



EHESP

**Ateliers Santé-Environnement
Ingénieur du Génie Sanitaire
Promotion 2007-2008**

**Mesure en continu
et surveillance des ressources en eau**

**Marie-Eve BONNET
Julien FECHEROLLE
Claire FLOC'H**

Remerciements

Nous tenons à remercier Monsieur Olivier THOMAS, Directeur du Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (LÉRES) de l'EHESP, pour ses conseils et explications.

Nos sincères remerciements s'adressent aussi à Monsieur Guillaume STAHL, animateur du groupe de travail « Mesure en continu de la qualité des eaux courantes de surface » de l'A.S.T.E.E, pour son orientation et le partage de ses connaissances.

Merci également à toutes les personnes qui ont aimablement répondu à nos recherches d'informations, dont notamment : M. Eric BLIN (Lyonnaise des Eaux), M. André CROCC (Veolia Environnement), M. Arnaud GAUDRIER (AFNOR), Mme Catherine GONZALEZ (Ecole des Mines d'Alès), M. Pierre HENNEBERT (IRH Environnement), M. LAMBERT (Cifec), M. Christian MANNSCHOTT (DDASS de Meurthe-et-Moselle), M. Antoine MONTIEL, Mme Dorothée MUNOZ (Hocer), M. Patrick PEIGNER (DDASS du Maine-et-Loire), M. François QUERTIER (Veolia Environnement), Mme Caroline RENAULT (Lyonnaise-des-Eaux), M. Charles SAOUT (DGS), M. Daniel VASSEUR (AquaMS).

Nous remercions enfin Mme Estelle BAURES (LÉRES) pour son aide à la rédaction de ce rapport.

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
1 OUTILS DE MESURE EN CONTINU	3
1.1 Analyseurs pour la surveillance des EDCH	3
1.1.1 Composants généraux	3
1.1.2 Avantages de la mesure en continu sur la mesure de laboratoire.....	4
1.1.3 Catégories de paramètres surveillés.....	6
1.1.4 Le marché de la mesure en continu : les tendances actuelles.....	8
1.2 Contexte règlementaire et normatif.....	12
1.2.1 Considérations sur le cadre législatif	12
A) Suivi sanitaire	12
B) Protection des ressources.....	15
1.2.2 Standardisation.....	17
A) Normalisation des analyseurs	17
B) Référentiel PLQ2000 pour les stations d’acquisition	22
2 PRATIQUE DE LA MESURE EN CONTINU	24
2.1 Projets et expériences pilotes.....	24
2.1.1 Optimisation d’une station d’alerte : le projet LIFE ENV/F/000492.....	24
A) Contexte et objectifs	24
B) Actions mises en œuvre	25
C) Résultats et perspectives	26
2.1.2 Réseaux d’alerte.....	28
A) Canaux du Bas-Rhône et du Languedoc.....	28
B) Réseau Aquapol.....	31
C) Programme Pisys	32
2.2 Déploiement et retour d’expérience.....	32
2.2.1 Point de vue des traiteurs d’eau	33
A) Mesure en continu pour le suivi sanitaire	33
B) Mesure en continu pour l’alerte	35
C) Biocapteurs.....	38
2.2.2 Témoignages institutionnels	39
A) Enquête auprès des services déconcentrés.....	39
B) Professionnels de la santé publique	43

2.2.3	Avis de fabricants	44
3	RECOMMANDATIONS	46
3.1	D'une bonne définition du contexte local.....	46
3.1.1	Connaissance des risques.....	46
3.1.2	Lieu d'implantation	47
3.1.3	Echantillonnage	48
3.2	Des critères de choix des appareils de mesure en continu	48
3.2.1	Sélection des paramètres	48
3.2.2	Considération de la sensibilité	50
3.2.3	Prévision des coûts	51
3.2.4	Prétraitements	51
3.3	Du traitement des données en vue d'une réponse adaptée	52
3.3.1	Prise en compte du bruit de fond	52
3.3.2	Traitement des données	53
3.3.3	Analyse multi-paramétrique	53
3.4	De la fiabilité des appareils et des systèmes de communication.....	54
3.4.1	Calibrage et étalonnage	55
3.4.2	Disponibilité des appareils.....	55
3.4.3	Accessibilité de l'information.....	56
3.5	De procédures de validation des alertes	57
3.5.1	Vérification de l'absence de dysfonctionnements	57
3.5.2	Confirmation d'une pollution	57
3.6	D'une amélioration continue de la définition du besoin de surveillance.....	58
	CONCLUSION	59
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	I
	GLOSSAIRE	VI
	LISTE DES ANNEXES.....	IX

Liste des sigles utilisés

ACIME : Association de Certification des Instruments de Mesure pour l'Environnement
AFNOR : Association Française de Normalisation
ASTEE : Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement
BTX : Benzène, Toluène, Xylène
CEM : Compatibilité Electromagnétique
CEN : Comité Européen de Normalisation
COT : Carbone Organique Total
CPG-SM : Chromatographie en Phase Gazeuse et Spectrométrie de Masse
CSP : Code de la Santé Publique
CTME : Centre Technique de la Mesure pour l'Eau
DCE : Directive Cadre sur l'Eau
DDAM : Directions Départementales des Affaires Maritimes
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DGRNE : Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement
DGS : Direction Générale de la Santé
DIREN : Direction Régionale de l'Environnement
DRASS : Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales
DRIRE : Directions Régionales de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement
EDCH : Eaux Destinées à la Consommation Humaine
EXERA : Association des Exploitants d'Equipement de Mesure, de Régulation et d'Automatisme
GERP : Groupe Régional d'Echanges des Pratiques Professionnelles
HACCP : Hazard Analysis Critical Control Point
HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
IGS : Ingénieur du Génie Sanitaire
INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IR : Infra Rouge
ISO : Organisation Internationale de Normalisation
LIFE : L'Instrument Financier pour l'Environnement
MISE : Mission Inter Services de l'Eau
NANCIE : Nancy Centre International de l'Eau

ORSTOM : Organisation de la Recherche Scientifique et Technologique d'Outre Mer
(actuellement IRD)

PNSE : Plan National Santé Environnement

R&D : Recherche et Développement

RNDE : Réseau National des Données sur l'Eau

SAGEP : Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris

SPE : Solid Phase Extraction

STEP : STation d'EPuration des eaux usées

UV : Ultra Violet

Liste des tableaux et des figures

Figure 1 : Schéma d'un capteur	3
Figure 2 : Schéma d'un analyseur.....	4
Figure 5 : Cycle de vie d'une mesure en ligne.....	19
Figure 6 : Exemple de banc de test pour les essais en laboratoire.....	22
Figure 7 : Principe de la fusion de données	26
Figure 8 : Schéma des organes et systèmes d'alerte biologique sur les canaux BRL	28
Figure 9 : Gestion d'une pollution accidentelle	30
Figure 10 : Représentation des résultats de l'enquête effectué auprès des DDASS	41
Figure 11 : Schéma type du dispositif d'alerte lors d'une pollution accidentelle.....	44
Figure 12 : Exemple de données invalides détectées et reconstruites	52
Figure 13 : Fenêtres glissantes pour le calcul d'indices de comparaison	53
Figure 14 : Identification d'un masque de pollution inconnu par association de capteur ...	54
Tableau 1 : Valeurs de toxicité vis-à-vis du poisson relevées dans la littérature.....	11
Tableau 2 : Intérêt de la mesure en continu de différents paramètres.....	49

Introduction

L'eau en général, et plus encore celle destinée à la consommation humaine, doit satisfaire à des exigences de qualité toujours plus strictes. Si les traitements appliqués sont aujourd'hui relativement bien maîtrisés, leurs performances sont assujetties en partie à la qualité des eaux brutes. Malheureusement, celle-ci est souvent variable, ce qui complique nécessairement la gestion des installations de production d'eau potable. De plus la vulnérabilité des ressources s'accroît avec l'augmentation de l'activité humaine.

Les dégradations de la qualité des eaux brutes peuvent avoir diverses conséquences :

- un arrêt momentané de la production, voire même de la distribution d'eau potable ;
- la production d'une eau de mauvaise qualité ;
- une augmentation du coût de production de cette eau.

Cette situation appelle, en conséquence, une surveillance étroite.

Pour répondre au mieux à ce besoin, et aux aspirations législatives qui en résultent (article R.1321-23 du CSP « Toute personne publique ou privée responsable de la distribution d'eau est tenue de surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine ») sont apparus, dans les années 80, les premiers analyseurs en continu de l'eau. Ils paraissent représenter une alternative intéressante à la mesure en laboratoire, qui, actuellement, fait figure de référence.

Néanmoins, on peut se demander quelle confiance accorder à ces analyseurs. En particulier dans le cadre de leur utilisation en amont des stations de production d'eau potable pour détecter une éventuelle pollution accidentelle, peut-on baser une décision de gestion de crise sur les seules informations données par ces appareils ?

Pour tenter de répondre à ces interrogations une première partie de ce document entend présenter ces outils de mesure en continu, leurs validations normatives et considérer leur potentiel dans le contexte réglementaire du dispositif français de surveillance des EDCH.

La pratique de la mesure en continu est ensuite examinée, d'abord au travers de la présentation de quelques projets ayant démontré son potentiel pour la surveillance des EDCH, puis par la synthèse de témoignages recueillis auprès de divers professionnels (DDASS, exploitants, fabricants).

Sur la base des éléments précédemment constatés nous proposons, enfin, une série de recommandations pour réaliser le meilleur usage de cet outil dans le but d'équiper des stations d'alerte.

1 Outils de mesure en continu

1.1 Analyseurs pour la surveillance des EDCH

Les mesures des paramètres de la qualité de l'eau sont nécessaires pour une bonne gestion des ressources en eau. Pour les réaliser, des capteurs et analyseurs physico-chimiques, ainsi que des biocapteurs existent. Ils ont l'avantage de permettre de mettre en évidence très précocement les substances polluantes dans les eaux [1].

Ces analyseurs sont ceux basés sur le principe de mesure dit «en continu», qui se définit comme un ensemble de mesures dont la fréquence est suffisamment élevée pour fournir un résultat permanent et disponible en temps réel.

Ce chapitre se propose de rappeler quels sont les composants d'un analyseur en continu, puis de citer les principaux avantages de la mesure en continu par rapport aux analyses de laboratoire. Les catégories de capteurs utilisés généralement dans la surveillance de la qualité des eaux de consommation seront ensuite présentées synthétiquement. Enfin, quelques produits du marché français seront présentés.

1.1.1 Composants généraux

Un appareil de mesure en continu est composé de différents systèmes. Suivant la nature de ceux-ci et le type de mesure, on distingue les capteurs et les analyseurs.

La clef de voûte du capteur est la sonde : celle-ci, immergée dans l'eau testée, mesure le paramètre souhaité (Figure 1).

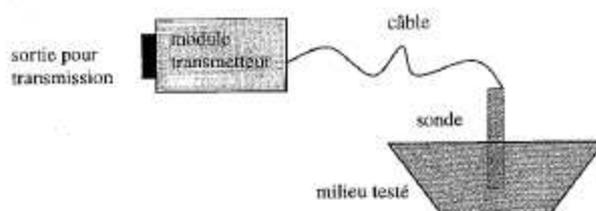


Figure 1 : Schéma d'un capteur [1]

L'analyseur (Figure 2), lui, prélève l'eau par une boucle d'échantillonnage et détermine la caractéristique selon différentes méthodes (ajout de réactif, infrarouge, ultraviolets...).

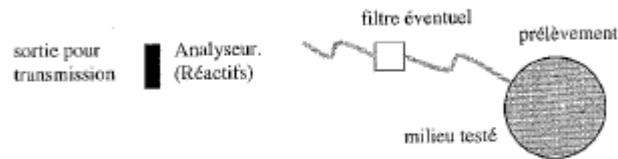


Figure 2 : Schéma d'un analyseur [1]

Le prélèvement de l'analyseur est une étape très importante : il peut être asservi au débit ou être programmé. Un filtre est parfois ajouté pour éviter l'encrassement de l'analyseur. Il ne faut pas que les propriétés mesurées soient modifiées par ce filtre [1].

Dans la suite de ce rapport, nous utiliserons indifféremment, pour simplifier, le terme « capteur » ou « analyseur ».

1.1.2 Avantages de la mesure en continu sur la mesure de laboratoire

Il est intéressant de comparer l'intérêt de la mesure en continu par rapport aux analyses en laboratoire pour comprendre en quoi elles sont complémentaires. Nous décrivons donc dans ce paragraphe les principaux avantages de la mesure en continu.

Rapidité et automaticité : dans tous les cas, la mesure par capteur est obtenue en quelques secondes ou quelques minutes et elle est transmise immédiatement et automatiquement à l'utilisateur. De plus, en dehors des opérations de maintenance, la mesure s'effectue sans présence humaine, depuis le prélèvement jusqu'à la fourniture du résultat, ce qui permet de déclencher des automatismes ou des régulations (report d'alarme, échantillonnage, modification de la marche usine...) de façon à réagir au plus vite et de gérer les incidents plutôt que de les subir.

Or, les pollutions accidentelles de la ressource en eau peuvent provoquer sur les usines de traitement de graves problèmes de maîtrise de la production d'eau potable. Concrètement, il est donc important pour l'exploitant de détecter ces pollutions avant le passage de l'eau sur la filière de traitement. En effet, si cette détection est faite à temps, l'usine pourra s'affranchir du prélèvement d'eau dans le milieu naturel et alimenter son réseau de distribution grâce à sa capacité de stockage, le temps du passage de la pollution ou le temps d'adapter le traitement. Ceci est d'autant plus vital si l'usine dépend

d'une ressource vulnérable (eaux superficielles) ou unique (sans possibilité de substitution par une autre ressource voisine).

Couverture temporelle et représentativité plus importantes : sous réserve d'une bonne disponibilité, toute la période annuelle est couverte. De même, l'information peut être fournie à la fréquence de l'heure ou de la minute, non pas à celle d'un échantillon moyen journalier, ce qui correspond davantage aux dynamiques observées dans le milieu naturel. De plus, la mesure en continu permet de s'affranchir de la dégradation éventuelle d'un échantillon d'eau lors du transport, garantissant une réelle représentativité.

Traçabilité : il résulte des avantages précédents que les capteurs en continu rendent possible la « traçabilité des mesures », permettant par exemple de mettre en relation une pollution accidentelle et ses effets sur la qualité de l'eau.

Coût : suivant le cas (étude spécifique à mener), la mesure en continu peut présenter des économies par rapport à des analyses en laboratoire, notamment lorsque la fréquence d'analyse est élevée. Outre l'aspect coût d'analyse, dans de nombreux cas, prévenir les dysfonctionnements peut éviter au distributeur des frais importants. La mesure en continu et les systèmes d'alerte permettent enfin de mieux gérer les procédés de traitement et d'optimiser les rendements et la qualité des produits, d'économiser l'énergie et les réactifs.

Tous ces avantages seront bien entendu valables si la mesure ne pêche pas, par ailleurs, par sa disponibilité, sa précision et sa fiabilité, apanage reconnu de la mesure de laboratoire.

Les capteurs en ligne sont, en effet, soumis aux contraintes du temps et du milieu dans lequel ils sont fixés. Variations de température, de pollution, risque de contaminations, encrassement, vieillissement, sont autant de facteurs qui provoquent, à un moment ou à un autre, l'évolution anormale du signal, appelée dérive de la mesure. D'après la presse spécialisée [2-3-4-5-6-7], la lutte contre la dérive s'est donc organisée chez les fabricants, en passant notamment par l'amélioration de la résistance des composants (membranes, diodes remplaçant les lampes), le nettoyage automatique des capteurs et l'automatisation des techniques de calibration [8]. L'étalonnage automatique, les alarmes de fonctionnement, l'autodiagnostic de la valeur par des microprocesseurs ou des logiciels, sont les autres tendances marquantes de ce marché [9].

1.1.3 Catégories de paramètres surveillés

Pour surveiller la qualité des eaux de surface, les analyseurs peuvent être installés à la prise d'eau ou en stations de mesure, en amont de l'usine, afin d'anticiper les situations de crise [10]. Ces stations de mesure fixes sont appelées stations d'alerte. Les premières ont été mises en place dans les années 70. Un bilan national, réalisé en 1990, [11] en recensait 34. Actuellement, en France, elles seraient, selon les sources, de plusieurs centaines surveillant en continu la qualité de l'eau au niveau de la ressource [12] à plus probablement, une quinzaine d'installations conséquentes (Cf. Véolia, Lyonnaise des Eaux).

Les analyseurs en continu qui constituent la station d'alerte sont classés en plusieurs catégories, selon la nature des paramètres mesurés :

- Les appareils de détermination de paramètres simples tels que *température, pH, conductivité, turbidité, oxygène dissous, chlore*.

Ces capteurs, basés sur des principes analytiques variés, sont généralement fiables et demandent une maintenance réduite. De plus ils présentent l'avantage d'être peu coûteux. Cependant, leur utilisation en alerte est discutée. En effet, ces paramètres ne sont pas systématiquement liés à des alarmes. Ils sont donc peu efficaces pour détecter une pollution. Couplés à d'autres capteurs, ils permettent toutefois d'en valider certaines. Leur intérêt réside surtout dans une étude statistique des données acquises sur une longue durée [13].

- Les systèmes de mesure de paramètres organiques globaux tels que le *COT, l'absorption UV*.

Ils constituent une approche intéressante mais leur utilisation comme système d'alerte pose le problème du choix d'un point de consigne qui ne peut être résolu qu'en disposant d'un historique de l'évolution du paramètre considéré. Ces analyseurs peuvent être utilisés à la fois pour le suivi de la qualité de l'eau et pour l'alerte [14].

- Les dispositifs de mesure de paramètres spécifiques.

Ces paramètres comprennent l'ammonium, les nitrates, les métaux lourds, les hydrocarbures, les pesticides et certains ions non métalliques (cyanure, phosphates...).

Deux types d'appareils permettent de mesurer la concentration en *ammonium* : colorimètres automatiques et analyseurs à électrodes spécifiques.

Pour les *nitrites*, sont utilisés des spectrophotomètres d'absorption UV ou des analyseurs à électrodes spécifiques. Ils nécessitent, dans les cas de milieux contenant des matières en suspension, une station de filtration en amont.

Les *métaux lourds* sont mesurés par méthode polarographique.

Les concentrations en *phénols* sont données par colorimétrie automatique.

La mesure des *hydrocarbures* se fait par spectrophotométrie d'absorption IR ou à fluorescence UV. Pour détecter des films d'hydrocarbures, des méthodes de détection par « fusible » (dissolution d'une membrane polymère au contact du film) et par capteur optique ont été mis en place.

La mesure des *pesticides* est réalisée dans quelques stations françaises par électrode spécifique (inhibition de la butyryl-cholinestérase). Cependant, cette méthode nécessite une confirmation de l'alerte par des mesures ultérieures car la méthode est sélective mais non spécifique, dans le sens où tout inhibiteur de la butyryl-cholinestérase est décelable par cette voie [13]. Si leur choix est fait en fonction des risques de pollution potentielle en amont de la prise d'eau, ce type d'appareillage permet néanmoins une bonne surveillance [14]. Actuellement, de nouvelles méthodes basées sur la spectrométrie UV apparaissent. Certaines stations peuvent, enfin, être équipées de détecteurs de *brome, chlorures, phosphates, sulfates, sulfites, cyanures, fluorures, radioactivité, etc.*

- Les appareils de test de toxicité globale utilisant la survie ou le comportement des êtres vivants.

Le nombre et la variété de polluants susceptibles d'être présents dans la ressource ne permettent pas une exhaustivité de la mesure par des analyseurs de type physico-chimique. D'autant plus, que de nouveaux polluants encore inconnus peuvent émerger à tout moment. La solution, face à ce problème, a été d'utiliser des organismes vivants afin de mesurer la toxicité globale des EDCH. On les appelle communément biocapteurs.

Ils ont l'avantage de détecter plusieurs types de polluants, mais avec des sensibilités très différentes. Ils sont donc complémentaires des analyseurs physico-chimiques. Pour augmenter l'efficacité de leur utilisation, il est préférable de les coupler à des systèmes automatiques de prélèvement qui permettent l'analyse des polluants responsables de l'alerte [14].

1.1.4 Le marché de la mesure en continu : les tendances actuelles

Vu la multitude d'appareil de mesure en continu, il serait impensable de tous les citer. Cependant, certains semblent plus utilisés et/ou plus connus par les exploitants de stations de traitement d'eau potable. Nous décrivons donc ceux-ci plus précisément.

Les appareils de détection des paramètres simples

Ils sont largement utilisés dans toute la France, en particulier par les exploitants pour piloter au mieux les stations de traitement. Il en existe des centaines, il serait donc fastidieux et inintéressant de tous les décrire, d'autant plus que l'offre dans ce domaine est assez stable et la fiabilité de ces appareils n'est plus à prouver. Ils sont distribués par des organismes tels que HACH LANGE, CIFEC, AQUALYSE, SWAN, ENDRESS-HAUSER, SERES, ABB, pour les plus connus.

Leurs électrodes ne diffèrent généralement pas beaucoup de celles présentes dans les laboratoires d'analyse.

Les systèmes de mesure de paramètres organiques globaux

On peut citer le QuickTOC[®] distribué par ANAEL qui permet de mesurer le COT [15-7]. Son principe de fonctionnement est basé sur l'oxydation thermique.

Les dispositifs de mesure de paramètres spécifiques

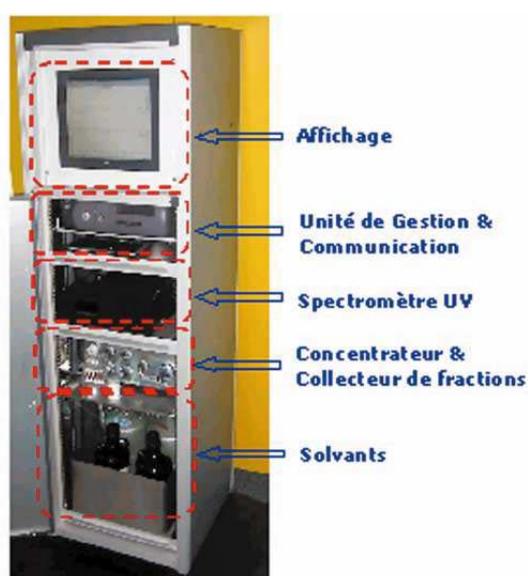


Figure 3 : L'Aquapod [4]

Ces dispositifs suscitent de nombreuses recherches en particulier pour la détection des hydrocarbures et des pesticides qui sont au centre des préoccupations actuelles au regard de la pollution de la ressource en eau.

On peut citer en exemple deux appareils de brevetage relativement récent :

L'Aquapod[®] (Figure 3) développé par HOCER, serait déjà installé en une quinzaine d'exemplaires en France, notamment à La Rochelle, Laval, Clermont-Ferrand, Brest et Lyon.

L'Aquapod[®] repose sur le couplage entre une procédure de séparation et de concentration des polluants sur une phase solide (SPE) associée à une analyse par spectrométrie UV de la solution concentrée. Cette technique permet d'obtenir des sensibilités inférieures à 1 µg/l sur des polluants organiques dissous : notamment les pesticides (triazines, urées substituées, organo-phosphorés, amides...) avec une gamme de mesure comprise entre 0.25 et 10 µg/l, les hydrocarbures dissous (gazole, kérosène, essences SP 95 et SP 98) avec une gamme de 1 à 200 µg/l, les produits industriels (HAP, phénols, BTX), les microcystines et certains produits complexes comme les lisiers ou les rejets de STEP. Son coût est d'environ 30 000 euros [16-17-4].

Pour l'analyse des métaux on citera un appareil multi-paramétrique, le Sentinel[®] commercialisé par ANAEL (Cr total, Cr III, Cr VI, Fe, Cu, Ni, Zn). D'autres appareils du même type existent ; tous reposent sur des méthodes potentiométriques, par électrode spécifique ou par colorimétrie [18-5].

Les biocapteurs testant la toxicité globale

Ils sont basés sur divers types d'organismes vivants :

- Bactéries

Leur principe réside sur le dysfonctionnement métabolique (respiration, luminescence, nitrification...) d'une bactérie exposée à une substance toxique. Dans certains cas il sera possible de doser la quantité de polluant présent. Citons l'exemple du Toxcontrol Biomonitor[®] de MICRO LAN qui utilise un système de bioluminescence.

- Algues

L'appareil utilisant un système algal le plus connu est commercialisé sous le nom de Fluotox[®] par AquaMS. Cet appareil est basé sur le principe de la fluorescence algale représentative de l'activité photosynthétique des algues.

