

CAMALY

Etude des stations d'alerte et de surveillance de la qualité des eaux superficielles dans l'agglomération lyonnaise

PHASE 2 – Etat de l'art des stations d'alerte et dispositifs de suivi de la qualité des eaux superficielles

Rapport intermédiaire

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 1

Association CAMALY
Connaissance et amélioration des milieux aquatiques dans l'agglomération lyonnaise

**Etude des stations d'alerte et de surveillance de la qualité des
eaux superficielles dans l'agglomération lyonnaise**
**PHASE 2 – Etat de l'art des stations d'alerte et des dispositifs
de suivi de la qualité des eaux superficielles**

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
Rapport intermédiaire provisoire	31/03/2005		G. BOUDIN		G. BOUDIN		C. MICHELOT	
Rapport intermédiaire	21/06/2005		G. BOUDIN		C. MICHELOT		C. MICHELOT	
		b						
		c						
		d						

Numéro de rapport	RLy.1538
Numéro d'affaire	A.13841
N° de contrat	CLyZ050018
Domaine technique	MN13
Mots-clés du thésaurus	MESURE, QUALITE DE COURS D'EAU, ANALYSE IN SITU, ECHANTILLONNAGE, METHODE D'ANALYSE, POLLUANT, MATERIEL DE MESURE, METROLOGIE

BURGÉAP
AGENCE DE LYON
19, rue de la Villette
F-69425 LYON CEDEX 03

Téléphone : 04.37.91.20.50

Télécopie : 04.37.91.20.69

e-mail : agence.de.lyon@burgeap.fr

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 2

SOMMAIRE

1 - Préambule	11
2 - Principes stratégiques et considérations hydrauliques relatifs aux dispositifs d'alerte ou de surveillance de la qualité des eaux superficielles pour les captages d'eau potable	11
2.1 Vulnérabilité des prises d'eau en rivière, principes stratégiques et choix de l'emplacement des stations d'alerte	11
2.2 Considérations techniques relatives au transfert et à la dispersion de pollutions en rivière	13
3 - Etat de l'art des dispositifs techniques de prélèvement et de mesure équipant les stations d'alerte d'eaux de surface	14
3.1 Les équipements de prélèvement d'échantillons	15
3.1.1 Le prélèvement d'eau	15
3.1.2 Les préleveurs échantillonneurs	16
3.1.3 Les préleveurs rejeteurs	17
3.2 Les dispositifs de mesures physico-chimiques de la fraction dissoute	18
3.2.1 Préparations préalables nécessaires à certaines analyses	18
3.2.2 Mesures de paramètres physico-chimiques simples	19
3.2.3 Mesures de paramètres organiques globaux	24
3.2.4 Mesures physico-chimiques spécifiques	29
3.3 Les systèmes d'alerte intégrateurs biologiques	48
3.3.1 Le système Auto-Microtox ou Lumitox : biocapteur bactérien	48
3.3.2 Les systèmes ichtyologiques	50
3.3.3 Les systèmes innovants à mollusques bivalves	52
3.3.4 Les autres systèmes biologiques	54
3.3.5 Autres systèmes en développement ou de suivi à plus long terme de la qualité de l'eau	55
3.4 La chaîne de mesure en aval des dispositifs de mesure	57
4 - Etudes de cas : présentation de stations d'alerte mis en place en France ou en Belgique	58
4.1 La station d'alerte de Saint-Denis-l'Hôtel à Orléans	58
4.2 Le système APES du Conseil Général des Hauts-de-Seine	61
4.3 Les stations d'alerte de l'usine des eaux de Choisy-le-Roi (SEDIF)	66
4.4 Le réseau d'alerte sur la Garonne en amont de Toulouse	70
4.5 La station d'échantillonnage du Rhône à Arles	74
4.6 La station d'alerte sur la Moselle à Epinal (station de Soba)	78
4.7 La station d'alerte de Méréville sur la Moselle (agglomération de Nancy)	81

4.8. Le réseau AQUAPOL en Wallonie belge : 9 stations d'alerte et une base de données commune en ligne	86
5 - Conclusion	90

TABLEAU X

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.

FIGURES

Figure 1 : Principes de captage d'eau en rivière ou en nappe d'accompagnement de cours d'eau, et transit de l'eau.

Figure 2 : Considérations stratégiques pour le choix de l'emplacement d'une station d'alerte.

Figure 3 : Schématisation du procédé Hydromobil à mât oscillant (Source AQUACAN).

Figure 4 : Bras de prise d'eau et système de pompage de la station d'alerte de Ternay (69).

Figure 5 : Illustrations de préleveurs échantillonneurs multi-flacons réfrigérés (Source ISMA).

Figure 6 : Illustrations d'un préleveur rejeteur (Source ISMA).

Figure 7 : Principes de la filtration frontale et de la filtration tangentielle (Source SIVA).

Figure 8 : Un hydrocyclone débourbeur (station d'alerte du Vieux Rhône (69)).

Figure 9 : Stockage de dioxygène pour minéralisation à la station de Ternay (69).

Figure 10 : Exemple d'implantation d'une sonde de mesure multicritère dans un cours d'eau (Source OTT).

Figure 11 : Exemple de sonde multicritères : 2=capteur de pH, 3=capteur de conductivité, 4=capteur d'O₂ dissous, 8=mesure de turbidité, 9=TDG-capteur de gaz dissous, 10=mesure ammonium, 14=lumière ambiante, 15=électrodes de référence (Source OTT).

Figure 12 : Electrodes de mesure de pH classiques : en argent et au calomel (Source BAMO).

Figure 13 : Deux appareils de mesure du pH et du potentiel rédox : à gauche avec électrodes au calomel et argent et à droite par mesure d'impédance avec électrodes de verre et d'antimoine (Source Polymetron).

Figure 14 : Sonde conductimétrique à gauche et son électronique associée à droite (Source BAMO).

Figure 15 : Turbidimètre pour mesure en continu : à gauche appareil d'enregistrement, à droite dispositif de mesure (Source BAMO).

Figure 16 : Sonde de mesure de l'O₂ dissous par le principe ampérométrique (Source Wallace Tiersan).

Figure 17 : Principe de la mesure optique de l'O₂ dissous (Source NEREIDES, optode AANDERAA).

Figure 18 : Sonde de mesure de l'O₂ dissous par principe optique (Source HACH-LANGE et Polymetron).

Figure 19 : Appareil de mesure du carbone organique total (Source SERES).

Figure 20 : Appareils de mesure de l'absorption UV à 254 nm (Source SERES à gauche et WTW à droite).

Figure 21 : Principe de l'absorption UV : 1 = source lumineuse, 2 = système optique, 3 = fenêtre de mesure, 4 = système optique récepteur, 5 = détecteur, 6 = système de mesure, 7 = système de nettoyage par air comprimé, 8 = faisceau de référence (Source WTW).

Figure 22 : Exemple d'appareil de mesure des matières organiques par UV à 254 nm (Source dtli).

Figure 23 : Analyseur spectrophotométrique (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 24 : Principe de la spectrophotométrie (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 25 : Exemple d'un spectre d'absorption (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 26 : Analyseur de DCO et COT Haute Température (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 27 : Système de préparation automatique de l'échantillon (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 28 : Four de chauffe (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 29 : Appareil de mesure de la DCO par spectrométrie UV (Source dtli).

Figure 30 : Analyseur de DCO par oxydation de la matière organique par des radicaux hydroxydes (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 31 : Analyseur de DBO en 4 minutes (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 32 : Sonde d'analyse de l'azote total dans le procédé haute température (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 33 : Sonde immergée autonome : détail à gauche et électronique associée à droite (Source INATECH).

Figure 34 : Sonde multi-paramètres SERES 2000 qui mesure notamment l'ammoniaque par colorimétrie (Source SERES).

Figure 35 : Appareil de mesure de l'ammoniaque par potentiométrie (Source Polymétron).

Figure 36 : Principe de la mesure de l'ammoniaque par spectroscopie UV (Source AWA-instruments).

Figure 37 : Analyseur d'ammoniaque par spectrométrie UV (Source DTLI).

Figure 38 : Analyseur de nitrates en continu par électrodes sélectives (Source WTW).

Figure 39 : Principe de la mesure des nitrates par absorption UV (Source AWA-instruments).

Figure 40 : Exemple d'appareil de mesure des nitrates par spectrométrie UV (Source dtli).

Figure 41 : Appareil de mesure des nitrates (Source SERES).

Figure 42 : Analyseur en continu : spectrophotomètre UV visible (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 43 : Appareil de mesure du P total par colorimétrie (Source INATECH).

Figure 44 : Vue générale d'un analyseur à métaux lourds par polarographie (Source ELTA).

Figure 45 : Détails d'un analyseur à métaux lourds par polarographie (Source ELTA).

Figure 46 : Analyseur à électrodes spécifiques ISE (Sources ANAEL S.A.S.).

Figure 47 : Appareil de mesure multicritères : pH, Ammoniaque, Hydrocarbures, Nitrates, Phénols, Chlorophylle A, Rhodamine, Turbidité, Couleur, Conductivité, O₂ dissous, Température, Niveau et Débit (Source AWA-instrument).

Figure 48 : Analyseur colorimétrique des éléments suivants, dont le phénol : PO₄, Cr total, Cr⁶⁺, Zn, Ni, Ti, Co, Mn, Va, Fe, Silice, Phénol, TH, TA/TAC, Ca (Source ANAEL S.A.S.).

Figure 49 : Détecteurs d'hydrocarbures utilisant une mesure optique (Source ISMA à gauche et SERES à droite).

Figure 50 : Détecteur d'hydrocarbures utilisant un laser (Source ISMA).

Figure 51 : Sonde de mesure des HAP surnageants ou dissous par fluorimétrie (Source sonde FLUO-HAP de AquaMS).

Figure 52 : Détecteur d'hydrocarbures par mesure d'impédance (Source ISMA).

Figure 53 : Système de détection Saphir installé à Orléans (Source L'eau, l'industrie et les nuisances 183).

Figure 54 : Sonde Oilspy seule à gauche et avec son système de flotteurs à droite (Source NEREIDES).

Figure 55 : Sonde de mesure du sulfure total dissous par ampérométrie : vue générale à gauche et détail des sondes à droite (Source AquaMS).

Figure 56 : Cobenade bêta gamma (Source Lycos).

Figure 57 : Appareil de mesure de la radioactivité de l'eau : Aquascan portable à gauche et LIRA à droite (Source Saphymo-Phy).

Figure 58 : Appareil de suivi de la radioactivité de l'eau pour le site de Meyrin (Source IRSN).

Figure 59 : Sonde de détection de la concentration en Cyanobactéries dans l'eau (Source OTT).

Figure 60 : Dosage de la chlorophylle a par fluorométrie (Source MicroFlu-chl de AquaMS).

Figure 61 : Microtox de terrain (à gauche) et de laboratoire (à droite) (Source Azur Environnement).

Figure 62 : Bactéries utilisées pour le Lumitox (Source www.lumitox.com).

Figure 63a : Algue microscopique *Chlorella vulgaris* (Source CNN.com).

Figure 63 b : Algue microscopique *Scenedesmus subspicatus* (source : Centre international de l'eau de Nancy).

Figure 64 : Truitosem proposé par l'entreprise CIFEC (Source CIFEC).

Figure 65 : Exemple d'appareillage vidéo pour la surveillance des Truites d'un BehavioQuant (Source www.ists.unu.edu).

Figure 66 : Vue d'une Truite (Source www.nature-peche.com).

Figure 67 : Appareillage d'enregistrement et d'analyse pour un Biosensor (Source www.ists.unu.edu).

Figure 68 : Gymnotox de terrain à droite et Gymnotox exposé lors de l'exposition à gauche (Source L'eau, l'industrie et les nuisances, janvier 2005 et Aquarium de Nancy).

Figure 69 : Schéma d'instrumentation du Lamellibranche dans un Musselmonitor : 1=Lamellibranche, 2=bobines électriques, 3=fixation des bobines, 4=fixation du Lamellibranche sur l'appareil (Source www.ists.unu.edu).

Figure 70 : Vues de deux dispositifs différents de Musselmonitor (en ligne à gauche (Source www.ists.unu.edu) et compact à droite (Source www.mermayde.nl)).

Figure 71 : Vue d'un Lamellibranche utilisé pour le Musselmonitor (Source www.mermayde.nl).

Figure 72 : Daphnie grossie 50 fois (Source www.ists.unu.edu).

Figure 73 : Principe du Dynamischer Daphnientest (Source www.ists.unu.edu).

Figure 74 : Photo de Mollusques, type d'organismes utilisés pour le Mussel Watch (Source www.mermayde.nl).

Figure 75 : Cytochrome P-450 (Source James R. Halpert, Ph D., University of Texas).

Figure 76 : Exemple d'architecture générale du dispositif de mesure, d'acquisition et de traitement : cas de la station de Méréville sur la Moselle (54).

Figure 77 : Exemple de visualisation de courbes sur le système TOPKAPI (station de Montespan (31)).

Figure 78 : Description du contexte de la station d'alerte de St Denis l'Hôtel.

Figure 79 : Carte de localisation des 5 stations du réseau APES.

Figure 80 : Illustrations de 3 stations du réseau APES.

Figure 81 : Schéma hydraulique d'une station APES (analyses de base pour toutes les stations).

Figure 84 : Exemple d'interprétation des données suivies par APES (O₂ dissous) avec des données externes (pluie et déversement d'assainissement).

Figure 85 : Usine des eaux de Choisy-le-Roi, captant les eaux de la Seine.

Figure 86 : Réseau de stations d'alerte et de préleveurs-rejeteurs automatiques en amont de l'usine de Choisy-le-Roi.

Figure 87 : Carte du réseau des stations d'alerte du Département de la Haute-Garonne.

Figure 88 : Déroulement d'une alerte pollution des eaux dans le Département de la Haute-Garonne.

Figure 89 : Le Rhône à Arles (vue vers l'amont). Flotteur de prélèvement et conduite d'adduction.

Figure 90 : Dispositif de 5 filtres en parallèle pour échantillonnage discret des MES en crue à Arles.

Figure 91 : Synoptique de supervision de la station d'Arles.

Figure 92 : Vues extérieure et intérieure de la station d'alerte de Soba.

Figure 93 : Illustrations du bras HYDROMOBIL et du flotteur de prise d'eau de la station de Soba.

Figure 94 : Illustration du Truitosem de la station de Soba.

Figure 95 : Lieu de prélèvement des eaux brutes de la Moselle.

Figure 96 : Appareils de mesure physico-chimique de la station de Méréville.

Figure 97 : Platine de filtration tangentielle (barreau acier).

Figure 98 : Chaîne des biocapteurs de la station de Méréville.

Figure 99 : Photographies de quelques stations du réseau AQUAPOL.

Figure 100 : Carte des stations de mesures du réseau AQUAPOL.

Figure 101 : Schéma de collecte, transfert, validation et archivage des données du réseau AQUAPOL.

Figure 102 : Exemple d'écran de validation automatique des données du système AQUAPOL.

ANNEXES

Annexe 1 Liste indicative (non exhaustive) de fabricants, distributeurs et installateurs de dispositifs de mesure

1 - Préambule

Ce rapport de 2^{ème} phase de l'étude a pour objectif de dresser un état de l'art des moyens et dispositifs employés dans la réalisation de stations d'alerte et de surveillance de la qualité des cours d'eau, afin de présenter au Maître d'ouvrage et à ses partenaires, un inventaire actualisé des possibilités techniques en la matière, des avantages et inconvénients des différents systèmes, des ordres de grandeur de coûts d'équipement.

Après un rappel sur les considérations stratégiques et hydrauliques à prendre en compte pour l'installation d'une station d'alerte, le rapport dresse un état de l'art actualisé des différents dispositifs techniques présents sur le marché ainsi que des systèmes innovants encore en cours de développement.

Cet état des connaissances a été établi en valorisant les données disponibles dans la littérature et sur Internet, en contactant différents fabricants, distributeurs ou installateurs de dispositifs, et en étudiant de nombreuses documentations techniques commerciales.

Dans un dernier chapitre, le rapport présente une étude descriptive de plusieurs stations d'alerte unitaires ou en réseau, en France et en Belgique, pour des contextes de grands cours d'eau à proximité d'agglomérations importantes. Cette analyse, établie sur la base d'entretiens et de visites auprès des maîtres d'ouvrages ou gestionnaires, permet d'apprécier et de comparer les modalités stratégiques, techniques et financières employées par ces acteurs, pour atteindre leurs objectifs d'alerte ou de suivi de la qualité des eaux.

2 - Principes stratégiques et considérations hydrauliques relatifs aux dispositifs d'alerte ou de surveillance de la qualité des eaux superficielles pour les captages d'eau potable

2.1 Vulnérabilité des prises d'eau en rivière, principes stratégiques et choix de l'emplacement des stations d'alerte

Les captages d'eau potable impliquant une prise d'eau en rivière, ou encore des puits de pompage dans une nappe d'accompagnement d'un cours d'eau fortement alimentée par celui-ci, présentent une vulnérabilité importante vis-à-vis de l'aléa de pollution du cours d'eau (pollutions accidentelles ou chroniques : assainissement, industries, transports, navigation, malveillance...).

En effet, contrairement à la circulation hydraulique en milieu souterrain, les temps de transfert dans les cours d'eau sont très rapides (plusieurs kilomètres par heure ou par jour), et les responsables de captages d'eau potable doivent pouvoir réagir rapidement en cas de pollution des cours d'eau.

En cas de pollution accidentelle dans un cours d'eau, il s'agit de pouvoir détecter la présence d'une pollution dans le cours d'eau suffisamment en amont de la prise d'eau afin de pouvoir arrêter temporairement celle-ci le temps du passage du polluant, et de rétablir après vérification de l'absence de pollution, le fonctionnement normal du captage.

