNU). Le plan *Ecophyto* et son dispositif *Certiphyto* permettent d'améliorer le niveau des connaissances des utilisateurs et de responsabiliser l'ensemble des acteurs.

Lors d'une atteinte ponctuelle et forte, il est nécessaire de pouvoir orienter les recherches sur le terrain. Avec plus de quarante cultures différentes et près de trois cents molécules autorisées en France, le champ des possibilités est théoriquement immense, surtout que pour une même culture les pratiques

varient assez fortement d'une région à l'autre selon le climat et le niveau d'intensification ; à titre d'exemple, l'indice de fréquence de traitement [voir ci-contre] en blé tendre d'hiver en 2001 variait de 3,32 pour un blé alsacien à 7,03 pour un blé picard (l'IFT moyen 2001 étant, pour la France, de 5,49).

L'enquête « Pratiques culturales vigne » de 2006, montre qu'en vigne vingt molécules différentes sont appliquées sur plus de 20 % des surfaces. Les plus utilisées : le glyphosate (herbicide) et le folpel (fongicide) étant appliqués sur 70 % des parcelles [source Agreste].

Cependant, au plan local, les possibilités d'usages des différents produits phytosanitaires se resserrent si l'on tient compte de l'occupation des sols par les cultures, de la période de végétation et de la saison et des pratiques régionales.

En l'absence de documents de référence nationaux ou régionaux, il existe des organismes ayant une bonne connaissance des pratiques locales des applicateurs :

- secteur agricole : chambres d'agriculture, DRAAF-SRAL, instituts techniques agricoles (Arvalis, Cetiom, CTIFL, ITB, IFV), etc.
- secteur non agricole : Fredon, SRAL, etc.

Pour les périodes d'applications des pesticides sur les différentes cultures, il existe des calendriers culturels disponibles en ligne. Le site internet du Cetiom (institut technique des oléagineux) présente pour le colza des calendriers types intitulés « Les rendez vous de la culture », régionalisés par grands secteurs : Nord et Est, Centre et Est [voir liens utiles ci-après], Grand Ouest et Sud. Il en est de même pour le tournesol.

À titre d'exemples, les tableaux de la page suivante reprennent les périodes d'applications des phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides, molluscicides et régulateurs²) pour les principales grandes cultures du Nord-Est : maïs grain, colza d'hiver et blé tendre d'hiver.

Liens utiles

Projet européen (TOPPS) : Former pour éviter les pollutions ponctuelles
<http://www.topps-life.org/web/page.asp>

Utilisation des produits phytosanitaires en France en grandes cultures (Laurence Guichard, INRA Grignon)
http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/732311823368330190540556676680/01_laurence_guichard_INRA.pdf

Enquête sur les pratiques culturales grandes cultures en 2006, Agreste, Chiffres et données agriculture n°200
<http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/File/tableaux200.pdf>

Données statistiques détaillées : céréales, maïs, vigne, etc.
http://agreste.agriculture.gouv.fr/page_accueil_82/donnees_ligne_2.html

Exemples de calendriers culturels pour les oléagineux
<http://www.cetiom.fr/index.php?id=4472>

L'indicateur de fréquence de traitement ou IFT

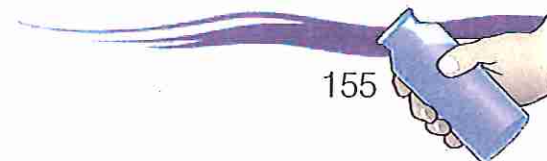
C'est un indicateur de « pression d'utilisation » basé sur les pratiques agricoles par type de cultures.

À partir de la dose appliquée rapportée à la dose homologuée, il permet d'agréger des matières actives très différentes et de tenir compte des traitements à doses réduites.

L'IFT correspond au nombre de doses homologuées épanchées à l'hectare. On additionne l'IFT de chaque traitement pour obtenir l'IFT de la culture. Cet indicateur, également exploitable par catégories de pesticides (herbicides, hors herbicides, etc.), est la résultante du nombre d'interventions et des doses appliquées. Par exemple, un hectare traité avec un herbicide à 75 % de la dose homologuée compte pour 0,75.