Chez les végétaux, les herbicides bloquent l'activité photosynthétique de l'algue. De ce fait, cette énergie se transforme en chaleur et en rayonnement de fluorescence. L'amplitude de ce rayonnement indique le taux d'inhibition photosynthétique de la plante. Il s'agit donc, pour le Fluotox[®], d'exciter les algues avec une source lumineuse constante, puis de capter et de traiter la fluorescence émise [6].

Selon le fournisseur, cet appareil peut donc détecter principalement la toxicité des herbicides (ex : atrazine) à des teneurs faibles de l'ordre du ppb (Annexe 3). Il coûte environ 25 000 euros à l'achat et un consommable de 200 euros par mois puisqu'il faut renouveler les algues [19].

- Daphnies (micro crustacés) :

Citons l'AquaTox control Daphnia[®] (KERREN) qui est basé sur le principe de l'activité locomotrice des daphnies. C'est un appareil très sensible, selon le fournisseur, qui déclenche une alarme lorsque la nage des daphnies est perturbée [19]. Ces appareils n'ont cependant pas été fortement commercialisés vraisemblablement du fait de la maintenance importante qu'ils nécessitent (renouvellement régulier des daphnies).

- Bivalves

En conditions normales, une moule reste ouverte la plupart du temps, pour prélever l'oxygène du milieu nécessaire à sa respiration, ainsi que les particules de phytoplancton en suspension qui lui servent de nourriture. Quand cette eau est de mauvaise qualité, on observe chez l'animal un mouvement d'hyperactivité ou des fermetures temporaires des valves dues à l'irritation des muqueuses [20]. Cette réactivité peut être traduite en signal. L'appareil le plus connu basé sur ce principe est le Musselmonitor[®] (DELTA CONSULT), mais il serait relativement peu utilisé en France du fait de son manque de sensibilité, de son prix élevé, de son encombrement et d'une maintenance trop élevée [19].

- Poissons

Le plus utilisé est le Truitosem/Truitel[®] commercialisé par CIFEC depuis 1990. Ce système a été commercialisé en France à raison d'une centaine d'exemplaires. La plupart de ces appareils sont installés en amont des stations de traitement d'eau potable pour surveiller la ressource. Parmi les grandes villes qui se sont dotées d'un Truitosem[®], citons Bordeaux, Lyon, Orléans, Lille, Nice, Metz, Besançon, Le Mans [2].

Le Truitosem[®] est constitué d'une population de poissons (truitelles ou vairons) baignant dans un champ ultra-sonore mesuré par un récepteur situé à l'autre extrémité de l'aquarium.

Le bruit Doppler provoqué par l'activité des truites est extrait du signal reçu et permet de s'assurer de la vitalité de celles-ci. La modification significative du signal électrique due à un changement de comportement des animaux déclenche une alarme haute et une alarme basse. Le signal peut être enregistré en continu avec des seuils de pré-alarme éventuels.

Les limites de détection du Truitel/Truitosem[®] sont basées sur la quantité de mouvement des poissons qui sont, selon le fournisseur, extrêmement sensibles à la toxicité. La pollution sera détectée avant d'atteindre les valeurs de toxicité ci-dessous (Tableau 1).

Tableau 1 : Valeurs de toxicité vis-à-vis du poisson relevées dans la littérature [2]

Paramètres	LC 50-96 H (en mg/l) (1)	LC-100 (en mg/l) (2)
Chlorobenzène	-	0.03
Chlorure mercureux	0.16 à 0.66	0.70
Cyanure de sodium	0.15	0.60
DDT pp'	-	0.30
Dichlorophénol	-	10.00
Ethyl-parathion	-	1.30
Fuel	-	200.00
Lindane	-	0.50
Trichloroéthylène	47	140.00

Les seuils de sensibilité pour l'hexachlorocyclohexane (hexachlorure de benzène) et le cyanure de potassium sont donnés à 50 µg/l.

(1) dose létale pour 50 % des poissons, au bout de 96h

(2) dose létale pour 100 % des poissons, au bout de 96h

La principale limite est qu'une température trop haute peut être préjudiciable à la survie des truitelles et lors de températures trop basses (inférieure à 8 °C), le mouvement des poissons ralentit, ce qui peut rendre difficile toute détection de pollution [2-21].

Il faut donc rester vigilant sur la fiabilité de ces mesures étant donné la sensibilité des truites à tout autre paramètre physique (température, turbidité...). De plus, un système de filtration est souvent utilisé pour palier à ce problème, ce qui peut fausser les résultats si la pollution est sous forme particulaire. L'ordre de prix de ce type d'appareil est de 20 000 euros.

Le Gymnotox[®] d'AquaMS suscite également un vif intérêt. Il exploite les signaux électriques naturellement émis par un poisson originaire des eaux douces d'Amérique du Sud, *Apteronotus albifrons* (appartenant à l'ordre des Gymnotiformes). La fonction de ce procédé est d'alerter de tout changement physique ou chimique de l'eau, en exploitant très simplement toute anomalie dans la régularité coutumière des



Figure 4 : *Apteronotus albifrons* [3]

caractéristiques électriques du poisson : fréquence et forme de son signal, fidèle reflet de son métabolisme. Ainsi à titre d'exemple, le Gymnotox[®] est capable de détecter en moins d'une demi-heure une concentration de 35 µg/l de cyanure, soit une valeur inférieure à celle autorisée dans les eaux de consommation. Son prix est de 29 000 euros [3-22-23].

Actuellement, 6 appareils sont installés en France.

Marie-Eve Bonnet – Julien Fecherolle – Claire Floc'h. Ateliers Santé-Environnement. EHESP IGS 2007-2008

1.2 Contexte réglementaire et normatif

Introduire un volet «réglementaire» au sujet de la mesure en continu peut paraître étonnant : en effet, aucun texte de loi ne la rend obligatoire ; plus encore, lorsqu'elle est en place, ses résultats n'ont pas valeur de droit.

Pourtant il n'existe plus, sans doute, en France d'usine de potabilisation qui n'utilise au moins un capteur en continu pour faciliter le réglage de son process. La plupart des stations d'une certaine taille disposent d'analyseurs à la fois en entrée et en sortie de leurs traitements.

Ceux-ci analysent souvent les paramètres mêmes visés par les limites et références de qualité dont le législateur exige le contrôle, à des coûts élevés, puisque avec passage par un laboratoire. Ce paradoxe apparent amène à se demander si la prochaine modification marquante des textes ne verra pas l'avènement d'une certaine reconnaissance des analyseurs en continu pour la surveillance des EDCH.

Faute de pouvoir répondre à cette question nous nous proposons :

- d'identifier brièvement dans l'arrière-plan réglementaire organisant la surveillance des eaux, quelques directions en faveur de cette potentielle évolution.
- de voir les référentiels de standardisation relatifs à la mesure en continu existant actuellement, en France, qui pourraient servir de base à cet essor.

1.2.1 Considérations sur le cadre législatif

A) Suivi sanitaire

- Le suivi sanitaire de la qualité des eaux de distribution repose depuis des décennies en France sur des prélèvements ponctuels à l'initiative de l'administration, mission de contrôle externe historiquement confiée aux agents des DDASS. La mesure en continu, par définition inscrite sur la durée et en des points fixes des installations ne peut pratiquement, être mise en œuvre que par la personne publique ou privée responsable de la distribution d'eau.

Si l'on devait poser un premier préalable à la reconnaissance réglementaire des résultats obtenus par la mesure en continu, pourvu que la fiabilité des technologies l'autorise, il pourrait donc s'agir d'un nécessaire transfert de confiance entre l'État, détenteur du pouvoir de contrôle, et les exploitants, opérateurs de ces mesures au quotidien.

Le décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 [24] (transposition de la directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998) qui fixe actuellement les modalités du suivi sanitaire des EDCH, a récemment constitué un progrès dans ce sens. Pour la première fois était, en effet, clairement mise en valeur l'auto-surveillance déjà organisée depuis longtemps par la majorité des traitants d'eau.

Le point fort de cette reconnaissance permet la substitution, depuis le 22 décembre 2006, de certaines des analyses programmées par l'exploitant à celles prévues dans le cadre du contrôle administratif pourvu qu'un plan d'assurance qualité soit mis en place au sein du système de production et de distribution et que les analyses soient confiées à un laboratoire agréé ou certifié. Les exploitants auront, pour ce faire, soumis la pertinence de leur programme à l'appréciation du conseil départemental d'hygiène et obtenu l'émission d'un arrêté préfectoral fixant les modalités de la prise en compte de leurs analyses.

Corrélativement, qu'ils bénéficient ou non de ces dispenses, tous mettent à la disposition des autorités sanitaires l'ensemble des résultats de l'auto-surveillance et se doivent de porter à leur connaissance tout incident pouvant avoir des conséquences sur la santé publique.

Il s'agit donc bien là de dispositions visant à instaurer davantage de transparence, ainsi qu'un partage de résultats, entre autorités et exploitants. De cette meilleure connaissance réciproque on peut raisonnablement penser qu'elle favorisera à l'avenir une confiance plus étendue des autorités. Or, il est déjà certain que, dans ce domaine, un grand effort serait véritablement à effectuer pour accepter non plus seulement des analyses fournies par des laboratoires indépendants, mais des lignes de mesure traitées et communiquées par les exploitants eux-mêmes.

- Il peut sembler une évidence de souligner que la mesure en continu permet de réaliser une surveillance en continue. Mais s'agissant bien du principal point fort des analyseurs qui relèvent de ce procédé, on peut imaginer qu'il constituera un jour leur raison d'entrer dans les obligations réglementaires.

Il y a donc lieu de considérer qu'une suggestion, par les textes, de la nécessité d'avoir une connaissance la plus permanente possible dans le temps de la qualité de l'eau, constitue un point favorable à la reconnaissance de la mesure en continu.

A cet égard, le décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001, qui reprend (Art. 18.II) la phrase du décret 89-3 du 3 janvier 1989 selon laquelle «la personne publique ou privée responsable de la distribution d'eau est tenue de surveiller en permanence la qualité des eaux destinées à la consommation humaine» est encore équivoque. En effet, quel lecteur n'y a pas compris, de prime abord, que le distributeur d'eau doit connaître à tout instant la qualité de l'eau qu'il produit ?

Le paragraphe qui suit peut d'ailleurs être interprété dans ce sens. Il dit que :

« Cette surveillance comprend notamment :

- un examen régulier des installations
- un programme de tests ou d'analyses effectués sur des points déterminés en fonction des risques identifiés que peuvent présenter les installations
- la tenue d'un fichier sanitaire recueillant l'ensemble des informations collectées à ce titre».

Le terme de «tests» est relativement vague : au sens large, rien ne permet d'en exclure le résultat d'une mesure effectuée par un analyseur en continu. L'adverbe «notamment» pourrait d'ailleurs être vu comme une incitation à ne pas limiter cette auto-surveillance aux moyens d'analyse classiques. Rappelons, en effet, que la mention de l'obligation de recourir à une analyse en laboratoire agréé ou certifié ne porte que sur les analyses que l'exploitant destine à substituer aux analyses du contrôle sanitaire (Art. 18-II).

- Le domaine agro-alimentaire est celui dans lequel est né et s'est développé le système d'analyse des dangers - points critiques pour leur maîtrise, en abrégé méthode HACCP. Dans celle-ci, est expressément recommandé que la surveillance des seuils correspondant aux points critiques soit effectuée de manière la plus instantanée possible. Consécutivement nombre d'industries agro-alimentaires sont aujourd'hui équipées d'analyseurs en continu.

La référence implicite à cette méthode d'assurance qualité dans le décret n° 2001-1220 (Art. 18-II : «(...) un plan d'assurance qualité est mis en place (...) basé sur : - l'analyse régulière des risques comportant notamment l'identification des points critiques (...)») ne peut ainsi que constituer un positionnement intéressant pour le développement de la mesure en continu dans le domaine de l'eau.

- Les analyseurs en continu, pour lesquels une nette tendance vers l'autonomie et la miniaturisation s'observent, consistent de plus en plus rarement en une simple automatisation des protocoles d'analyse dits «de référence», utilisés de façon normalisée dans les laboratoires. Ils font généralement appel à de nouvelles procédures de détermination ou à des simplifications des méthodes de référence. Ces procédures se rapprochent ainsi des «méthodes alternatives» : on parle de protocoles analytiques alternatifs pour ces analyseurs, voir même pour des capteurs.

Pour rappel, les méthodes alternatives sont en réalité définies dans la norme AFNOR XP T 90-210 de janvier 1996 comme étant «une méthode d'analyse utilisée par le laboratoire à la place d'une méthode d'analyse de référence (...) qui permet d'analyser ou d'estimer, pour un type d'eau donné, la même grandeur que celle mesurée par la méthode d'analyse de référence correspondante».

Une reconnaissance législative des méthodes alternatives pourrait ainsi être considéré comme ouvrant une voie, relative, à la mesure en continu.

Cette prise en compte dans le domaine des eaux d'alimentation fut longtemps limitée. Dans l'arrêté du 20 février 1990 [25], relatif aux méthodes de référence pour l'analyse des EDCH, cette possibilité ne concernait que l'analyse des eaux superficielles. Sont spécifiés pour celle-ci, non plus le suivi de méthodes normalisées mais le respect de trois caractéristiques de performance : limite de détection, précision, exactitude.

L'arrêté du 17 septembre 2003 [26], actuellement en vigueur, a marqué une évolution en n'imposant plus, pour les eaux de distribution cette fois, l'utilisation de méthodes de référence que pour une vingtaine de paramètres et en autorisant le libre choix pour la détermination d'une quarantaine d'autres, sous réserve que les méthodes utilisées répondent aux caractéristiques de performance qui y sont mentionnées : justesse, fidélité, limite de détection, limite de quantification.

B) Protection des ressources

La mesure en continu présente sur les techniques d'analyse ponctuelle l'avantage majeur de mettre à notre disposition des données très rapprochées dans le temps. Il est aisé de concevoir que cet avantage se trouve majoré lorsque le milieu surveillé est plutôt instable. Les eaux dites « brutes », sujettes directement aux fluctuations des milieux naturels et potentiellement à des pollutions anthropiques variées, répondent à ce cas. La mesure ponctuelle, sur ces eaux, notamment superficielles ou souterraines des régions karstiques, présente une représentativité restreinte.

On peut donc penser que si la volonté du législateur était un jour d'aboutir à une surveillance sanitaire précise des ressources, elle entraînerait forcément le recours à la mesure en continu. Nous en sommes loin encore, mais si l'on considère l'évolution réglementaire récente, il convient de remarquer un transfert progressif des préoccupations sanitaires depuis l'aval de la chaîne, le point de mise en distribution, vers l'amont, le point de captage de la ressource. En fait on assiste à une prise en compte de la chaîne dans sa globalité puisque désormais, le législateur exige la qualité jusqu'au robinet du consommateur. Le temps semble bien révolu où les traiteurs d'eau avaient le droit de produire l'eau potable à partir de «n'importe quoi».

On citera, afin d'illustrer cette préoccupation croissante envers la qualité de la ressource :

- La volonté réaffirmée lors du PNSE établi en 2004 de voir se mettre effectivement en place les périmètres de protection des captages d'eau potable, assortis de prescriptions limitant les risques de pollution, prévus depuis la Loi sur l'Eau du 3 janvier 1992 [27] (et avant elle par le décret-loi du 30 octobre 1935 !).

La mise en place de ces périmètres avait, normalement, été exigée avant janvier 1997. Mais en 2006, seuls 45% environ des captages en bénéficiaient réellement. Un chiffre que le PNSE voulait porter à 100% en 2010.

Concrètement, il s'agit d'un travail long qui nécessite :

- un diagnostic du milieu et des activités dans un périmètre d'étude prédéfini ;
- des études relatives à l'évaluation des risques de pollutions accidentelles ;
- la mise en place d'un réseau d'alerte et de sécurisation de l'approvisionnement.

Ce dernier point n'exige nullement la mise en place de stations d'alerte équipées d'appareils de mesure en continu. Mais, dans les faits, de nombreuses communes lui ont associé cette signification.

Si ces stations se révèlent efficaces, pourquoi ne pas penser que leur présence sera, une fois les périmètres largement mis en place, le niveau d'exigence supplémentaire que posera le législateur ? Cette évolution ne contredirait pas la tendance vers une sécurisation de plus en plus poussée qui semble être voulue par nos sociétés.

- Le programme de surveillance des eaux, désormais imposé depuis 2006 en application de la DCE du 23 octobre 2000 [28], qui a vu la mise en place en France d'un réseau de 1500 sites où seront effectués régulièrement des contrôles.

En effet, même s'il s'agit bien, avant tout, de connaître l'état écologique des masses d'eau et d'en assurer la mise à un bon niveau ou son maintien, cette directive n'oublie pas toute finalité quant aux usages alimentaires de l'eau comme l'indique son article 7.3 : «(...) assurer la protection nécessaire des masses d'eau afin de prévenir leur détérioration de manière à réduire le degré de traitement de purification nécessaire à la production d'eau potable».

Par ailleurs, même si la Circulaire du 13 juillet 2006 relative à sa mise en œuvre sur les eaux de surface [29] ne préconise actuellement que des analyses ponctuelles, la DCE n'excluait, elle, aucunement l'emploi de mesures en continu.

C'est ainsi que le vaste programme de recherche Européen *Screening methods for Water data Information in support of the implementation of the Water Framework Directive (SWIFT WFD)* qui fut mis en œuvre entre 2003 et 2007 dans l'objectif de recenser et d'évaluer les méthodes analytiques disponibles en Europe pouvant servir à réaliser l'état des lieux et le suivi voulu par la DCE, incluait l'examen de plusieurs analyseurs en continu.

1.2.2 Standardisation

A) Normalisation des analyseurs

En France, l'AFNOR est la structure chargée d'animer la réflexion normative et d'élaborer les documents normatifs. Dans le domaine de l'analyse de l'eau, le développement de méthodes supranationales est, cependant, un fait majeur. Les nouvelles normes développées au plan purement français, sont de plus en plus rares. La majorité des normes sont des normes NF EN ou NF EN ISO, c'est à dire la reprise, par l'AFNOR, de normes élaborées par CEN ou par l'ISO. Ces institutions s'organisent en commissions : l'ISO/TC 147 s'occupe ainsi de la «Qualité de l'Eau» (elle se subdivise en sous-comités, par exemple SC1 «Echantillonnage », eux mêmes divisés en groupes de travail, WG 1, 2, 3 etc.), le CEN/TC 230 a en charge l' «Analyse de l'Eau» (il se subdivise directement en « Work Groups »).

Ces deux instances internationales ne comportent, à ce jour, aucun groupe de travail dédié à la mesure en continu. A l'AFNOR existe, en revanche, au sein de la commission Générale de Normalisation, T90 «Qualité de l'eau», la Commission T90 L «Mesure en continu pour l'eau».

Sous la présidence de M. Jean-Luc CECILE, qui en a eu l'initiative en 2002, cette commission affiche pour objectifs : *«d'élaborer des documents normatifs sur la méthodologie et l'application des mesures en continu pour l'eau dans les différents domaines : gestion des ressources en eau, gestion des systèmes d'alimentation en eau potable et d'assainissement, évaluation des impacts des rejets sur le milieu naturel. Ces travaux devront permettre la reconnaissance de la mesure en continu, en complément des analyses ponctuelles effectuées dans les laboratoires dans le cadre du contrôle réglementaire de la qualité de l'eau de consommation humaine et des rejets dans les milieux. L'enjeu de cette normalisation est la maîtrise technique et l'harmonisation des pratiques de mesure en continu pour l'eau».*

L'un de ses prochains projets d'envergure est, également, d'impulser au CEN la création d'une commission « sœur ».

La commission T90L a déjà supervisé l'édiction de trois normes :

a) *Mesures en continu pour l'eau : spécifications pour l'étude, la mise en œuvre et l'exploitation*

Publiée en décembre 2004, la NF T90-552 «Mesures en continu pour l'eau : spécifications pour l'étude, la mise en œuvre et l'exploitation» [30] vise à décrire un cadre de référence pour les étapes conduisant à l'utilisation de la mesure en ligne (continue ou séquentielle), destiné à faciliter la définition des caractéristiques relatives à l'instrumentation chez les maîtres d'œuvre.

Une première partie s'y attache à la notion de chaîne de mesure, dont sont distinguées les phases suivantes :

- la localisation du point de mesure ;
- l'échantillonnage : prise d'échantillon dans le cas d'un préleveur physique, localisation de la prise de mesure sinon ;
- le prétraitement, lorsqu'il est nécessaire ;
- le conditionnement : traitements spécifiques à l'instrument de mesure liés à la méthode d'analyse, réalisés soit directement dans la cellule de mesure, soit successivement dans des organes spécialisés (ex : cellule de minéralisation ou d'extraction, pot de dégazage, etc.) ;
- la mesure conduisant à une donnée délivrée sous forme analogique ou numérique ;
- le traitement de la donnée (ex. validation, transcodage, linéarisation, moyenne, dispersion, intégration, mise à l'échelle, etc.)
- la restitution de la mesure : mises en forme de multiples façons et en différents lieux pour les utilisateurs auxquels elle est destinée (ex : affichage numérique sur le transmetteur du capteur, courbe d'évolution dans le temps sur l'écran du superviseur, journal de bord de l'usine etc.). La restitution peut aussi impliquer les équipements ou procédures permettant la transmission de la mesure et les alertes de dysfonctionnement vers l'utilisateur.

On y trouve, dans une seconde partie, la description de toutes les considérations techniques et organisationnelles sur lesquelles il conviendra que l'utilisateur s'attarde s'il souhaite obtenir satisfaction des résultats fournis par sa chaîne de mesure. La méthodologie proposée consiste en un regroupement de ces considérations en étapes chronologiques, définissant un «cycle de vie» (Figure 5) de la chaîne de mesure : de la définition des besoins à l'exploitation et à la maintenance du système, jusqu'à son remplacement ou sa suppression.

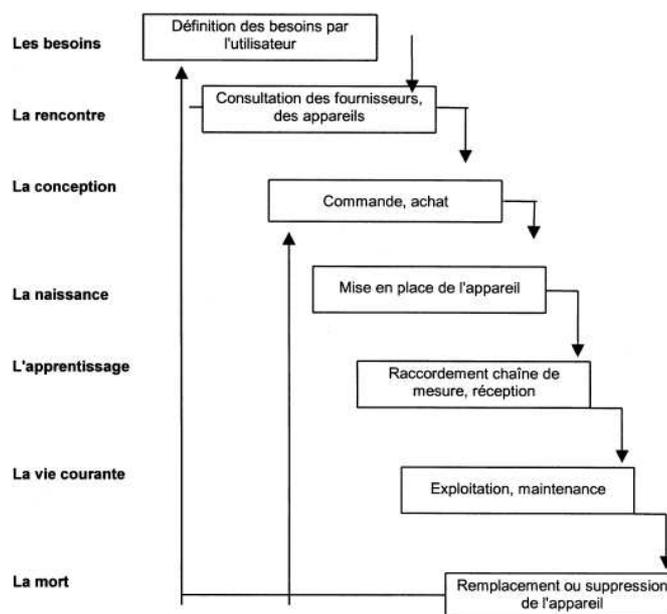


Figure 5 : Cycle de vie d'une mesure en ligne [29]

Un des intérêts de cette représentation anthropomorphique est de permettre facilement de concevoir que, si le fournisseur de capteur est le producteur vis-à-vis du consommateur que représente l'installateur, à son tour, l'installateur est le producteur vis-à-vis du maître d'ouvrage qui est le consommateur. En cours d'exploitation de la chaîne de mesure, celle-ci est le producteur (de données) et l'exploitant est le consommateur. De là, l'importance de bien définir, à chaque étape, la relation entre chacune des entités jouant les rôles de producteur ou de consommateur [10].

Ces relations sont basées sur la définition d'exigences, la réalisation d'évaluations, de vérifications ou encore l'établissement de formalités contractuelles que la norme s'applique à détailler.

Pour faciliter ces démarches aux différents acteurs, la norme propose en annexe des supports relativement nombreux :

- un questionnaire relatif à l'équipement souhaité du point de mesure (étape de définition des besoins) ;
- une trame pour l'établissement d'un cahier des charges (étape de commande) ;
- un modèle de fiche d'appréciation de l'adéquation des offres aux besoins (étape d'achat) ;
- un modèle de fiche de réception de la chaîne de mesure (étape de raccordement, réception) ;
- un modèle de fiche de désignation et de vie du matériel (étape d'exploitation, maintenance).

b) *Matériel d'analyse/capteurs directs pour l'eau : spécifications et essais de performance*

Marquant pour la première fois un intérêt pour le sujet de la mesure en continu, le comité Technique CEN/TC 230 approuvait, en août 2006, l'intégralité du texte de l'ISO 15839 élaboré trois ans plus tôt par le comité Technique ISO/TC 147. Cette norme fut reprise à son tour, sans aucune modification, par la Commission T90L de l'AFNOR qui la publiait en décembre 2006 sous l'appellation «NF EN ISO 15839 : Matériel d'analyse/capteurs directs pour l'eau : spécifications et essais de performance» [31].