Pour les prises d'eau de surface, la vulnérabilité est d'autant plus forte qu'il n'existe aucun filtre naturel d'interception ou de filtration de l'eau captée entre la rivière et la prise d'eau. A noter que pour les captages en nappe alluviale, à proximité immédiate de cours d'eau, l'eau transite d'abord par les berges, puis par le milieu poreux souterrain jusqu'au puits, ce qui permet d'une part une réactivité plus importante du fait des temps de transit moins rapides (de l'ordre du centimètre au mètre par heure), et une filtration de l'eau – souvent efficace en terme d'abattement de pollution au niveau des berges – d'autre part.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 11

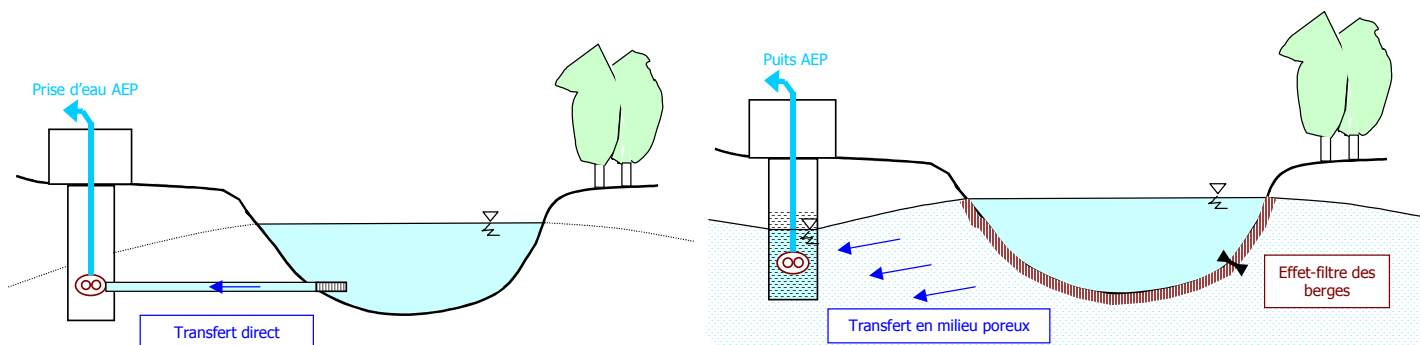


Figure 1 : Principes de captage d'eau en rivière ou en nappe d'accompagnement de cours d'eau, et transit de l'eau.

Les stations d'alerte qui mesurent la qualité des eaux en amont des captages pour certains paramètres permettant d'identifier une pollution, représentent des moyens efficaces de protection active des prises d'eau. Toutefois, étant donnée la rapidité des temps de transfert en rivière, ces stations nécessitent de mesurer la qualité des paramètres concernés avec un pas de temps réduit, qui s'assimile classiquement à de la mesure qualifiée de continue (pas de temps généralement horaires ou moindres, selon les paramètres mesurés). Pour des dégradations chroniques de la qualité des eaux (nitrates par exemple), la station de mesure joue plus le rôle d'un point de surveillance permettant de vérifier la régularité des concentrations de polluants, et l'écart des certaines valeurs par rapport au bruit de fond (suivi à caractère patrimonial).

Les vitesses de transfert dans les cours d'eau pouvant être très rapides, la zone amont de risques de pollutions (chronique ou accidentelles) à considérer est étendue et intéresse donc souvent des facteurs de risques nombreux et variés (ponts routiers, voies ferrées, sites industriels, parcelles agricoles en bordure des cours d'eau, affluents hydrauliques, rejets ponctuels...).

Concernant le choix de l'emplacement d'une station d'alerte, il s'agit alors de trouver un bon compromis entre :

- intégrer les facteurs de risques les plus importants (un inventaire et une hiérarchisation préalable s'avèrent nécessaires, ainsi qu'une étude des risques de transfert des polluants vers les cours d'eau), en positionnant la station en aval des risques considérés ;
- disposer d'un délai suffisamment long entre la détection d'une pollution à la station et la riposte au niveau de la prise d'eau (arrêt temporaire du captage le temps du passage de la pollution). Les automatismes et télégestions souvent associés aux dispositifs d'alerte permettent généralement de réagir rapidement au niveau des captages dès que la pollution est détectée, de l'ordre de l'heure si l'on inclut le temps d'une confirmation humaine de l'alerte (nécessité d'un service d'astreinte) ;
- vérifier l'absence de rejet entre la station d'alerte et la prise d'eau.

Dans de nombreux cas, les stations d'alerte sont situées suffisamment en amont pour disposer d'un temps de réaction ou riposte satisfaisant ; mais certains facteurs de risques peuvent alors ne pas être inclus dans le champ amont de détection de la station. Dans ces cas, il convient alors que les risques soient prévenus de façon maximale : par exemple, mise en place de barrières anti-déversement sur les ponts ou routes, ou encore système d'assainissement routier étanche, ou installations de systèmes de rétention de pollution en aval de sites fixes sujets à risques de déversement polluant...

Pour les sites à risques en exploitation (sites industriels par exemple, rejets de station d'épuration...), compris entre la station d'alerte et le captage d'eau, l'établissement et l'application de plans d'alerte conventionnés imposant l'information en temps direct à l'exploitant d'eau en cas de pollution accidentelle, intervient comme indispensable : il s'agit alors de « l'alerte humaine ».

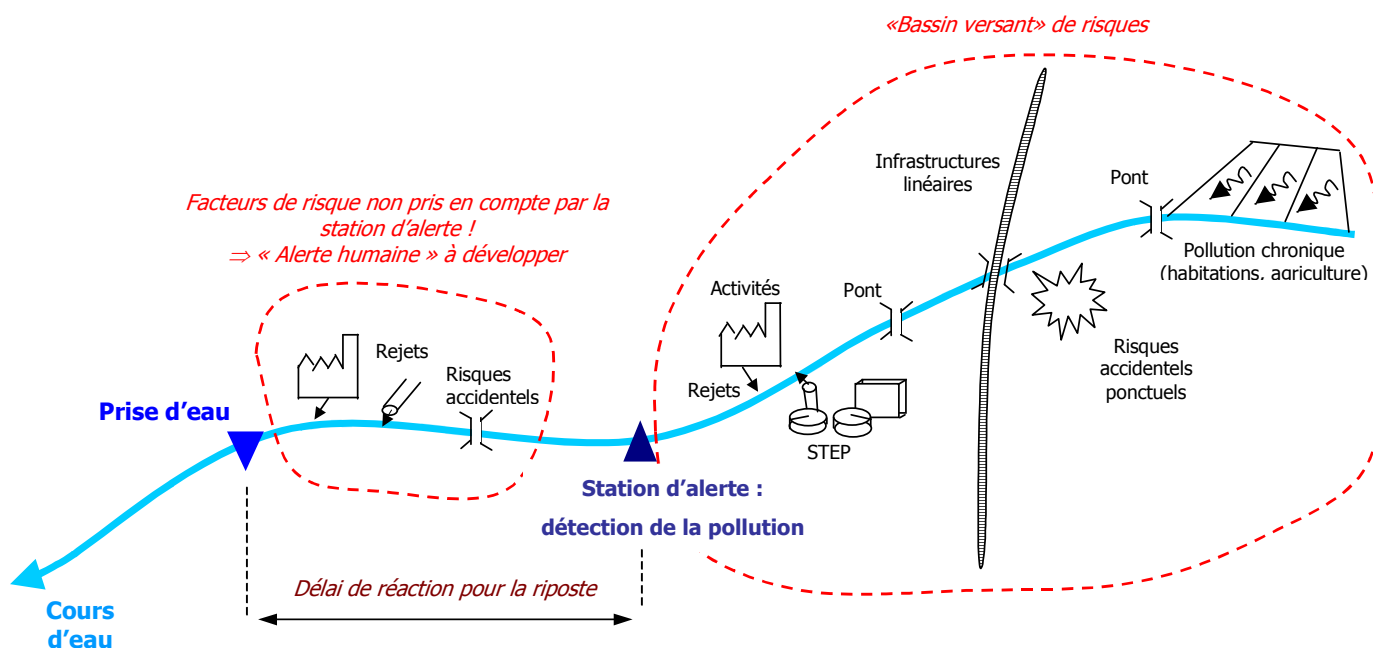


Figure 2 : Considérations stratégiques pour le choix de l'emplacement d'une station d'alerte.

L'implantation d'une station d'alerte doit donc être déterminée au vu des vitesses d'écoulement et de la dispersion latérale dans le cours d'eau. En général, les stations sont implantées à quelques kilomètres en amont de la prise d'eau, afin de disposer, selon les vitesses d'écoulement, d'un délai de réaction d'au moins 2 heures.

La position du point de prélèvement par rapport à la section du cours d'eau doit être définie après étude des courants et de la dispersion, afin que le prélèvement soit représentatif de la section de mesure.

2.2 Considérations techniques relatives au transfert et à la dispersion de pollutions en rivière

Lorsqu'une quantité de matière est rejetée (ponctuellement ou de façon continue) dans un cours d'eau, il se forme un nuage qui est soumis aux effets de la convection liée à l'hétérogénéité des vitesses, et de la dispersion (dans toutes les directions) ; cette dernière étant due à la diffusion moléculaire et surtout à la diffusion turbulente.

Pour présenter des résultats significatifs, l'implantation d'une station d'alerte doit correspondre à une section du cours d'eau bien mélangée longitudinalement et transversalement.

Selon la formule empirique de André et al.¹, les critères d'obtention de la distance de bon mélange se rapportent à la largeur du cours d'eau, son débit et ses conditions de turbulence.

Ainsi on peut retenir classiquement les ordres de grandeur de distances de bon mélange suivants.

¹ André, Mazeran et Dutillet, 1976 – Application de la formule théorique de Hull sur des rivières assez calmes du Massif central, dont les largeurs varient de 5 à 200 m. les auteurs approchent l'obtention du bon mélange à la distance D telle que : $D = k.L.Q^{1/3}$ avec L et Q largeur et débit moyens du cours d'eau, et k un coefficient globalisant la turbulence (de 8 si la turbulence est forte à 12 pour les rivières calmes à berges parallèles et rectilignes).

<i>Largeur du cours d'eau</i>	<i>Distance de bon mélange</i>
0 à 10 m	50 à 500 m
10 à 50 m	500 m à 2,5 km
50 à 200 m	2,5 km à 15 km

Tableau 1 : Ordres de grandeur de distances de bon mélange dans les cours d'eau.

Les enjeux de protection et d'alerte sont souvent liés à des rivières ou fleuves importants. On constate pour ces cours d'eau à régime fluvial (Rhône ou Seine par exemple), et hors singularité liée à un ouvrage hydraulique par exemple, que l'obtention du bon mélange hydrodispersif s'obtient généralement après plusieurs kilomètres en aval du point d'injection. Dans ces considérations, on constate que l'emplacement de la station doit être très en aval du bassin versant de risques à considérer si l'on s'attache à mesurer une section homogène et représentative de l'ensemble de la section en travers du cours d'eau.

Sur de tels cours d'eau, des opérations de traçage préalables à l'implantation de la station d'alerte sont très informatives et permettent :

- de mesurer les phénomènes de dispersion d'une pollution par diffusion liée aux courants, et par dilution compte tenu du débit d'écoulement ;
- d'identifier les distances réelles d'atteinte du bon mélange ;
- de mesurer les temps de transit et de caractériser la restitution des pollutogrammes en plusieurs points (pour les conditions hydrauliques du traçage).

L'analyse des conditions de dispersion et la détermination de pollutogrammes dans des conditions hydrauliques variables peuvent être également étudiés à l'aide d'un modèle hydrodispersif.

Les résultats de ces études dispersives doivent permettre, d'identifier si la distance de bon mélange peut être obtenue par rapport à certains risques identifiés. Si ce n'est pas le cas (rejets, risques potentiels trop proches en amont de la station), il convient d'étudier l'homogénéité spatiale de la section de mesure.

Pour cela, il importe de tester l'homogénéité verticale et latérale de la section choisie en prenant des échantillons à au moins trois profondeurs différentes et sur plusieurs verticales (5 à 8) : on peut ainsi, après analyse de certains paramètres (et les MES en particulier) s'assurer de la représentativité d'un spatiale d'un échantillon unique prélevé au milieu du fleuve ou plus généralement près de la berge.

3 - Etat de l'art des dispositifs techniques de prélèvement et de mesure équipant les stations d'alerte d'eaux de surface

Ce chapitre dresse l'inventaire des différents dispositifs et appareillages permettant de prélever, préparer et d'analyser automatiquement la qualité de l'eau d'une rivière, aménageables et utilisables au sein d'une station d'alerte.

L'étude inter-agences de l'eau n°75¹ rappelle que, quel que soit son degré de complexité et de sophistication, une station d'alerte ne pourra jamais identifier tous les produits gênants présents dans l'eau. La station ne détecte le plus souvent ceux-ci que par la mesure de paramètres globaux. Elle permet de donner l'alerte et d'orienter les recherches des polluants au laboratoire ; la station ne se substituant jamais à ce dernier.

¹ Etude inter-agences de l'eau n°75 – Protection des prises d'eau de surface. Quelles stratégies ?, 1999.

Cet état de l'art a été établi sur la base de données bibliographiques¹ complétées par une recherche auprès de plusieurs fabricants, distributeurs et installateurs de dispositifs de mesure. Une liste des principaux contacts est présentée en annexe 1.

3.1 Les équipements de prélèvement d'échantillons

3.1.1 Le prélèvement d'eau

Selon les cas, le prélèvement dans le cours d'eau est situé soit en berge à partir d'un support fixe (bras de prélèvement, ouvrage hydraulique), soit en position plus centrale dans la section du cours d'eau (généralement depuis un pont ou un ouvrage traversant le cours d'eau). Il est réalisé au moyen d'une ou plusieurs pompes immergées.

Bien qu'il soit nécessaire de vérifier les critères d'homogénéité de la section (bon mélange) préalablement à l'implantation de la station, il peut être très intéressant d'utiliser un dispositif de pompage permettant un prélèvement à différentes cotes de l'eau. Des mécanismes à bras articulés peuvent répondre à cet objectif. De nombreuses stations sont équipées d'un système à mâts mobiles développés spécifiquement pour ce type de prélèvements multi-niveaux. Les procédés du type Hydromobil (distribués et installés par la société française AQUACAN) à mâts oscillants (axe de prise d'eau mobile) sont bien adaptés à l'usage des prises d'eau des stations d'alerte, en particulier lorsque l'on souhaite pouvoir prélever en plusieurs points dans la section de mesure afin de constituer un échantillon moyen intégrant les éventuelles hétérogénéités spatiales.

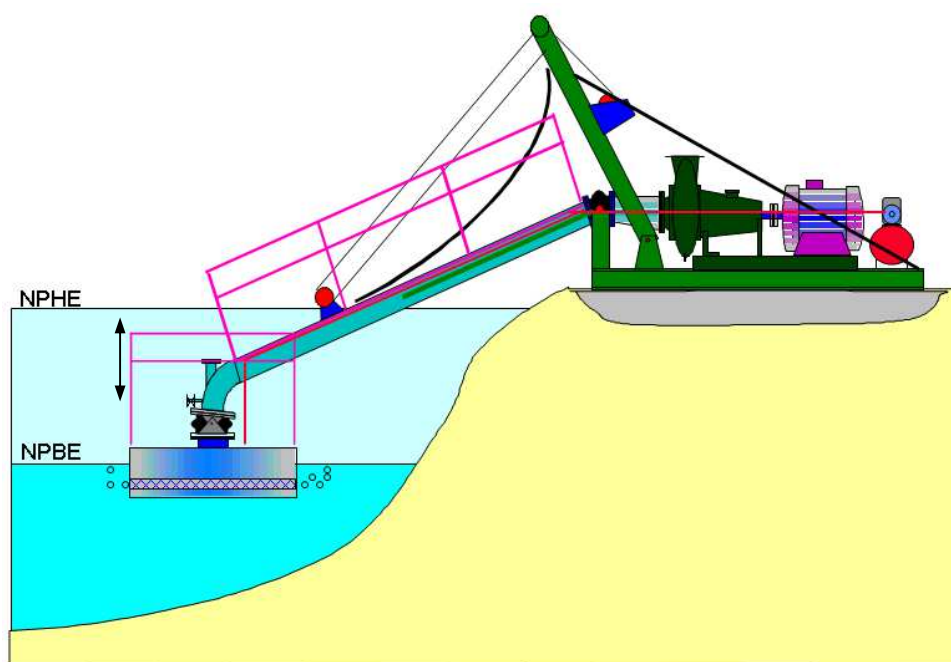


Figure 3 : Schématisation du procédé Hydromobil à mât oscillant (document AQUACAN).

¹ - L'eau, l'industrie, les nuisances 183, 1995, La détection des pollutions accidentelles par hydrocarbures dans les eaux pluviales, 4 p.
 - Hydroplus 60/01, 1996, Les méthodes d'analyse évoluent, 2 p.
 - Thomas M., TSM n°11/ 1997, Etat de l'art sur les systèmes biologiques d'alarme précoce utilisés dans la surveillance des eaux brutes destinées à la production d'eau potable, 7 p.
 - Agence de l'Eau Loire-Bretagne, avril 1994, Les stations d'alerte pour l'alimentation en eau potable, 76 p.
 - Riviere J-L., 1993, Les animaux sentinelles, Courrier de l'Environnement de l'INRA n°20, 5 p.



Figure 4 : Bras de prise d'eau et système de pompage de la station d'alerte de Ternay (69).

En plus de la prise d'eau en pleine rivière, certaines stations disposent d'une seconde prise flottante pour les prélèvements en surface d'eau libre, qui permet notamment un meilleur échantillonnage des polluants flottants comme les hydrocarbures.

Pour limiter les risques d'envasement ou d'obstruction, il est utile que le point de prélèvement d'eau ne soit pas situé à la profondeur maximale de la section (sur le radier), et qu'il soit précédé d'un ouvrage du type crépine.

Certaines stations sont équipées d'un dispositif de rétrolavage automatique par eau ou air comprimé de la prise d'eau.