Cet indicateur est opérationnel aux niveaux national et régional pour les grandes cultures et pour la vigne. Il permet sur un territoire donné, de situer les pratiques de chacun des agriculteurs par rapport à l'objectif à atteindre comme de suivre l'évolution de la pression d'utilisation dans le temps.

2 - Les régulateurs sont des substances de croissance ayant une action physiologique sur le végétal traité. En grandes cultures, il s'agit de molécules visant à limiter la croissance des organes aériens et ainsi à réduire les risques de verse des cultures avant la récolte.



Calendrier culturel et de protection phytosanitaire de trois productions en Lorraine

Source : Avertissements agricoles, DRAF SRPV, 2007-2008

Le maïs grain												
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Stades de culture				Semis levée	6-8 feuilles	12 f.	Floraison	Grain laiteux	Maturité			
Travail du sol	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune							Jaune	Jaune
Semis				Jaune	Orange	Orange	Jaune					
Désherbants				Jaune	Orange	Orange	Jaune					
Molluscicides				Jaune	Orange	Orange	Jaune					
Insecticides				Jaune	Orange	Orange	Jaune					
Récolte									Jaune	Orange	Orange	Jaune

Le colza d'hiver												
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Stades de culture				Montaison	Floraison	Défloraison	Maturité		Semis levée	Rosette	Arrêt végétatif	
Travail du sol							Orange	Jaune				
Semis								Orange	Orange	Jaune		
Désherbants								Orange	Orange	Jaune	Jaune	Jaune
Molluscicides								Orange	Orange	Jaune	Jaune	Jaune
Insecticides	Jaune	Orange	Orange	Orange	Orange	Jaune		Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune
Fongicides				Jaune	Orange	Orange	Jaune					
Régulateurs			Jaune						Jaune	Jaune		
Récolte							Orange	Orange	Jaune	Jaune		

Le blé tendre d'hiver												
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Stades de culture	Fin tallage		Épi 1cm	Montaison	Épiaison	Floraison	Maturité		Semis levée	Tallage		
Travail du sol							Jaune	Orange	Orange	Jaune		
Semis									Orange	Orange	Jaune	
Destr. chimique*								Jaune	Orange	Orange	Jaune	
Désherbants		Jaune	Orange	Orange	Orange	Jaune			Orange	Orange	Jaune	Jaune
Molluscicides									Orange	Orange	Jaune	Jaune
Insecticides					Jaune	Orange	Orange	Jaune	Orange	Orange	Jaune	Jaune
Fongicides				Jaune	Orange	Orange	Jaune					
Régulateurs			Jaune	Orange	Orange	Jaune						
Récolte							Orange	Orange	Jaune	Jaune		

* Destruction chimique des repousses (interculture).