Ce document vise à décrire les procédures d'un essai de performance du matériel d'analyse/capteurs directs dans l'eau (en admettant toutefois que, pour quelques matériels, certains essais de performance ne peuvent être réalisés) qu'il définit comme tout *«dispositif automatique de mesurage qui donne de manière continue (ou avec une certaine fréquence) un signal de sortie proportionnel à la valeur d'une ou de plusieurs caractéristiques à déterminer dans la solution qu'il mesure»*.

Une première partie de cette norme consiste en un lexique qui regroupe la terminologie devant permettre de décrire ensuite les caractéristiques de fonctionnement du matériel. Pas moins de quarante trois termes métrologiques y sont répertoriés.

Une seconde partie spécifie le contenu des procédures d'essai à suivre pour évaluer les caractéristiques de fonctionnement du matériel. Il impose leur division en deux parties : un essai en laboratoire dans des conditions contrôlées et un essai complémentaire sur le terrain dans des conditions réelles. La norme détaille, à ce sujet :

- La préparation de l'essai :

Elle nécessite, notamment, que le fabricant fournisse les informations pertinentes relatives à son fonctionnement : il doit être tenu compte des propriétés du matériel et des différents besoins des chaînes de mesurage pour assembler le banc d'essai approprié.

Une fois les installations du banc d'essai en place, cette phase comprend une détermination préalable du temps de réponse du matériel, permettant d'obtenir les informations nécessaires sur le minutage des mesurages.

Enfin, cette phase doit mettre en place un moyen de contrôle général du fonctionnement du matériel durant toute la durée de l'essai à venir (type diagramme de réponse par rapport à une solution étalon pour l'essai en laboratoire ou par rapport aux valeurs de référence pour l'essai de terrain).

- Les procédures d'essai visant à déterminer successivement les performances :

-temps de réponse, temps de latence, temps de montée et temps de descente

-linéarité*, coefficient de variation*, limite de détection*, limite de quantification*, répétabilité*, plus petit changement détectable*, biais, dérive à court terme*, dérive à long terme**, répétabilité ordinaire*

-effet de mémoire*

-sensibilité aux agents interférents*

-robustesse aux conditions environnementales (vérification des conditions de fonctionnement annoncées)*

-disponibilité et temps de fonctionnement**

* pour l'essai en laboratoire seulement / ** pour l'essai de terrain seulement

Noter que ces procédures prennent en compte la maintenance automatique et/ou manuelle du matériel.

La norme fournit enfin, dans ses annexes, un modèle de rapport d'essai et différentes aides : des données pour la description de la chaîne de mesurage de l'analyseur testé, des recommandations pour l'installation du banc d'essai, des exemples de programmation des essais.

c) Matériel d'analyse/capteurs directs pour la mesure de faible turbidité : spécifications et essais de performance

Une première déclinaison de la norme NF EN ISO 15839 a été réalisée par la Commission T90L. Il s'agit de la norme NFT 90-554 «Matériel d'analyse/capteurs directs pour la mesure de faible turbidité : spécifications et essais de performance» parue en juillet 2007 [32]. Celle-ci précise comment réaliser, conformément aux exigences de la norme NF EN ISO 15839, un essai de performance pour les turbidimètres utilisés en sortie d'usine de potabilisation au point de mise en distribution ou juste après le traitement de filtration, pour le suivi en continu de la turbidité de l'eau destinée à la consommation humaine.

Ce champ d'application la destine aux centres d'essai spécialisés dans l'évaluation des matériels de mesure.

Son intérêt est de proposer des outils beaucoup plus spécifiques au type d'analyseur étudié. On retiendra ainsi, par exemple, les propositions de bancs d'essais proposés dans ses annexes (Figure 6).

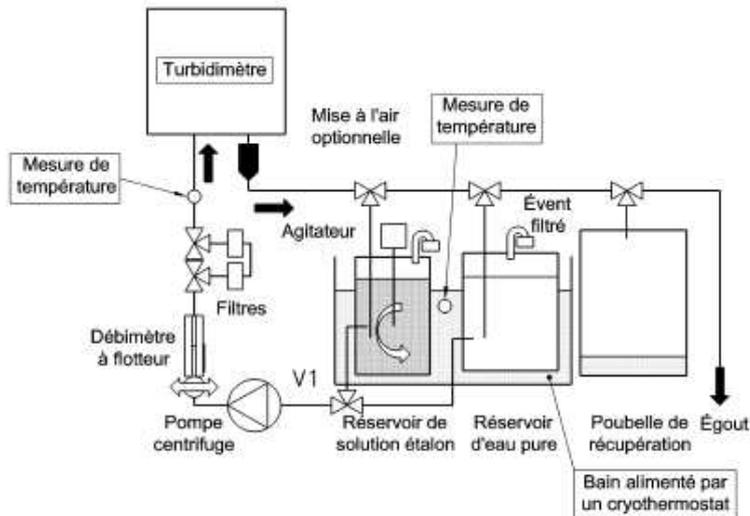


Figure 6 : Exemple de banc de test pour les essais en laboratoire [31]

Selon le secrétaire de la commission T90L : «*cette norme sera prochainement mise en œuvre dans une opération d'évaluation avec un grand nombre d'instrument de mesure sur le marché. Cette évaluation débouchera sur une démarche de certification dans le cadre de l'ACIME. Par la suite il sera effectué une opération de promotion de la norme vers les pouvoirs publics afin d'inciter les donneurs d'ordres publics à exiger des fournisseur une telle certification*».

La Commission T90L espère également porter au CEN ce travail afin qu'il serve de base à l'élaboration d'une référence européenne.

B) Référentiel PLQ2000 pour les stations d'acquisition

Dans une station d'alerte, les capteurs de mesure sont reliés à une station d'acquisition. Ce système assure la collecte et la gestion locale de l'information, son acheminement régulier à distance vers l'utilisateur et compare également la mesure, après traitement, à un seuil d'alerte. Il peut également superviser certains paramètres de fonctionnement des capteurs et prévenir l'utilisateur en cas de défaillance.

La fiabilité des stations d'acquisition est ainsi cruciale. Par ailleurs, lorsqu'il s'agit non plus d'équiper une seule station d'alerte mais de constituer un réseau de surveillance d'un bassin hydraulique avec celles-ci, on conçoit facilement l'avantage de recevoir de chacune des données de formats comparables.

Sur ce constat, un groupe de travail composé d'experts des services de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, a été mis en place en 1992 afin de définir le cahier

des charges d'une station d'acquisition de données susceptible de répondre à l'ensemble des besoins des services de l'eau, notamment aider à la construction du RNDE. Les travaux de ce groupe se sont matérialisés, après une vaste consultation de professionnels (une cinquantaine d'industriels, Météo France, EDF, ORSTOM) par la création du standard PLQ2000 pour «Pluviométrie, Limnimétrie, Qualité des eaux» basé sur un référentiel de spécifications techniques très précises.

Ces spécifications s'appliquent à la définition :

- des aspects matériels d'une station, dont la configuration de base (horloge interne, entrées, sorties, liaisons séries etc.), les possibilités minimales d'extension, l'alimentation en énergie, la robustesse (normes CEM, température, humidité), l'encombrement etc.
- des principales fonctionnalités d'une station, tels la scrutation des capteurs, le stockage des données, le paramétrage, les interfaces opérateur et gestions des accès.
- du protocole de communication sur la base de la norme européenne I-ETS 300-230 [33].

Depuis 1999, sous l'impulsion du Ministère en charge de l'Environnement, la certification des stations d'acquisition de données PLQ2000 a été promue (il s'agit d'une certification volontaire à caractère non réglementaire). L'INERIS est actuellement l'établissement qui la décerne.

Les promoteurs de cette démarche mettent en avant les principaux atouts suivants [34] :

- l'interchangeabilité des stations et le maintien de la concurrence économique : une station PLQ2000 peut être remplacée par une autre station répondant aux spécifications PLQ2000 sans problème de compatibilité avec les appareils de mesure. Ceci permet d'éviter les problèmes de monopole.
- l'interconnexion entre réseaux de mesures : basé sur un protocole de communication performant, le standard permet à différents réseaux de mesures de communiquer entre eux.
- la continuité de fourniture et la maintenance facilitée des stations : le fait de disposer de matériels standardisé permet de palier toute défaillance industrielle et également d'optimiser la maintenance d'un parc de stations de mesures.

A ce jour, seuls 2 constructeurs ont développés des stations PLQ2000 (CENTRALP, station NOE2000[®] et PARATRONIC, station Op@I[®]) et deux autres fournisseurs y travaillent (ELTA, HYDROLOGIC). Mais ces stations ont connu une large diffusion par le biais des marchés publics, pour les réseaux d'annonces de crues essentiellement : environ 300 stations NOE2000[®] sont en fonctionnement et de l'ordre de 150 sites sont équipés de la station Op@I[®].

Marie-Eve Bonnet – Julien Fecherolle – Claire Floc'h. Ateliers Santé-Environnement. EHESP IGS 2007-2008

2 Pratique de la mesure en continu

2.1 Projets et expériences pilotes

Si un certain nombre de collectivités se sont un jour lancées dans l'aventure de s'équiper d'une station d'alerte utilisant des analyseurs en continu, leurs retours d'expérience pratiques n'ont, manifestement, jamais fait l'objet d'un recueil, tant au plan national que sur celui des bassins hydrographiques.

Nous ne pouvons donc que présenter brièvement ici les quelques expérimentations scientifiques ou projets se rapportant à l'utilisation sur le terrain d'analyseurs en continu à des fins d'alerte dont nous avons trouvé mention dans la littérature.

2.1.1 Optimisation d'une station d'alerte : le projet LIFE ENV/F/000492

Baptisé «Protection et surveillance multi-paramètres des ressources aquatiques», ce programme de recherche financé par le fond européen LIFE a débuté en 1999 et s'est achevé fin 2002. Placé sous la coordination du NANCIE, il a associé de nombreux partenaires dont, pour le domaine public, la Communauté Urbaine du Grand Nancy, et, pour le privé, la Lyonnaise des Eaux et les bureaux d'ingénierie ARNATRONIC et IRH Environnement.

A) Contexte et objectifs

Le projet a consisté à intégrer l'information fournie par des analyseurs physico-chimiques de base et des outils de détection biologiques afin de simplifier, optimiser et fiabiliser les dispositifs actuels d'alerte sur les cours d'eau. L'objectif était de démontrer qu'il est possible, à un coût acceptable par les collectivités locales, d'aboutir par cette association à une meilleure surveillance des ressources hydriques, une gestion prédictive des risques de pollution et une information sur l'état de santé des écosystèmes aquatiques.

En amont, ses initiateurs entendaient faire écho à la dénonciation, par de nombreux gestionnaires de ressources hydriques, d'un fossé croissant existant entre les moyens disponibles, leurs contraintes, et les résultats attendus en terme de surveillance de la qualité des milieux ou de protection sanitaire. Ils mettaient en avant un contraste problématique existant en matière de suivi qualitatif des ressources hydriques, à savoir la présence d'agglomérations :

- soit non dotées d'installations de surveillance, soit équipées de quelques capteurs physico-chimiques qui n'autorisent qu'un suivi partiel de l'évolution qualitative des eaux ;
- soit suréquipées, gérant une (voire plusieurs) stations correspondant davantage, et de plus en plus, à de véritables laboratoires d'analyses en ligne. Une situation qui engage les gestionnaires vers des protocoles analytiques complexes, réclamant du personnel qualifié donc excessivement coûteux et de gestion complexe.

Par ailleurs, le postulat retenu était que couvrir des risques particuliers (comme une pollution aux métaux lourds, aux pesticides etc.) constituera toujours une gageure :

- techniquement il n'existe pas forcément d'outils de surveillance adéquat pour surveiller un risque particulier ;
- économiquement il n'apparaît pas envisageable de disposer d'autant de capteurs et/ou d'analyseurs que de substances potentiellement polluantes.

Aussi un des enjeux de ce travail était de considérer la réalité et les exigences de terrain – les questions auxquelles les gestionnaires de l'eau sont tous les jours confrontés concernent aussi bien la nature des informations à collecter, que les moyens de recueillir et de traiter les données – et de parvenir à proposer des solutions plus réalistes pour un meilleur suivi qualitatif des eaux.

B) Actions mises en œuvre

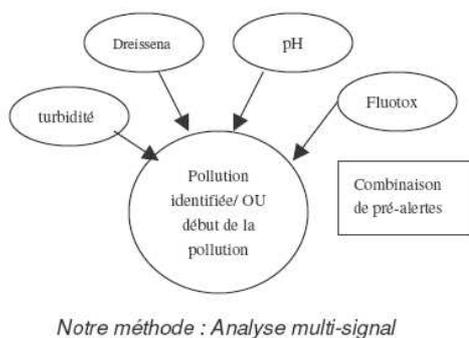
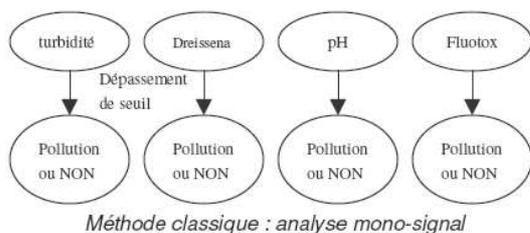
Ce projet s'est décomposé en trois phases principales :

- L'aménagement d'une plate forme multi-paramètres.

Elle s'est faite à partir de la station de surveillance et d'alerte préexistante de Méréville (54), située aux abords de la Moselle au niveau du point de captage d'eau potable de l'agglomération nancéienne. Le but étant de déterminer le degré de complémentarité ou de redondance des analyseurs, ont été installés à la fois :

- un ensemble de capteurs et analyseurs physico-chimiques pour le suivi de paramètres de base (température, O₂ dissous, pH, conductivité, potentiel Redox), de paramètres de caractérisation du milieu (chlorophylle, turbidité), de substances liées à des pollutions potentielles (ammonium, nitrate, ortho-phosphates, hydrocarbures).
- des capteurs biologiques faisant appel à des organismes représentatifs des différents maillons de la chaîne alimentaire : le Regensburger Leuchbakterientest Bacteria Test[®], pour les décomposeurs, le Fluotox[®], pour les producteurs, l'Aquatox-Control[®] ainsi que le Dreissena-Monitor[®] pour les consommateurs primaires, et le Gymnotox[®] pour les consommateurs secondaires.

- La mise en place et exploitation du système de recueil et de traitement des données.



Après avoir défini un pilote informatique permettant la supervision des données issues des différents capteurs, le travail a porté sur la réalisation d'une fusion des signaux permettant de prévenir d'une situation d'alerte sur la base de pré-alertes (Figure 7).

Plusieurs méthodes statistiques ont été successivement testées pour établir des modèles relationnels entre les capteurs : arbres de classification, régression linéaire multiple, régression linéaire temps réel, k plus proches voisins.

Figure 7 : Principe de la fusion de données [35]

- La réalisation d'une campagne de tests de toxicité (Annexe 1) visant à simuler des variations qualitatives du milieu afin de valider une approche de gestion prédictive. En tout 39 simulations de contaminations (variations de paramètres physico-chimiques non toxiques, dopage par des substances toxiques, simulations de pollutions agricoles, industrielles ou déversement d'hydrocarbures) ont été réalisées.

C) Résultats et perspectives

Sur les bases des simulations de contamination réalisées, ce programme a conduit à proposer un tableau d'associations de capteurs les plus pertinentes compte tenu d'un risque de pollution présumé (Annexe 1). Ce tableau est présenté comme «la définition des premiers éléments de spécifications pour la création d'une unité européenne de surveillance».

Par ailleurs le logiciel de gestion prédictive élaboré a été jugé suffisamment précis et opérationnel pour être mis à la disposition de la Communauté Urbaine du Grand Nancy.

Enfin, pour ses initiateurs, cette expérience a démontré la pertinence d'une nouvelle stratégie de suivi qualitatif des eaux, en termes d'équipements et de mode de gestion des

informations collectées : *«Le projet Life 99 ENV/F/000492 a permis de mettre en place un système quasi-autonome de gestion de ces données qui traite, centralise et prévient en cas de problème, ceci au moindre coût d'exploitation. L'approche multi-paramètres de surveillance des ressources aquatiques a fait ses premières preuves : l'utilisation de biocapteurs est un dispositif prometteur, bien que plus contraignant que des capteurs physico-chimiques, leur intérêt n'est pas négligeable et les informations qu'ils peuvent fournir loin d'être toutes exploitées. L'exploitation de cette installation, reprise par la Communauté Urbaine du Grand Nancy, permettra de répondre à l'ensemble des questions persistantes».*

Un guide méthodologique [35] a donc été élaboré à destination des gestionnaires de stations de surveillance désireux d'en connaître les détails.

On relèvera, cependant, dans le texte du rapport « Présentation des tests de toxicités », fourni sur le cédérom donnant les résultats complets du programme diffusé par le NANCIE, quelques bémols tels que :

- *« [la difficulté] de juger où commence et où s'arrête la réaction [des analyseurs biologiques]. En effet, il peut y avoir une réaction faible, forte voir très forte ou même nulle. De plus [on peut choisir d'interpréter] la réaction d'un capteur vis-à-vis de lui-même sur l'ensemble des tests ou vis-à-vis d'un test et des autres capteurs »*
- *« la difficulté d'interprétation globale des résultats pour définir, par exemple, des associations typiques de capteurs face à un type donné de pollution ou pour définir le(s) biocapteur(s) en remplacement d'analyseurs complexes et coûteux. (...). Un renforcement des expérimentations permettrait de conforter les associations obtenues ».*

Un des constats les plus importants du projet était donc, sans doute, que la démarche d'analyse et d'affinage des seuils et paramètres d'alerte devait continuer afin de s'adapter aux nouveaux types de pollution et à l'évolution du contexte (vieillessement du système, perfectionnement de certains capteurs etc.).

De même, on retiendra la brève synthèse qualitative (Annexe 1) qui est donnée sur la sensibilité globale aux pollutions de chacun des capteurs biologiques, qui démontre la réelle complexité d'interprétation.

Nous n'avons malheureusement pas réussi à obtenir de témoignage actuel sur le devenir de cette expérience.

2.1.2 Réseaux d'alerte

A) Canaux du Bas-Rhône et du Languedoc

Si l'on s'intéresse désormais à la mise en place de réseaux d'alerte, rassemblant l'information issue de plusieurs stations d'alerte, une expérience intéressante à citer nous semble celle menée par la Compagnie d'Aménagement de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc (BRL) [36]. Avec le soutien financier de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse et du Ministère de l'Agriculture, cette compagnie avait cherché à développer une stratégie de sécurisation des nombreux captages d'eau potable dispersés sur un réseau de canaux dérivés du Rhône dont elle avait la charge.

Ses objectifs étaient de surveiller en continu la qualité des eaux des canaux, d'être capable d'identifier rapidement une pollution accidentelle d'origine organique, quelle qu'elle soit, et de mettre en place des procédures de gestion de crise.

En sus de la mise en place de périmètres de protection réglementaires autour des prises d'eau, son idée avait consistée à disposer, tout au long des canaux (Figure 8) des organismes de détection biologique couplés à des préleveurs automatiques. Ces derniers devaient permettre, en cas d'alerte, d'obtenir, en 48h, via le laboratoire du Génie de l'Environnement de l'Ecole des Mines d'Alès associé au projet, une identification et une quantification de tous les produits présents dans l'eau.

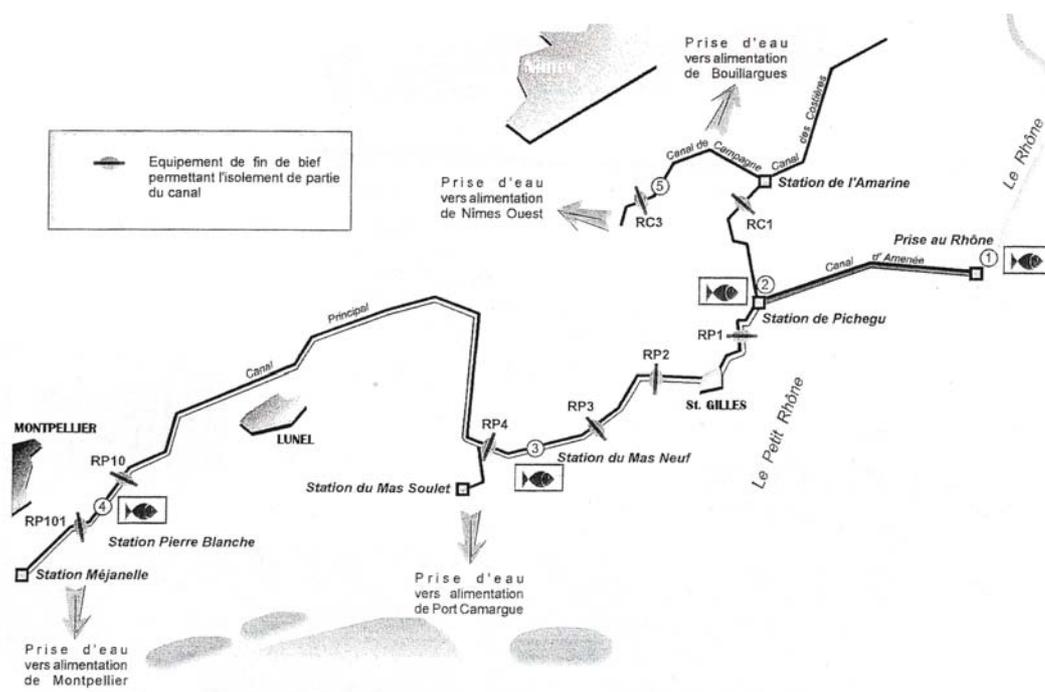


Figure 8 : Schéma des organes et systèmes d'alerte biologique sur les canaux BRL [36]

Les méthodes développées à l'occasion de cette expérience concernèrent :

- la sélection des organismes de détection biologique : il fut procédé à une analyse comparative des différents systèmes existant sur le marché sur la base de publications, documentations des constructeurs, d'enquêtes auprès des utilisateurs en tenant compte de critères de sensibilité, fiabilité, souplesse d'exploitation, autonomie, validations in situ, coût d'investissement et d'exploitation. Les systèmes retenus furent le Valvomètre® et le Truitosem® ;

- le choix de l'implantation adéquate des stations ;

- la mise en œuvre d'un protocole analytique original basé sur une analyse par CPG-SM après concentration des micro-éléments organiques permettant l'obtention d'une «empreinte de l'eau» suspectée et sa comparaison informatisée avec son «empreinte témoin» (apparition par différence des produits présentant des pics de concentrations anormaux) ;

- le recensement le plus exhaustif possible des produits polluants susceptibles de se retrouver dans les eaux du canal du fait des activités industrielles, domestiques et agricoles de la zone et l'incrémentation d'une base de données sur les dangers de ces substances ;

- la formalisation d'une stratégie de gestion d'une pollution accidentelle (Figure 9).