L'amenée de l'eau à la station est réalisée par pompage au sein d'une conduite souple ou rigide. Celle-ci, tout comme les éléments constitutifs de la crépine, doivent être de préférence inertes vis-à-vis de la qualité de l'eau. L'emploi de matériaux en téflon ou en acier inox peut à ce titre être recommandé.

Par ailleurs, il est important que la distance entre la prise d'eau et les systèmes d'analyse ne soit pas trop grande afin de réduire les risques de transformation chimique du prélèvement au cours du transfert.

Les coûts d'un dispositif complet de prise d'eau et d'amenée à la station sont très variables selon le système retenu, la configuration de la berge, et la distance rivière-station. Dans l'installation d'une station d'alerte, ce poste est important : il peut s'établir entre 35 et 70 k€HT environ.

Enfin, dans tous les cas, il va de soi que les caractéristiques ou ancrages du dispositif de prise d'eau, des berges, du support et génie civil de la station d'alerte, doivent garantir la pérennité des installations face aux crues.

3.1.2 Les préleveurs échantillonneurs

Ces appareils permettent le prélèvement, pour conservation notamment en cas d'alerte à la pollution, d'échantillons d'eau. Ces échantillonneurs disposent plusieurs flacons en verre ou plastique (généralement 24 flacons) qui sont remplis par des pompes à vide ou des systèmes à pistons, à un pas de temps réglable.

L'utilité du dispositif est de pouvoir conserver l'historique des échantillons horodatés pour un événement polluant : analyses au laboratoire et éventuellement étude du transfert de la pollution pour identifier la (ou les) source(s) possible(s).

Il est important de pouvoir conserver les échantillons prélevés dans de bonnes conditions : ainsi certains échantillonneurs sont réfrigérés.

Les coûts d'investissement de ces dispositifs varient fortement selon la complexité (pompe, horodatage, réfrigération ou non) et la taille du préleveur : ils sont compris entre 3 et 15 k€HT.



Figure 5 : Illustrations de préleveurs échantillonneurs multi-flacons réfrigérés (document ISMA).

3.1.3 Les préleveurs rejeteurs

Par rapport aux préleveurs échantillonneurs précédemment présentés, les préleveurs rejeteurs fonctionnent selon le même principe mais en continu, et non pas uniquement à la suite d'une alerte. Les prélèvements et échantillonnages sont réalisés en permanence, et les eaux sont rejetées tant que les seuils d'alerte ou de conservation ou des échantillons n'ont pas été atteints. Pour chaque flacon, un nouveau prélèvement remplace l'ancien rejeté (les flacons sont vidés et rincés avant tout nouveau remplissage).

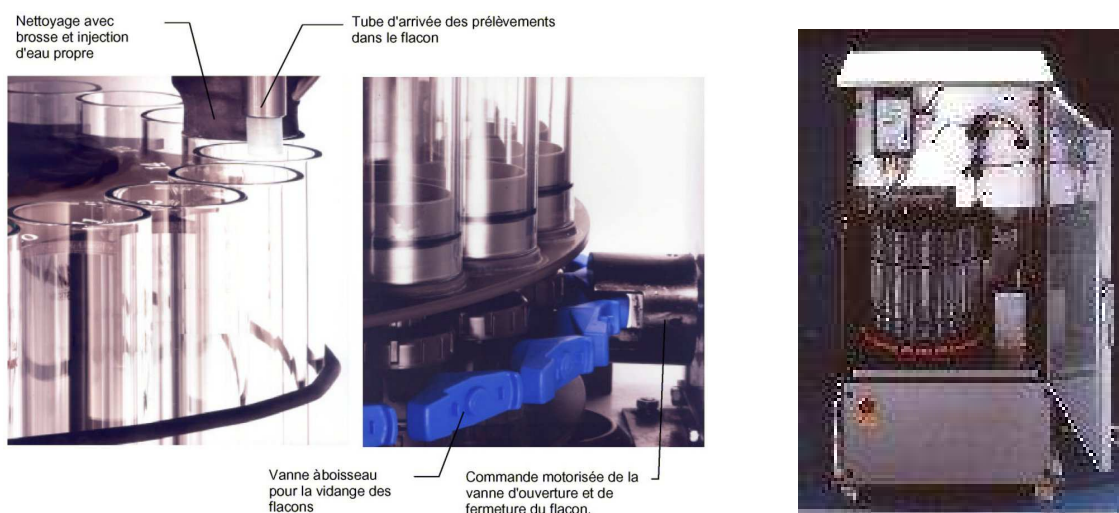


Figure 6 : Illustrations d'un préleveur rejeteur (document ISMA).

Le pas de temps réglable des prélèvements est défini par l'exploitant afin que l'ensemble des échantillons prélevés dans les flacons disponibles (généralement 24) couvre la totalité de l'événement polluant, dont on cherche à conserver l'historique et à tracer l'évolution de la qualité (analyses au laboratoire sur les échantillons conservés).

Bien entendu, ce dispositif alternatif peut aussi fonctionner en préleveur échantillonneur simple sur alerte.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 17

Le coût d'investissement de ces appareillages (réfrigérés) est d'environ 15 à 20 k€HT en moyenne.

3.2 Les dispositifs de mesures physico-chimiques de la fraction dissoute

3.2.1 Préparations préalables nécessaires à certaines analyses

Préalablement à certains procédés analytiques, il peut être nécessaire de préparer l'échantillon. Ce niveau de l'organisation du circuit hydraulique d'une station d'alerte se situe entre le prélèvement et la répartition entre les différents appareils d'analyse.

Le prétraitement de l'eau brute (« débouillage » à l'hydrocyclone par exemple) est important pour assurer un fonctionnement correct et pérenne de la station sans colmatage. Il convient en effet de faire circuler une eau peu chargée pour éviter le colmatage ou l'encrassement des réseaux, membranes et appareillages de mesure (colmatage des électrodes spécifiques, interférences de la turbidité sur les mesures par colorimétrie...).

Selon les besoins en analyse, ces différents procédés sont conduits en indépendamment, ou en série : certaines analyses nécessitent en effet de conserver certains caractères de l'échantillon prélevé (exemple : conservation de la matière organique pour la mesure du COT).

Les opérations préalables les plus courantes sont la filtration et la minéralisation.

3.2.1.1 Filtration de l'échantillon

Les opérations de filtration préalables à certaines analyses sont essentielles si l'on ne veut pas endommager certains systèmes de mesure : c'est en particulier le cas pour des analyseurs de métaux lourds par polarographie ou encore les analyseurs colorimétriques, qui nécessitent une très bonne filtration. La sensibilité des poissons utilisés dans les systèmes d'alerte biologiques nécessitent également de filtrer l'eau d'alimentation des aquariums.

La filtration est obtenue par passage de l'échantillon au travers de filtres (perpendiculairement ou tangentiellement : à débit équivalent, la filtration tangentielle étant plus efficace), membranes ou hydrocyclones, qui permettent différents niveaux de filtration : de 10 μm à 1 mm. Dans certains cas, la filtration peut être plus fine (entre 0,2 et 10 μm) : le filtre est alors souvent constitué d'un barreau d'acier fritté poreux, qui nécessite une vitesse de fluide tangentielle d'au moins 2 m/s (soit un débit d'environ 1,5 m³/h dans le cas d'un barreau de diamètre intérieur 16 mm). Le coût d'un tel banc hydraulique de filtration tangentielle est d'environ 6 k€HT.

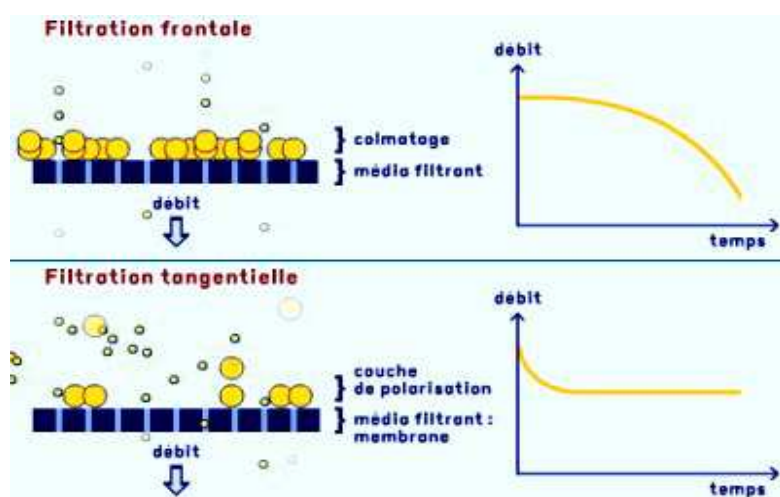


Figure 7 : Principes de la filtration frontale et de la filtration tangentielle (document SIVA).



Figure 8 : Un hydrocyclone débouleur (station d'alerte du Vieux Rhône (69)).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 18

On rappelle que le seuil généralement considéré pour la filtration des MES se situe à $0,45\ \mu\text{m}$. Cette filtration s'obtient grâce à des filtres pouvant fonctionner avec des débits de passage généralement compris entre 1 et $15\ \text{m}^3/\text{h}$.

3.2.1.2 Minéralisation de l'échantillon

La mesure de certains paramètres comme le COT ou les métaux lourds, nécessite classiquement une minéralisation de l'échantillon prélevé préalablement à la mesure. L'ensemble du prélèvement (fractions solide, colloïdale et dissoute) est minéralisé par mélange avec un acide (nitrique ou phosphorique par exemple), avec souvent un complément par passage aux rayons UV et/ou une oxydation au dioxygène (ce qui nécessite l'installation de bouteilles d' O_2 gazeux, dont le stockage doit répondre des conditions de stockage particulières).

Figure 9 : Stockage de dioxygène pour minéralisation à la station de Ternay (69).



3.2.2 Mesures de paramètres physico-chimiques simples



Ces paramètres physico-chimiques simples ne sont pas véritablement des indicateurs de pollution et leur utilisation en alerte est discutable. Cependant, ils permettent un suivi et des études statistiques intéressantes. Ces différents appareils peuvent être utilisés avec ou sans filtration ou hydrocyclone en prétraitement.

Figure 10 : Exemple d'implantation d'une sonde de mesure multicritères dans un cours d'eau (Source OTT).

3.2.2.1 Mesure de la température

Elle se mesure avec une sonde à température (thermomètre). Cependant, cet appareil est souvent intégré à d'autres instruments de mesure. Ainsi, les appareils de mesure du pH ou de la conductivité possèdent souvent des thermomètres intégrés. Ces paramètres dépendent relativement de la température.

On trouve ainsi de nombreuses sondes dites multicritères comme celle présentée en figure 11, qui mesurent un certain nombre de paramètres physico-chimiques simples.

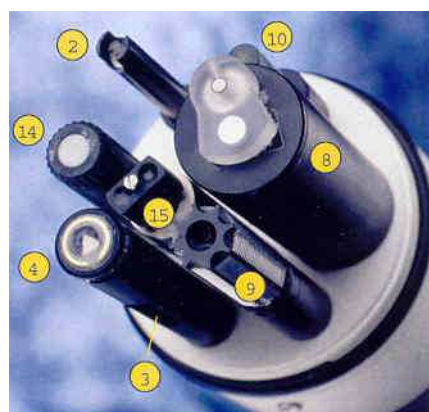


Figure 11 : Exemple de sonde multicritères : 2=capteur de pH, 3=capteur de conductivité, 4=capteur d' O_2 dissous, 8=mesure de turbidité, 9=TDG-capteur de gaz dissous, 10=mesure ammonium, 14=lumière ambiante, 15=électrodes de référence (Source OTT).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 19

Une sonde multi-paramètres comprenant une sonde de température coûte autour de 3900 €, la plage de mesure de celle présentée en figure 11 est de -5 à +50 °C, sa précision de +/- 0.2°C et sa résolution est de 0.01°C. On note cependant que les prix varient beaucoup selon le nombre de paramètres analysés et les constructeurs.

3.2.1.2 Mesure du pH et du potentiel rédox

Le principe de la mesure du pH est liée au couple rédox hydrogène/proton : $H_2 \leftrightarrow 2H^+ + 2e^-$. Le pH reflète la concentration de l'eau en ions H^+ . Pour cela, on mesure la différence de potentiel entre deux électrodes, dont l'une est une électrode de référence (souvent au calomel) et l'autre effectue la mesure (argent).



Figure 12 : Electrodes de mesure de pH classiques : en argent et au calomel (Source BAMO).

Les prix de tels appareils varient entre 300 et 650 €HT (2005). Cependant on note que cette mesure est souvent effectuée par des sondes multicritères telles que celle présentée en figure 11.

Exemple de caractéristiques techniques pour un pH-mètre HACH, mesurant également la température :

Paramètre mesuré	Tension	pH	Température
Plage de mesure	-1800 à +1800 mV	0 à 14	-5 à 105 °C
Résolution	+/- 0.1	+/- 0.01	+/- 0.1
Précision	+/- 0.2	+/- 0.005	+/- 0.3

Tableau 2 : Caractéristiques techniques d'un pH-mètre (Source HACH).

Le prix de cet appareil est d'environ 350 €HT (2005).

On note également que les appareils de mesure du pH proposent souvent une mesure concomitante du potentiel d'oxydoréduction (rédox) de l'eau étudiée. Ainsi, la figure 13 présente deux appareils proposés par Polymetron : l'un qui mesure pH et potentiel rédox avec la technique classique que l'on vient de présenter et l'autre qui mesure ces deux paramètres grâce à une technique différente par mesure de l'impédance par deux électrodes : l'une en verre et l'autre en antimoine.



Figure 13 : Deux appareils de mesure du pH et du potentiel rédox : à gauche avec électrodes au calomel et argent et à droite par mesure d'impédance avec électrodes de verre et d'antimoine (Source Polymetron).

Enfin, on note que la société EFS propose aussi avec sa sonde de mesure multi-paramètres une mesure du potentiel rédox à l'aide d'une électrode de platine. La gamme de mesure est alors de +/- 1000 mV.

3.2.1.3 Mesure de la conductivité

La conductivité mesure la capacité d'une eau à conduire un courant électrique entre deux électrodes. Une bobine est placée dans la sonde et crée ainsi un champ magnétique. Ce dernier provoque lui-même un courant électrique dans l'eau. Les tensions provoquées dans les bobines de réception sont mesurées et la conductivité de l'eau en est déduite.

La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.



Figure 14 : Sonde conductimétrique à gauche et son électronique associée à droite (Source BAMO).

Un capteur de conductivité coûte en général autour de 350 €, la plage de mesure va de quelques $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 100 mS/cm (S : siemens), la précision de +/- 1% de la valeur mesurée et la résolution de 4 digits.

3.2.1.4 Mesure de la turbidité

La turbidité peut être mesurée à l'aide de deux principes. Le principe classique est la néphélométrie et le second est l'analyse par spectrométrie.

L'analyse classique de la turbidité se base sur la mesure néphélométrique : il s'agit de l'analyse de la transmission et de la diffusion à 90° de la lumière par les particules de l'échantillon. Souvent, deux systèmes de réception de « lumière diffuse » permettent la prise en compte de l'encrassement non homogène de la mesure. La plupart des appareils disposent également d'un système autonettoyant de la cellule de mesure.

Une forte turbidité peut favoriser le développement de microorganismes en leur permettant de se fixer sur des particules solides. On considère généralement qu'une eau est trouble pour une turbidité supérieure à 50 NTU (normal turbidity unit).

Le tableau 3 présente les caractéristiques techniques pour 3 exemples d'appareil.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 21

Appareil de mesure de la turbidité	Turbidimètre autonettoyant avec principe de mesure à rayons lumineux à 90° OTT	Turbidimètre HACH, qui existe avec lumières blanche et infrarouge	Turbidimètre à faible charge SERES autonettoyant (source IR à 850 nm)
Plage de mesure	0 à 3000 NTU	0.01 à 1000 NTU	0-2, 0-5, 0-10, 0-100 NTU, configurables par l'utilisateur
Précision	+/-1% à +/- 5% en fonction de l'importance de la turbidité	+/- 2%	+/- 1% du bout de plage
Résolution	0.1 NTU de 0 à 400 NTU, 1 au delà de 400 NTU.		0.001 NTU sur la plage 0-5 NTU
Temps de réaction		6 secondes	2 minutes
Prix	Environ 5 k€HT	Environ 5 k€HT	

Tableau 3 : Caractéristiques techniques de différents turbidimètres existants sur le marché.



Figure 15 : Turbidimètre pour mesure en continu : à gauche appareil d'enregistrement, à droite dispositif de mesure (Source BAMO).

La société SIGRIST propose également un turbidimètre néphélométrique (modèle WTM500) fonctionnant de 0 à 200 NTU. Coût d'équipement : environ 12 à 15 k€. Matériel cher mais très performant et éprouvé avec succès pour de nombreux sites. Ce modèle élimine notamment les bulles d'air pouvant interférer avant la mesure

A noter que la société HACH fait également des mesures de MES par centrifugation puis séchage et étude du résidu sec (valeur en mg/l). SERES propose une sonde plongeante pour mesurer les très fortes turbidités.

La turbidité peut aussi être mesurée par spectrométrie. Cette technique est détaillée au paragraphe suivant. Elle permet d'obtenir pour la turbidité des mesures entre 10 et 5000 ppm.

3.2.1.5 Mesure de l'O₂ dissous

Il existe deux principes courants de mesure de l'oxygène dissous : un principe ampérométrique, traditionnel, et un principe optique.

Le principe optique tend à être favorisé, car il permet une mesure plus fiable sans aucune préparation ni polarisation et sans aucune maintenance. De plus, les appareils sont souvent robustes et simples d'utilisation.

Le principe traditionnel de mesure reste le principe ampérométrique à système potentiométrique à trois électrodes.