Légende

Probabilité de réalisation des interventions chimiques ou culturales

- Forte
- Moyenne
- Faible





Références bibliographiques

- [1] Trussel, R.P., *The percent un-ionized ammonia in aqueous ammonia solutions at different pH levels and temperatures*. Journal of the Fisheries Research Board Canada, 1972. 29(10): p. 1505-1507.
- [2] Thurston, R.V. and C.R. Russo, *Ammoniac toxicity to fishes. Effect of pH on the toxicity of the un-ionized ammonia species*. Environmental Science & Technology, 1981. 15(7): p. 837-840.
- [3] Colt, J. and D.A. Armstrong, *Nitrogen toxicity to crustaceans, fish and molluscs, in Proceedings of the Bio-engineering Symposium for Fish Culture*. L.J. Allen and E.C. Kinney, Editors, 1981, American Fisheries Society: Bethesda, MD: p. 34-37.
- [4] Marie, D., *Toxicité des composés azotés en salmoniculture*. La Pisciculture Française, 1983. 72: p. 43-49.
- [5] Heath, A.G., *Toxicity of intermittent chlorination to freshwater fish, influence of temperature and chlorin form*. Hydrobiologia, 1977. 56: p. 39-47.
- [6] Cairns, J., et al., *Effects of temperature on aquatic organisms sensitivity to selected chemicals*. 1978, VA. Water Resourc.Res. Center, Bull. 106, Office of Water Res. and Technol. OWRT Project B-084-VA, VA. Polytechn.Inst. State Univ: Blacksburg, VA. p. 88.
- [7] US Environmental Protection Agency, *Base Aquire US EPA - Ecotox Database*.
- [8] AFNOR, *NF EN ISO 10301 Qualité de l'eau - Dosage des hydrocarbures halogénés hautement volatils*. 1997.
- [9] Agence de l'eau, L-BDC, *Le prélèvement en rivière. Qualité des eaux superficielles (Guide technique)*. 1999. p. 33.
- [10] Gouy, V., *Contribution de la modélisation à la simulation du transfert des produits phytosanitaires de la parcelle agricole vers les eaux superficielles* 1993, Université Louis Pasteur: Strasbourg. p. 350.
- [11] Le Pimpec, P., et al., *Recueil de fiches paramètres/ substances dans le milieu aquatique : propriétés et comportement physico-chimiques, effets biologiques*. 2000, Étude Cemagref : base de données CSP.
- [12] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, *Risques liés au travail en rivière. Guide de recommandations. 6 fiches*. 1998.
- [13] Lamathe, J., G. Maire, and C.H. Magurno, *Méthodes de contrôle de la pollution des eaux. Les pesticides et leur détermination dans les eaux de surface. Synthèse bibliographique*. Trib. Cededeau, 1981. 34(446): p. 15-50.
- [14] Direction régionale de l'Environnement, *Qualité de l'eau et des milieux aquatiques - Charte qualité*. 1997. p. 83.
- [15] Garric, J., B. Migeon, and E. Vindimian, *Effets écotoxicologiques des vidanges de barrages*. 1987, Rapport Cemagref. p. 31.
- [16] Cabridenc, R., *Rôle des micro-organismes dans les processus d'épuration biologique*. Pollution et Traitement des Eaux, collection ANRT, 1970.
- [17] Jordan, D.H.M. and R. Lloyd, *The resistance of rainbow trout (Salmo gairdneri) and roach (Rutilus rutilus) to alkaline solution*. Int. J. Air Wat. Poll., 1964. 8: p. 406-409.
- [18] Murray, C.A. and C.D. Ziebell, *Acclimation of rainbow trout to high pH to prevent stocking mortality in summer*. Progressive Fish Culturist, 1984. 46(3): p. 176-179.
- [19] Steadman, B.L., et al., *Decreased survival of rainbow trout exposed to n° 2 fuel oil caused by sublethall preexposure*. Environmental Toxicology and Chemistry, 1991. 10: p. 355-363.
- [20] Anderson, J.W., et al., *Characteristics of dispersions and water soluble extracts of crude and refined oils and their toxicity to estuarine crustaceans and fish*. Marine Biology, 1974. 27: p. 75-78.
- [21] Mc Gauhey, P.H., *Engineering Management of Water Quality*. 1968: Mc Graw Hill Ed.
- [22] Meinck, F., H. Stooff, and H. Kohlshutter, *Les eaux résiduaires industrielles*. 1977, Paris: 2^e édition Masson. 863.
- [23] *Résultats essais Cemagref*. 1979.