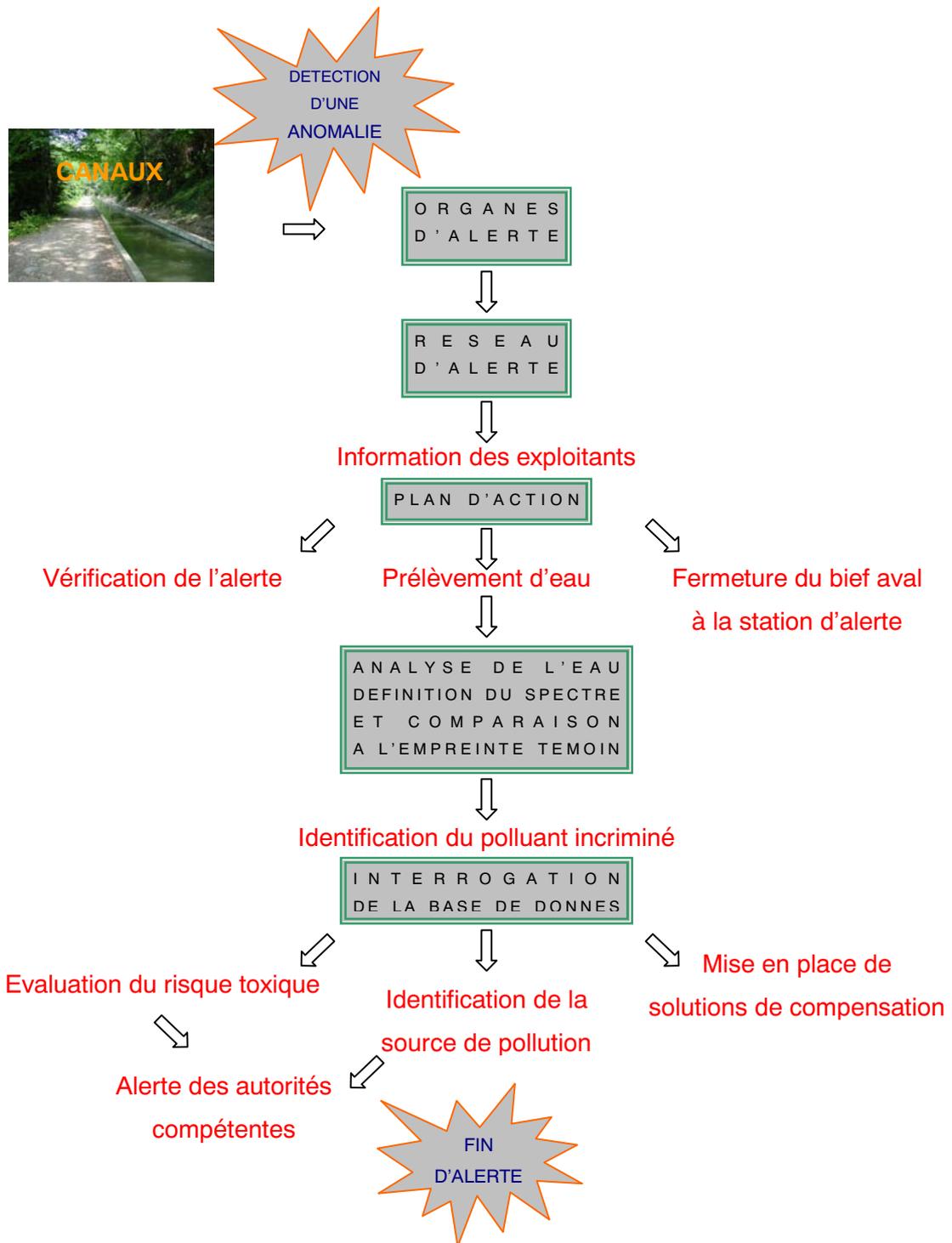


Figure 9 : Gestion d'une pollution accidentelle [36]

Au moment de la publication dont nous disposons les auteurs rapportaient qu'aucune pollution accidentelle ne s'était encore produite.

Il serait intéressant de connaître aujourd'hui le devenir de ce système et les enseignements qu'il est possible d'en tirer. Nous ne sommes, hélas, pas parvenus à obtenir cette information.

B) Réseau Aquapol

En Belgique, le territoire de la région Wallonne est occupé par pas moins de quatre bassins hydrographiques : celui de la Meuse, de l'Escaut, du Rhin et de la Seine. En 1991, la Région Wallonne, en lançant le projet «Aquapol» a décidé d'équiper ceux-ci d'un réseau de surveillance en continu de façon à pouvoir apprécier la qualité des eaux de surface ainsi que détecter les accidents de pollutions.

L'implantation des stations fut choisie selon trois possibilités : points transfrontaliers, aval d'une zone urbaine et/ou industrielle, aval ou amont d'une confluence.

Ce réseau comporte actuellement 9 stations réalisant mesures et échantillonnage, 3 stations uniquement de mesure et 3 stations uniquement d'échantillonnage. Chaque station de mesure analyse en continu au minimum quatre paramètres : l'O₂ dissous, la température, le pH et la conductivité. En fonction des sites, d'autres paramètres peuvent s'ajouter : azote ammoniacal, chlorures, fluorures, cyanures, sulfates, nitrates, ortho-phosphates, COT ou encore l'absorption UV 254 nm.

Ce projet a conduit à réaliser [9]:

- une gestion dynamique automatisée des mesures et des alarmes en mettant en place un synoptique donnant en temps réel la situation du réseau d'analyse (sur les plans fonctionnels et analytique) ;
- une application "datawarehouse" permettant, en travaillant sous un seul environnement, la validation de l'ensemble des données, leur archivage et la gestion informatique de l'ensemble du réseau à distance via modem. Ce logiciel équipe la DGRNE située à Namur. La validation se fait automatiquement et des signaux d'alerte préviennent le gestionnaire lorsque certaines données demandent une vérification manuelle ;
- une diffusion des résultats en temps réel au public via un site Internet (<http://aquapol.environnement.wallonie.be>).

Il nous a paru intéressant car il s'agit probablement d'un des plus anciens et plus ambitieux (en nombre de stations) réseaux de surveillance opérationnels de la pollution sur des eaux de surface existant en Europe.

C) Programme Pisys

Intitulé «Gestion et pilotage en temps réel d'un système d'assainissement en milieu urbain en fonction de la qualité du milieu naturel » ce programme a débuté en novembre 2001 et s'est achevé en janvier 2005. Mis en œuvre par la Communauté d'Agglomération de Metz-Métropole - par l'intermédiaire de sa régie opérationnelle HAGANIS - il a bénéficié du concours financier de l'Union Européenne (LIFE ENV/F/000614), de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, et du Conseil Général de Moselle.

Bien qu'il ne visait pas à protéger une ressource en eau potable, il nous a semblé important de le mentionner ici car la méthodologie qui fut développée semble en grande partie transposable à cette problématique. Le projet passe en effet en revue les étapes communes à la mise en place et au fonctionnement de tout réseau d'alerte :

- équipement de stations de surveillance (dont ici, 6 en milieu naturel) ;
- création d'une base de données dédiées aux mesures ;
- définition des situations d'alerte et des modes de gestion associés, dont le choix de stratégies de pilotage des actionneurs greffés sur les ouvrages.

Un site Internet (http://www.haganis.fr/front/go.do?sid=annexes_1157099522528274) richement documenté regroupe l'ensemble des dossiers techniques originaux élaborés par SAFEGE et AQUAMETRIS. Ce dernier constitue, d'après nous, une mine d'information incontournable pour tout décideur qui aurait à conduire la mise en place d'un réseau de grande envergure. Ce système est, en outre, récent et en fonctionnement aujourd'hui, il doit donc être aisément possible, pour qui le souhaiterait d'en obtenir un retour d'expérience.

2.2 Déploiement et retour d'expérience

La synthèse technique réalisée précédemment à partir de l'offre du marché des analyseurs a permis de constater que le procédé de la mesure en continu se décline sur un vaste panel de paramètres caractéristiques de la qualité de l'eau.

Par ailleurs, les projets présentés ci-avant, laissent à penser que, mis œuvre par des équipes scientifiques, il peut déboucher sur un usage opérationnel satisfaisant pour la surveillance des milieux aquatiques et des EDCH.

Les divers professionnels potentiellement concernés par les bénéfices de cet usage ont-ils pour autant une perception positive de cet outil ? C'est ce que nous avons cherché à

percevoir au travers de nos lectures, d'une enquête par courrier électronique et surtout de plusieurs entretiens que nous ont accordés des personnes concernées par cette question.

2.2.1 Point de vue des traiteurs d'eau

Nous l'avons reconstitué à partir des témoignages de deux personnes travaillant à l'échelon national pour le groupe Lyonnaise-des-Eaux-Suez et de deux personnes œuvrant, pour l'une à l'échelon régional, et pour l'autre au sein de la direction nationale au sein du groupe VEOLIA.

A) Mesure en continu pour le suivi sanitaire

Sur les usines de traitement, l'objectif affiché aujourd'hui est d'obtenir une eau de qualité réglementaire au moindre coût. La mesure en continu ne portera donc habituellement que sur les paramètres :

- soit directement utiles pour le réglage des ouvrages pour lesquels les coûts d'investissement et de fonctionnement sont rapidement amortissables. Concrètement ce sont la température, le pH, la turbidité, la conductivité, l'O₂ dissous, ainsi que, pour les grosses stations, le COT et l'ammonium ;
- soit permettant de vérifier l'absence d'un gros dysfonctionnement du traitement par rapport au risque microbien, concrètement la demande en chlore de l'eau.

Dans les deux groupes un libre arbitre total est laissé aux exploitants dans le choix de ce type d'équipement. Il existe des cellules de veille technologique que les exploitants peuvent consulter s'ils souhaitent recevoir du conseil (offre de produits, consignes générales de maintenance) mais aucune ligne directrice globale n'est arrêtée en fonction du traitement mis en œuvre. Ces cellules encouragent les exploitants à leur faire remonter les difficultés qu'ils auraient rencontrées avec leurs appareils mais ils ne conduisent pas d'enquêtes et ne disposent donc pas de statistiques à ce sujet. Dans la mesure où elles ne fournissent pas d'assistance en cas de panne, elles estiment que les problèmes ne leur remontent que très partiellement.

Un responsable de l'un de ces groupes regrette cette liberté laissée aux exploitants qui entraîne, d'après lui, des choix malheureux : les décideurs sont alors des chefs d'usine ou des électro-mécaniciens n'ayant pas le niveau technique requis pour avoir un avis critique sur la performance des appareils.

Par ailleurs ce manque d'exigence des acheteurs est, selon lui, un des moteurs d'un problème plus vaste : la régression, depuis quelques années de la qualité constatée à l'usage des appareils proposés sur le marché. Sans acheteurs critiques en face, et dans un contexte de concurrence internationale accrue entre fournisseurs, les marques ont porté l'essentiel de leurs investissements sur les aspects praticité (miniaturisation, autonomie) et esthétiques des appareils au détriment de la partie analytique. Qui plus est, ces améliorations de «l'apparence» vont souvent directement à l'encontre de la qualité de la mesure (ex. taille des tuyaux, taille des filtres) et de la robustesse des appareils (pour maintenir des prix bas, les matériaux utilisés sont de moins bonne confection).

Cet acteur dénonce, corrélativement, la quasi-absence de R&D menée par les constructeurs. Selon lui, aucun nouveau principe de mesure n'est apparu depuis le milieu des années 80 et aucun n'est sérieusement à l'étude actuellement.

Ce fait résulterait, d'après lui, d'une regrettable scission apparue dans la majorité des sociétés de mesure il y a une dizaine d'année, ayant conduit à la séparation commerciale des départements touchant à la mesure de laboratoire (pour laquelle on observe, inversement, beaucoup de recherche) de ceux travaillant à la mesure de terrain.

Dans ces deux groupes, on pointe aussi du doigt une tendance générale des fournisseurs à abuser de la crédibilité des exploitants au sujet de l'autonomie et des facilités de maintenance des appareils qui ne correspondraient que trop peu rarement à celles annoncées. Tous ces appareils nécessitent en réalité des calibrages et entretiens réguliers.

Ainsi, plus l'instrumentation s'étendra, plus il faudra l'accompagner, pour nos interlocuteurs, d'une formation en métrologie et qualité adéquate du personnel, qui est loin d'être la règle actuellement. Ou alors, il faudra que les fournisseurs pallient par leurs services au manque de compétences de l'exploitant. Qu'il s'agisse d'une maintenance curative ou prédictive le fournisseur devra être automatiquement informé que chez tel client il est temps d'aller remplacer telle pièce du produit. Des bribes de cette assistance technique sont d'ailleurs déjà apparus sous forme de hotlines téléphonique ou de vidéos vendues avec l'appareil permettant de visualiser de manière dynamique les entretiens à réaliser. Ce qui déjà, faisait dire en 2003 à M. Jean-Luc Cécile, président de la commission AFNOR T90L, que désormais on «n'achète plus un appareil mais une mesure» [37].

Les exploitants soulignent que cette formation des personnels ou ces prestations externalisées auront forcément une répercussion sur le prix de l'eau. Cependant, les

acteurs se disent confiants dans le développement futur de la mesure en continu pour le suivi sanitaire des EDCH. Pour eux, la surveillance des points critiques encouragée par la réglementation actuelle est une bonne chose. Ils pensent qu'elle se transformera vraisemblablement peu à peu en une obligation de suivi en continu de points critiques que les textes iront jusqu'à définir selon les types de process.

Par l'intermédiaire d'associations (EXERA, CTME) ces groupes disent essayer de financer autant que possible l'évaluation des appareils.

B) Mesure en continu pour l'alerte

L'application de la mesure en continu à la surveillance de la ressource en eau au sein de vraies stations d'alertes, telles qu'elles ont été largement installées entre les années 1980 et 95, soulève en revanche plusieurs remises en cause.

Le premier problème, évoqué à l'unanimité, est celui de la difficulté à mettre en œuvre sur la durée une maintenance correcte de ces installations. Plusieurs raisons sont alléguées :

- les coûts très conséquents, souvent occultés ou sous-estimés auprès des collectivités lors de la phase de conception. Il nous est signalé, pour ordre de grandeur, une évaluation effectuée il y a quelques années par la SAGEP sur la station de Joinville-le-Pont (94) faisant état de 28h à 35h de maintenance nécessaire par semaine ;

- le manque de compétences techniques et métrologique du personnel réalisant la maintenance. On évoque notamment le cas des analyseurs fonctionnant par UV qui nécessiteraient souvent de disposer d'un chimiste à demeure pour fonctionner correctement ;

- la rigueur insuffisante constatée dans l'application des procédures de maintenance, si peu que celles-ci soient déjà clairement définies. Il s'agit d'une tendance qu'à, tout un chacun, de négliger, par manque de temps, ce qui n'exige pas un suivi absolument régulier pour fonctionner : on contrôle correctement ce qui produit un effet évident (ex : l'appareil s'arrête par manque de réactif), mais l'on remet à plus tard le contrôle des dérives lentes, des étalonnages. La vigilance baisse sur cette maintenance préventive, de sorte que le jour où l'alerte se produit on ne peut être certain qu'elle ne soit pas liée à un simple défaut de maintenance. Une station est, par définition, conçue pour n'envoyer de l'alerte que de manière exceptionnelle. Le reste du temps elle est, pour ainsi dire, silencieuse, ce qui ne suscite pas l'intérêt. C'est ainsi que lorsqu'on vérifie la cause des alertes, dans une majorité des cas, on s'aperçoit qu'elles ont été induites par un manque d'entretien.

Plus les appareils vieillissent plus la maintenance devrait être réalisée de manière irréprochable car la probabilité que des dérives aient lieu augmente. Or, la plupart du temps, on observe que l'inverse se produit. Les stations tombent alors en désuétude, le nombre de fausses alertes croît, ce qui a souvent valu à ces unités le qualificatif peu glorieux d' «usines à gaz».

Pour l'un de nos interlocuteurs ce problème provient souvent d'un manque de réflexion et d'anticipation lors de la définition du projet. La phase d'étude n'est pas assez approfondie, qui devrait normalement amener l'ensemble des décideurs à bien réfléchir :

- à ce que l'on va chercher à surveiller en fonction des risques présents sur le bassin versant ;
- à la localisation optimale de la station en fonction de critères hydrologiques, alors que l'on voit souvent des critères fonciers et pragmatiques l'emporter ;
- aux moyens nécessaires à la vérification des alertes (doublement de la mesure, kits de vérification rapide etc.) ;
- à la gestion de crise que l'on pourra corréler aux alertes ;
- au coût de l'ensemble proportionnellement aux probabilités d'accidents existant sur le bassin versant.

Si l'ensemble de ces points a été clairement considéré, et à condition d'être en mesure de pouvoir assumer les besoins en maintenance sur le long terme, cet interlocuteur n'est cependant pas opposé aux stations d'alerte.

Il nous dit cependant que, dans la réalité, seules de très grosses communes peuvent avoir les moyens financiers de mener à bien ce type de gestion. Pour toutes les autres il prône actuellement dans sa pratique professionnelle une approche plus modulable consistant en la pose de plusieurs petites stations d'installation relativement simple (déplaçables au besoin), de coût modéré, et contenant des capteurs d'entretien simple pour la mesure de 5-7 paramètres.

Ces stations, commercialisées sous le nom Sirene[®] (Annexe 2), ne sont installées qu'après une phase de diagnostic environnemental du bassin. L'idée sous-jacente est que l'interprétation, et donc la fiabilité de l'alerte, sont indissociables d'une connaissance, sur le long terme, du comportement du bassin en terme de qualité de l'eau. Ainsi, cette connaissance est largement accrue par le fait de disposer de plusieurs points de surveillance. Il compte beaucoup sur l'impulsion donnée par la DCE du 23 octobre 2000 [28] pour porter cette démarche.

Notre second interlocuteur est, en revanche, allé plus loin dans sa critique en dénonçant l'utilité même de ces stations, quelque soient les précautions évoquées ci-dessus prises.

Selon lui, aucun appareil de mesure en continu présent aujourd'hui sur le marché n'est, en effet, apte à donner l'alerte de manière suffisamment précoce, précise et fiable pour être d'une quelconque utilité aux gestionnaires des stations de traitement. Pour nous en convaincre, il passera en revue tous les paramètres surveillés par ces stations en nous faisant valoir que les variations naturelles du milieu peuvent déclencher des alertes intempestives. Il rajoutera qu'étant donné les seuils qu'il est nécessaire de se fixer pour être certain d'une pollution, d'autres indices visibles donnent généralement l'alerte avant. Ou bien encore, que ces appareils sont trop soumis à des effets de matrice. Il égratignera au passage l'honnêteté de certains fabricants qui n'hésitent pas, selon lui, à commercialiser pour ces stations des appareils mesurant des paramètres inutiles (ex : cyanure et métaux lourds qui précipitent dans les stations de traitement ou avant) ou des appareils conçus pour d'autres applications et dont la gamme de sensibilité est totalement incompatible avec les concentrations craintes dans les eaux superficielles (ex : mesure des HAP dans les fonds sous-marins à proximité de pétroliers échoués).

L'expérience aurait ainsi démontré, sans surprise le concernant, que lorsque les plans de sécurisation des captages d'eau potable voulus par la réglementation sont correctement définis et ont fait l'objet des tests adéquats, l'alerte à la pollution est toujours donnée bien avant que les stations ne détectent la moindre anomalie.

Il serait par conséquent plus judicieux, d'après cette personne, que les coûts de fonctionnement des stations soient plutôt investis dans la mise en œuvre de ces plans, l'équipement des services de police en moyens de lutte contre la pollution ou encore dans celui des usines en moyens de traitements d'urgence modernes (charbon actif, unités mobile d'osmose).

Partant de ce principe que les stations d'alerte seraient un concept révolu, mais reconnaissant avoir été jadis convaincu de l'efficacité de ces dispositifs, cette personne nous dit donc essayer de procéder désormais au "désarmement" progressif des stations en place. Elle indique néanmoins que le groupe pour lequel elle travaille a longtemps commercialisé l'installation de ces stations et poussé à leur suréquipement et, qu'actuellement, ayant parfois récupéré par le biais de contrats d'affermage la gestion de ces mêmes stations, il est parfois trop délicat de se dédire auprès des collectivités en proposant leur suppression¹.

¹ sur cette question nous ne pouvons assurer s'il s'agit d'un revirement de position du groupe ou d'un avis personnel

Cette personne pense donc que, le temps passant, ces stations disparaîtront – son groupe n'en a plus installé depuis 1993 – pourvu que l'on ai pas induit trop fortement ce besoin « trompeur» aux collectivités.

Notre interlocuteur pousse, en effet, davantage encore son raisonnement en qualifiant ces stations de «dangereuses» car donnant une illusion de sécurité aux collectivités : se reposant sur l'apparente efficacité de leurs stations celles-ci auront tendance à négliger les procédures de surveillance et de protection des captages qui sont, en réalité, les mesures de prévention les plus efficaces.

Sur cette question de la dangerosité, cette personne tint enfin à signaler qu'elle a eu par le passé connaissance de situations où les stations elles-mêmes engendraient des pollutions qui n'étaient peut être pas anodines sur le plan sanitaire : les déchets de réactifs utilisés par les analyseurs, de nombreux solvants notamment, furent en effet longtemps rejetés directement dans les rivières.

Pour cette personne, le seul avenir éventuel de la pratique de la mesure en continu pour l'alerte sera donc en réseau de distribution relativement au risque bactériologique classique ou terroriste. Des analyseurs pertinents restent cependant à inventer pour cet usage.

C) Biocapteurs

L'ensemble des acteurs interrogés partage un à priori globalement négatif sur ces dispositifs.

Hormis les quelques cas particuliers d'exploitants qui ont été historiquement associés à la mise au point de certains d'entre eux, et desquels il est difficile de tirer un avis objectif, ces dispositifs ne sont, d'après eux, jamais installés à l'initiative des exploitants mais imposés par des élus locaux qui s'en trouvent rassurés ou y voient un enjeux de communication auprès de leur population.

Nos interlocuteurs dénoncent, en la matière, une très forte pression commerciale exercée par les fournisseurs de ces appareils dans le circuit des collectivités locales.

Au cas par cas, ils évoquent, pour les plus connus des biocapteurs, des anecdotes visant à démontrer que les organismes sont soit trop sensibles aux variations des conditions environnementales ou, inversement, insensibles aux pollutions.

Le cas le plus fréquemment cité est celui du truitotests pour lequel les modifications intempestives du comportement des truites arc-en-ciel en fonction des variations de la

turbidité ou de la température de l'eau a conduit nombre d'exploitants à remplacer celles-ci par des gardons, espèce qui supporte mieux les variations environnementales...mais dont on ignore la sensibilité aux polluants.

Les premiers truitotests, qui ne prenaient pas en compte les variations de l'activité des poissons mais juste leur létalité ont également marqué les esprits : soit pour de fausses alertes déclenchées par une mortalité « naturelle » de l'animal soit parce que le jour où une pollution s'est présentée, des tonnes de poissons morts flottaient au bord du fleuve, rendant l'appareil inutile.

A propos de l'appareil Fluotox[®] il est discuté du problème posé par les capteurs reposant sur la mesure de la dérivée du signal. Le seuil de la dérive est forcément fixé haut car sinon un simple choc ou une variation de température entraînerait un signal. Ainsi, une forte déviation mais progressive passera inaperçue. Or c'est ce qui arrive souvent lors d'une pollution accidentelle où les polluants ont tendance à diffuser progressivement.

Pour commencer à considérer ces appareils nos acteurs indiquent qu'il faudra :

- nécessairement qu'il s'agisse de produits basés sur des modifications de comportement permettant de graduer l'alerte et de voir le passage d'une pollution et non plus de produits basés sur la létalité ;
- que les fournisseurs réalisent un effort pour définir des procédures les plus poussées possibles permettant de contrôler que l'appareil est en bon état de fonctionnement. En terme d'assurance qualité, ils déplorent, en effet pour le moment être le plus souvent réduits à ne pouvoir que vérifier sommairement les conditions de vie des animaux. Des tests de toxicité basique sont suggérés.

2.2.2 Témoignages institutionnels

A) Enquête auprès des services déconcentrés

a) Méthode

Afin de connaître l'importance de la mesure en continu dans la pratique des professionnels de la santé publique pour la protection de la ressource en eau, nous avons effectué une enquête par l'envoi d'un questionnaire. Cette enquête avait pour objectif de recenser les stations d'alerte ainsi que d'éventuels dysfonctionnements des appareils de mesure survenus sur celles-ci.

Le questionnaire, détaillé en annexe 5, a été envoyé par mail fin novembre 2007 aux IGS (personnes que nous jugeons les plus compétentes pour nous répondre) de chaque DRASS. Il demandait notamment si des stations d'alertes étaient installées dans la région et si des épisodes d'alerte avaient pu être répertoriés. Il était également important pour nous de savoir si ces épisodes d'alerte remettaient en question la perception de la fiabilité des appareils de mesure en continu et, le cas échéant, si des améliorations avaient été faites.

Le choix des DRASS était justifié par le fait que nous jugeons à priori logique qu'elles recensent l'ensemble des épisodes d'alerte ayant eu lieu sur leurs réseaux d'eau. Au nombre de 22, nous pensions, possible de les interroger, si besoin, plus en avant par téléphone sur leurs expériences suite au premier tri effectué par le questionnaire.

b) Résultats

Sur les 22 DRASS questionnées, seulement 8 nous ont répondu, soit 36%.

Parmi ces réponses, 3 IGS ont transféré le questionnaire à des personnes plus compétentes de leur service. A ce titre, ces dernières n'ont pas envoyé à ce jour de réponses ou nous ont conseillé de nous adresser aux DDASS.

Les 5 autres directions ayant répondu ont évoqué être incompetentes sur le sujet. Elles nous ont toutes conseillés de nous adresser directement aux DDASS. La DRASS du Rhône a clairement évoqué qu'elle ne disposait pas d'informations sur le recensement et que ce point n'avait jamais été abordé au sein des réunions GERP sur les EDCH.

Suivant ces dernières recommandations, le questionnaire a donc été envoyé au début janvier 2008 à l'ensemble des services santé-environnement des DDASS de métropole, soit 95 au total.

Au final, seules 21 DDASS y ont répondu, soit à peine 21% des départements interrogés. Malgré la volonté, il nous a été difficile par manque de temps d'effectuer des relances par mail ou par téléphone auprès des DDASS manquant à l'appel.