Il s'agit d'une électrode de travail, d'une électrode de référence et d'une contre-électrode. Celles-ci se situent dans un système électrolytique isolé de l'eau par une membrane perméable aux gaz. L'électrode de travail réduit la molécule d' O_2 en ions hydroxyde. Au cours de cette réaction électrochimique, un courant proportionnel à la teneur en O_2 dissous de l'échantillon se crée entre la contre-électrode et l'électrode de travail. A partir de ce signal, la sonde calcule la concentration en O_2 dissous à l'aide d'une table de solubilité. Cette méthode est assez fiable, rapide et reproductible. Cependant, elle nécessite de la maintenance et des consommables (les membranes doivent être changées régulièrement). La plage de mesure va de 0 à 60 mg/l pour des températures comprises entre 0 et 50°C et une pression inférieure à 10 bars. La précision de tels appareils est aux alentours de 1%.

Figure 16 : Sonde de mesure de l' O_2 dissous par le principe ampérométrique (Source Wallace Tiersan).

Le second principe est un principe optique (voir figure 17) : une lumière bleue produite par une LED est transmise à la surface de la sonde en contact avec l'eau. Cette lumière excite les matériaux qui vont émettre de la lumière rouge. Le délai entre l'émission de lumière bleue et celle de lumière rouge est mesuré. Il est corrélé à la concentration en O_2 dissous. En effet plus ce délai est court, plus la concentration en O_2 dissous est élevée.

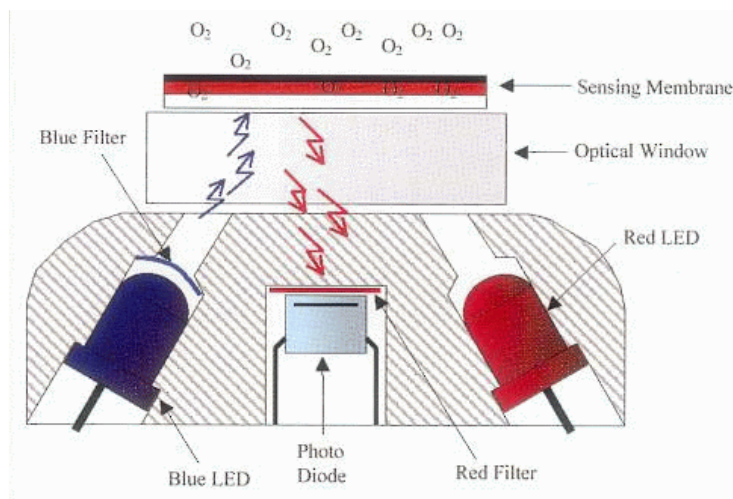


Figure 17 : Principe de la mesure optique de l' O_2 dissous (Source NEREIDES, optode AANDERAA).

Bien souvent, ces capteurs d'oxygène dissous sont combinés à des capteurs de température et de pression. Les plages de mesure sont alors les suivantes : 0.01 à 20 mg/l d' O_2 dissous, soit de 0 à 200% de saturation, de 0 à 50 °C pour les températures, et de 100 à 400 mbars pour la pression. La résolution pour O_2 est de 0.01 mg/l, la sensibilité de +/- 0.05% et la limite de détection de 0.01 mg/l. Le temps de réponse est inférieur à 30 secondes et il n'y a pas d'interférences avec d'autres éléments. Les avantages de cette méthode sont les suivants : peu voire pas de maintenance ni de consommables, facilité d'utilisation, réponse rapide.



Figure 18 : Sonde de mesure de l' O_2 dissous par principe optique (Source HACH-LANGE et Polymetron).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 23

Le prix moyen de tels appareils s'établit à environ 600 €.

La société ELTA propose une sonde électrochimique de type galvanique, dont les caractéristiques techniques sont les suivantes :

- de 0 à 199.9 µg/l à +/- 0.1 µg/l et avec une répétabilité de +/- 1 µg/l ou 2% de la mesure.
- de 0 à 1999 µg/l à +/- 1 µg/l et avec une répétabilité de +/- 5 µg/l ou 2% de la mesure.
- de 0 à 19.99 µg/l à +/- 0.01 µg/l et avec une répétabilité de +/- 0.05 µg/l ou 2% de la mesure.

Le temps de réponse est inférieur à 30 secondes.

La sonde galvanique de EFS présente quant à elle une gamme de 0 à 20 mg/l à +/- 0.2 mg/l pour des mesures automatiques toutes les 10 minutes.

3.2.3 Mesures de paramètres organiques globaux

Ces deux types d'analyses permettent d'obtenir une information sur la quantité de matière organique présente dans l'eau. Cette dernière peut être liée à différentes pollutions. De plus, elle permet le développement de bactéries qui sont généralement indésirables pour une production d'eau potable. Plusieurs paramètres existent pour évaluer la quantité de matière organique présente dans l'eau : la Demande Biologique en Oxygène (DBO), la Demande Chimique en Oxygène (DCO) et le Carbone Organique Total (COT).

3.2.3.1 Méthodes de mesure du carbone organique total (COT)

Il existe pour cette mesure différentes méthodes. La méthode classique consiste en l'oxydation de la matière organique, puis mesure infrarouge du CO₂ produit. Mais il existe aussi des mesures par absorption UV à 254 nm ou par spectrométrie entre 190 et 720 nm de longueur d'onde. Enfin, des techniques de mesures haute température se sont développées.

- *Méthode avec oxydation de la matière organique*

Le principe classique de cette analyse est fondé sur l'oxydation des matières organiques en gaz carbonique. L'analyse du CO₂ formé est ensuite réalisée par infrarouge.



Pour cet appareil de mesure, c'est une oxydation à froid du carbone organique qui est utilisée, après élimination du carbone minéral. Le CO₂ purifié est ensuite mesuré par IR. La plage de mesure s'étend de 0 à 1000 mg/l de carbone et il y a un système de dilution automatique pour les plages supérieures. Le minimum détectable est de 0.25 mg/l sur la plage de 0 à 5 mg/l. La précision en bout de plage est de +/- 2%.

Figure 19 : Appareil de mesure du carbone organique total (Source SERES).

- *Méthode avec absorption UV*

Cette technique permet d'obtenir des données quantitatives et qualitatives sur les matières organiques présentes dans l'eau. Le principe consiste à mesurer la densité optique de l'échantillon ou une différence de densités optiques.

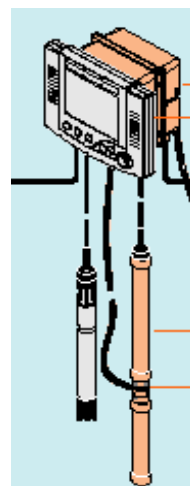


Figure 20 : Appareils de mesure de l'absorption UV à 254 nm (Source SERES à gauche et WTW à droite).

L'appareil présenté en figure 20 (à gauche) mesure et fait la différence entre les densités optiques (DO) à 254 et à 546 nm. Sa plage de mesure va de 0 à 20 DO/m. L'appareil WTW (à droite) convertit directement la mesure en concentration. Il présente une plage de mesure allant de 0.1 à 800 mg/l avec une précision de +/- 3%.

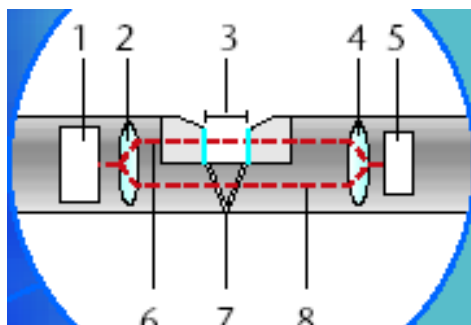


Figure 21 : Principe de l'absorption UV

1 = source lumineuse, 2 = système optique, 3 = fenêtre de mesure, 4 = système optique récepteur, 5 = détecteur, 6 = système de mesure, 7 = système de nettoyage par air comprimé, 8 = faisceau de référence (Source WTW).

L'avantage de cette mesure est qu'elle est rapide et qu'elle n'utilise pas de consommables, ni de produits chimiques.

On note cependant que les différents types de matières organiques ne sont pas différenciés avec ce type d'appareils et les matières organiques dissoutes ne sont pas vraiment mesurées avec cette méthode. De plus il est nécessaire de bien connaître la qualité des eaux en fonction des saisons pour une bonne gestion des données acquises.



La gamme de mesure se situe en général entre 0 et 300 mg/l. Ce type d'appareil coûte aux environ 17 k€.

Figure 22 : Exemple d'appareil de mesure des matières organiques par UV à 254 nm (Source dtli).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 25

- *Méthode spectrométrique*

Cette méthode consiste en la mesure de la totalité du spectre entre 200 et 385 nm ou entre 190 et 720 nm : plusieurs parcours optiques sont possibles. La turbidité est mesurée et compensée en général dans les appareils proposant cette technique. Cette méthode ne demande ni filtration, ni réactifs particuliers et le système peut être installé directement dans le flux ou en dérivation. Le nettoyage de l'appareil se fait par air comprimé : il peut être automatisé.

Cet appareil permet de suivre différents paramètres simultanément. L'analyse comparative des spectres d'absorbance par un logiciel de chimiométrie performant et la disponibilité de nombreux modèles de pré-calibrage permet une mise en oeuvre fiable très rapide.



Figure 23 : Analyseur spectrophotométrique (Source ANAEL S.A.S.).

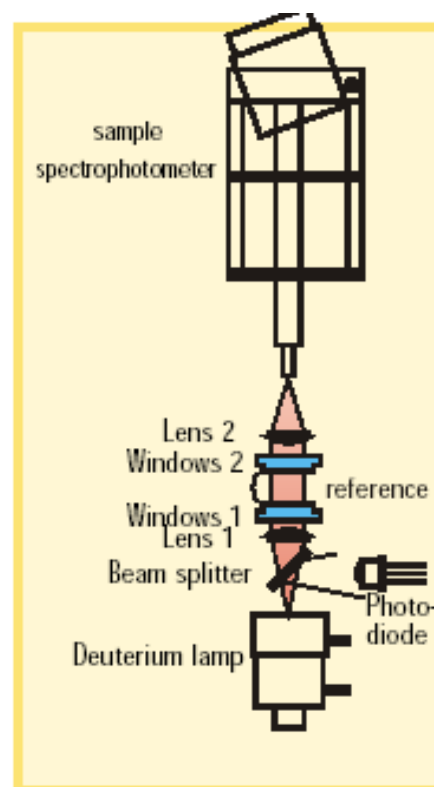


Figure 24 : Principe de la spectrophotométrie (Source ANAEL S.A.S.).

Cette technique permet pour la mesure du COT une gamme comprise entre 0.05 et 500 mg/l.

Remarque concernant les spectres d'absorption :

Une substance chimique absorbe à des longueurs d'onde caractéristiques du spectre UV/visible (190-720 nm ou 200-398 nm), laissant ainsi une signature spécifique. L'analyseur de la société ANAEL dispose de 256 canaux (détecteur ZEISS MMS) afin d'enregistrer un spectre et a été spécialement conçu pour la détermination rapide et précise de la teneur en carbone organique et en nitrates. La sonde est fournie avec une précalibration, mais offre néanmoins la possibilité d'établir des nouvelles calibrations (linéaire, non-linéaire, polynomial, ajustement...).

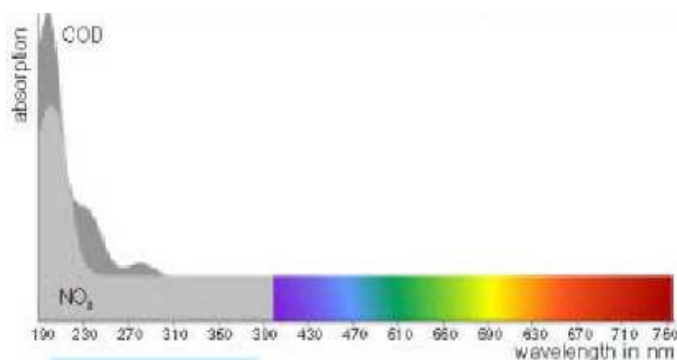


Figure 25 : Exemple d'un spectre d'absorption (Source ANAEL S.A.S.).

Le prix moyen de ces analyseurs spectrophotométriques est d'environ 20 k€.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 26

- *Méthode de mesure haute température*

Cette technique consiste en la combustion et l'oxydation thermique à plus de 1200°C de l'échantillon prélevé automatiquement par l'appareil. A cette température, la combustion de l'échantillon est complète quelle que soit la composition de sa matrice organique ou inorganique. Après combustion, le gaz passe à travers un condenseur maintenu à 4°C, puis est envoyé sur une cellule ZrO_2 (oxyde de zirconium) pour détecter la concentration en O_2 résiduelle. Cette technique ne fait donc intervenir ni réactif ni catalyseur. De plus, elle ne nécessite aucune filtration.



Figure 26 : Analyser de DCO et COT Haute Température (Source ANAEL S.A.S.).

La reproductibilité des mesures est d'environ 2% et le temps de réponse est compris entre 1 et 3 minutes. La maintenance est réduite.

Les plages de mesure permise par cette technique pour la mesure du COT sont les suivantes : 50-2000 ppb / 0,1-200 ppm / 5-4000 ppm / 100-50 000 ppm COT.

Les figures 27 et 28 présentent les systèmes de préparation automatique des échantillons et le principe du four de chauffe.

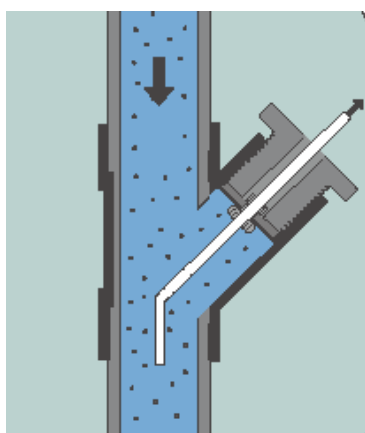


Figure 27 : Système de préparation automatique de l'échantillon (Source ANAEL S.A.S.).

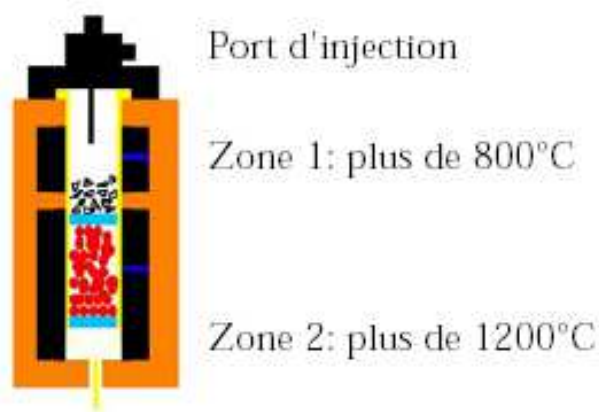


Figure 28 : Four de chauffe (Source ANAEL S.A.S.).

Les prix de tels appareils de combustion à plus de 1200 °C s'échelonnent entre 30 et 40 k€ HT. Ce type d'appareil permet également d'autres mesures comme celles de la DCO ou de l'azote.

3.2.3.2 Méthodes de mesure de la demande chimique en oxygène (DCO)

Il existe plusieurs techniques de mesure de ce paramètre : la méthode d'oxydation de la matière organique par des radicaux hydroxydes, la spectrométrie entre 190 et 720 nm et une méthode haute température.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 27

- *Méthode de mesure haute température*

Il s'agit de la même méthode que celle utilisée pour la mesure du COT présentée précédemment. Pour la mesure de DCO, son temps de réponse est de 1 à 4 minutes.

Les plages de mesure permises par cette technique sont les suivantes : 0-12000 / 400-150000 mg/l DCO. La reproductibilité des mesures est de 2%.

- *Mesure de la DCO par spectrométrie UV*



Cet appareil ne nécessite pas de filtration, ni de réactifs particuliers. La gamme de mesure pour les eaux potables s'étend de 0 à 100 m^{-1} . La répétabilité de la mesure à 10 m^{-1} est de 0.1 m^{-1} .

Le prix d'un tel appareil est d'environ 15 k€.

Figure 29 : Appareil de mesure de la DCO par spectrométrie UV (Source dtli).

- *Mesure de la DCO par spectrophotométrie*

L'appareil de spectrophotométrie présenté pour la mesure du COT permet également la mesure de la DCO pour une gamme comprise entre 0.05 et 500 mg/l.

L'appareil AQUAPOD proposé par HOCER IS, présenté dans le chapitre « Détection des hydrocarbures et HAP », permet également la mesure de la DCO par spectrophotométrie. Les seuils de détection sont plus faibles avec cet appareil : ils sont de l'ordre du $\mu\text{g/l}$.

- *Mesure de la DCO par oxydation de la matière organique*



La matière organique peut être oxydée par des radicaux hydroxydes. Ce système ne demande pas de filtration et ne met en jeu aucun réactif dangereux ou polluant. La gamme de mesure s'étend ici de 1-100 à 1-100000 ppm de DCO avec une précision de 5%. Le calibrage peut être manuel ou automatique. Enfin la mesure est rapide : 2 minutes.

Figure 30 : Analyseur de DCO par oxydation de la matière organique par des radicaux hydroxydes (Source ANAEL S.A.S.).

Il existe aussi des systèmes mettant en jeu une oxydation des matières organiques par eau oxygénée dans un réacteur UV. La quantité de réactif injectée pour établir la différence en O_2 dissous est proportionnelle à la DCO. La plage ajustable est alors de 0.5 à 100/6000 mg/l de DCO. La société INATECH propose par exemple ce type de dispositif.

3.2.3.3 Méthode de mesure de la DBO

La DBO peut être mesurée en 4 minutes par un appareil proposé par ANAEL S.A.S. (voir figure 31). Il mesure l'activité de bactéries en suivant la consommation en oxygène. Il ne nécessite aucun réactif et fournit de bonnes corrélations avec la DBO₅ mesurée en laboratoire.



Figure 31 : Analyseur de DBO en 4 minutes (Source ANAEL S.A.S.).

3.2.4 Mesures physico-chimiques spécifiques

3.2.4.1 Mesure de l'azote total

Il existe un système proposé par la société INATECH qui détecte l'azote par rayonnement infrarouge (IR). Aucun catalyseur n'est nécessaire. La plage de mesure est ajustable entre 0 et 20 à 1000 mg/l. Sous oxygène à 1150°C, toute substance azotée est rapidement oxydée en NO₂.