- [24] Base de données de la NLM : HSDB.
<http://toxnet.nlm.nih.gov/servlets/simple-search? 1.5.0.1758>.
- [25] Ball, I.R., *The relative susceptibilities of some species of freshwater fish to poisons. I : Ammonia Water research 1*, 1967: p. 767-775.
- [26] Garric, J., *Toxicité de l'azote ammoniacal pour la faune aquatique dans les eaux continentales*. 1987. p. 7.
- [27] Jorgensen, S.E., S.N. Nielsen, and L.A. Jorgensen, *Handbook of ecological parameters and ecotoxicology*. Elsevier Ea, 1991: p. 1263.
- [28] Base de données OPPT Chemical Fact Sheets.
- [29] Barbier, B., *Étude d'un détecteur de pollutions utilisant des poissons dulcaquicoles*. 1973, Université Paul Sabatier: Toulouse: p. 56-63.
- [30] *Guide de l'environnement du Canada*. 1985.
- [31] Étude interagence, *Système d'évaluation de la qualité de l'eau et des cours d'eaux. SEQ eau : étude de rodage. Annexe A : grilles de seuils par altération*. 1997. p. 200.
- [32] MacLeid, J.C. and E. Pessah, *Temperature effects on mercury accumulation, toxicity and metabolic rate in Rainbow trout (Salmo gairdneri)*. Journal fisheries research board of Canada, 1973. 30(4): p. 485-492.
- [33] Verschueren, K., *Handbook of Environmental data on organic chemicals, 3^e édition*, ed. VNR Company. 1996, New York, USA. 2064.
- [34] Base de données Footprint :
<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/fr/index.htm>.
- [35] Sheedy, B.R., et al., *Effects of pollution on freshwater organisms*. Research Journal of the Water Pollution Control Federation, 1991. 63(4): p. 619-696.
- [36] *Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrates*. Ressource publication. Vol. 137. 1980: Departement of Interior, Fish and Wildlife, US Government Service Washington D.C.
- [37] Tomlin, C., *The pesticide manual, 11^e édition*. 1997, British Crop Protection Council, Farnham, GBR, Royal Society of Chemistry: Cambridge, GBR. p. 1606.
- [38] Base de données de l'INRA : Agritox (3617AGRITOX).
- [39] Dabene, E., F. Marie, and C. Smith, *Substances actives phytosanitaires. Guide de lecture et recueil de fiches synthétiques : caractéristiques utiles pour l'évaluation du comportement de quelques substances actives dans l'environnement*. 1995, Ministère de l'Agriculture. Direction de l'espace rural et de la forêt: Paris. p. 250.
- [40] Skelley, J.R., *Toxicity of 2-sec-butyl-4,6-dinitrophenol (dinoseb) and monosodium methanearsonate (MSMA), individually and in a mixture, to channel catfish (Ictalurus punctatus) and fathead minnows (Pimephales promelas)*. Environmental Toxicology and Chemistry, 1989. 8: p. 623-628.
- [41] Friedel, H., *Dictionnaire de l'écologie et de l'environnement*. 1980, Collection Larousse. p. 283.
- [42] Lafont, M., et al. *Résultats des recherches récentes sur l'utilisation des diatomées et des invertébrés benthiques pour apprécier la qualité des eaux. Mise au point sur les méthodes hydrobiologiques d'appréciation de la qualité des milieux aquatiques*. in *Symposium d'Astrakhan (URSS), 7-14 septembre 1985*. 1986: Rapport Ministère de l'Environnement, Paris, France.
- [43] Tuffery, G. and J. Verneaux, *Méthode de détermination de la qualité biologique des eaux courantes*. 1968. p. 21.
- [44] AFNOR, *Essais des eaux. NF T 90.350 - Détermination de l'indice Biologique Global Normalisé (IBGN). 9 p. Ammoniac toxicity to fishes. Effect of pH on the toxicity of the un-ionized ammonia species*. Environmental Science & Technology, 1992. 15(7): p. 837-840.
- [45] Boutin, C., P. Duchene, and A. Lienard, *Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités*, in *Documentation technique FNDAE*. 1998, Cemagref: Antony, France. p. 87 p. + annexes.
- [46] Liénard A. et al., *Assainissement, marais artificiels et lagunage : retours d'expérience en Europe*. Ingénieries - EAT, 2004 (spécial Assainissement, marais artificiels et lagunage : retours d'expérience en Europe): p. 99.
- [47] Collectif, *Pesticides, agriculture et environnement : réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Rapport de synthèse d'une expertise scientifique collective*. 2005, INRA-Cemagref réalisé pour le compte du MAP et du MEDD. p. 68.
- [48] Corpen, *Les fonctions environnementales des zones tampons, 1^{re} édition*. 2007, Paris, France: Corpen. 176.
- [49] Gouy, V., et al., *Contamination des eaux de surface par les pesticides et rôle des zones tampons pour en limiter le transfert : État des connaissances et conséquences pour l'action*. Ingénieries EAT n°spécial Azote, phosphore et pesticides. Stratégies et perspectives de réduction des flux, 2008: p. 49-63.
- [50] Carlier, N., V. Gouy, and J.J. Gril, *Le transfert diffus des pesticides vers les milieux aquatiques et les moyens de le limiter*. Fiche Sinfotec Cemagref, 2009.
(http://sinfotech.cemagref.fr/asp/domaine2.asp?theme=75&id_domaine=91).