Parmi les répondants, seules 9 DDASS ont précisé qu'il y avait des analyseurs en continu pour la protection de la ressource dans leur département.

Dans 3 départements, néanmoins, la mesure en continu porte sur la turbidité de la ressource et le chlore dans le réseau. Parmi eux, seule la DDASS de Seine-Maritime a évoqué des alertes correspondant à des dépassements du seuil de turbidité de 1 ou 2 NFU selon la taille de la collectivité. Le phénomène est courant dans le département, la

région est karstique, de sorte que plus d'une centaine de turbidimètres sont installés sur eaux brutes pour permettre l'arrêt automatique des pompes.

Les 6 autres départements possèdent des stations d'alertes plus conséquentes ; des analyseurs de paramètres simples (pH, température, conductivité, turbidité, O₂ dissous) souvent associés à des analyseurs plus fins (Hydrocarbures dissous, COT, UV) et des analyseurs de toxicité globale (Truitosem[®], Fluotox[®]). Les résultats de l'enquête sont schématisés par la Figure 10.

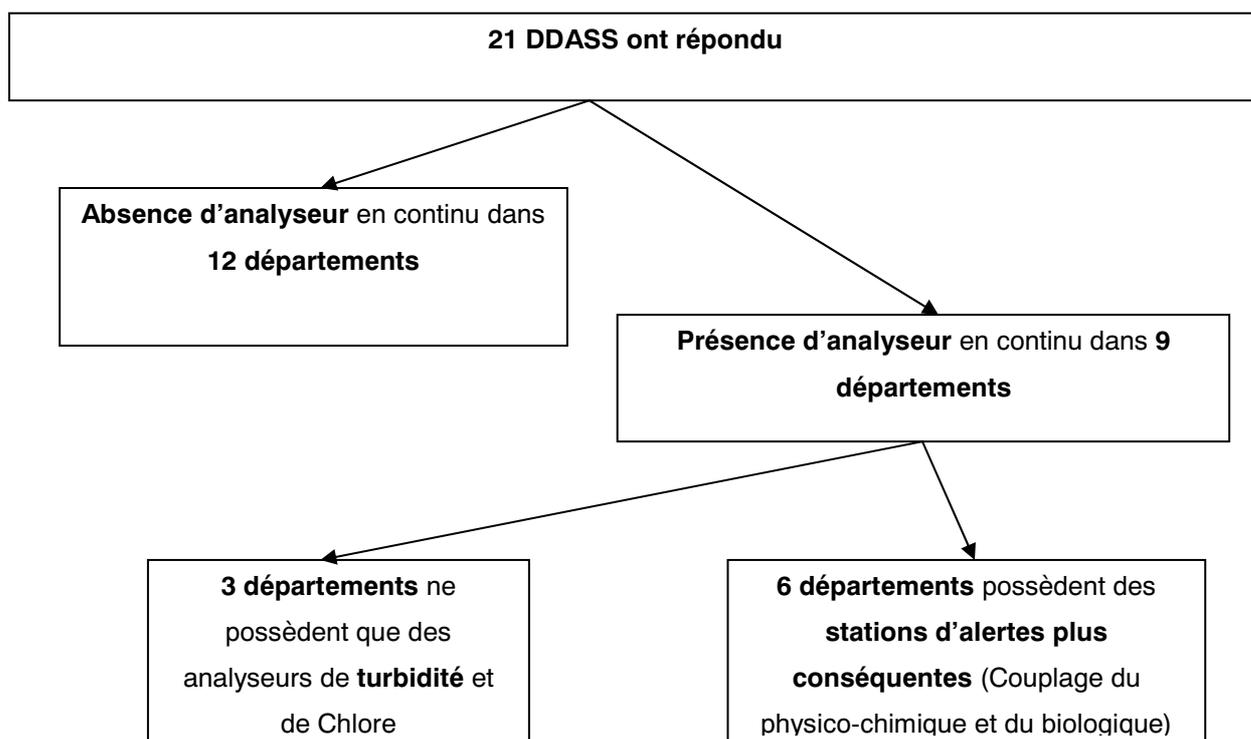


Figure 10 : Représentation schématique des résultats de l'enquête effectuée auprès des DDASS

Parmi ces 6 départements, 3 ont répertorié des épisodes d'alertes :

- La DDASS de l'Aube (10) a constaté en 2007 un problème sur un Truitosem[®] installé dans un aqueduc gravitationnel, long d'une quarantaine de kilomètres. Cet ouvrage est particulièrement sensible dans le département dans le cadre du plan Vigipirate (des regards en surfaces sont accessibles). Lors de cet incident, toutes les truites ont été retrouvées mortes à deux reprises. Les analyses en laboratoire réalisées pendant et après ces incidents n'ont rien démontré d'anormal. Un suivi particulier va cependant être mis en place en 2008 mais aucune remise en question de la fiabilité de cet appareil n'est évoquée pour le moment.

- La DDASS de Meurthe et Moselle (54) s'est réunie en 2007 afin de faire le point sur le problème de pollution à l'ammonium des eaux de la Moselle survenu en juin 2002, janvier 2007 et février 2007. Lors de chaque épisode, il a été observé une augmentation

simultanée de la consommation en chlore et la réaction d'un analyseur biologique sensible aux pesticides, le Fluotox[®]. L'origine de la pollution n'a jamais été identifiée et la possibilité de défaillance d'un appareil d'alerte n'a pas été retenue.

- La DDASS de Moselle (57) a enregistré en septembre 2007 une dizaine d'alertes successives données par un Fluotox[®], installé sur une arrivée d'eau brute d'origine superficielle. Après réorganisation en urgence des circuits de distribution, les causes potentielles de pollution ou de malveillance ont été rapidement écartées. L'analyse en laboratoire de nombreux échantillons prélevés pendant cette crise n'ont pas révélé une teneur anormale en pesticide. Le service remet depuis en question la fiabilité de cet appareil.

c) Discussion

Le manque de réponses ne nous permet pas de pouvoir effectuer un recensement, même succinct, des stations de mesure en continu. Les DDASS ne semblent pas toutes être en mesure de nous répondre ou ne le font pas. La DDASS des Cotes d'Armor (22) indique que les exploitants transmettent rarement les alertes et nous invitent à fortiori, à nous rapprocher d'eux si l'on souhaite quantifier ces fausses alertes.

Nous remarquons cependant que les analyseurs de turbidité sont utilisés de façon importante y compris sur les eaux souterraines. Ces analyseurs ne sont cependant pas utilisés en tant qu'indicateur d'une pollution accidentelle mais plus comme indicateur de crues ou de fortes précipitations.

Sur les 3 alertes évoquées, seul un cas a pu permettre la mise en évidence d'une réelle pollution. Nous n'en savons cependant pas plus. Pour les autres alertes, qui semblaient être des fausses alertes (faux positifs), la remise en question de la pertinence et de la fiabilité n'a pas été faite par les services concernés. Les services déconcentrés de la santé publique ne semblent pas mener actuellement de discussions sur l'amélioration de ces stations de mesure en continu.

Enfin, certains services Santé-Environnement des DDASS ont évoqué la mise en place future dans leur département d'une station de mesure en continu. C'est le cas pour les villes de Tours, de Poitiers et de Cholet. D'autres stations vont également voir le jour sur la Dordogne, la Sarthe et la Vézère. Cela prouve bien que la mise en place de station de mesure en continu est encore d'actualité.

B) Professionnels de la santé publique

Nous avons recueilli leur avis par un entretien avec un IGS expérimenté sur la question des plans de surveillance des captages d'eau potable et auprès d'une personne du bureau des eaux à la DGS. Il s'agissait de connaître leurs points de vue sur la mesure en continu et sur l'amélioration possible de son utilisation pour la protection des ressources en eau.

En ressort, tout d'abord, que l'installation d'appareils de mesure en continu pour la protection de la ressource est dans l'ensemble favorablement perçue. L'installation d'analyseurs simples de pH, conductivité, turbidité, O₂ dissous et température est considérée souvent suffisante pour détecter la majorité des variations de qualité. L'emploi d'analyseurs d'hydrocarbures, d'ammonium, de phosphates ou de pesticides se discute. Sur la question des analyseurs biologiques ou analyseurs de toxicité globale, les avis semblent plus hésitants. De sensibilité variable, ils n'ont de pertinence que s'ils sont couplés à des capteurs physico-chimiques. En aucun cas, un signal positif venant de l'un de ces appareils ne doit être considéré comme une alerte. Ce signal constitue une pré-alerte et des prélèvements d'échantillons d'eau pour analyse chromatographique en laboratoire doivent être faits afin de confirmer la présence d'un polluant.

Nos interlocuteurs s'accordent toutefois sur le fait que la mise en évidence de la pollution par des capteurs de station d'alerte reste rare. Très souvent, c'est la vigilance humaine qui est l'élément fondamental dans la détection d'une pollution. En effet, de nombreux polluants entraînent, même à des faibles concentrations, une modification de la qualité organoleptique de l'eau. Ainsi, une odeur, une modification de la « texture » de l'eau ou même la présence de poissons morts sont facilement repérables par des témoins (riverains, pêcheurs, agences de navigation, gendarmerie...) qui peuvent alors alerter les acteurs compétents (Figure 11). La mesure en continu apparaît ainsi comme un complément à la vigilance humaine.

Par ailleurs, l'importance de la localisation des stations d'alerte et la mise en place de moyens pour connaître le comportement des polluants dans l'eau (vitesse du polluant dans l'eau, temps d'arrivée à la prise d'eau...) sont données comme cruciales. Ceci impose aux collectivités et aux exploitants de recenser les sites polluants potentiels (industries, exploitations agricoles, STEP...).

Enfin, la mesure en continu, ne se suffit pas à elle-même et n'aura de sens que si un plan d'alerte est correctement mise en place. La réaction doit être rapide face à la pollution et peut se manifester par des traitements adaptés, des basculements sur d'autres ressources, des dilutions ou plus rarement par des coupures du réseau d'adduction.

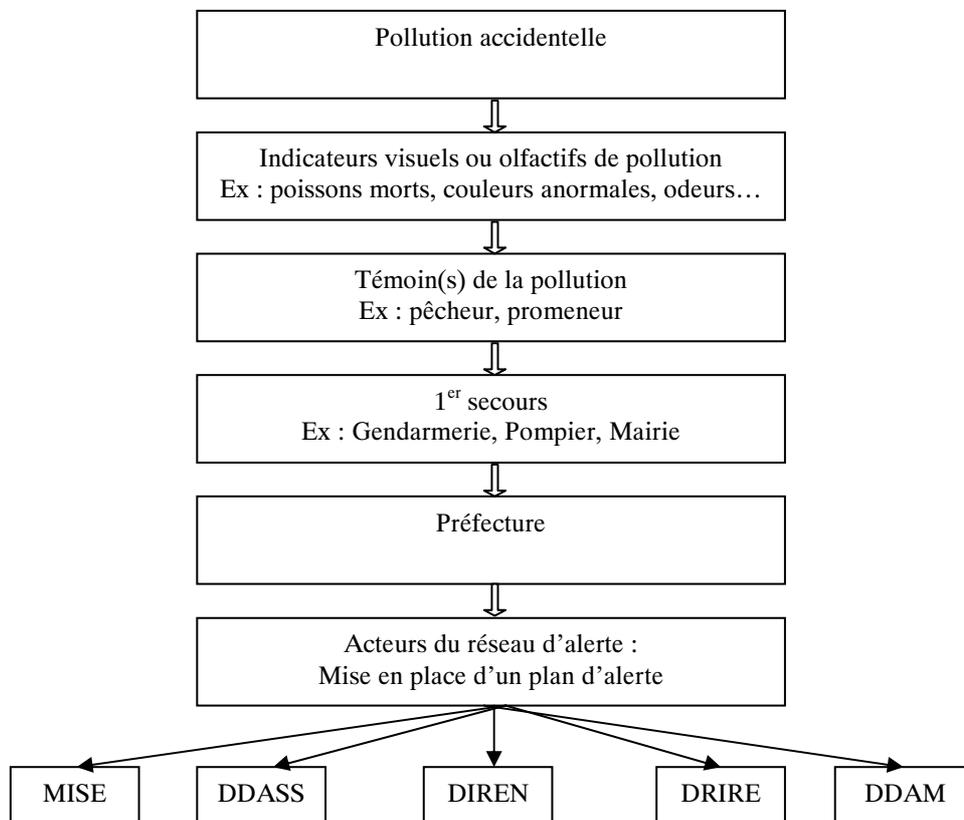


Figure 11 : Schéma type du dispositif d'alerte lors d'une pollution accidentelle

2.2.3 Avis de fabricants

D'après nos recherches bibliographiques, les fabricants semblent confiants dans le développement de la mesure en continu mais évoquent un frein majeur à son développement : le manque de reconnaissance par la législation.

Afin d'obtenir plus de renseignements, nous avons contacté par courrier 23 fournisseurs (Annexe 4) jugés les plus connus sur le marché. Leur expliquant l'objet de notre étude nous leur avons demandé notamment de la documentation technique concernant les biocapteurs ainsi que de bien vouloir nous faire part d'éventuels retours d'expérience et recherches dont ils auraient eu connaissance sur le sujet.

Nous cherchions à connaître leur point de vue sur le développement de la mesure en continu pour la surveillance des ressources en eau, malgré la dimension commerciale qui risquait « d'entacher » l'objectivité des réponses.

Trois sociétés nous ont répondu.

Nous avons donc pu nous entretenir par téléphone avec un responsable de la société HOCER qui nous a donné des informations techniques sur l'Aquapod[®]. Il a confirmé que la principale limite de cet appareil est qu'il n'est sensible qu'aux polluants que l'UV peut détecter, ce qui ne représente qu'une partie des pesticides et hydrocarbures. Les retours d'expérience recensés par la société, seraient néanmoins plutôt positifs, même si, de part son aspect complexe, l'Aquapod[®] peut impressionner certains clients.

La société AquaMS (Gymnotox[®] et Fluotox[®]) a répondu par courrier électronique en nous fournissant une publication sur le Gymnotox[®] [22]. La question des fausses alertes est à écarter selon elle, car pour déclencher une alarme, il faut des variations concordantes d'au minimum 2 poissons de l'appareil pendant 3 minutes. De toutes leurs observations, il leur paraît statistiquement impossible que ces poissons, dont le signal est naturellement remarquablement stable, aient un comportement aberrant (variation forte sans pollution) simultanément et pendant une telle durée.

Concernant le Fluotox[®], celui-ci est toujours commercialisé. Cependant, étant d'une génération plus ancienne, il ne détecte pas les herbicides actuels mais seulement des herbicides qui ne sont aujourd'hui presque plus utilisés (Diuron, Atrazine). La société déconseille donc à ses clients cet investissement, d'autant que le Gymnotox[®] détecte très bien les herbicides actuels.

La société CIFEC nous a indiqué par courrier qu'une de ses voies de développement actuelles est relative à la protection anti-terroriste, pour des implantations dans des pays à risque. Dans ce cadre, la société a déposé un brevet de déchloration de l'eau potable pour permettre le fonctionnement optimal de l'appareil par dérivation sur un réseau de distribution sans modifier les caractéristiques toxiques de l'eau. La toxicité de produits particuliers comme l'acide cyanurique ou les bactéries botuliques de types A et B est également investiguée.

3 Recommandations

Malgré le nombre limité des témoignages et des exemples sur lequel il se base, le chapitre précédent a révélé un décalage entre les perspectives d'utilisation de la mesure en continu pour la surveillance des ressources en eau démontrées sur des projets de grande envergure et la perception ou l'usage que semblent en avoir les professionnels, tant fonctionnaires que du secteur privé.

Il n'est pas de notre ressort de juger des freins réglementaires, normatifs et commerciaux qui pèsent manifestement un poids important sur l'implantation de ce procédé pour cette fonction de surveillance et d'alerte sanitaire.

En revanche, sur la base des critiques les plus fréquemment entendues et sur celle des exigences requises par l'emploi des analyseurs en continu au sein de stations de surveillance, plusieurs recommandations générales nous ont semblées formulables à l'attention de potentiels acquiesceurs de ces outils d'aide à la décision.

Nous proposons de les présenter ci-après groupées en quelques points pouvant définir autant de conditions générales d'acceptabilité de la mesure en continu à des fins d'alerte. Ce recueil de recommandations vise à rendre la mesure en continu fiable, opérationnelle et pertinente pour la protection de la ressource. Il ne prétend en rien être exhaustif et ne constitue que des propositions qui se discutent.

Il ne s'agit pas de jouer le mauvais manager en énonçant une pléthore de «Y'a qu'a, Faut qu'on» mais de proposer quelques conseils.

3.1 D'une bonne définition du contexte local

3.1.1 Connaissance des risques

Avant de mettre en place une station de mesure en continu et de choisir les paramètres à mesurer, il convient d'inventorier toutes les sources potentielles de pollutions accidentelles, les sites industriels stockant des produits dangereux, les dépôts de produits chimiques agricoles et les voies de communications. En effet, une bonne connaissance de la nature chimique et des volumes des produits stockés susceptibles d'être retrouvés sur ces sites permet une meilleure définition des paramètres à surveiller. La localisation de ces sites par rapport aux prises d'eau doit conduire à une cartographie des risques. Ceci permet, en situation d'urgence, l'accélération de la réplique des exploitants [38].

La détermination des temps de transfert est également un outil important : le milieu naturel va servir de véhicule et de réacteur chimique et son comportement pourra sensiblement modifier une pollution. Les phénomènes de biodégradation, d'étalement de nappe, de dilution sont autant de facteurs à prendre en compte pour apprécier la gravité d'un déversement accidentel.

Des traçages réels utilisant des colorants non toxiques (Rhodamine β par exemple) sont donc à réaliser sur tout cours d'eau que l'on souhaite équiper d'une station d'alerte. La plupart des grands fleuves français ont déjà fait l'objet de ce type de traçages à proximité des grandes agglomérations. Ces traçages permettront, en outre, l'exploitation de logiciels de simulation. Il sera alors plus facile, le moment venu, de connaître l'évolution du polluant dans la rivière, ainsi que le délai dont on dispose avant son arrivée au point de captage [14].

3.1.2 Lieu d'implantation

La valeur de la mesure n'aura pas la même signification si les appareils de mesure sont placés sur les rives d'un fleuve ou d'une rivière ou au milieu. Par exemple, il serait illogique d'inclure dans la station d'alerte un analyseur d'hydrocarbures de surface si cette station effectue les prélèvements en profondeur.

Les sites sont à choisir [14] en fonction des critères suivants :

- l'importance du cours d'eau ;
- la connaissance de la qualité des eaux ;
- l'influence de certains affluents ;
- l'impact des zones urbaine et industrielle.

En tous les cas, il faut veiller à la prise en compte d'un maximum de sites polluants potentiels situés à l'amont de la prise d'eau et d'un minimum situé entre la station et la prise d'eau [38]. L'implantation d'une station contenant un analyseur d'hydrocarbures est peu pertinente si ce dernier est placé en amont d'une raffinerie.

Bien que certains experts s'accordent à dire le contraire, la station de mesure en continu doit également pouvoir se trouver à une distance suffisante entre la station d'alerte et le point de pompage pour disposer de suffisamment de temps pour réagir. Les opposants à cet argument préconisent que le seul endroit pertinent d'une station d'alerte est au niveau de la prise d'eau. Nous jugeons que la mise en place d'une station d'alerte suffisamment éloigné de la prise d'eau permet d'avoir, lors d'une alerte, du temps nécessaire à la mise

en place d'un plan d'urgence. Pour une plus grande efficacité, sur les grands cours d'eau, les stations d'alerte seront organisées en réseau.

Le choix de localisation des capteurs [8] en plein air, en local préfabriqué ou en local dur avec présence d'utilités (prise électrique, eau, éclairage, paillases, évacuation eaux usées...) est à réfléchir suivant les appareils mis en place.

Certains fleuves restent très sauvages, c'est le cas de la Loire, le mauvais brassage de l'eau et la présence de nombreux banc de sable rendent difficile le choix de l'emplacement d'une station de mesure en continu.

Enfin l'accessibilité et la vulnérabilité par rapport au vandalisme sont des paramètres importants pour la situation de la station. La majeure partie des stations d'alertes doivent être équipée de système anti-intrusion relié au poste centralisé de commande des usines.

3.1.3 Echantillonnage

Afin d'être représentative, la mesure doit être réalisée sur un échantillon lui-même représentatif. Lorsqu'un échantillon est prélevé dans un milieu fortement turbulent, ce milieu peut être considéré comme homogène et l'échantillon présente une bonne représentativité. Dans le cas d'un environnement stagnant, la répartition spatiale des substances est un problème délicat à appréhender [9]. C'est ainsi que certains appareils de mesures en continu seront mieux adaptés à des petites rivières ou des eaux stagnantes qu'à des fleuves. Il faut veiller à placer la station de mesure dans un endroit où les écoulements sont les plus turbulents.

3.2 Des critères de choix des appareils de mesure en continu

3.2.1 Sélection des paramètres

Le choix des paramètres à suivre doit prendre en compte les caractéristiques de l'eau et les polluants susceptibles d'être retrouvés à la prise d'eau. Il ne s'agit pas de tout mesurer par principe de précaution.

Le Tableau 2 suivant présente les paramètres les plus pertinents pouvant être analysés dans une station d'alerte et qui permettent de gérer les pollutions mais aussi d'optimiser, en temps normal, le fonctionnement de l'unité de traitement.

Les appareils de détermination de paramètres simples du type pH, température, conductivité, O₂ dissous, pression, potentiel redox, conductivité, nitrates, ammonium, salinité, chlore et turbidité sont fiables et peu coûteux. Ils ne peuvent, cependant, être considérés comme des systèmes d'alerte que pour des cas de pollutions accidentelles d'une forte intensité. Ce sont plutôt des analyseurs spécifiques du suivi de la qualité de l'eau mais sont souvent acceptables et suffisant pour détecter la majorité des variations de qualité qui importent aux producteurs ou aux distributeurs.

Les autres paramètres mesurés sont souvent plus spécifiques. Leur utilisation est plus coûteuse et leur choix doit se faire suivant les polluants susceptibles d'être retrouvé sur le cours d'eau surveillé.

Tableau 2 : Intérêt de la mesure en continu de différents paramètres [adapté de 13]

Paramètres analysés	Origine possible des variations	Conduite du traitement
pH	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution par rejet industriel • Forte photosynthèse 	<ul style="list-style-type: none"> • Clarification
Température	<ul style="list-style-type: none"> • Variations saisonnières • Bloom algale 	<ul style="list-style-type: none"> • Clarification • Adsorption
O ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution organique importante • Activité photosynthèse • Pluviosité 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitements biologiques
Conductivité	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution minérale importante • Variations saisonnières 	
Turbidité	<ul style="list-style-type: none"> • Déversement de réseau pluvial • Variations saisonnières et régimes hydrologiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Clarification
COT	<ul style="list-style-type: none"> • Fortes pollutions organiques d'origines très diverses • Variations saisonnières 	<ul style="list-style-type: none"> • Clarification • Adsorption • Demande en oxydant
UV	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution par les dérivés benzéniques 	<ul style="list-style-type: none"> • Clarification • Ozonation • Adsorption
Azote, Phosphore	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution spécifique industrielle, eaux résiduaires urbaines • Pollution spécifique et agricole 	<ul style="list-style-type: none"> • Chloration • Filtration biologique lente
Micro-polluants organiques (hydrocarbures, pesticides...)	<ul style="list-style-type: none"> • Déversement d'hydrocarbures • Interférence de détergents à forte concentration 	<ul style="list-style-type: none"> • Clarification • Préoxydation • Adsorption
Métaux lourds	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution spécifique (traitement de surface, chimie fine) • Rejets industriels de pollutions chroniques • Lessivage des infrastructures routières (de complexage des métaux) 	<ul style="list-style-type: none"> • Clarification (sel d'Al, Fe...) • Adsorption • Préoxydation
Test poisson (par extension, tests biologiques) + Microtox	Difficilement déterminable	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt de la station de traitement • Basculement sur une autre ressource

Les appareils de test global de toxicité comme les tests aux poissons ont l'avantage de détecter plusieurs types de polluants, mais avec des sensibilités très différentes (problèmes de variation d'un individu à l'autre, accoutumance aux milieux [38]), ce qui ne permet pas de les considérer comme des systèmes exhaustifs de détection des produits nocifs pour l'homme. A titre d'exemple, une pollution accidentelle par déversement de Piperonylbutoxide dans l'Yerre près de Paris avait entraîné la mort de milliers de poissons. Ce produit est pourtant connu comme inoffensif pour les animaux à sang chaud. L'inverse peut être vrai.

Ces analyseurs doivent donc impérativement être associés aux appareils de mesures physico-chimiques et être intégrés dans une chaîne de mesure [37]. En cas de réponse, il est préférable que le signal ne soit considéré que comme une « pré-alerte ».