L'azote total peut aussi être mesuré, comme les matières organiques, par le principe de combustion thermique à 1200°C. Cette combustion ne demande pas de catalyseur, ni d'autres réactifs. La détection de NO_x se fait ensuite par chimiluminescence.

La plage de mesure de ces appareils s'étend de 0 à 200 ppm d'azote et le temps de réponse est de 3 minutes.

Figure 32 : Sonde d'analyse de l'azote total selon le procédé haute température (Source ANAEL S.A.S.).

On note que le spectrophotomètre présenté pour la mesure du COT peut également mesurer l'azote total par ajout d'un détecteur supplémentaire qui enregistre les pics de NO_x par chimiluminescence.

La société INATECH propose également des sondes immergées autonomes. Elles mesurent les paramètres NH₄⁺ (ammonium), NO₂⁺, NO₃⁻ (nitrate) et PO₄³⁻ (phosphate) avec une limite de détection de 1 ppb. Il s'agit d'analyseurs séquentiels colorimétriques ou à électrodes spécifiques. La filtration et la dilution automatiques sont intégrées.

Une unité externe de digestion permet la mesure séquentielle de l'azote total et du phosphore total. D'autres paramètres peuvent également être mesurés : aluminium, chlorures, cyanures libres, CO₂ dissous, chrome hexavalent (Cr⁶⁺), phénols, fer, manganèse, fluor, sodium, potassium, silice, cuivre.



RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 29



Figure 33 : Sonde immergée autonome : détail à gauche et électronique associée à droite (Source INATECH).

3.2.4.2 Mesure de l'ammoniaque

La présence d'ammoniaque est indicateur d'une activité biologique dans l'eau qui est indésirable pour la production d'eau potable.

Il existe trois méthodes courantes pour la mesure de l'ammoniaque dans les eaux : une méthode colorimétrique, une méthode spectroscopique et une méthode à électrodes spécifiques (potentiométrique).

- *Méthode colorimétrique*



Le principe de fonctionnement de la colorimétrie est le suivant : une lampe délivre une lumière blanche et un filtre coloré permet de sélectionner une longueur d'onde donnée. Une photodiode délivre un courant électrique proportionnel à l'intensité lumineuse transmise par l'eau étudiée.

Les sondes multi-paramètres SERES permettent ainsi de mesurer la concentration en ammoniaque. Cette mesure nécessite cependant une filtration préalable.

Figure 34 : Sonde multi-paramètres SERES 2000 qui mesure notamment l'ammoniaque par colorimétrie (Source SERES).

- *Méthode potentiométrique*

La méthode potentiométrique permet la mesure d'une force électromotrice créée à l'intérieur d'une solution par des particules chargées. Les électrodes spécifiques sont capables de mesurer l'activité de l'ion ammonium en solution, en évaluant la différence de potentiel formée de part et d'autre d'une membrane sensible à cet ion. Cette membrane sépare un liquide de composition stable de la solution à mesurer.

Un système de mesure par potentiométrie se compose donc de 2 électrodes : une de référence caractérisée par un potentiel stable et une de mesure dont le potentiel varie en fonction de l'activité de l'ion étudié. C'est en mesurant la variation de différence de potentiel entre ces 2 électrodes que l'on détermine l'activité et la concentration en ion ammonium.

Figure 35 : Appareil de mesure de l'ammoniaque par potentiométrie (Source Polymétron).



La répétabilité de ce type de système est de +/- 0.01 mg/l ou de +/- 5% de la mesure. La limite de détection est de 0.01 mg/l de N-NH_4^+ .

- *Méthode spectrométrique*

Ce principe de mesure est basé sur le spectre d'absorption de la lumière UV du gaz d'ammoniac NH_3 en équilibre avec l'ammoniaque dissous dans l'échantillon d'eau. Une petite quantité d'hydroxyde de sodium (soude) est ajoutée à l'échantillon pour augmenter son pH et transformer les ions ammonium (NH_4^+) en ammoniaque dissous NH_3 . Une opération mathématique transformée de Fourier (FFT) est appliquée sur le spectre pour extraire le signal d'absorption typique au gaz ammoniac.

Cette méthode est très sélective et il n'y a aucune interférence sur les eaux de rivières ou les eaux résiduaires. La turbidité ou la couleur de l'eau n'ont aucune influence sur la mesure puisque celle-ci est effectuée en phase gazeuse. Les eaux résiduaires avec des solides en suspension tels que les boues activées peuvent être analysées sans filtration.

Cette méthode est connue depuis 1956 mais exige un traitement mathématique des signaux que seuls de puissants microprocesseurs (mais aujourd'hui accessibles) peuvent effectuer.

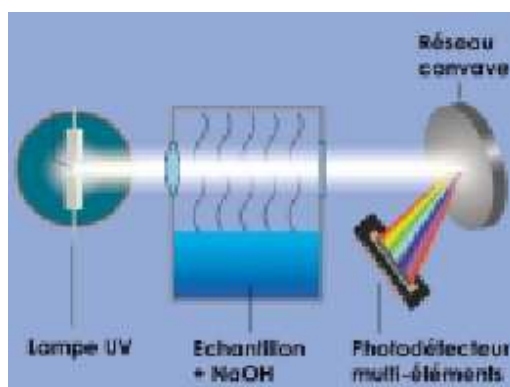


Figure 36 : Principe de la mesure de l'ammoniaque par spectroscopie UV (Source AWA-instruments).



A l'opposé des systèmes à électrodes, la stabilité des mesures évite ici l'utilisation de solutions étalons coûteuses. Un zéro automatique est réalisé à chaque cycle de mesures. Cet appareil existe aussi en sonde multi-paramètres (AWA-instruments).

Le coût de la maintenance est limité au remplissage du réservoir de 2 litres de la solution de nettoyage toutes les semaines avec 5% d'acide sulfurique et de l'eau déminéralisée.

Les gammes de mesure s'étendent de 0 à 10 mg/l à 0 à 500 mg/l d'ammoniaque. La répétabilité est de +/- 0.05 mg/l. La limite de détection de ce type d'appareil est de 0.1 mg/l et la précision d'étalonnage d'environ 2%.

Ce type d'appareil coûte environ 22 000 €.

Figure 37 : Analyseur d'ammoniaque par spectroscopie UV (Source DTLI).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 31

- *Comparaison des différentes méthodes de mesure de l'ammoniaque*

Méthode	Spectrométrie	Electrodes spécifiques (potentiométrie)	Colorimétrie
Temps de mesure	5 min	> 5 min	> 5 min
Interférence avec couleur et turbidité	Non	Non	Oui (ou filtration nécessaire)
Solution standard	Pas utile	Inévitable (dérive)	Nécessaire
Référence pour réactifs spécifiques	Non	Oui	Oui
Changement périodique d'électrodes, lampe ou autre	Non	Oui	Oui
Maintenance	+	+++	+++
Système de nettoyage automatique	Oui	---	---
Coût de maintenance	Bas	Moyen	Elevé
Dimensions	Compact	Grand	Grand
Temps d'installation et de réglage	Rapide	Long	Long

Tableau 4 : Comparatif des différentes méthodes de mesure de l'ammoniaque (Source AWA-instruments).

3.2.4.3 Mesure des nitrates

Les nitrates peuvent être mesurés par différents systèmes faisant appel à de nombreux principes de mesure. Ainsi, on recense des systèmes optiques basés sur l'absorption UV (avec cellule de mesure fermée pour les lampes au xénon et des cellules de mesure ouverte pour les lampes au deutérium), des systèmes photométriques et spectrométriques qui souvent sont combinés. Il existe aussi des méthodes faisant intervenir des électrodes spécifiques, la colorimétrie ou encore l'ampérométrie, mais ces méthodes sont moins souvent commercialisées. Ces dernières méthodes sont utilisées pour des mesures par des sondes multi-paramètres comme celles proposées par SERES (SERES 1000 et SERES 2000) ou AWA-instruments (voir figure 37).



Figure 38 : Analyseur de nitrates en continu par électrodes sélectives (Source WTW).

En outre, on note pour les électrodes sélectives qu'elles présentent des risques de fuite et des problèmes de nettoyage les rendant mal adaptées aux mesures en continu.

L'appareil présenté en figure 46 permet aussi la mesure des nitrates avec des électrodes sélectives.

- *Mesure par absorption UV*

Le principe de mesure est basé sur une forte absorption de la lumière UV par le chromophore NO à une longueur d'onde comprise entre 210 et 220 nm suivant la loi de Beer-Lambert, qui est non linéaire.

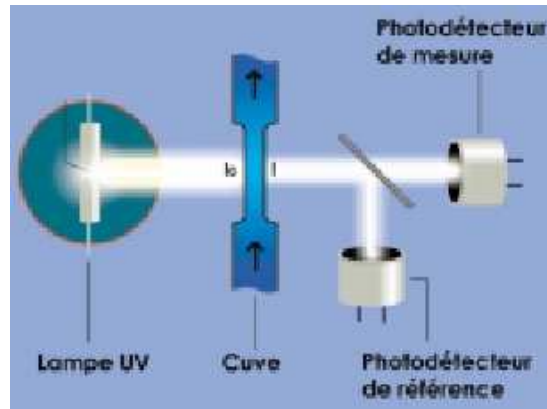


Figure 39 : Principe de la mesure des nitrates par absorption UV (Source AWA-instruments).

Une courbe de linéarisation interne compense automatiquement la non linéarité de cette loi pour les fortes concentrations. La mesure est la somme des concentrations des nitrites et nitrates mais dans la plupart des applications la concentration en nitrites est négligeable devant celle des nitrates.

Un filtre complémentaire calé à une longueur d'onde de référence compense automatiquement la turbidité, la matière organique, les matières en suspension et l'encrassement de la cuve. Les chlorates et les chlorites à de fortes concentrations sont les seules substances inorganiques qui peuvent interférer avec la mesure mais très généralement, ils ne se rencontrent pas dans l'eau potable ou les eaux résiduaires urbaines.

Le coût de la maintenance est limité au remplissage du réservoir de 2 litres de la solution de nettoyage toutes les deux semaines avec 5% d'acide sulfurique et de l'eau déminéralisée.



Figure 40 : Exemple d'appareil de mesure des nitrates par spectrométrie UV (Source dtli).

Appareil	Plage de mesure	Répétabilité et précision correspondantes
Appareil AWA-instruments	0 à 100 mg/l NO_3 (ou plus sur demande)	Répétabilité de +/- 0.1 mg/l de NO_3
Appareil dtli NT200	0 à 250 mg/l NO_3	Entre 0 et 100 mg/l : précision : +/- 2% de la mesure sur eau claire dans la plage 0 - 100 mg/l NO_3 . résolution : meilleure que 0,1 mg/l NO_3 . Entre 100 et 250 mg/l : la précision de mesure se dégrade pour atteindre +/- 10% en fin d'échelle.
Appareil dtli NT2000	0 à 1000 mg/l NO_3	Entre 0 et 500 mg/l : précision : +/- 3% de la mesure sur eau claire dans la plage 0 - 500 mg/l NO_3 . résolution : meilleure que 0,5 mg/l NO_3 . Entre 500 et 1000 mg/l : la précision de mesure se dégrade pour atteindre +/- 15% en fin d'échelle.

Tableau 5 : Caractéristiques techniques de deux appareils de mesure des nitrates par absorption UV (Source AWA-instruments et dtli).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 33

Le prix moyen de tels appareils est d'environ 17 000 €.

- *Mesure par spectrophotométrie*

On note tout d'abord que l'appareil de spectrophotométrie présenté pour la mesure du COT permet également la mesure des nitrates pour une gamme comprise entre 0.05 et 250 mg/l.

La société SERES propose le SPECTROFLUX pour la mesure des nitrates. Il s'agit d'un spectrophotomètre à flux continu. Un réseau holographique et une barrette de photodiodes permettent de balayer le spectre de 190 à 820 nm. L'analyse du spectre associée à un traitement multi-variables des données assure l'élimination des interférences avec les acides humiques et la turbidité. Cette analyse ne demande ni réactif, ni étalonnage. La mise en service est instantanée.

Cet appareil permet également la mesure des matières organiques.

La plage de mesure de cet appareil pour les nitrates est de 0-10 à 0-200 mg/l. Le minimum détectable est 1 mg/l avec une précision de +/- 5%.



Figure 41 : Appareil de mesure des nitrates par spectrophotométrie (Source SERES).

De même, la société ANAEL S.A.S. propose un spectromètre UV/visible (cf. figure 42) qui mesure la densité optique à double longueur d'onde et compense la turbidité et le vieillissement de la source. Il permet une analyse en continu sans réactif.



Figure 42 : Analyseur de nitrates en continu par spectrophotométrie UV visible (Source ANAEL S.A.S.).

Enfin, EFS propose un appareil équivalent qui présente une gamme de mesure de 0 à 100 mg/l NO_3 . Chez Polymetron, la gamme de mesure s'étend de 0-80 mg/l NO_3 .

3.2.4.4 Mesure des phosphates

Les phosphates peuvent être mesurés en continu par colorimétrie ou titrimétrie.



L'appareil proposé par la société Polymetron mesure les phosphates par titrimétrie automatique.

Les appareils de EFS et INATECH mesurent les phosphates par colorimétrie et proposent respectivement les plages de mesure suivantes : de 0.1 à 3 ppm avec une précision de +/- 2% et une plage ajustable entre 0.01 et 2 à 30 mg/l de P total. L'appareil proposé par INATECH réalise la colorimétrie après oxydation en continu de l'échantillon dans un réacteur sous UV.

Figure 43 : Appareil de mesure du P total par colorimétrie (Source INATECH).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 34

3.2.4.5 Mesure de la dureté

Les appareils SERES 1000 et 2000 réalisent la mesure de la dureté de l'eau. La société HACH propose également des appareils de mesure de ce paramètre en continu. La plage de mesure s'étend entre 10 à 10000 mg/l de CaO.

HACH propose aussi un appareil de mesure de l'alcalinité par titration et colorimétrie.

3.2.4.6 Mesure des nitrites

Les nitrites sont mesurés par différentes méthodes (colorimétrie, potentiométrie, titrimétrie), le plus souvent par des sondes multi-paramètres. Les sondes SERES 1000 et 2000 permettent cette mesure.

3.2.4.7 Mesure des métaux lourds

On trouve aujourd'hui peu de sociétés proposant des appareils de mesure des teneurs de l'eau en métaux lourds, avec des seuils de quantification assez bas. Ceux rencontrés sont en grande majorité basés sur le principe de la polarographie. Les teneurs en métaux peuvent également être mesurées par colorimétrie mais l'automatisation de cette technique est beaucoup plus problématique et elle peut présenter des problèmes d'interférences... Cependant, les sondes SERES 2000 et 1000 proposent la mesure par colorimétrie et potentiométrie de façon assez fiable pour les métaux suivants : Pb, Zn, Ni, Mn, Cu, Al.

Le principe de la polarographie est basé sur la mesure de pics de différence de potentiel. On parle aussi de polarographie différentielle impulsionnelle.

Les techniques polarographiques sont utilisables lorsque l'eau étudiée contient une ou plusieurs espèces réductibles ou oxydables à une électrode et à des concentrations inférieures à 10^{-3} mol/l.

L'analyse polarographique classique, mise en œuvre et étudiée pour la première fois par J.HEYROVSKY en 1922 à l'université de Prague, est basée sur le tracé de courbes intensité-potentiel. Elle consiste en la réduction d'espèces sur une électrode à gouttes de mercure tombantes. Dans le cas d'un cation métallique la réaction électrochimique mise en jeu est alors la suivante : $M^{n+} + ne^- + (Hg) \Rightarrow M(Hg)$.

Le dispositif de mesure se compose alors de 3 électrodes qui plongent dans la solution à étudier :

- une électrode de référence : électrode au calomel saturé ;
- une électrode auxiliaire (anode) : électrode de platine ;
- une électrode de travail (cathode) : électrode à goutte de mercure constituée par un capillaire de faible diamètre (20 à 50 mm) alimenté par une colonne de mercure. C'est l'électrode la plus couramment utilisée en polarographie ceci pour plusieurs raisons.

Le renouvellement constant de la surface permet d'obtenir des courbes parfaitement reproductibles du fait de l'élimination totale de la substance déposée. De plus, le mercure demeure inaltéré en milieu acide et basique. Il possède parmi tous les métaux la plus forte surtension de l'hydrogène. L'électrode peut, en effet, être utilisée sans risque d'électrolyse du solvant de -2,0 V à +0,2 V par rapport à l'électrode au calomel saturé. Ce sont donc les phénomènes de réduction qui seront étudiés avec une électrode à gouttes de mercure. Enfin, cela permet de réaliser une petite électrode instantanément polarisable avec des courants très faibles, rarement supérieurs à 10 mA. Seule une infime partie de la substance électroactive subit la réaction électrochimique et la concentration de la solution restera constante. Il est ainsi possible de répéter l'électrolyse avec une même solution un très grand nombre de fois, ce qui est nécessaire pour la mesure en continue d'une station d'alerte.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 35



Figure 44 : Vue générale d'un analyseur à métaux lourds par polarographie (Source ELTA).

C'est une relation établie par ILKOVIC et dérivant de la loi de FICK qui régit la polarographie. Les courbes obtenues se présentent sous forme de « vagues » dont la hauteur du palier de diffusion est proportionnelle à la concentration de l'espèce tandis que le potentiel de demi-palier est caractéristique de l'espèce métallique détectée. Il s'agit donc d'une méthode d'analyse quantitative et qualitative.

Cependant, on note que la polarographie classique est limitée vers les faibles concentrations de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-6} mol/l. De plus, pour que deux vagues polarographiques soient dissociables, il faut que la différence entre les potentiels de demi-vague soit supérieure à 100 à 200 mV...