L'Office national de l'eau et des milieux aquatiques

Créé en avril 2007 par la loi sur l'eau du 30 décembre 2006, l'Onema est un établissement public sous tutelle du ministère en charge du développement durable. Sa finalité est de favoriser la gestion globale et durable de la ressource en eau et des écosystèmes aquatiques. Il contribue ainsi à la reconquête de la qualité des eaux et l'atteinte de leur bon état d'ici à 2015, objectif fixé par la directive cadre européenne sur l'eau.

L'Onema est présent sur l'ensemble du territoire métropolitain ainsi qu'en Corse et dans les départements et collectivités d'outre-mer au titre de la solidarité de bassin.

Ses 900 agents ont pour mission :

- mobiliser la recherche publique, soutenir des programmes de recherche et organiser une expertise de haut niveau pour accompagner et évaluer la mise en œuvre des politiques publiques de l'eau ;
- coordonner le système d'information sur l'eau et participer à l'acquisition des données relatives à l'eau et aux milieux aquatiques, aux activités et aux services associés ;
- mettre à disposition ces informations auprès des autorités européennes et nationales, des gestionnaires de l'eau ou du grand public ;
- contribuer au contrôle des usages de l'eau et à la surveillance des milieux aquatiques, participer à la prévention de leur dégradation, à leur restauration et à la préservation de la biodiversité ;
- apporter aux acteurs de la gestion de l'eau son appui technique et sa connaissance de terrain.

Pour mener à bien ses missions, l'Onema travaille en étroite collaboration et en complémentarité avec l'ensemble des acteurs de l'eau.

Document réalisé par la délégation à l'information et la communication

Secrétariat de rédaction et suivi de fabrication : Béatrice Gentil

Conception, maquette et iconographie : Graphies

Impression : IME

Cet ouvrage a été réalisé avec des encres végétales sur du papier PEFC 100 % issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées, chez un imprimeur respectant toutes les normes environnementales.



Le *Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques* a été réalisé dans le cadre de la convention de partenariat Onema / Irstea. Il s'agit de la troisième édition complétée et mise à jour du guide publié en 2002 par Cemagref Éditions.

Ce guide s'adresse en premier lieu aux agents chargés de constater les infractions à la police de l'eau et à la police de la pêche (agents des services départementaux de l'État, de l'Onema, de la Gendarmerie nationale, etc.).

Il a pour objectif d'apporter des éléments réglementaires et de méthodologies pratiques pour la réalisation de prélèvements dans le cadre de contrôle de rejets ou de cas de pollutions des milieux aquatiques.

Son utilisation se conçoit en complément d'une bonne connaissance des milieux aquatiques acquise sur le terrain et d'un accès à la documentation technique en particulier celle relative aux prélèvements et aux analyses physico-chimiques.



Ce document s'inscrit dans une nouvelle collection de *Guides techniques de la police de l'eau* qui consacre la complémentarité de la science et du droit. En effet, la législation relative à l'eau et aux milieux aquatiques et, plus globalement, celle de l'environnement, se construit en s'appuyant sur l'état des connaissances scientifiques et techniques dont le développement suscite les évolutions politiques du droit.

Ces guides fournissent ainsi aux agents chargés de la police de l'eau les outils et les méthodes pour réaliser les actes du contrôle du respect des normes légales et réglementaires de préservation de l'environnement.