Aujourd'hui de nombreux instruments multiparamètres sont enfin proposés sur le marché. Leur achat doit être fortement réfléchi vu leur coût important et la mesure de nombreux de ces paramètres n'est pas forcément nécessaire aux regards des polluants susceptibles d'être retrouvées.

Au final, l'idée n'est donc pas de mesurer tout mais de mesurer moins pour mesurer mieux [14].

3.2.2 Considération de la sensibilité

Les seuils de détection des analyseurs en continu doivent être suffisamment bas afin de permettre le déclenchement de l'alerte avant que les concentrations maximales admissibles ou les seuils de toxicité ne soient atteints. Certains systèmes, plus sensibles, sont plus adaptés à la recherche de micropolluants traces. D'autres appareils, dotés d'une sensibilité plus faibles serviront comme système d'alerte à la pollution aiguë des rejets dans des milieux naturels.

Il est cependant très difficile de porter un jugement critique sur la sensibilité des appareils avec de simples plaquettes commerciales. Il faut d'abord s'assurer que les essais réalisés par les équipes R&D des fournisseurs prennent bien en compte les interférences possibles des substances présentes dans l'eau. En effet, des substances chimiques présentes dans la matrice comme l'acide humique influencent fortement la mesure. De simples essais de détection de polluants sur de l'eau distillé, comme annoncés par certains fabricants, ne sont pas suffisants au regard de la complexité chimique de l'eau brute.

Enfin, les seuils de ces analyseurs ne doivent pas être trop bas car alors un simple choc sur l'appareil ou une variation brutale de la température de l'eau peuvent suffire pour déclencher une fausse alerte. Les seuils annoncés par les fournisseurs sont donc à consulter avec prudence.

Dans bien des cas, la sensibilité et la reproductibilité de la mesure sont à favoriser aux dépens de la justesse : il est préférable d'avoir des indicateurs précoces de pollutions plutôt que précis [14].

3.2.3 Prévision des coûts

Le coût des appareils de mesure en continu est un paramètre prépondérant dans la définition d'une stratégie de surveillance. Il est important de prendre en compte, lors de la mise en place d'une station d'alerte, le coût de fonctionnement. En effet il s'ajoute au coût d'investissement et représente environ les 2/3 du coût total. Ne pas intégrer ce coût lors de la mise en place d'un analyseur contribue fortement à l'effectuer de façon partielle lors de l'exploitation. Ceci conduit généralement à des pannes répétées et à une disponibilité médiocre, ce qui peut entraîner dans le pire des cas des fausses alertes et faire perdre tout l'intérêt de la mesure en continu [10].

A titre indicatif, nous signalons que, le coût d'investissement des stations physico-chimiques, dont la durée de vie est estimée à une dizaine d'années, varie habituellement entre environ 150 000 euros (mesure d'environ cinq paramètres) et 800 000 euros (mesure d'une vingtaine de paramètres) [39].

3.2.4 Prétraitements

Très souvent il est nécessaire de faire subir un traitement à l'échantillon avant de procéder à la mesure proprement dite. Il s'agit le plus souvent d'une filtration.

Cependant, ce prétraitement présente le risque de modifier le paramètre mesuré surtout s'il comporte une composante solide. Il ne faudra donc pas négliger cette étape dans l'interprétation du signal.

3.3 Du traitement des données en vue d'une réponse adaptée

Dans une station d'alerte, l'objectif n'est pas de créer une base de données sanctuaire. Le premier souci doit être d'élaborer des outils d'interprétation et d'exploitation. La question posée est simple : à partir de quand l'alerte doit être lancée ? En effet, tout signal de mesure est susceptible de contenir des valeurs erronées (dérangement de l'appareil de mesure, écart systématique ou statistique du système). Comment identifier un accident réel ?

Il est possible d'installer des programmes qui pré valident la vraisemblance des mesures avant leur transmission, on écarte ainsi à la source les valeurs erronées et les dérives. Ainsi, des programmes peuvent reconstruire les éventuelles dérives d'un capteur comme c'est par exemple illustré par la figure 12 dans le cas de la mesure en O₂ dissous. On peut aussi réduire le temps séparant les mesures à partir du moment où les signaux indiquent de fortes fluctuations [41].

De manière simple et générale, il faut un système informatique adapté permettant l'exploitation des données sur la base des mesures réalisées.

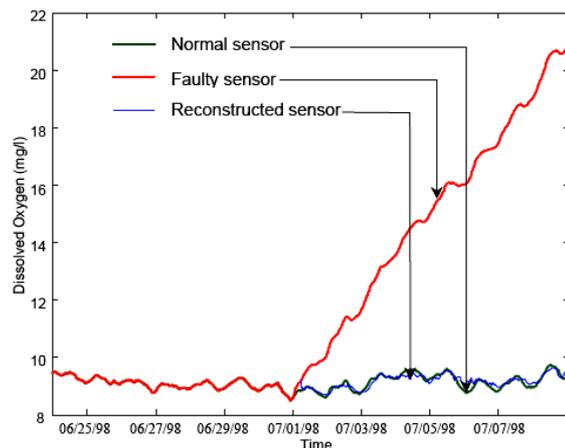


Figure 12 : Exemple de données invalides détectées et reconstruites. La dérive du capteur défectueux (faulty sensor) est détectée. La courbe reconstruite (reconstructed sensor) est très proche de la courbe normale (normal sensor) [40]

3.3.1 Prise en compte du bruit de fond

Avant de mettre en place un système d'alerte et d'effectuer l'exploitation et le traitement des données par le système informatique, l'exploitant doit effectuer une étude statistique préliminaire sur les données historiques de la qualité de l'eau ainsi que sur les données recueillies quotidiennement sur le site. Cette étude permet d'établir des critères de comportements des grandeurs en situation dite « normale » et de prendre en compte le bruit de fond [41]. De même, ceci permet d'avoir du recul sur la variation des paramètres mesurés et d'observer la variation du bruit de fond au cours des saisons.

3.3.2 Traitement des données

Afin d'éviter les fausses alertes, la plupart des analyseurs présents sur le marché vérifient eux-mêmes la validité de la mesure ; et lors d'un dépassement, ils confirment cet incident avant de se déclarer en alerte [14]. Grâce à ces nouveaux appareils, l'intervention de l'homme dans le traitement des données rentre moins en compte.

Un exemple de traitement [41] consiste cependant à baser l'analyse des signaux filtrés sur la comparaison des variances. La méthode de comparaison consiste à générer deux fenêtres glissantes de tailles n et $n-1$ se déplaçant d'un pas fixe p (Figure 13). Les deux fenêtres étant consécutives, elles permettent de comparer l'évolution du signal au cours du temps et d'en extraire des critères d'alertes.

L'inconvénient d'un tel système est qu'il est difficile de détecter une pollution diffuse.

En effet, la variation progressive du signal ne permettra pas de mettre en évidence une différence significative de variance entre deux fenêtres.

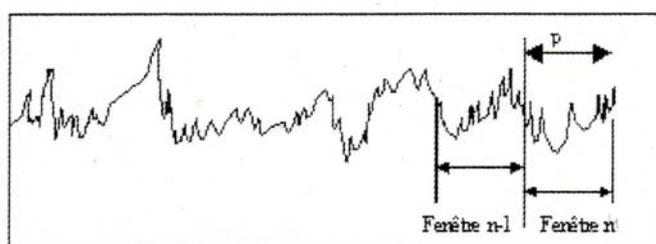


Figure 13 : Représentation de fenêtres glissantes pour le calcul d'indices de comparaison [41]

3.3.3 Analyse multi-paramétrique

La fusion des données semble être un des meilleurs moyens d'éviter les fausses alertes. Toutes les expériences de réseaux de stations d'alerte réussies reposent sur ce principe.

Ainsi, la Communauté Urbaine du Grand Nancy a développé un système de traitement des données qui a l'avantage de permettre une fois une base de données conséquentes créée, d'identifier quasi-instantanément le type de pollution. Cette approche, intégrant deux types de capteurs, d'une part physico-chimiques et d'autre part biologiques, suit une analyse multi-signal (cf. figure 14). Elle permet d'identifier un polluant à partir du moment où deux capteurs non corrélés réagissent significativement [35].

Fusionner les données permet de les traiter et de synthétiser les informations afin de n'en fournir plus qu'une seule ou tout du moins un nombre restreint.

La Communauté Urbaine du Grand Nancy a proposé plusieurs associations d'analyseurs en continu pour la détection et l'identification des pollutions (Annexe 1). Il serait cependant délicat de les recommander pour l'ensemble des cours d'eau en France. Les milieux n'étant pas les mêmes et certains appareils, comme le Fluotox[®], n'ayant pas tous prouvé leur reproductibilité, ces associations ne sont donc que des propositions.

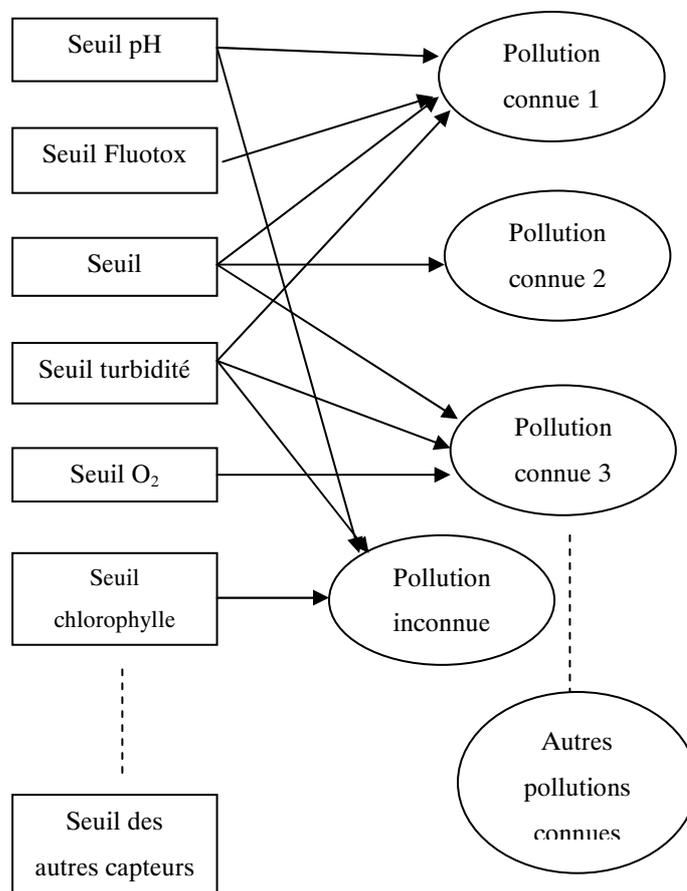


Figure 14 : Identification d'un masque de pollution inconnue par association de capteur (analyse multi-signal) [41]

3.4 De la fiabilité des appareils et des systèmes de communication

La fiabilité des appareils de mesures est un des paramètres essentiels pour obtenir satisfaction de la mesure en continu appliquée à la surveillance des EDCH. Il s'agit, d'une part, d'avoir des appareils en état de marche et, d'autre part, d'obtenir des valeurs qui ne sont pas erronées par une quelconque dérive. Cette fiabilité est assurée par une vérification des appareils et par un effort de maintenance.

3.4.1 Calibrage et étalonnage

La vérification de la chaîne de mesure permet de contrôler si un résultat de mesure est compris dans un intervalle de confiance. Cet intervalle de confiance est préalablement déterminé par calcul d'un écart type, qui est lui même calculé à partir d'un nombre important de mesures effectuées sur des valeurs étalons (carte d'auto-contrôle). Une fonction de correction, peut être calculée par régression et appliquée à la valeur mesurée pour obtenir la valeur corrigée.

En cas de dépassement de l'écart toléré le matériel doit être calibré selon une procédure définie. Les cartes de contrôle et les constats de maintenance, renseignés à chaque passage, permettent de suivre chronologiquement l'état du capteur, de connaître les opérations réalisées ainsi que les valeurs enregistrées lors des vérifications et des calibrations. Ceci impose d'avoir mis en place des procédures rédigées soigneusement. Certains appareils sont capables d'effectuer des opérations d'auto-calibration plusieurs fois par jour ce qui est mieux qu'un calibrage manuel qui peut entraîner des biais ou une dispersion de la mesure.

L'étalonnage des appareils est aussi un point à ne pas négliger. Il permet de réduire la dérive des mesures s'il est réalisé suivant une fréquence adéquate. Il se fait aujourd'hui, pour de nombreux appareils, automatiquement mais il faut veiller à changer les solutions étalons assez régulièrement ce qui impose un personnel disponible. Nous recommandons, enfin, de veiller à comparer régulièrement les résultats donnés par tout analyseur avec le résultat obtenu sur un échantillon analysé en laboratoire. Ceci impose de définir les conditions d'échantillonnage pour que l'échantillon destiné à l'analyseur et celui destiné au laboratoire soient comparables.

3.4.2 Disponibilité des appareils

L'ensemble des appareils de mesure en continu est en contact permanent avec la matrice. Au cours du temps, les sondes, les systèmes de tuyauterie s'encrassent ou se colmatent.

Pour assurer la pérennité des systèmes et éviter la dérive de la mesure, des nettoyages et des remplacements de pièces sont régulièrement nécessaires bien que des appareils plus autonomes voient le jour. Des fournisseurs proposent par exemple des modèles d'électrodes ou la membrane en verre sensible aux ions a été remplacée par des capteurs électriques, plus chers mais sensés être plus robuste ce qui diminue les opérations de calibrage et de nettoyage.

Les appareils de mesure ne doivent pas représenter une maintenance et un entretien trop importants et trop complexes pour les services d'exploitation. Le renouvellement de pièces ou d'organismes biologiques doit pouvoir se faire rapidement et facilement. Il faut éviter toute interruption prolongée des stations de mesure. A titre d'exemple, la maintenance d'un analyseur de toxicité globale utilisant des poissons est réduite à l'approvisionnement tous les 28 jours de nourritures pour les poissons. Pour des eaux très turbides, un nettoyage des bacs de vie de l'appareil est nécessaire tous les mois et demande environ 1 heure de travail.

Pour réaliser cette maintenance correctement, il semble indispensable que les exploitants mettent en place un système d'assurance qualité et forment les agents qui effectuent cette maintenance. L'ensemble des procédures doivent être rédigées et des plannings de maintenances doivent être établis [10]. La finalité est de garantir la constance de la qualité des données issues de ces capteurs et de détecter rapidement des dérives éventuelles.

3.4.3 Accessibilité de l'information

Les stations d'alertes ont pour rôle, non seulement de collecter et de traiter les informations valides des capteurs, mais aussi de les rendre accessibles à tous les utilisateurs concernés. Les informations doivent donc être disponibles en temps réel. La mise en place d'un serveur permet aux utilisateurs de pouvoir accéder rapidement à l'information sur la qualité des eaux brutes.

La télétransmission électrique et numérique ne doit en aucun cas déformer l'information (erreur d'échelle, décalage fixe). Dans cette optique, et si l'on a le choix, opter pour une station d'acquisition certifiée PLQ2000 peut présenter une certaine garantie.

De la même façon, le choix du mode d'archivage des données n'est pas à négliger. Il faut pouvoir accéder à l'information utile à tout moment. L'archivage des données après traitement [10] (moyenne journalière par exemple) est plus facile à manipuler mais ne permet pas le retour en arrière. L'archivage brut, sans validation, n'a pas d'intérêt car la validation n'est plus possible après. L'archivage détaillé de données validées est le plus volumineux, mais permet une traçabilité et un retour en arrière. L'inconvénient est que la mesure en continu augmente souvent les volumes archivés.

3.5 De procédures de validation des alertes

3.5.1 Vérification de l'absence de dysfonctionnements

Entre le moment où l'alerte est déclenchée par la station et le moment où une potentielle nappe de pollution arrive au niveau de l'usine de traitement, il existe normalement un délai de quelques heures qu'il est capital d'optimiser [14].

Se pose alors, pendant cette période, la question de la validation de l'alerte. L'alerte est-elle déclenchée en réponse à une pollution ou bien correspond-elle à un dysfonctionnement du ou des appareils ?

Si des témoins ont rapportés la présence d'une pollution, la décision est alors simple à prendre : il faut agir.

Cependant si aucun autre indice ne révèle la présence de cette pollution autre que le déclenchement d'une alarme, la question de la validité se pose. Bien que de nombreux analyseurs vérifient eux même la validité des données, il faut impérativement vérifier l'absence de dysfonctionnement, l'absence de dérive du ou des appareils responsables.

Ainsi, c'est essentiellement grâce aux connaissances que possèdent les différents acteurs concernés de la sensibilité des appareils, de la variation des paramètres en situations dites « normales », de la connaissance des sites potentiellement pollueurs que la validation pourra se faire. Cet argument impose donc d'avoir du personnel connaissant bien ces appareils et formé continuellement à la gestion de ce type de banques données. Il faut ainsi des personnes présentant du bon sens et une bonne expérience face à ce genre de situation.

Enfin, en réponse à une alerte, la station de mesure doit disposer d'un appareil permettant un prélèvement automatique et immédiat d'un ou plusieurs échantillons d'eau brute. Ces prélèvements automatiques vont permettre aux personnels qualifiés d'aider à la validation de l'alerte par un dosage rapide des polluants suspectés d'être présents.

3.5.2 Confirmation d'une pollution

Quand le temps et les conditions le permettent, ce qui n'est pas toujours le cas, il peut être possible d'effectuer une confirmation de la présence d'une pollution par un dosage rapide de terrain. Ces dosages peuvent être effectués directement avec des petits appareils transportables dans une mallette. Ce sont les méthodes alternatives de terrains. Malgré tout, ces méthodes de terrain ont des faiblesses. En effet, les résultats générés par ces analyses de terrain ne sont pas toujours suffisamment bien corrélés aux résultats

issus des méthodes plus complexes de laboratoire. Cette notion de corrélation des résultats entre les deux méthodes devra donc être bien étudiée voir testée.

Pour s'assurer que ces conditions soient respectées, il est nécessaire d'avoir au préalable recensé les laboratoires de la région, leurs disponibilités horaires et de déplacement et connaître précisément leurs possibilités analytiques ainsi que la validité des méthodes qu'ils utilisent. Il est donc préférable d'avoir rencontré chaque laboratoire pour définir au préalable quels types d'analyses de terrain sont disponibles en réponse à l'alerte donnée par tel et tel type d'appareil de mesure en continu et en fonction des polluants retrouvés.

Quand ce type de dosage rapide n'est pas possible, les prélèvements seront apportés aux laboratoires. De même, il conviendra d'avoir réfléchi à l'avance aux analyses qui pourront être réalisées en fonction du signal d'alerte déclenché. Il faudra veiller à maintenir les échantillons au frais. Il est d'usage d'utiliser des glacières portatives mais il faut s'assurer de leur autonomie en froid [9].

Dès lors que l'alerte est confirmée, un dosage en laboratoire le plus précis possible de la pollution permettra d'identifier la nature exacte du ou des polluants (aspect qualitatifs) et le niveau de pollution (aspect quantitatif).

3.6 D'une amélioration continue de la définition du besoin de surveillance

D'après l'ensemble de notre étude, il apparaît que les alertes ne sont pas ou peu répertoriées. Ces événements ne semblent pas faire systématiquement l'objet d'une rétro-analyse. L'amélioration de l'application correcte de la mesure en continu pour la protection de la ressource ne peut pourtant se faire que si des concertations sont faites entre les différents acteurs qui ont eu à traverser ce type de crises. Celles-ci, devraient donc toujours faire l'objet d'une traçabilité écrite. La diffusion de ces expériences, au moins entre les DDASS, et la réalisation d'un bilan national annuel seraient sûrement riches d'enseignements.

Les substances dangereuses susceptibles d'être présentes dans les eaux évoluant sans cesse, tout gestionnaire de station d'alerte devrait, en outre, s'astreindre régulièrement (2-3 ans) à réactualiser l'analyse de risque ayant précédé à l'installation de la station et au choix des analyseurs. D'après celle-ci et s'aidant des retours d'expériences communiqués au plan national, il pourrait en permanence vérifier l'adéquation entre les capacités analytiques de sa station et les risques présents.

Conclusion

Toute une gamme d'analyseurs existe aujourd'hui permettant d'effectuer de la mesure en continu pour évaluer la qualité de l'eau. La technique s'est fortement développée depuis son apparition, il y a une trentaine d'années, ayant indubitablement permis d'aboutir à un bon niveau de fiabilité, de robustesse, d'autonomie, et cela, pour un vaste choix de paramètres.

Des projets de recherche et des expériences pilotes de mise en œuvre, ayant permis une certaine validation de ces appareils pour la surveillance des EDCH, ont par ailleurs été relevés en France et en Europe.

Pourtant les témoignages recueillis auprès de professionnels qui œuvrent dans le domaine de la qualité sanitaire des eaux de consommation montrent que la mesure en continu a encore du mal à se faire accepter. La normalisation débutante, rendant toute certification jusqu'ici impossible, et l'absence de reconnaissance réglementaire, est un frein invoqué. Face à cette absence de repères, les acteurs ayant fait confiance à cette nouvelle technologie se sont trouvés contraints de déterminer par eux-mêmes son usage, notamment de décider de ses modalités d'installation, de maintenance et des limites d'interprétation de la multitude des données produites.

Des erreurs se sont logiquement produites avec des décisions de gestion souvent lourdes de conséquences financières et organisationnelles pour les responsables de la distribution de l'eau. Ainsi la question des fausses alertes est souvent avancée. Elle a vraisemblablement conduit à une certaine décrédibilisation de la mesure en continu qui pourrait expliquer, entre autres facteurs, le ralentissement depuis une dizaine d'années de l'installation des stations de surveillance sur les cours d'eau français.

Ce constat amène à se demander si la mesure en continu pour la surveillance des EDCH n'aurait pas été introduite trop précocement par rapport aux pratiques de son temps. Le contraste est en effet parlant avec le secteur de l'agro alimentaire, dans lequel les systèmes d'assurance qualité se généralisaient à cette même époque, et où cette technologie a été bien intégrée.

Toutes procédures qualité nécessaires en place, une seconde condition au développement de la mesure en continu sera, vraisemblablement, de ne pas vouloir la substituer ou la corrélérer exactement à la mesure de laboratoire, mais bien de rechercher leur complémentarité. Les potentiels sont différents et il serait souhaitable que le législateur en tienne compte et attribue à la mesure en continu un rôle propre nouveau dans la surveillance des EDCH.

Des pratiques plus rigoureuses et une surveillance affinée sont cependant deux tendances qui correspondent à l'évolution actuelle des mentalités en réponse à une exigence de sécurité toujours plus forte de nos sociétés. A ce titre, la mesure en continu pour la surveillance des EDCH dispose certainement d'un avenir prometteur.

Perdureront néanmoins ces questions : jusqu'où pousser la surveillance grâce à ces nouveaux moyens ? Quel niveau de risque définirons nous pour acceptable ?

Références

Bibliographiques

[1] CASSAYRE I., DAUX C., REGUS F., SENET D., 2002, *Eau et métrologie, capteurs en continu*, ENGREF.

[2] CIFEC, Plaquette commerciale Truitosem®

[3] AQUAMS, Plaquette commerciale Gymnotox®

[4] HOCER, 2005, *“Hydrocarbures et pesticides, détection, identification et quantification dans la production des eaux potables”*, L’Eau, l’Industrie, les Nuisances, Guide des nouveautés techniques 2005.

[5] ANAEL, 2005, *“Le Sentinel® : la solution pour l’analyse de vos eaux”*, L’Eau, l’Industrie, les Nuisances, Guide des nouveautés techniques 2005.

[6] AQUAMS, Plaquette Fluotox®

[7] ANAEL, 2005, *“La nouvelle référence pour les analyses en ligne de DCO, COT, Ntotal”*, L’Eau, l’Industrie, les Nuisances, Guide des nouveautés techniques 2005.

[8] DELMOLINO A., 2004, *“Analyse en ligne, dérives sous surveillance”*, *Hydroplus*, n°143, p.36.

[9] MORTGAT B., 2003, *“Analyse de l’eau en continu : un facteur de réduction des risques”*, *Environnement et Technique*, n°224, pp. 32- 36.

[10] WACHEUX H., BECQ D., BELLEFLEUR D., et al., AGHTM, 2001, *“Mesures en continu, vers une mesure en continu fiable et opérationnelle”*, *TSM Techniques Sciences Méthodes*, No 12, pp. 68-102.

[11] FRABOUL P., 1990/08, "*Bilan national des stations automatiques de surveillance des eaux*", Rapport d'études : Université de Paris VII & Agence de l'Eau Seine Normandie, 205p.