La polarographie à tension sinusoïdale surimposée tente de corriger ces limites. Elle permet des mesures à des concentrations d'environ 10^{-7} à 10^{-8} mol/l et son pouvoir de séparation est d'environ 50 mV.

On constate ainsi que ce système de mesure est bien adapté à la détection des métaux présents en général sous forme de traces, ou dilués dans des volumes ou débits importants (grands cours d'eau).

L'analyseur de métaux lourds de la société ELTA utilise ce principe. Cela lui confère une sensibilité et une précision adaptées à l'analyse des métaux lourds présents dans les liquides à l'état de trace (de l'ordre du $\mu\text{g/l}$, jusqu'à des concentrations de plusieurs g/l).



Figure 45 :Détails d'un analyseur à métaux lourds par polarographie (Source ELTA).

L'étalonnage automatique permet de s'affranchir des interférences et le système de dilution automatique assure si nécessaire, une très large plage de mesures.

Le capteur polarographique utilisé chez ELTA est un capteur de dernière génération. Il consomme peu de réactifs et est peu coûteux. De plus, il est très automatisé et les durées d'intervention de l'opérateur sont réduites.

Cet appareil permet la mesure des éléments suivants : Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Ag^+ , Sn^{2+} .

La station d'alerte de Ternay détient un tel appareil pour la mesure des métaux lourds suivants: Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} et Zn^{2+} . Selon l'exploitant de cette station, c'est le seul usage qui est fait en France d'un analyseur de métaux lourds pour le suivi des eaux de rivière, avec un seuil de détection de l'ordre du $\mu g/l$.

Les techniques par spectrométrie de masse ICP-MS (Inductively Coupled Plasma) permet également la mesure des métaux lourds, mais avec une précision moindre (seuils de quantification à partir de 5 à 10 $\mu g/l$ environ selon les métaux).

L'appareil OVA 2000 proposé par Chemitronics était quant à lui basé sur le principe de voltamétrie. Cependant, il est difficile de trouver cet appareil dans le commerce aujourd'hui.

On note enfin que certains métaux peuvent être mesurés par les sondes immergées INATECH, qui mesurent aussi l'azote total.

Ainsi, tous systèmes confondus, on peut trouver des systèmes de suivi pour tous les éléments suivants : As, Ag, Al, Au, Ba, Bi, Cd, Cr III et VI, Co, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sn, Va, Ti, Zn.

On note enfin que le chrome VI peut être mesuré dans la gamme suivante : 0.01-50 mg/l ou 0.1-600 mg/l et avec des plages de pleines précisions suivantes : 0-20 mg/l et 0-200 mg/l, par un appareil spécial d'ANAEL S.A.S.

3.2.4.8 Mesure d'ions non métalliques

De nombreux éléments peuvent sinon être suivis dans des stations d'alerte, notamment par des sondes multi-paramètres de différentes marques. Par exemple, les sondes SERES 1000 et 2000 permettent par exemple d'analyser les ions suivants : Br^- , F^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , SO_3^- selon des temps de réaction variant entre 4 et 20 minutes.

3.2.4.9 Mesure des cyanures

Les sondes multi-paramètres SERES permettent de mesurer les cyanures (SERES 1000 et 2000).

On trouve aussi des dispositifs mesurant les cyanures à l'aide d'électrodes spécifiques. La mesure peut être directe ou par ajout dosé. La dérive des électrodes est compensée automatiquement. Le système d'échantillonnage est celui présenté en figure 27.



La pompe à ajout dosé est d'une grande précision et les tubes de large section pour tolérer la présence de particules. Il n'y a donc aucune influence des particules. La précision des mesures est comprise entre 2 et 5% et le temps d'analyse varie entre 5 et 10 minutes.

On note que le suivi d'un élément par électrode ionique sélective est particulièrement adapté aux matrices chargées en particules solides.

Ce système peut mesurer les concentrations en cyanures, nitrates, ammoniacque et fluorures.

Figure 46 : Boîtier d'analyseur à électrodes spécifiques ISE (Source ANAEL S.A.S.).

Le prix d'un tel appareil est compris entre 14 k€ et 17 k€.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 37

3.2.4.10 Mesure des phénols et BTX (benzène, toluène, xylène)

La mesure des phénols est souvent effectuée par des analyseurs multi-paramètres qui utilisent la colorimétrie, tels que celui de AWA-instruments, présenté en figure 47, les appareils proposés par SERES (SERES 1000 et SERES 2000), ou encore l'appareil ANAEL S.A.S. de la figure 23.

Pour l'appareil d'AWA-instruments, la gamme de mesure s'étend de 0 à 10 ppm (0 à 100 ppm sur demande) et la répétabilité est de +/- 0.01 ppm.



Figure 47 : Appareil de mesure multicritères : pH, ammoniacque, hydrocarbures, nitrates, phénols, chlorophylle A, rhodamine, turbidité, couleur, conductivité, O₂ dissous, température, niveau et débit (Source AWA-instrument).

Cette technique mesure la densité optique à deux longueurs d'onde pour compenser automatiquement la turbidité. De plus, la mesure du blanc est réalisée pour compenser automatiquement la couleur de l'échantillon. Le système d'échantillonnage est celui présenté en figure 27.

Les pompes à réactifs sont de haute précision et les tubes de large section (1/4") pour tolérer la présence de particules.

Cette technique permet de suivre des concentrations inférieures au ppm dans certains cas avec une précision de 2%. Le temps d'analyse est de 10 à 15 minutes.

Les éléments mesurés par ce dispositif sont : ammoniacque (de quelques ppb à 100 ppm en standard), phosphate, nitrites, chlore total, chrome, fer, manganèse, aluminium, et les phénols.

Figure 48 : Analyseur colorimétrique des éléments suivants : phénols, PO₄, Cr total, Cr⁶⁺, Zn, Ni, Ti, Co, Mn, Va, Fe, Si, Ca, titre hydrotimétrique, titres alcalimétriques. (Source ANAEL S.A.S.).



Le prix de ce type d'appareil est d'environ 15 k€ à 17 k€.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 38

Par ailleurs, l'appareil AQUAPOD proposé par HOCER IS et présenté dans la partie détection des hydrocarbures et HAP, permet une détection des phénols et BTX par spectrophotométrie UV après concentration sur résine. Son seuil de sensibilité est de l'ordre du $\mu\text{g/l}$ et son temps de mesure d'une demi-heure.

Enfin, l'appareil de spectrophotométrie présenté pour la mesure du COT permet également la mesure des BTX pour une gamme entre 0.01 et 100 mg/l.

3.2.4.11 Mesure des hydrocarbures

On note aujourd'hui qu'il existe plusieurs types d'appareils de mesure pour la détection d'hydrocarbures. On peut citer le système de détection SAPHIR, basé sur l'utilisation d'une membrane de détection. On trouve également des dispositifs fonctionnant selon le principe de mesure optique : par caméra, laser ou LED infrarouge. Enfin, on trouve également des systèmes basés sur des mesures d'impédance.

- *Détection d'hydrocarbures par caméra*

Le détecteur d'hydrocarbures par caméra utilise un capteur optique. La caméra filme la surface de l'eau en lumière artificielle et les images sont ensuite traitées et permettent d'identifier la présence d'une phase irisée (pas de quantification des hydrocarbures).

- *Détection et quantification d'hydrocarbures par mesure infrarouge*

Cette mesure est basée sur la variation de l'intensité lumineuse réfléchiée par la surface de l'eau. Celle-ci est constante pour un faisceau émis constant tant qu'il y a bien de l'eau à la surface du fluide étudié. Si des hydrocarbures apparaissent en surface, la valeur de l'intensité réfléchiée varie et un signal est alors déclenché.



Figure 49 : Détecteurs d'hydrocarbures utilisant une mesure optique.
(Source ISMA à gauche et SERES à droite)

Certains appareils n'utilisent pas d'échantillon (comme ceux de la société ISMA par exemple). Ils sont alors sensibles aux vibrations et impacts mécaniques : le débit de l'eau surveillée ne doit alors pas être trop important. De plus, la mesure n'est pas très fiable par temps de pluie ou lors de productions de vapeur. Cependant, ils sont très faciles d'utilisation et d'entretien et le temps de réponse est très rapide (20 secondes).

Certains appareils permettent la quantification (et une certaine approche qualitative) des hydrocarbures. Les appareils de mesure de SERES se basent sur le principe suivant : les hydrocarbures sont extraits par un solvant recyclable (à noter que l'emploi des solvants du type CCl_4 ou CF_6 sont désormais interdits, le tétrachloroéthylène représentant un produit de substitution correct mais qui nécessite des précautions (ventilation des locaux, remplacement des tuyaux en plastique par de l'inox ou du verre)) puis mesurés par infrarouge (à 3420 nm pour les hydrocarbures aliphatiques globaux et à 3300 nm pour les hydrocarbures aromatiques). Les spécificités techniques de tels appareils sont les suivantes.

Datalink propose aussi un instrument de quantification par infrarouge, mais moins précis sur les hydrocarbures proprement dits, car il mélange également les acides humiques à la mesure. Cet appareil nécessite cependant peu d'entretien.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 39

Appareil	Détecteur d'hydrocarbures SERES
Plage de mesure	0-10, 0-30 mg/l et autres plages sur commande telles que 0-400 mg/l pour alarme de présence
Minimum détecté	0.3 mg/l sur la plage 0-10
Durée de la mesure	11 minutes
Filtration	100 µm

Tableau 6 : Caractéristiques techniques de détecteurs d'hydrocarbures par infrarouge (Source SERES).

Selon les cas et les exigences (réponse rapide ou fiabilité complète), un type d'appareil sera recherché plutôt que l'autre.

- *Détection d'hydrocarbures à l'aide d'un rayon laser*

Le principe de tels systèmes est la mesure de lumière réfléchiée dans le domaine visible.

Une source optique à 2 mW émet un rayon laser qui se réfléchit à la surface de l'eau. Si une fine couche d'hydrocarbures (d'épaisseur microscopique ou plus) apparaît, l'intensité de la lumière réfléchiée augmente d'environ 3 à 4% et un signal se déclenche alors.

On note que pour les hydrocarbures à haute viscosité, le temps de réaction est un peu plus long. Sinon, l'alarme est quasiment instantanée.



Figure 50 : Détecteur d'hydrocarbures utilisant un laser (Source ISMA).

Les appareils de détection d'hydrocarbures ne demandent pas d'entretien particulier et n'entrent pas en contact avec le milieu surveillé. Ils présentent de plus une sensibilité exceptionnelle à de fines couches d'hydrocarbures, quelle que soit leur nature (mais réglage délicat du canal car le marnage maximum doit être inférieur à 20 cm). Le coût indicatif d'un tel dispositif est d'environ 35 k€HT.

- *Détection des Hydrocarbures et HAP par Aquapod (HOCER IS)*

Cet analyseur a été conçu pour détecter la présence de substances organiques dans les eaux avec une sensibilité de quelques dixièmes de microgrammes par litre. Après une première étape de concentration sur résine par cartouche à basse pression des produits à analyser et séparation d'avec les molécules interférentes, l'éluat est envoyé à un spectrophotomètre UV. Cette technique de séparation est brevetée. Le spectre est analysé par une méthode de déconvolution mise au point par l'Ecole des Mines d'Alès. L'identification est effectuée par comparaison à des spectres de référence. Le temps d'une analyse est d'environ une demi-heure. Un certain inconvénient : l'autonomie de cet appareil est de 300 analyses.

Cet appareil peut être intégré à la station d'alerte multiparamètres autonome Aquaris conçue également par HOCER IS. Elle permet en effet en même temps que la détection des hydrocarbures et HAP, la détection de certains pesticides, phénols et BTX et plus généralement de tous les composés présentant un spectre UV suffisamment caractéristique. Ainsi, les nitrates et la matière organique globale peuvent être mesurés directement par spectrophotométrie.

- *Quantification des HAP par fluorimétrie*

Cette technique, essentiellement utilisée par les sociétés AquaMS et datalink instruments, permet la mesure sélective de la fluorescence émise, par les hydrocarbures aromatiques polycycliques surnageants ou démixés d'une part et les hydrocarbures dissous d'autre part.



La fluorescence est produite par l'action d'un faisceau de lumière monochromatique (xénon UV 254 nm), qui en pénétrant dans un échantillon provoque une émission lumineuse à une longueur d'onde plus grande (360 nm), détectée par une photodiode UV. Un certain nombre de composés ont cette propriété, dont certains composants des huiles minérales, en particulier les HAP. Ils produisent cet effet en émettant de la lumière visible lorsqu'ils sont éclairés par de la lumière UV.

Figure 51 : Sonde de mesure des HAP surnageants ou dissous par fluorimétrie (Source sonde FLUO-HAP de AquaMS).

Cette caractéristique est exploitable dans le domaine de faibles concentrations (ppb) et permet de détecter la présence de traces d'huiles minérales dans l'eau.

L'intensité de la lumière émise permet, dans certaines limites, de mesurer quantitativement la teneur en HAP dissous par une corrélation avec le rapport HAP/Hydrocarbures totaux (on considère par exemple que les carburants usuels contiennent 1 à 3 % de HAP).

Les bandes passantes des détecteurs sont de 25 et 50 nm. Les plages de mesure de cet appareil s'étendent de 0 à 5 µg/l avec une précision de +/-0.1 µg/l, ou de 0 à 500 µg/l avec une précision de 1 µg/l. Le temps de réponse est de 1 seconde environ.

Le prix de cet appareil est d'environ 15 000€HT.

- *Détection d'hydrocarbures par mesure d'impédance*

Ce procédé exploite le principe de la mesure d'impédance. En fonction des molécules constituant le milieu traversé, une quantité d'énergie du signal haute fréquence est absorbée. Cette absorption est quantifiée et identifie une présence d'huile ou d'eau.

La détection se réalise au niveau de la zone de séparation entre l'eau et le liquide non miscible.

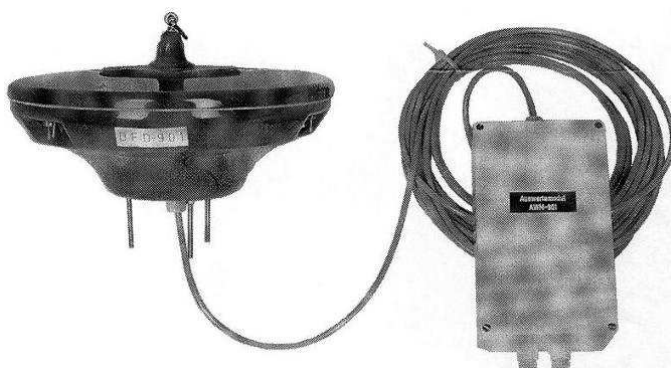


Figure 52 : Détecteur d'hydrocarbures par mesure d'impédance (Source ISMA).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 41

Le détecteur est composé d'un flotteur et d'un module de traitement du signal. Le flotteur est équipé de 3 pointes de mesure qui sont toujours immergées d'environ 5 mm dans le fluide à surveiller. Il comprend un générateur de signal haute fréquence relié aux pointes de mesure. Selon l'épaisseur de la couche d'huile, l'extrémité des pointes se trouve dans l'eau ou dans l'huile. L'exploitation de la mesure se fait par la différence d'impédance. Un câble bifilaire assure l'alimentation du flotteur et le relie au module de traitement. Il n'y a pas de polarité à respecter puisqu'il y a une protection intégrée contre l'inversion de polarisation. Cette méthode de mesure est fiable quelle que soit la nature de l'hydrocarbure rencontré, mais elle reste limitée aux épaisseurs de surnageant plutôt importantes (plusieurs millimètres).

- *Détection d'hydrocarbures et de solvants chlorés par membrane polymère sensible*

Réalisé par l'Institut français de pétrole (IFP) et la société NEREIDES, ce procédé utilise une membrane polymère tendue et maintenue par des ressorts à faible tension au-dessus de la surface de l'eau surveillée. Elle est stable dans l'air ou dans l'eau, mais se dissout rapidement au contact d'hydrocarbures flottants et sa rupture active un signal d'alarme sonore et /ou visuel. Le temps de réaction de ce capteur est de l'ordre de quelques secondes à quelques minutes pour les hydrocarbures et de l'ordre de la dizaine de secondes pour les solvants chlorés.

Un des avantages de ce dispositif est la bonne sensibilité à des films d'hydrocarbures de 0.1 mm (au moins pour benzène, toluène, xylène, gasoil et kérosène) et à une large gamme d'hydrocarbures. De plus, elle est facile à mettre en œuvre (pas de réglages particuliers, ni d'outils analytiques) et la détection qu'elle permet est rapide.

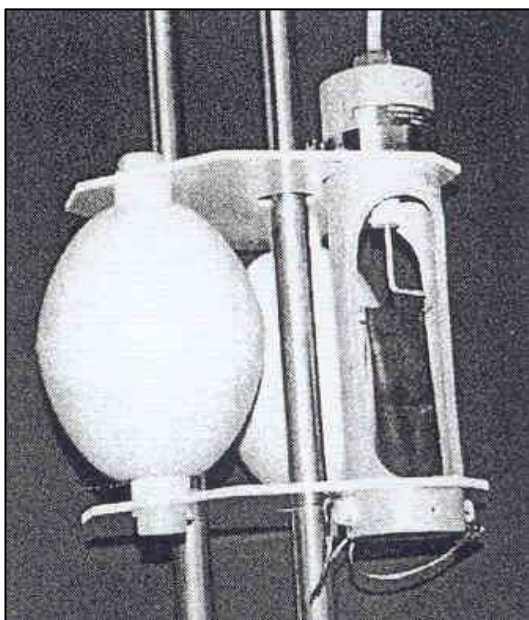
Cependant, elle ne permet pas la détection d'hydrocarbures associés à des particules solides. De plus, elle doit être remplacée tous les 6 mois pour éviter des déclenchements liés au cumul d'absorptions inférieures au seuil de détection souhaité.

Cette membrane a d'abord été testée par le BRGM et le CEDRE (Centre de recherches sur les pollutions par hydrocarbures).

- *Système de détection d'hydrocarbures dit « Saphir » ou « Oilspy »*

Ce système utilise la membrane précédemment décrite en l'associant à un dispositif de coupe-circuit cylindrique en PVC et à un détecteur électronique de transmission. La transmission peut être filaire, téléphonique ou radio et peut gérer jusqu'à 99 détecteurs.

Ce système a été breveté par NEREIDES et l'IFP. Il est reconnu par les DIRE, le BRGM et le CEDRE.



On note que pour ce système, l'épaisseur de la membrane peut être légèrement modifiée en faisant varier sa tension selon la vitesse de détection souhaitée. La vitesse de détection est de quelques secondes pour de l'essence et d'environ 2 minutes pour du gasoil.

Ce dispositif a été mis en place à Orléans, par la municipalité, en aval d'un décanteur d'installation pétrolière à fort débit. Cela permet de contrôler les effluents avant déversement dans un étang protégé. En cas de pollution, une vanne motorisée se déclenche et ferme le bassin.

Figure 53 : Système de détection Saphir installé à Orléans (Source L'eau, l'industrie et les nuisances 183).

Ce dispositif est également utilisé dans les Emirats du Golfe persique pour la protection des prises d'eau des usines de désalinisation.



Figure 54 : Sonde « Oilspy » seule à gauche, et avec son système de flotteurs à droite (Source NEREIDES).

3.2.4.12 Mesure des sulfures dissous

La détermination du sulfure total dissous (somme de H_2S dissous, HS^- et S^{2-}) est l'un des paramètres importants pour l'analyse des eaux naturelles, des eaux usées et des eaux industrielles. Il est notamment important de suivre la concentration totale en sulfures dissous dans l'eau pour éviter tout danger lié à un dégagement de H_2S (hydrogène sulfuré) très toxique (chez les organismes vivants, H_2S peut bloquer les le fonctionnement d'enzymes qui transportent l'oxygène, ce qui est mortel (asphyxie interne)). D'autre part, la concentration en sulfure total dissous est un paramètre souvent utilisé pour l'observation de lacs naturels, mais aussi pour l'examen d'activités volcaniques sous-marines par exemple.

Cependant, à cause de plusieurs propriétés chimiques de l'hydrogène sulfuré comme son oxydation très rapide en présence d'oxygène (échange rapide entre l'échantillon et l'air), la mesure est rendue difficile. Même quand le prélèvement est réalisé avec beaucoup de précautions, les résultats sont incertains et souvent décevants. Des sondes immergeables existent aujourd'hui et permettent la mesure de ce paramètre avec une certaine fiabilité et précision. Elles sont basées sur un principe ampérométrique.



Figure 55 : Sonde de mesure du sulfure total dissous par ampérométrie. Vue générale à gauche et détail des sondes à droite (Source AquaMS).

Les principales caractéristiques de la sonde AquaMS sont présentées dans le tableau suivant.

<i>Appareil</i>	<i>Plages de mesure</i>	<i>Précision</i>	<i>Résolution</i>	<i>Temps de réponse</i>
Sonde H ₂ S AquaMS	10 µg/l à 3mg/l 50 µg/l à 10mg/l 500 µg/l à 50mg/l	2% de la lecture	< 0,1%	< 1 seconde

Tableau 7 : Caractéristiques techniques d'une sonde à sulfure total dissous (Source AquaMS).

On note cependant que cette sonde ne peut pas être utilisée dans des eaux plus chaudes que 36°C.

A noter par ailleurs que la société SERES propose la mesure des sulfures dissous parmi les mesures effectuées grâce aux sondes multi-paramètres (SERES 1000 et SERES 2000).

3.2.4.13 Mesure des pesticides, herbicides et organochlorés

Il a été démontré qu'à long terme, les herbicides (atrazine, diuron...) peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine. Ces molécules sont parfois rencontrées dans les milieux aquatiques à des concentrations pouvant atteindre le ppb. Il est donc important de pouvoir les détecter rapidement et à de très faibles teneurs et de façon continue.

La méthode classique de mesure de ces composés est la chromatographie (gazeuse et/ou liquide). Cependant cette méthode, au temps d'analyse long (quelques heures), n'est pas vraiment adaptée aux stations d'alerte en continu.

Chez les végétaux, les herbicides bloquent les transferts électroniques au niveau de la membrane des thylacoïdes. Dans ce cas, dans la cellule végétale, l'énergie solaire captée par les antennes de chlorophylle ne peut plus être utilisée par la plante. Cette énergie se transforme alors en chaleur et en rayonnement fluorescent. Ce mécanisme peut être valorisé au sein d'un dispositif de mesure, qui consiste à exciter des algues (souvent *Scenedesmus subspicatus*), fixées sur une membrane filtrante, avec une lumière bleue constante puis à capter et traiter la fluorescence réémise.

De tels appareils sont proposés par les sociétés Arnatron et AquaMS (Fluotox).

Ces systèmes présentent l'avantage de permettre une mesure en continu de la concentration en herbicides (seuil de détection de l'ordre du µg/l) et de sauvegarder les données pendant environ 15 jours. De plus, ils sont faciles d'exploitation. Leur entretien consiste à changer les algues et à nettoyer les circuits hydrauliques. Cela requiert environ une demi-journée par mois d'intervention d'un technicien.

Toutefois, ils nécessitent une pompe pour faire passer l'eau analysée près de la membrane filtrante où sont fixées les algues.

D'autres nouvelles méthodes intéressantes sont développées.

- La coulométrie « Multi-Electrodes » Coularray combine la chromatographie liquide et un système de détection électrochimique, ce qui permet d'obtenir un rendement d'oxydoréduction proche de 100% et une analyse rapide.
- Des kits immuno-enzymatiques, tels que l'EnviroGard de Millipore, contiennent des tubes à essai ou des plaques de 96 puits dont la paroi est recouverte des anticorps et des réactifs adaptés pour piéger les pesticides recherchés (procédé biochimique ELISA). Le taux de réaction est finalement lu par photométrie. La société Ohmicron utilise pour ses kits des particules magnétiques comme support solide à ces anticorps et réactifs. Le pesticide prend la place de l'enzyme sur l'anticorps et peut ainsi être mesuré après coloration et lavage. Cela permet une meilleure précision de la mesure par une meilleure séparation sélective. De plus, la cinétique est également plus rapide.
Le kit Aquanox, proposé par Randox, permet d'évaluer le degré de contamination des échantillons en 4 minutes.

- Le système AQUAPOD proposé par HOCER IS, présenté dans le chapitre Détection des Hydrocarbures et HAP, qui utilise une concentration sur résine puis une analyse par spectrophotométrie UV, permet également la détection de certains pesticides. Ainsi, ils peuvent être mesurés avec une précision de 10 à 20 % aux niveaux de sensibilité suivants : pour les triazines (atrazine, simazine...) 0.5 µg/l, pour les urées substituées (diuron, parathion...) 0.5 µg/l, et pour les pesticides acides et organo-phosphorés à partir de 2 µg/l. Ces seuils peuvent être abaissés lorsque l'eau présente un taux de matières organiques dissoutes faible (comme les eaux potables).

3.2.4.14 Mesure de la radioactivité

Deux types d'appareils répondent aux besoins d'analyse en continu de la radioactivité dans certaines stations d'alerte.



Le Cobenade (Merlin Gerin Provence) mesure l'activité beta et gamma globale d'effluents chargés en MES et de faible activité. Ce dispositif peut être associé à un spectromètre gamma qui permet d'identifier un rejet de produit de fission à vie courte. Cet appareil a été utilisé en 1994 lors du projet de couverture/fermeture du centre de stockage de la Manche pour la surveillance lors du transfert des eaux pluviales.

Il est utilisé par exemple à la station de St-Denis-l'Hôtel sur la Loire en amont d'Orléans.

Figure 56 : Cobenade bêta gamma (Source Lycos).

La société Saphymo-Phy propose quant à elle un instrument de mesure de la radioactivité en continu : l'Aquascan. Il s'intéresse aux éléments suivants : ^{131}I , ^{137}Cs , ^{60}Co . Pour une détection de 97.5% et un temps de mesure d'une heure, il peut obtenir les seuils de détection suivants : 1.5 Bq/l pour ^{131}I , 1 Bq/l pour ^{137}Cs et 2 Bq/l pour ^{60}Co . La gamme d'énergie mesurée s'étend de 60 keV à 1.4 MeV.

Le LIRA est un autre instrument proposé par Saphymo-Phy. Il permet la détection de la radioactivité de l'eau pour des concentrations très faibles d'émetteurs gamma. Il mesure en plus de l'Aquascan l'activité du ^{134}Cs , mais ses seuils minimaux de détection sont plus élevés (entre 8 et 62 Bq/l selon les temps de mesure).



Figure 57 : Appareil de mesure de la radioactivité de l'eau.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 45

Aquascan portable à gauche et LIRA à droite (Source Saphymo-Phy).

La figure 58 présente l'appareil de mesure en continu de la radioactivité de l'eau pour le site du CERN de Meyrin (13) dans le cadre de la surveillance de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire).



Figure 58 : Appareil de suivi de la radioactivité de l'eau pour le site de Meyrin (Source IRSN).

Enfin, on note que certaines sondes multi-paramètres telles que celles proposées par SERES (SERES 1000 et 2000) permettent une mesure de la concentration en uranium de l'eau...

3.2.4.15 Détection des cyanobactéries dans l'eau par mesure de la chlorophylle A

Cette détection est réalisée grâce au principe de fluorescence in vivo (IVF). Elle est basée sur la mesure directe de la fluorescence de la chlorophylle dans les cellules d'algues vivantes.

Cette technique permet une mesure rapide et en continu de ce paramètre ainsi qu'un profilage. Cependant certaines variables peuvent interférer et la fluorescence obtenue pour une concentration donnée en cellules est affectée par différents facteurs : la quantité de lumière à laquelle la cellule a été exposée avant la mesure, la variation d'exposition parmi les différentes espèces, l'état physiologique et les conditions environnementales.



Cet outil nécessite un premier étalonnage en laboratoire et un second au moment de l'installation in situ.

La limite de détection maximale de cet appareil est de 100 cellules/ml et la précision est à +/- 3% pour une mesure.

Figure 59 : Sonde de détection de la concentration en cyanobactéries dans l'eau (Source OTT).



La conception miniaturisée et la stabilité de réponse dans le temps de ces sondes les rendent parfaitement adaptées pour la surveillance du développement algal dans les lacs, les rivières et de façon générale, pour toutes les applications de suivi de la qualité des eaux du milieu naturel.

Un dispositif de mesure par référence interne permet de s'affranchir des effets dus à la température et au vieillissement des diodes (LED) à haute efficacité.

Figure 60 : Dosage de la chlorophylle A par fluorimétrie (Source MicroFlu-chl de AquaMS).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 46

<i>Source de lumière</i>	LED bleues ultra lumineuses (longueur d'onde de pointe 450 nm), énergie de sortie contrôlée par la diode interne de référence
<i>Détecteur</i>	Photo-diode avec filtres interférentiels (longueur d'onde de pointe 685 nm, 20 nm de bande passante)
<i>Gammes</i>	0-10 µg/l, 0-100 µg/l (changement automatique de gamme ou préréglage)
<i>Sensibilité</i>	0.1 µg/l
<i>Interface</i>	RS-232 (interpréteur interne de commandes pour le réglage des mesures) et analogique 0 ... 5 V
<i>Étalonnage</i>	chlorophylle cristalline dissoute dans de l'acétone, coefficients d'étalonnage intégrés dans l'instrument

Tableau 8 : Caractéristiques techniques d'un appareil de mesure de la chlorophylle A par fluorimétrie (Source MicroFlu-chl de AquaMS).

Le prix d'un tel appareil est évalué entre 18 et 20 k€.

Il existe deux autres systèmes de détection des Cyanobactéries : l'un se base sur le comptage microscopique des cellules et l'identification, l'autre utilise la chromatographie liquide à haute pression. Ces deux méthodes sont très coûteuses et nécessitent la mise à disposition d'un personnel hautement qualifié.

3.3 Les systèmes d'alerte intégrateurs biologiques

Les systèmes biologiques présentent l'avantage de fournir une réponse globale à la pollution en terme de toxicité testée sur des organismes vivants.

Cependant, on peut d'ores et déjà noter que les caractéristiques physico-chimiques de l'eau peuvent influencer les performances des biodétecteurs : la température, le pH, l'oxygène dissous, la salinité, la dureté, les matières en suspension... sont autant de paramètres qui peuvent modifier la toxicité d'une substance. L'interprétation de tels systèmes d'alerte doit toujours tenir compte de cette remarque comme des caractéristiques spécifiques du site, du biomarqueur utilisé et du dispositif choisi.

Les biomarqueurs présentés dans cette partie sont ceux pour lesquels existe un dispositif commercialisé de mesure en continu et in situ de la qualité d'un cours d'eau.

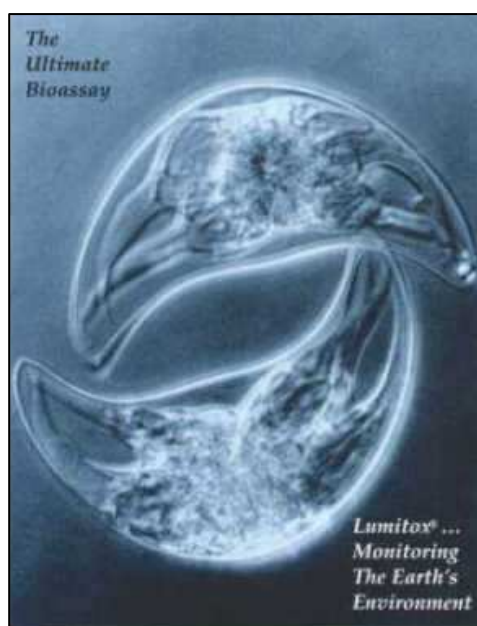
3.3.1 Le système Auto-Microtox ou Lumitox : biocapteur bactérien

3.3.1.1 Auto-Microtox, Lumitox, ou Bacteria Test

Cette méthode est fondée sur l'inhibition de la bioluminescence de bactéries en présence d'éléments toxiques. Le réactif bactérien (tel que *Vibrio fischeri*, anciennement appelé *Photobacterium phosphoreum*) est conservé sous forme lyophilisé ou congelé ou encore immobilisé sur des membranes puis régénéré par ajout de NaCl et d'eau. Les résultats sont prêts après 30 minutes d'incubation et une mesure est effectuée toutes les 50 minutes. Il s'agit de mesure semi-continue.



Figure 61 : Microtox de terrain (à gauche) et de laboratoire (à droite) (Source Azur Environnement).



Les bactéries sont assez faciles à cultiver et cette mesure est assez simple à mettre en oeuvre. Cependant, le contrôle de l'âge et de la composition monospécifique des cultures est parfois difficile à maîtriser. De plus, la bioluminescence est fonction de la température.

La sensibilité du test Lumitox est très élevée : en parties par milliard et la précision autour de 10%.

On note que cet appareil est assez souvent employé dans les stations d'alerte au Québec. Il est utilisé dans la station d'alerte de Méréville sur la Moselle.

Les souches bactériennes peuvent être acquises auprès de l'Institut Pasteur à Paris.

Un inconvénient réside dans le fait qu'il faut renouveler le pool de bactéries du biocapteur à raison hebdomadaire.

Figure 62 : Bactéries utilisées pour le Lumitox. (Source www.lumitox.com).

3.3.1.2 Biocapteur algal (Biotoxitel ou Fluotox)

Ce système mis en place par Arnatronic, Aspect Environnement, Ponselle Mesure et le Centre de recherche en automatique de Nancy, est un système d'alarme végétal. L'activité photosynthétique d'algues telles que *Chlorella vulgaris* ou *Scenedesmus subspicatus* (micro-algues vertes eucharophycées), très répandues dans les cours d'eau, est différente quand l'eau est polluée. Notamment, l'algue réagit aux substances phyto-toxiques telles que les pesticides et herbicides.

L'oxygène produit par l'algue suite à son activité photosynthétique est détecté par un capteur puis converti en signal électrique. Le temps de réponse est de l'ordre de 1 minute.

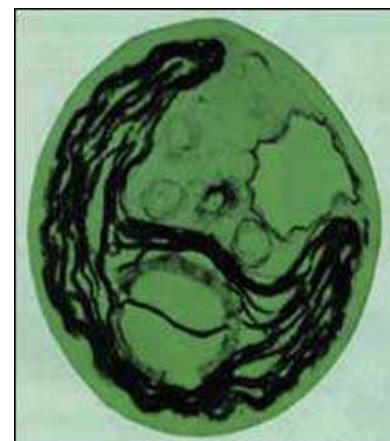
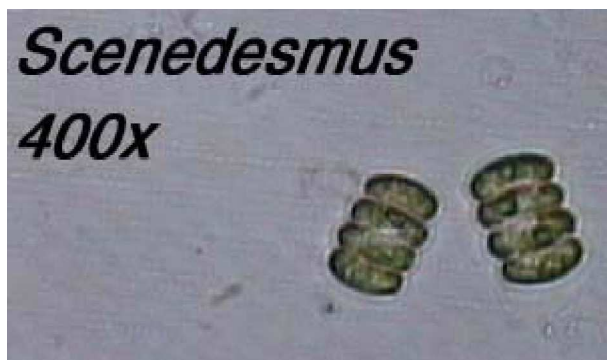


Figure 63a : Algue microscopique *Chlorella vulgaris* (Source CNN.com).



L'autonomie du dispositif est d'un mois, au-delà de cette durée, il est nécessaire de renouveler le réactif algal.

La société Arnatronic commercialise ces algues, immobilisées sur un support buvard, prêt à l'emploi au sein du biocapteur.

Un tel système est mis en place sur des stations de la Moselle (Méréville) et du Rhin en Allemagne.

Figure 63b : Algue microscopique Scenedesmus subspicatus (source : Centre international de l'eau de Nancy).