[12] MIZIER M.O., 2004, "Station de surveillance et d'alerte, de la surveillance de la ressource à la gestion des STEP", *L'Eau, l'Industrie, les Nuisances*, n°270, pp. 47-56

[13] DETOC S., LE BESQ R., AGENCE DE L'EAU LOIRE BRETAGNE, 1994, "*Les stations d'alerte pour l'alimentation en eau potable*", 76p.

[14] FOUQUEMBERG C., 2006, "*Dispositif d'alerte à la pollution en amont d'une prise d'eau de surface*", Etude bibliographique, Ecole Polytechnique Universitaire de Lille.

[15] CONTOU A., IVANOVITZ C., PICOT L., 2004, "*Matières organiques totales dissoutes ou en suspension*", IUT Nancy-Brabois.

[16] FAUX-GIRARD D., GULLUNG C., OBET R., 2005, "*Hydrocarbures*", IUT Nancy-Brabois.

[17] MIZIER M.O., 2006, "Stations d'alerte, des équipements à mettre en œuvre pour prévenir les crises ", *L'Eau, l'Industrie, les Nuisances*, n°282, pp. 47-52.

[18] BARBI B., VERNIER D., MIRISKY F., 2004, "*L'analyse des métaux lourds dans l'eau*", IUT Nancy-Brabois.

[19] BLANC E., GAILLARD L., GERBERON C., 2004, "*Mesure en continu de la toxicité mesurée par ses effets sur les organismes vivants ou des systèmes biochimiques*", IUT Nancy-Brabois.

[20] WOERTHER P., 1994, "*Le Valvomètre*", Colloque européen sur le recours biologique pour la surveillance en continu de la qualité des eaux, Nancy.

[21] BOURGEOIS J., LEGER G., 1998, "Tests biologiques de pollution : le Truitosem[®] - le Biosem[®] ", *TSM Techniques Sciences Méthodes*, vol.1, n°1, pp. 45-48.

[22] THOMAS M., 1998, "Un nouveau système d'alerte précoce des pollutions des eaux : le Gymnotox[®] ", *TSM Techniques Sciences Méthodes*, vol.1, n°1, pp. 49-52.

[23] THOMAS M., 1994, "Comparaison des performances de deux biodétecteurs appliqués à la surveillance de la qualité des eaux", Colloque européen sur le recours biologique pour la surveillance en continu de la qualité des eaux, Nancy.

[24] MINISTERE DE L'EMPLOI ET DE LA SOLIDARITE. Décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles. JORF n°297 du 22 décembre 2001 page 20381 texte n° 15. [visité le 24.02.2008], disponible sur internet :
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000215649&dateTexte=>

[25] MINISTERE DE LA SANTE. Arrêté du 20 février 1990 relatif aux méthodes de référence pour l'analyse des eaux destinées à la consommation humaine. JORF du 28 février 1990. [visité le 24.02.2008], disponible sur internet :
<http://aida.ineris.fr/textes/arretes/text3360.htm>

[26] MINISTERE DE LA SANTE, DE LA FAMILLE ET DES PERSONNES HANDICAPEES. Arrêté du 17 septembre 2003 relatif aux méthodes d'analyse des échantillons d'eau et à leurs caractéristiques de performance. JORF n°258 du 7 novembre 2003 page 19027 texte n°20. [visité le 24.02.2008], disponible sur internet :
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000247611&dateTexte=>

[27] PRESIDENCE DE LA REPUBLIQUE. Loi no 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau. JORF n°3 du 4 janvier 1992 page 187.[visité le 24.02.2008], disponible sur internet :
http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=FDA46F0E1CEB8E8A6A8733FCD717346.tpdjo09v_1?cidTexte=LEGITEXT000006078514&dateTexte=

[28] PARLEMENT EUROPEEN ET CONSEIL. Directive n°2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. JOUE n°327 du 22 décembre 2000 page 1. [visité le 24.02.2008], disponible sur internet :
<http://aida.ineris.fr/textes/directives/text5017.htm>

[29] MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE. Circulaire DCE 2006/16 du 13 juillet 2006 relative à la constitution et la mise en œuvre du programme de surveillance (contrôle de surveillance, contrôles opérationnels, contrôles d'enquête et contrôles additionnels) pour les eaux douces de surface (cours d'eau, canaux et plans d'eau) en application de la directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 du
Marie-Eve Bonnet – Julien Fecherolle – Claire Floc'h Ateliers Santé-Environnement. EHESP - 2007-2008.

Parlement et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. BOMEDD n° 18 du 30 septembre 2006. [visité le 24.02.2008], disponible sur internet :

<http://aida.ineris.fr/textes/circulaires/text4524.htm>

[30] AFNOR, décembre 2004, NF T90-552 "*Mesures en continu pour l'eau. Spécifications pour l'étude, la mise en œuvre et l'exploitation*", ISSN 0335-3931, 31 p.

[31] AFNOR, décembre 2006, NF EN ISO 15839 "*Matériel d'analyse/capteurs directs pour l'eau. Spécifications pour l'essai et la performance*", ISSN 0335-3931, 31 p.

[32] AFNOR, juillet 2007, NF T90-554 "*Matériel d'analyse/capteurs directs pour la mesure de faible turbidité. Spécifications et essais de performance*", ISSN 0335-3931, 21 p.

[33] ISO/IEC, novembre 1996, ETSI ETS 300-230 "*Radio Equipment and Systems (RES) Land mobile service ; Binary Interchange of Information and Signalling (BIIS) at 1 200 bit/s (BIIS 1 200)*"

[34] MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE, INERIS. *PLQ2000 Station d'acquisition de données*. [visité le 24.02.2008], disponible sur internet : <http://www.plq2000.com/>

[35] ANDREOLI A., AZZAM A., THOMAS M., et al., 2003, "*Projet LIFE 99 ENV/F/000492 Protection et surveillance multi-paramètres des ressources aquatiques Guide Méthodologique*", 140p.

[36] ROUMAGNAC A., BURGAUD L., GONZALEZ C., 1998, "Sécurisation de la ressource en eau : couplage entre une détection biologique par un réseau de surveillance et d'alerte et une identification par empreinte de l'eau", *TSM Techniques Sciences Méthodes*, vol.1, n°1, pp. 59-66.

[37] VIVARAT PERRIN M-P., 2003, "L'analyse en ligne, à prendre comme un service rendu à l'exploitant", *Mesures*, n° 759, pp. 34-38. , [visité le 24.02.2008], disponible sur internet :

http://www.mesures.com/archives/034_038_dos.pdf

[38] LEFRANÇOIS J., 1998, "La mesure en continu de la toxicité des eaux", *TSM Techniques Sciences Méthodes*, n°1, pp. 39-43.

[39] AGENCES DE L'EAU, AEAG, MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, ENSP, SAUNIER TECHNA, 1999, Etude Inter-Agences N°75, " *Protection des prises d'eau de surface, quelles stratégies ?*", 60 p.

[40] SCHÖN W., ODEH K., DENOEUX T., et al., 2007, " *Maîtrise des risques dans le domaine de l'eau potable*". [visité le 24.02.2008], disponible sur internet :

<http://www.hds.utc.fr/~tdenoeux/congres/lambdamu00.pdf>

[41] AZZAM A., ROBERT M., FASS S., 2000, "Fusion des données dans une station multi-capteurs pour la détection de pollutions dans les eaux de surface", *TSM Techniques Sciences Méthodes*, n°6, pp. 39-42.

Glossaire

Alarme : Dépassement de seuil. Elle est définie pour chaque appareil.

Alerte : Grandeur supérieure à un seuil, hors norme. Elle est définie par rapport à une analyse, c'est une alarme validée.

Appareil de mesure : Dispositif destiné à faire un mesurage, seul ou en conjonction avec d'autres équipements.

Chaîne de mesure : Suite d'éléments d'un appareil de mesure ou d'un système.

Calibrage : Positionnement matériel de chaque repère d'un instrument de mesure en fonction de la valeur correspondante du mesurande (c'est différent de l'étalonnage).

Correction : Valeur ajoutée algébriquement au résultat brut d'un mesurage pour compenser une erreur systématique.

Capteur : Élément d'un appareil de mesure ou d'une chaîne de mesure auquel est directement appliquée une grandeur à mesurer.

Dérive : Variation lente et continue d'une grandeur.

Disponibilité : C'est une mesure sans unité ; elle correspond à la proportion du temps de bon fonctionnement sur le temps total d'exécution du système de mesure.

Echantillonnage : Il s'agit de la prise d'échantillon dans le cas d'un échantillonnage physique ou de la localisation de la prise de mesure. Pour un analyseur, l'échantillonnage est souvent réalisé de façon continue au moyen d'une boucle de pompage où l'échantillon circule à grande vitesse avec rejet en fin de boucle non loin du point de prélèvement.

Erreur (ou écart) statistique : Différence entre les caractéristiques d'un échantillon et celles de la population qu'il est censé représenter.

Erreur (ou écart) systématique : Moyenne qui résulterait d'un nombre infini de mesurages du même mesurande, effectués dans les conditions de répétabilité, moins une valeur vraie du mesurande.

Étalonnage : Ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par des étalons.

Fiabilité (ou fidélité) : Qualité d'un instrument de mesure dont les résultats obtenus d'essais indépendants et dans des conditions identiques demeurent stables.

Interférence : Toute substance autre que le composé dosé qui, de par sa présence dans l'échantillon, entraîne des variations de réponse de l'appareil.

Justesse : Elle mesure l'erreur systématique. Elle représente la différence entre la valeur moyenne du grand nombre de mesures répétées et la valeur exacte.

Limite de détection : C'est soit 3 fois l'écart-type à l'intérieur du lot d'un échantillon naturel contenant une concentration peu élevée du paramètre, soit 5 fois l'écart-type à l'intérieur du lot d'un échantillon vierge.

Limite de quantification : C'est la plus petite valeur à partir de laquelle il existe un résultat de mesure avec une fidélité suffisante.

Mesurage : Ensemble d'opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur.

Mesurande : Grandeur particulière soumise à mesurage.

Répétabilité : Étroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages successifs du même mesurande, mesurages effectués dans la totalité des mêmes conditions de mesure.

Reproductibilité : Étroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages successifs du même mesurande, mesurages effectués en faisant varier les conditions de mesure.

Représentativité : Caractère dépendant de la mesure dans laquelle les items du test échantillonnent suffisamment l'essentiel du contenu (au sens large) à mesurer.

Scrutation : Mode de traitement dans lequel l'ordinateur (le serveur) chargé du contrôle des échanges sur un réseau interroge régulièrement chaque machine connectée, afin de savoir si elle a des données à émettre ou si elle est prête à en recevoir.

Sensibilité : Paramètre exprimant la variation du signal de sortie d'un appareil de mesure en fonction de la variation du signal d'entrée.

Valeur corrigée : Valeur d'un mesurage après correction de l'erreur systématique.

Liste des annexes

Annexe 1 : Projet LIFE ENV/F/000492, extrait du Cédérom du NANCIE, dont le fichier "Présentation des tests de toxicités"	X
Annexe 2 : Plaquettes commerciales stations Sirene® et CCMA.....	XVI
Annexe 3 : Le Fluotox®, extrait de la plaquette commerciale d'AquaMS	XVII
Annexe 4 : Fournisseurs contactés.....	XVIII
Annexe 5 : Questionnaire d'enquête DDASS.....	XX

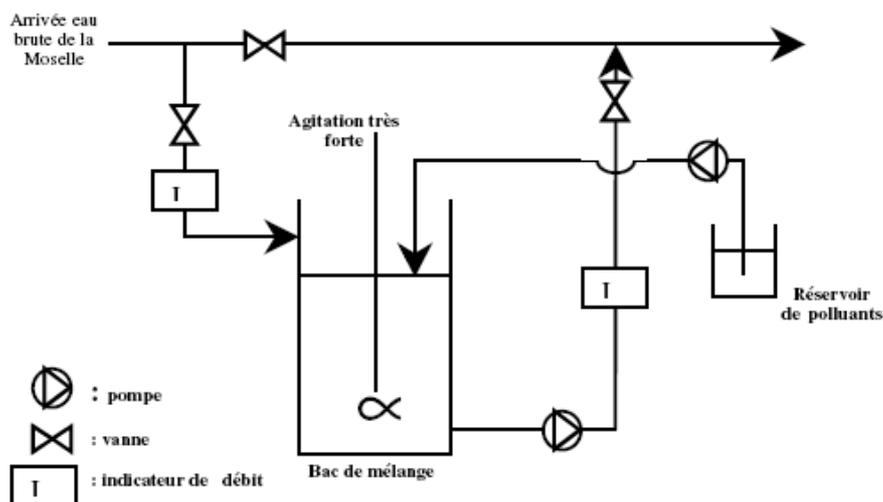
Annexe 1 : Projet LIFE ENV/F/000492, extrait du Cédérom du NANCIE, dont le fichier "Présentation des tests de toxicités"

➤ Liste des tests exécutés et des composés chimiques associés

N° Test	Type	composés chimiques et concentrations souhaitées ³
T1	PH acide	hydroxyde sodium à 30%
T2	PH basique	acide perchlorique à 65%
T3	Conductivité 600µS/cm	chlorure de sodium
T4	Conductivité 800µS/cm	chlorure de sodium
T5	Turbidité 100 NTU	kaolin+soude+polycrylamide
T6	Turbidité 400 NTU	kaolin+soude+polycrylamide
T7	O2 : anoxie	hydrogène peroxyde/ hydrogénosulfate de sodium
T8	O2 : suroxy	hydrogène peroxyde/ hydrogénosulfate de sodium
T9	PO4 5mg/L	trisodium phosphate
T10	PO4 10mg/L	trisodium phosphate
T11	Nitrates 50mg/L	sodium nitrate
T12	Nitrates 100mg/L	sodium nitrate
T13	NH4+ 5 mg/L	ammonium chlorure en poudre
T14	NH4+ 10 mg/L	ammonium chlorure en poudre
T15	Pollution écologique	sodium dithionite
T16	Atrazine 1mg/L	Atrazine
T17	Pol° agri 1	turbi 450 NTU, atra 5mg/l; isoprot 5mg/l NO ₃ ⁻ 2,5mg/l; PO ₄ ²⁻ 2,5mg/l;
T18	Pol° agri 2	turbi 450 NTU, atra 5mg/l; isoprot 5 mg/l; NO ₃ ⁻ 50mg/l; PO ₄ ²⁻ 2,5mg/l
T19	Pol° agri 3	turbi 450 NTU, atra 5 mg/l, isoprot 5mg/l, NO ₃ ⁻ 25mg/l, PO ₄ ²⁻ 5mg/l
T20	Pol° agri 4	turbi 450 NTU; atra 10mg/l; isoprot 5mg/l; NO ₃ ⁻ 25mg/l; PO ₄ ²⁻ 2,5 mg/l
T21	Pol° agri 5	turbi 450 NTU, atra 5mg/l; isoprot 10mg/l; NO ₃ ⁻ 25mg/l PO ₄ ²⁻ : 2,5mg/l
T22	Pol° agri 6	turbi 450 NTU, atra 10mg/l; isoprot 5mg/l; NO ₃ ⁻ 50mg/l; PO ₄ ²⁻ 2,5mg/l
T23	Pol° agri 7	turbi 450 NTU; atra 5mg/l; Isoprot 10 mg/l; NO ₃ ⁻ 25mg/l; PO ₄ ²⁻ 5mg/l
T24	Carbofuran 1mg/L	carbofuran 1mg/l
T25	CrVI 1 mg/L	chrome VI 1mg/l
T26	CrVI 5mg/L	chrome VI 5mg/l
T27	Pol° Industrielle	acide sulfurique=2% en masse et CrVI 5mg/l
T28	Pyralène 50mg/L	pyralène 50mg/l (dilution à l'acétone)
T29	Pol° agri comp 1	turbi 450 NTU; atra 1mg/l; isoprot 1mg/l; NO ₃ ⁻ 25mg/l; PO ₄ ²⁻ 2,5mg/l
T30	Pol° agri comp 2	turbi 450 NTU; atra 1mg/l; isoprot 2mg/l; NO ₃ ⁻ 25mg/l; PO ₄ ²⁻ 2,5mg/l
T31	Pol° agri comp 3	turbi 450 NTU; atra 2mg/l; isoprot 1mg/l; NO ₃ ⁻ 25mg/l; PO ₄ ²⁻ 2,5mg/l
T32	Pol° agri comp 4	turbi 450 NTU; atra 2mg/l; isoprot 2mg/l; NO ₃ ⁻ 25mg/l; PO ₄ ²⁻ 2,5mg/l
T33	Pol° agri comp 1 Sans kaolin	Comme pollution agricole complémentaire 1 sans kaolin
T34	Pyralène	Pyralène 12,5mg/l (ajout d'acétone pour dilution)
T35	Pyralène	Pyralène 25mg/l (ajout d'acétone pour dilution)
T36	Hydrocarbure	gasoil 2,5mg/l (ajout d'acétone pour dilution)
T37	Hydrocarbure	gasoil 5mg/l (ajout d'acétone pour dilution)
T38	Cocktail gasoil et essence 1mg/l	Cocktail de gasoil et d'essence sans plomb 95 à 1mg/l (ajout d'acétone pour dilution)
T39	Acétone	Acétone 0,1mg/l

Remarque : ces tests se sont étalés sur un peu plus de 13 mois.

➤ Schéma de l'installation hydraulique



L'eau est prélevée sur la Moselle et circule dans une conduite principale. Pour conduire les tests, une bêche permet l'injection de polluants par un système de dérivation. Après le passage dans la bêche, les capteurs se succèdent en piquage sur la conduite principale suivant cet ordre :

- Orthophosphate (HA)
- Sonde WTW : pH, O₂, Redox, conductivité (WTW)
- Turbidimètre, Chlorophylle a et Hydrocarbure (TCH)
- Gymnotox (GY)
- Dreissena Monitor (DM)
- Fluotox (FL)
- Bacteria Test (BA)
- Aquatox (AQ).

L'eau est ensuite évacuée vers la rivière ou vers la filière traitement en cas de simulation de toxicité.

➤ Détermination des concentrations testées

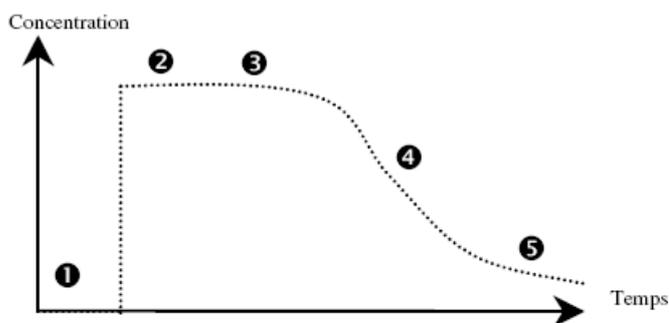
L'injection se présente sous la forme d'un front de pollution afin de limiter les problèmes d'accoutumance des organismes biologiques.

Afin de connaître les concentrations réelles présentes au niveau de chaque capteur, le protocole prévoit des prélèvements et analyses de l'eau injectée dans le système à raison de 5 prélèvements par cycle. Le cycle comprend un palier d'une heure conditionné par le temps d'analyse de 30 min du Bakteria Test(®) à la concentration voulue ainsi qu'une décroissance de même durée (évacuation polluant : environ trois fois le volume du bac de mélange).

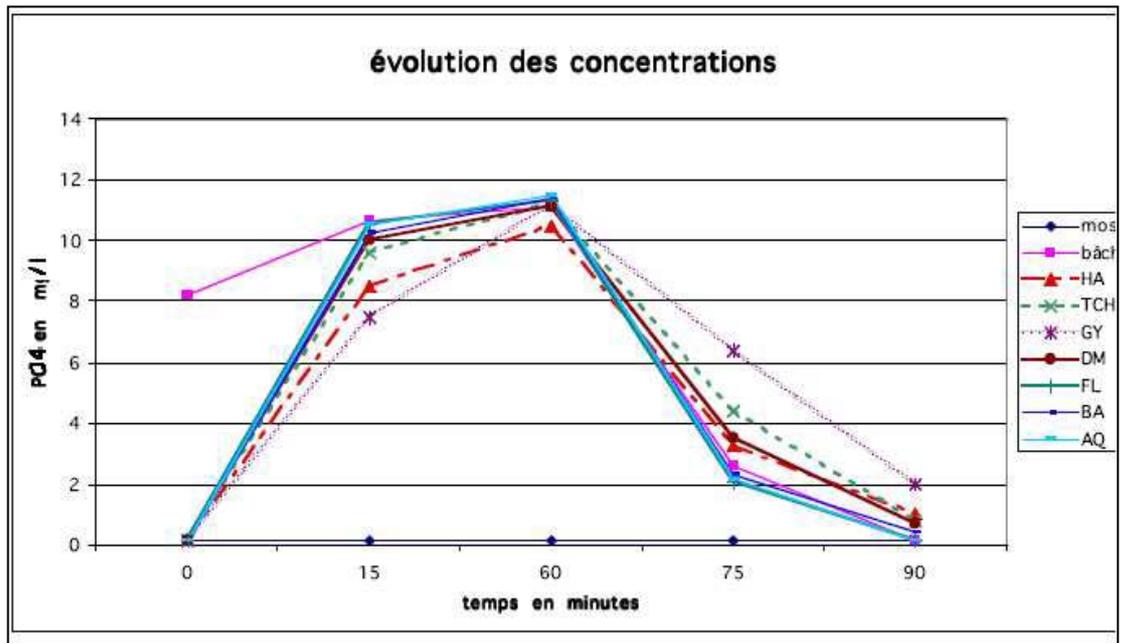
Un prélèvement est réalisé en entrée et en sortie du banc physicochimique et en sortie de chaque capteur biologique.

Chronologie des prélèvements :

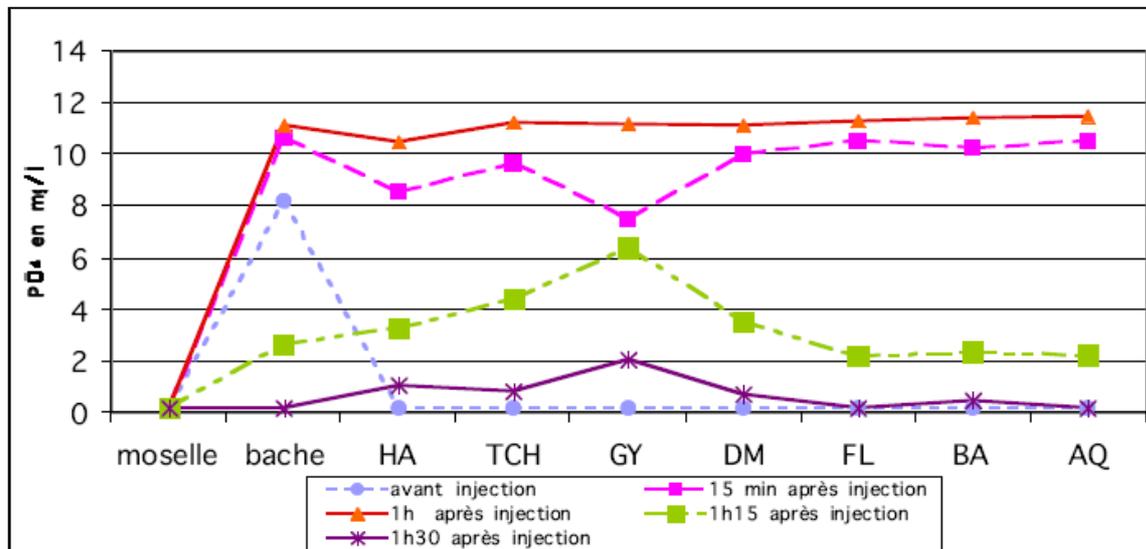
- 1 : début de la manipulation
- 2 : 15 minutes après premier prélèvement
- 3 : arrêt d'injection de polluant
- 4 : 15 minutes après arrêt de l'injection
- 5 : fin de la manipulation



Un exemple de résultats obtenus est donné dans par les graphiques suivants (ex : test visant à reproduire un état comportant une conductivité de 600 μ S/cm par injection de chlorure de sodium. La pollution est suivie par le dosage des ions phosphates).



Evolution de la concentration en ions phosphates au cours du temps au niveau de chaque appareil



Evolution de la concentration en ions phosphates dans le circuit hydraulique à différents instants du test

➤ Tableau de comparaison des réactions des capteurs au différents tests

CATÉGORIE	Date	Type et concentration théorique	Réactions BIO					Réactions PHYSICO								
			G	D	F	B	A	ortho	ph	O2	eH	cond	turb	chloro	hydroca	
1	30/01/02	pH acide			X	X			X			X				
	31/01/02	pH basique	X		X	X	O		X			X				
	1/02/02	Conductivité 600µS/cm	X	!	O		O			F		X			F	
	4/02/02	Conductivité 800µS/cm		X			X			F		X			F	
	6/02/02	Turbidité 100 NTU					X	F						X		
	7/02/02	Turbidité 400 NTU	O				X	F						X		
2	11/02/02	O2 : anode		F		X	X		X	X	X	X				
	12/02/02	O2 : suroxy	F	F	F		X		X	X	O	O			O	
	13/02/02	PO4 5mg/L	X						X	F	F		F			
	14/02/02	PO4 10mg/L							X	X	F	F	O		F	
	15/02/02	Nitrates 50mg/L											X			
	18/02/02	Nitrates 100mg/L											X			
	19/02/02	NH4+ 5 mg/L		O		O							O			
	20/02/02	NH4+ 10 mg/L		X		O							O		O	
3	22/02/02	Pollution écologique	!	F	X		X		X	X	X	X			O	
	14/03/02	Atrazine 1mg/L		O	X						F	O			X	
	16/04/02	Pol ^a agri 1	O	X	X	X			X			X	X			
	18/04/02	Pol ^a agri 2	O	X	X	!	!		X	O		X	X	X		
	23/04/02	Pol ^a agri 3	X	X	X		F		F		F	X	X	X	F	
	25/04/02	Pol ^a agri 4	X	X	X							X	X	X		
	30/04/02	Pol ^a agri 5	X	X	X	X	X		F		X	X	X	X	X	X
	16/05/02	Pol ^a agri 6		!	X				F			X	X			
	23/05/02	Pol ^a agri 7		X	X	!						O	X			
	28/05/02	carbofuran 1mg/L				O	X				O				O	
	6/06/02	CrVI 1mg/L			F					F	F	F	F			
	11/06/02	CrVI 5mg/L		F					X	O	O				F	
	13/06/02	Pol ^a Industrielle		X			X		?	X	X				X	
	7/08/02	Pyralène 50mg/L					X				O		F	O		
4	29/10/02	Pol ^a agri comp 1	F	X	X	X	X		X	O	O	X	X	X		
	6/11/02	Pol ^a agri comp 2		O	X	O			O	F	O	X	X	X		
	8/11/02	Pol ^a agri comp 3	O	X	X				O	F	O	X	X	X		
	15/11/02	Pol ^a agri comp 4		O	X		F		O	O	X	X	X			
	5/12/02	Pol ^a agri comp 1 sans kaolin	!	!												
	12/02/03	pyralene 12,5mg/l		X		X	F			F	F		F	F		
	19/02/03	pyralene 25mg/l	!	X	O	X	X			F	F		X			
	3	6/03/03	Gasoil 2,5mg/L		X		F	F			F		F	F		X
13/03/03		Gasoil 5mg/L		X		X	O			F		F	F		X	
20/03/03		Cocktail gasoil/fuel		X		X	F						O		X	
27/03/03		Acétone 0,1mg/l				O	F			F	F		F	F		

X : le capteur a réagi de façon significative (signal au moins double)

F : une réaction a été visible mais faible

O : une réaction intermédiaire (au regard des réactions des autres capteurs) a été visible.

! : les données ne sont pas disponibles ou erronées mais le technicien a observé une réaction ; l'importance de la réaction n'a pu être quantifiée.

■ : signifie qu'il n'a pas été possible de récupérer les données

■ : signifie que le capteur ne fonctionnait pas.

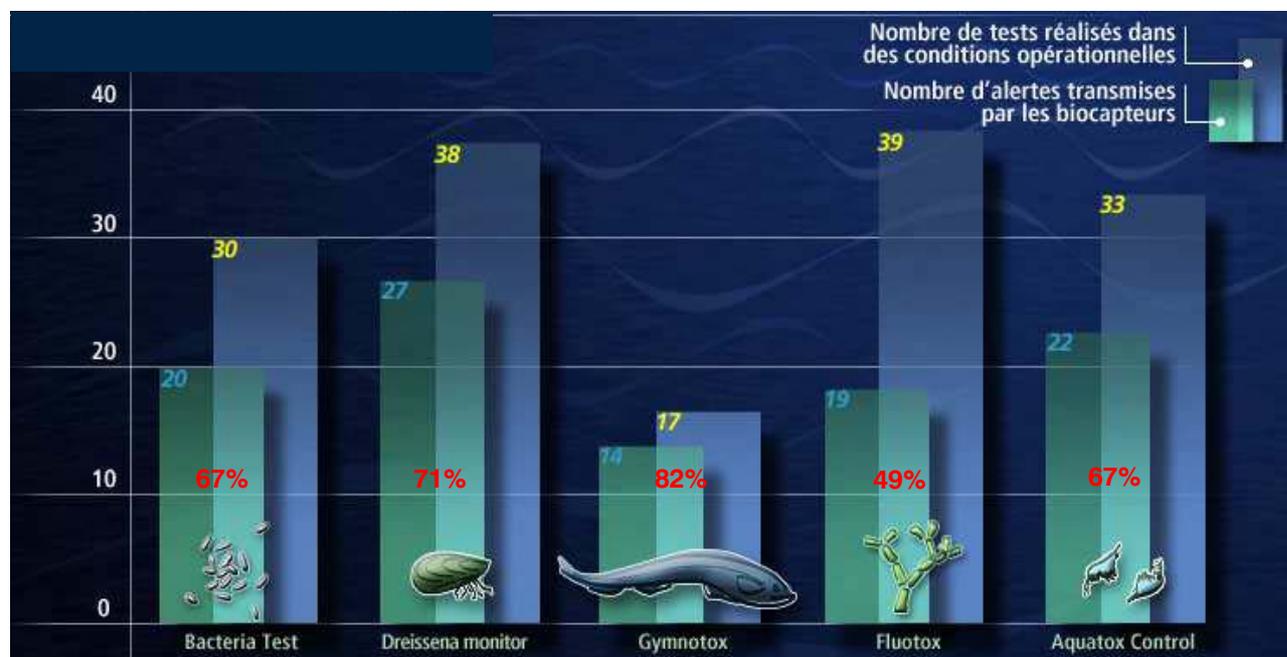
□ : signifie que le capteur n'a pas réagi bien qu'il soit opérationnel, son comportement ne témoigne pas de présence de polluant.

G : Gymnotox / D : Dreissena monitor / F : Fluotox / B : Bacteria Test / A : Aquatox

Catégories des tests :

- 1: Variation de paramètres physico-chimiques non toxiques
- 2: Dopage des eaux par des substances polluantes
- 3: Simulation pollutions accidentelles
- 4: Tests complémentaires

➤ Histogramme de comparaison du nombre de réactions des capteurs au différents tests



Pourcentages d'alertes transmises (rajout)

➤ Considérations sur la sensibilité des capteurs biologiques

« - **Le Gymnotox®** est un système sensible à beaucoup de pollutions. Nous notons qu'il réagit à une modification de paramètres physico-chimiques non toxiques (tels que la conductivité, la turbidité...). Les niveaux de réaction sont quantifiés afin de permettre d'éliminer les interférences des conditions physico-chimiques sur les réponses biologiques. Il est vrai que la gestion commune que nous mettons en place au travers de ce projet ne peut se faire qu'après avoir pris en compte une considération importante. En effet, les données issues des capteurs (physico-chimiques et biologiques) ne peuvent être validées que si l'on a pris soin au préalable d'éliminer les interférences des conditions physico-chimiques sur les réponses biologiques. Ainsi, il est nécessaire de pouvoir distinguer clairement une simple variation environnementale sans conséquence de l'apparition de conditions toxiques. D'autre part, le Gymnotox® a montré sa réactivité face aux substances polluantes. Le déclenchement de l'alerte par le système propre au Gymnotox® a lieu en moyenne au bout de 10 minutes. Le système étant réglé en standard ou moins sensible. Il suffit d'augmenter la sensibilité pour avoir une alerte déclenchée plus précocement. Cependant la réaction s'initie bien avant le déclenchement de l'alerte. Cette réaction est captée et analysée par le système de gestion prédictive ce qui réduit le temps de réaction à moins de 5 minutes.

- **Le Dreissena-Monitor®** est peu réactif à des modifications des paramètres physico-chimiques non toxiques, sauf vis-à-vis de la conductivité. Face à des substances polluantes (hydrocarbures, nitrates, pollution agricole, etc.), la réaction ne se fait guère attendre dans la plupart des cas (en moyenne 5 minutes). Il apparaît comme un indicateur global de toxicité très pertinent aussi bien vis-à-vis de pollutions agricoles qu'industrielles. Son intérêt ressort fortement de ces tests.

- **Le Fluotox®** est influencé par le changement de pH. On a observé des réactions importantes pour les pollutions agricoles, chose prévisible étant donné la nature du composé biologique : une algue. Toutefois, il a également donné une alerte pour des pollutions aux métaux lourds (ici le chrome VI), ou écologique (Test n°15). Enfin, sa réaction face aux gasoils est nulle. Nous avons ici un indicateur capable de détecter un large spectre de pollutions et qui contrairement au Dreissena requiert peu ou pas de maintenance. Le temps de réaction nécessaire au déclenchement d'une alarme se situe au alentour des 10 minutes.

- **Le Bacteria Test®** réagit au changement de niveau des paramètres physico-chimiques non toxiques, ainsi qu'à certaines pollutions (agricoles, hydrocarbures, plastifiant, etc.). Sa réactivité face aux pollutions agricoles n'est pas aussi systématique que pour le Fluotox® ou le Dreissena Monitor®. Sa réactivité est dans l'ensemble bonne et il couvre également un large spectre de pollutions, légèrement différent de ceux couverts par les capteurs cités précédemment. Un inconvénient de ce capteur est la durée de son cycle; en effet 30 minutes est un temps trop long pour être pertinent dans un système d'alerte. Ceci signifie que l'alerte ne peut être donnée qu'au bout de ces 30 minutes, voire une heure si le cycle s'enclenche juste avant le début de la pollution. Ceci ne peut lui conférer qu'un rôle de confirmateur dans une installation in-situ.

- **L'Aquatox®** a lui aussi donné des résultats intéressants. Le signal fourni par le système est plus "bruité" et nécessite une filtration du signal. Une fois cette filtration mise au point, il est possible de se rendre compte de la sensibilité du capteur. Il semble que les daphnies soient sensible plus particulièrement aux pollutions industrielles, quoique pas insensible aux pollutions agricoles. Il est nécessaire et important d'avoir un logiciel qui traite les données car les données brutes ne permettent pas d'élaborer une interprétation fiable. La rapidité de réaction de ce biocapteur est plus réduite que pour les biodétecteurs Gymnotox® ou Dreissena Monitor® : elle se situe au alentour des 20-25 minutes en moyenne.»

- Tableau de proposition d'association de capteurs en fonction des risques (plaque de présentation du projet)

Risques	Propositions de capteurs à associer
Pollution agricole (atrazine, isoproturon, nitrates, phosphates)	Fluotox + (Dreissena ou Gymnotox)+ conductivité+ chlorophylle a
Pollution écologique (sodium)	Fluotox + Aquatox + conductivité
Carbofuran	Aquatox + (chlorophylle a ou potentiel Redox)
Pyralène	Gymnotox + Dreissena + Bacteria Test
Hydrocarbures	Dreissena + Gymnotox + Bacteria Test
Phosphates	Gymnotox + pH
Nitrates	Conductivité + ???
Ammonium	Dreissena + conductivité
Anoxie ou suroxydation	Aquatox + pH
Pollution industrielle (chrome VI + acide sulfurique)	Dreissena + (Fluotox ou Aquatox) + pH + (conductivité ou chlorophylle a)
Chrome VI	Dreissena + Fluotox + conductivité + pH
Acétone	Aquatox + Bacteria Test

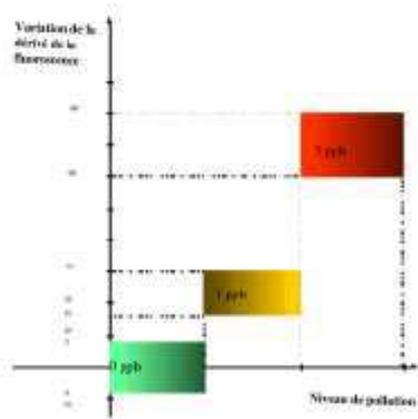
Annexe 2 : Plaquettes commerciales stations Sirene[®] et CCMA

Annexe 3 : Le Fluotox®, extrait de la plaquette commerciale d'AquaMS



SENSIBILITE AUX DESHERBANTS

VISUALISATION OPTIONNELLE



Réaction à 1ppb d'atrazine (ajout de 1µg/l)



Annexe 4 : Fournisseurs contactés

ABB France

3, avenue du Canada Immeuble Athos
91978 Courtaboeuf Cedex

ALPHA MOS

20, avenue Didier Daurat
31400 Toulouse

ANAEL SAS

Z.I. 15, rue Nobel
45700 Villemandeur

AQUALYSE

B.P. 67
13bis, avenue des Aulnes
78250 Meulan

AquaMS (Aqua Monitoring System)

17, boulevard de Finlande
54340 Pompey
Tél : 03 83 49 54 72
Fax : 03 83 49 54 73
Port : 06 15 10 45 89

ADP Département ARNATRONIC

Rue du Mad
54530 ARNAVILLE
Tél : 03 83 80 02 02

CIFEC

12 bis, rue du Cdt Pilot,
92200 Neuilly/Seine
Tél : 01 46 40 49 49

HOCER INSTRUMENTATIONS

DATALINK INSTRUMENTS

67, avenue de la République
38170 Seyssinet-Pariset

ENDRESS-HAUSER

8, Allée des Coquelicots
B.P. 69
94472 Boissy Saint Léger Cedex

ENVICONTROL

NIJVERHEIDSWEG 10
9820 MERELBEKE
Belgique

ENVIRONNEMENT SA

111, Bd Robespierre
78300 Poissy

ER Ingenierie

18, rue Blaise Pascal Site Saint Jacques I
54320 - Maxéville
Tél : 03 83 98 23 23

HACH LANGE

33, rue du Ballon
Z.I. des Richardets
93165 Noisy le Grand Cedex

HANNA INSTRUMENTS France

Parc d'Activités des Tanneries
B.P. 133
1, rue du Tanin Lingolsheim
67833 Tanneries Cedex

TETHYS INSTRUMENTS

23, Bd Albert Einsten
44300 Nantes
02 40 94 19 00

57, chemin du Vieux Chêne
38240 Meylan Inovalée

IRA

23, chemin des Moines
13200 Arles

NÉOSENSE

Prologue 1 La Pyrénéenne
31672 Labege Cedex

PALL CORPORATION

3, rue des Gaudines
BP 5253
78100 ST GERMAIN-EN-LAYE

SECOMAM

91, avenue des Pins d'Alep
30100 Alès

SERES ENVIRONNEMENT

360, rue Louis de Broglie - La Duranne
BP 87000
13793 Aix en Provence Cedex 3

STS France

66, avenue de la Gare
74100 Annemasse

SWAN

ZA de Bièvre Dauphine
57, rue du Grand Champ
38140 Apprieu

Annexe 5 : Questionnaire d'enquête DDASS



IGS. Ateliers Santé-Environnement 2007-2008.

Marie-Eve BONNET

Julien FECHEROLLE

Claire FLOC'H

➤ **Disposez vous de stations d'alertes* pour la surveillance des eaux destinées à la consommation humaine dans votre département ?**

* point de contrôle fixe composé d'un ou plusieurs analyseurs en continu de la qualité de l'eau

Non

Non mais une installation est prévue prochainement sur la/les commune(s) suivantes:

Oui. Nombre total de ces stations :

➤ Si oui, pourriez-vous fournir une description succincte de ces stations :

Commune & département d'installation	Année d'installation approximative	Type d'eau surveillée			Paramètres suivis	Présence de l'un des analyseurs suivants :						
		Ressource souterraine	Ressource de surface	Réseau de distribution		Truitotest	Fluotox	Gymnotox	Daphnitox	Toxibio	Auto-Microtox	Autre biocapteur
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

➤ **Si oui, ces stations ont-elles déjà déclenché des épisodes d'alerte ?**

Non, à ma connaissance pas depuis années

Peut-être mais je ne dispose pas de cette information. Les personnes susceptibles de vous renseigner seraient les suivantes :

Oui. Dans ce cas :

✓ **pourriez vous nous relater brièvement les principaux points de cet/ces épisodes** (année, lieu, paramètre déclencheur, identification ou non de la cause, confirmation ou non de la pollution détectée par des analyses en laboratoire, nature des mesures de prévention déclenchées concernant la distribution) ?

✓ **cet/ces épisodes ont-ils fait l'objet d'une analyse à posteriori** par un groupe de travail ou autre ?

Non

Oui. Dans ce cas disposez vous d'une trace écrite à ce sujet ? Non Oui

✓ **cet/ces épisodes ont- ils suscité une remise en question de la fiabilité de la station d'alerte ?**

Au contraire, ils ont renforcé l'opinion sur l'utilité des stations d'alerte.

Dans ce cas, d'autres stations ont elles été disposées depuis l'événement ? *Oui* *Non*

Non

Oui.

Dans ce cas, des mesures ont-elles été prises pour améliorer celle-ci (ex : positionnement de la station, mise en place d'un préleveur automatique subordonné à l'alerte, doublement de l'analyseur etc.) ?

Questionnaire rempli par : Madame

DDASS :

Commentaires éventuels :

Nous vous remercions vivement de votre participation

NB : Conformément à l'article 43 de la loi "Informatique et Liberté" relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification et de suppression des données qui vous concernent. E-mail : claire.floch@etu.ensp.fr

Centre de Compétence Milieux Aquatiques

Le CCMA intervient sur des problématiques liées aux milieux aquatiques (rivières, lacs, plans d'eau, lagunes...) en eaux douces ou marines :

- audit et diagnostic de milieux ;
- état des lieux et plans de sauvegarde de l'existant ;
- modélisation d'impact de rejets sur la qualité des milieux ;
- propositions de solutions, plans de restauration, optimisation de systèmes d'assainissement ;
- mise en place de stations de mesures et d'alerte sur tous milieux aquatiques ;
- aide à la gestion de crise : solutions compensatoires en cas de pollutions, inondations, sécheresse...

Il apporte une meilleure connaissance des milieux dans une démarche environnementale de développement durable.

Contacts :

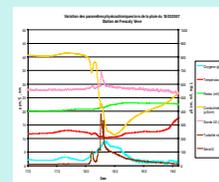
Eric Blin
Johanna Jordi
04 67 77 97 77
Sdei
12 route de Bessan
34340 Marseillan

Photo : B Rivière, Sdei Languedoc, 18/06/2007

Centre de Compétence Milieux Aquatiques

la SIRENE

Station de mesure et d'alerte des milieux aquatiques



La Sirène : mode d'emploi



Vous souhaitez une gestion durable des milieux aquatiques ?

La sirène permet de suivre en continu les paramètres physico-chimiques d'une eau de surface et de quantifier l'impact des activités humaines sur les milieux aquatiques.

Il existe deux sortes de sirènes :



La Sirène « Out » : l'eau à analyser est pompée en permanence et circule dans un bac « aquarium » où sont placées les sondes.



La Sirène « In » : variante où les sondes sont placées directement dans le flux de la rivière.

Quel est l'entretien à assurer ? Les Sirènes sont peu exigeantes. Une visite hebdomadaire suffit à un contrôle visuel du matériel et des sondes. La sonde MES est autonettoyante et la sonde oxygène fonctionne par analyse optique sans membrane (LDO) pour une plus grande fiabilité. En cas de problème, la station d'alerte appelle l'opérateur.

Quels sont les types de données récupérées ? Les valeurs enregistrées avec un pas de temps modulable (ex : 5 min) sont stockées en base de données à l'aide d'un superviseur Topkapi. Celui-ci délivre ensuite des courbes d'évolution consultables sur Internet.

Le saviez-vous ?

En cas de pollution et sur consignes, la Sirène peut envoyer une alarme vers un agent d'astreinte et effectuer un prélèvement d'eau analysable par un laboratoire.

Pourquoi l'utiliser ?

- Pour des mesures amont/aval de rejets : stations d'épuration, systèmes d'assainissement, réseaux pluviaux, activités industrielles ou touristiques...
- En protection de ressources, de baignades
- Pour une veille pollutions
- Pour vérifier l'efficacité des actions engagées

...

Que mesure-t-on ?

Oxygène dissous
Température
Conductivité
Potentiel d'Oxydo-réduction
pH
Ammoniac
Teneur en MES / Turbidité
Concentration en matières organiques (UV)

...

Les sondes, résistantes, nécessitent peu de maintenance

Les capteurs de la Sirène :

La station Sirène « out » est livrée en skid complet. Elle doit être abritée dans une cabane, type armoire EDF tarif jaune, raccordée à l'énergie, à une conduite d'aspiration et de refoulement et éventuellement à une ligne téléphonique.

Sonde Oxygène à mesure optique : entretien facile, mesure fiable

Sondes pH et/ou rédox : séparation de la sonde de référence et du milieu récepteur réduisant le risque de dérive

Sonde Conductivité : type inductive, peu sensible à l'encrassement

Transmetteur Lange type SC 1000 : écran couleur tactile et amovible

Sonde MES / Turbidité : système autonettoyant par essuie glace

Sonde de niveau piézométrique : résistante aux conditions extrêmes

Télétransmetteur Sofrel : stockage des données et envoi d'alarme

Grand choix de capteurs interchangeables et évolutifs :
Matières organiques
Ammonium
Phosphore
Hydrocarbures...

Composition du skid Sirène :

- Support en Polypropylène : L1200xP530xH1300, env. 100kg
- Aquarium : 50L utiles, temps de séjour 1,5 min
- Pompe d'aspiration: débit 2m3
- Pompe d'échantillonnage : 400L/h et bidon de prélèvement
- Armoire électrique :
 - Télétransmetteur Sofrel : relié au transmetteur Lange et au poste de supervision
 - Modem RTC ou GSM : communication avec la supervision ou liaison en série pour raccordement direct
 - Batterie 12V : autonomie de 24h
 - Protections pour chaque entrée et protection parafoudre réglementaires

Nos références



Monitoring de qualité des eaux : conception et maintenance des stations d'alerte Sirène

- Installation et suivi de stations d'alerte Sirène sur la Vène (34)
- Installation de stations d'alerte Sirène à Lourdes (65)



Plans de protection de la faune et de la flore



Suivi qualité des eaux et validation de traitements

- Suivi de la qualité des eaux du port du Mourre Blanc pour validation d'aérateurs de milieux fragiles (avec le Conseil général de l'Hérault)
- Suivi bactériologique des rivières du bassin versant de l'étang de Thau (34)



Traitement des crises liées à la disponibilité des ressources, aux pollutions ou aux catastrophes naturelles (sécheresse, inondations...)

Centre de Compétence
Milieux Aquatiques



Contacts :

Eric Blin
Johanna Jordi
04 67 77 97 77
Sdei
12 route de Bessan
34340 Marseillan

Centre de Compétence
Milieux Aquatiques

le CCMA

Une équipe de spécialistes
des milieux aquatiques
à votre service



Les enjeux

La loi du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques impose aux collectivités territoriales et à tous les acteurs de l'eau d'acquiescer les outils nécessaires à la **reconquête de la qualité des eaux**.

Objectif : garantir d'ici à 2015 le **bon état écologique** des milieux aquatiques, comme le veut la **Directive Cadre Européenne** du 22 décembre 2000.

→ **Face à ces nouvelles exigences réglementaires, le Centre de Compétence Milieux Aquatiques peut vous aider.**

Notre vocation ? Intervenir sur les problématiques de maintien ou d'amélioration de la qualité des eaux douces ou marines : rivières, étangs, plans d'eau, lagunes...

Le CCMA vous apporte un soutien précieux en terme **d'efficacité environnementale** et une **garantie de transparence** face à vos usagers.

Nous sommes implantés dans les locaux du Centre Régional Sdei Languedoc à Marseillan (34).

De nombreuses pressions sur les milieux aquatiques...



... évaluées par notre Diagnostic Environnemental :

Une méthode modulaire, pas à pas :

Inspecter

Le site et son contexte géographique, hydraulique, anthropique...

Mesurer

La qualité de l'eau en fonction des activités humaines lors de campagnes temps sec, temps de pluie ...

Evaluer

La biodiversité floristique et faunistique ainsi que le niveau de qualité global du site

Déterminer

Les facteurs d'influence, les points stratégiques du système et les causes des problèmes

Instrumenter

Le site à l'aide de stations de mesures Sirène pour un suivi en continu des variations de la qualité de l'eau journalière, saisonnière...

Modéliser

L'impact de l'ensemble des rejets afin de classer leur influence et de simuler les améliorations possibles

Proposer

Des solutions en hiérarchisant les investissements éventuels en fonction de facteurs économiques et environnementaux

trouver et

proposer les

solutions adaptées

à votre problème.