3.3.2 Les systèmes ichthyologiques

3.3.2.1 Truitosem (ou Truitosème)

Cette méthode est basée sur le principe suivant : le comportement du poisson (généralement la truite arc-en-ciel) et notamment son activité locomotrice sont conditionnés par la composition physico-chimique de l'eau et par sa concentration en éléments toxiques.

Il s'agit donc de surveiller les déplacements des truitelles dans un aquarium alimenté en continu par l'eau du milieu, pour détecter d'éventuelles alertes de pollution. Pour cela, il existe différents systèmes.



Le Truitosem est basé sur une surveillance ultrasonique : deux émetteurs en vis-à-vis dans l'aquarium créent un champ ultrasonique stationnaire qui sera perturbé par les mouvements des truites. En effet, leurs déplacements modifient la fréquence du signal sonore réfléchi par leur corps et seules les fréquences ainsi décalées par effet Doppler sont traitées automatiquement.

Il est possible de quantifier le taux de mouvement des poissons sur une échelle de 0 à 100 par exemple.

L'alerte est donnée lorsque le taux de mouvement passe en-dessous d'une valeur réglée par l'utilisateur (seuil d'alerte).

Le coût moyen de cet appareil varie entre 10 et 30 K€..

Figure 64 : Truitosem proposé par l'entreprise CIFEC (Source CIFEC).

L'avantage de cette méthode ultrasonique par rapport à des méthodes basées sur une détection photoélectrique infrarouge, est qu'elle n'est pas perturbée par une turbidité occasionnelle de l'eau, ni ne nécessite de réaligement régulier de l'appareillage.

Cependant, un changement périodique des poissons doit être effectué pour éviter qu'ils ne s'accoutument aux toxiques éventuels (bruit de fond). Il faut également bénéficier d'un vivier en circuit fermé. Enfin, la température de l'eau ne doit pas être trop élevée et la teneur en oxygène dissous doit être suffisante (des mortalités de poissons ont pu être constatées dans l'aquarium lorsque l'eau du milieu est trop chaude (station d'alerte de Ternay en été 2003 par exemple).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 50

3.3.2.2 BehavioQuant

Ce système repose sur le même principe de surveillance de l'activité locomotrice des poissons (truites). Cette surveillance est cependant effectuée par une caméra vidéo dont les images sont ensuite traitées en temps pseudo réel par un micro-ordinateur. Il a été élaboré en Allemagne.

Il peut présenter l'avantage de déclencher moins de fausses alertes.

Figure 65 : Exemple d'appareillage vidéo pour la surveillance des poissons d'un BehavioQuant (Source www.ists.unu.edu).



3.3.2.3 Aqua-Tox-Control

Ce procédé a été mis en place et testé avec le poisson *Leuciscus idus* sur le Rhin. Il est basé sur le principe de rhéotaxie. La rhéotaxie positive caractérise la capacité des poissons à se maintenir face à un courant d'eau. Lors d'une vague de pollution, le poisson peut tenter de s'échapper vers l'aval ou être trop affaibli et se laisser dériver.

Le système Aqua-Tox-Control se fonde sur cette seconde réaction. Les poissons peuvent être placés dans différents dispositifs (canaux où ils sont isolés, bacs en forme d'entonnoir, tube à flux d'eau rotatif...). Ils sont encouragés à se maintenir à l'amont du dispositif par de petites excitations électriques, stimulus lumineux ou alternances de phases de courant. Enfin leur incapacité ponctuelle à nager à contre-courant sera évaluée par des procédés photoélectriques.



Le truitomètre à vortex de l'ISMA place le poisson dans un bac circulaire. S'il meurt, il vient boucher l'évacuation et une alarme est déclenchée.

L'aquatest place la truite dans un bassin en forme d'arène où est provoquée une circulation d'eau périphérique régulière. Chaque contact du poisson avec les parois est détecté et analysé. Une alarme est déclenchée quand son comportement semble altéré.

Figure 66 : Vue d'une truite (Source www.nature-peche.com).

3.3.2.4 Biosensor et WRc Fish Monitor

Ces techniques se basent sur l'enregistrement par voie électrique d'une activité physiologique de poissons et notamment de leur activité respiratoire, sensible à la présence de substances toxiques.

Pour cela le poisson est placé dans un bac équipé de part et d'autre d'électrodes qui enregistrent les différences de potentiels provoquées par la respiration des poissons. La toux peut aussi être détectée, on parle alors d'une réponse à un stimulus mécanique.

Ces réponses sont rapides et proportionnelles à la concentration en polluant.

Les inconvénients de ces méthodes sont cependant qu'elles peuvent être à l'origine de fausses alertes (turbidité de l'eau, nage dynamique du poisson) et qu'elles sont problématiques dans des eaux peu conductrices.

Figure 67 : Appareillage d'enregistrement et d'analyse pour un Biosensor (Source www.ists.unu.edu).



Ces procédés ont été testés sur différents sites en Allemagne, Australie, Grande-Bretagne, Canada et aux Etats Unis.

3.3.2.5 Gymnotox

Certains poissons tropicaux émettent naturellement des signaux électriques. Le poisson *Apteronotus albifrons* (ordre des Gymnotiformes), encore appelé poisson couteau, est originaire des cours d'eau du pourtour amazonien, du Venezuela au Paraguay et en Guyane française et au Surinam. Il possède un organe électrique et présente des signaux ondulatoires d'une remarquable stabilité lorsque les conditions de son environnement sont elles-mêmes stables. Ainsi, toute variation de fréquence ou de forme du signal qu'il émet est significative et peut être interprétée en terme de changement de conditions du milieu de vie du poisson.

Ce dispositif est mis en place sur une station d'alerte de la rivière Moselle à Méréville.



Figure 68 : Gymnotox de terrain à gauche et Gymnotox exposé lors de l'exposition à droite
(Source L'eau, l'industrie et les nuisances, janvier 2005 et Aquarium de Nancy).

D'autres poissons à signaux « pulsatoires » (Mormyriformes) peuvent aussi être utilisés, mais ils présentent une fiabilité moins grande. De plus leurs émissions électriques répondent à de nombreux stimulus ce qui rend leur interprétation plus complexe.

Les dispositifs Gymnotox sont des biodétecteurs 10 fois plus sensibles que les Tuitosem et leurs prix sont environ 10% moins chers.

La société ER Ingénierie commercialise le dispositif Gymnotox, et fournit des poissons *Apteronotus*. Populaires dans le domaine de l'aquariophilie, ces poissons peuvent être également achetés en animaleries spécialisées. L'autonomie du dispositif est d'un mois. Au-delà, il convient de réalimenter les nourrisseurs automatiques en charge de distribuer quotidiennement un ration de granulés aux poissons. Un nettoyage des structures hydrauliques d'alimentation des aquariums peut aussi s'avérer nécessaire mensuellement en fonction de la turbidité des eaux dont on assure le suivi.

3.3.3 Les systèmes innovants à mollusques bivalves

Musselmonitor, Dreissena-Monitor et Valvomètre

Ces méthodes reposent sur le fait que les mollusques bivalves réagissent physiologiquement à des conditions de stress telles qu'une mauvaise qualité de l'eau. Ces bivalves filtrent l'eau en continu pour s'alimenter, à hauteur d'environ 1 à 5 litres/jour/individu. Selon la qualité des l'eau, les réactions peuvent être les suivantes : fermeture de leur coquille, changement de fréquence des mouvements valvaires, changement des rythmes cardiaque, respiratoire et/ou de filtration. Pour les dispositifs qui nous intéressent, la fréquence et la durée des mouvements valvaires sont enregistrées par des systèmes d'induction électromagnétique haute fréquence (EMIS), une bobine électrique étant fixée sur chaque valve du lamellibranche.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 52

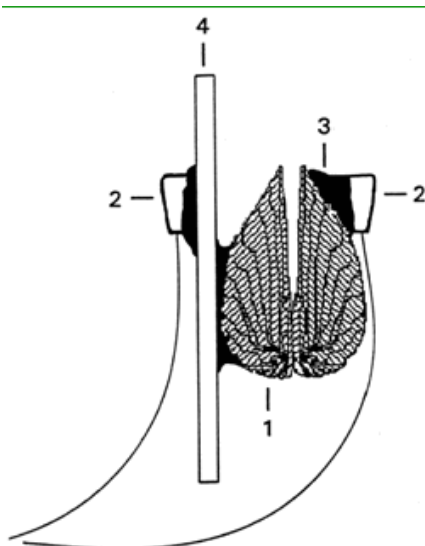


Figure 69 : Schéma d'instrumentation d'un lamellibranche dans un Musselmonitor : 1=Lamellibranche, 2=bobines électriques, 3=fixation des bobines, 4=fixation du lamellibranche sur l'appareil (Source www.ists.unu.edu).

Ces systèmes présentent l'avantage d'utiliser des organismes sédentaires, abondants et disponibles toute l'année (exemple, le Clam asiatique ou moule zébrée, *Dreissena polymorpha*, *Dreissena bugensis*). De plus ils sont robustes et leur manipulation est aisée.

On note que ces organismes peuvent également être utilisés pour effectuer des mesures écotoxicologiques

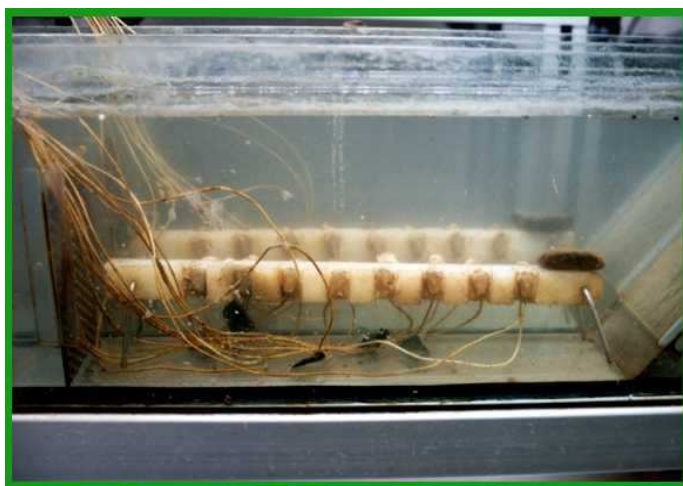


Figure 70 : Vues de deux dispositifs différents de Musselmonitor (en ligne à gauche (Source www.ists.unu.edu) et compact à droite (Source www.mermayde.nl)).



Figure 71 : Vue d'un lamellibranche utilisé pour le Musselmonitor (Source www.mermayde.nl).

L'autonomie de ces systèmes de mesure est d'environ 1 mois. Cette périodicité d'intervention est conditionnée en grande partie par les conditions abiotiques du milieu hydrique surveillé. En particulier si l'eau est turbide, il est nécessaire de nettoyer le biocapteur, notamment les supports sur lesquels sont fixées les moules. Un dépôt de MES sur les organismes biologiques est susceptible de perturber l'activité de filtration des lamellibranches, activité qui est précisément la réponse exploitée par l'appareil. Il convient en outre de s'assurer régulièrement que les moules sont correctement positionnées par rapport au connecteur d'une part, et qu'elles sont vivantes d'autre part : en effet, à partir d'une température de l'eau supérieure à 24°C environ, la mortalité des moules augmente.

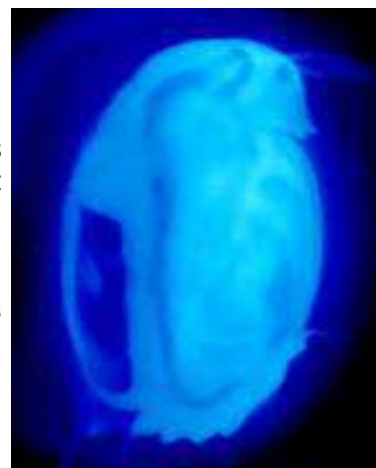
3.3.4 Les autres systèmes biologiques

3.3.4.1 Dynamischer Daphnientest (test à daphnies) ou Aquatox

Ce dispositif surveille l'activité locomotrice de daphnies (puces d'eau), petits crustacés cladocères (cf. figure 72), très communs. On retient notamment l'espèce *Daphnia magna*.

Leur activité locomotrice natatoire et leur comportement phototactique (phototropisme positif) se modifie quand les conditions environnementales se détériorent. Les daphnies sont reconnues pour être sensibles vis-à-vis des composés xénobiotiques en général.

Figure 72 : *Daphnie grossie 50 fois* (Source www.ists.unu.edu).



La surveillance est effectuée par des photodétecteurs infrarouges. Un schéma de principe en est donné en figure 73. En régime normal, les daphnies se dirigent vers la source des excitations lumineuses envoyées par l'appareil. L'activité locomotrice des daphnies est enregistrée toutes les 5 minutes au moyen de capteurs. En conditions toxiques, la réponse phototactique est perturbée, ce qui modifie leur activité de nage et caractérise une situation d'alerte.

Ce système est utilisé sur de nombreuses stations d'alerte situées sur le Rhin en Allemagne.

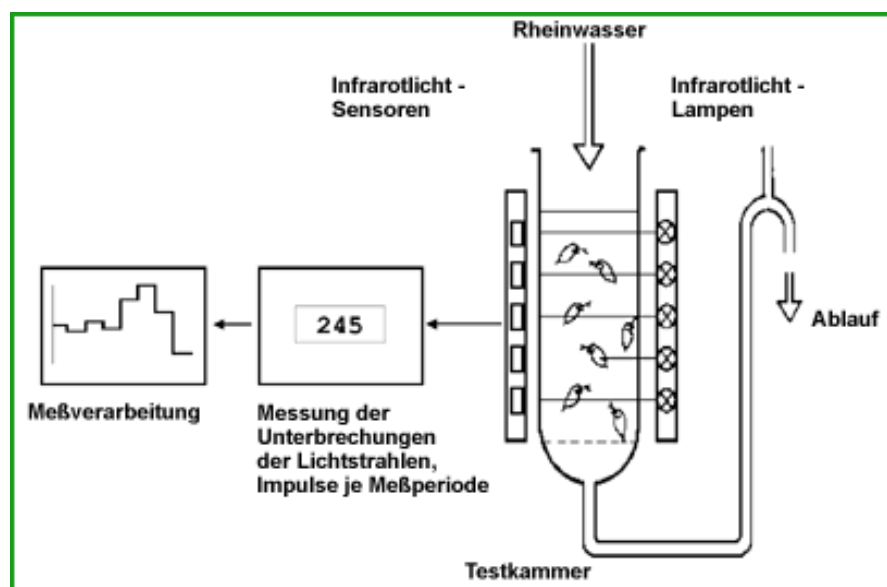


Figure 73 : Principe du Dynamischer Daphnientest (Source www.ists.unu.edu).

On note que cette méthode présente le désavantage de donner de fausses alertes parfois nombreuses car, d'une part, des bulles (ou autres MES) peuvent également couper les filets lumineux de détection. D'autre part, l'activité des Daphnies est conditionnée par un grand nombre de facteurs et l'interprétation peut se révéler très complexe.

L'autonomie du procédé est d'une semaine environ. Il est en effet nécessaire de remplacer hebdomadairement les daphnies dans les chambres de mesure, sous peine qu'elles se reproduisent dans l'appareil : l'activité locomotrice suivie étant définie pour un nombre fixe de daphnies.

Des organismes autres que les daphnies peuvent aussi être étudiés. Ainsi, la ventilation des larves de chironomes (insectes diptères) est un indicateur de pollution, de même que l'activité locomotrice de certains copépodes enregistrée par conversion d'impédance.

3.3.4.2 Toxiguard

Ce dispositif mesure la consommation en oxygène de bactéries immobilisées sur des biofilms. En présence de pollution, leur activité est réduite. On peut ainsi corréler la consommation en O₂ et le degré de pollution. Cette méthode nécessite un nettoyage régulier de la sonde à oxygène. De plus, elle nécessite un temps de régénération des bactéries qui peut être non négligeable selon la sévérité de la pollution rencontrée.

3.3.4.3 Toxialarm et Stiptoxnorm

Ces méthodes reposent sur le même principe que le Toxiguard : elles mesurent l'activité respiratoire de *Pseudomonas putida* (bactérie).

3.3.5 Autres systèmes en développement ou de suivi à plus long terme de la qualité de l'eau

Les dispositifs présentés dans ce chapitre qui ne répondent pas véritablement aux enjeux des stations d'alerte. Cependant, il s'agit de procédés de surveillance de la qualité des eaux intégrant la mesure sur un temps plus long et peuvent s'avérer très utiles et efficaces pour qualifier l'évolution d'un milieu naturel aquatique.

Il convient de noter que certains procédés sont encore en cours de développement et ne sont pas encore aboutis commercialement.

3.3.5.1 Le Mussel Watch

Il s'agit d'un dispositif destiné à analyser la qualité des eaux quand les concentrations en polluants sont très faibles. Il utilise en effet des organismes, tels que les mollusques, capables de bio-accumuler des polluants. L'espèce utilisée varie selon la localisation géographique de la zone étudiée. Cette technique est notamment pratiquée pour des mesures de polluants dans l'eau de mer et en particulier par des pays tels que les Etats-Unis, les Pays-Bas ou la France (l'IFREMER a mis en place 110 stations).



Les mollusques sont immergés pendant environ 6 semaines, puis ils sont collectés et stockés à -110°C avant d'être analysés. Les doses internes en polluants des organismes sont contrôlées et renseignent sur la biodisponibilité de ces substances. Néanmoins, des troubles comportementaux peuvent aussi être étudiés. Ils indiquent quant à eux s'il existe une toxicité véritable d'une molécule pour l'organisme vivant et un danger potentiel à y être exposé.

Figure 74 : Photo de mollusques bivalves utilisés pour le Mussel Watch (Source www.mermayde.nl).

On note que ces systèmes peuvent s'avérer très utiles dans le cadre d'études écotoxicologiques. De plus, à grande échelle, ils permettent une cartographie des pollutions marines et de leur évolution et aussi l'analyse de leur comportement en milieu marin. Enfin, ce procédé permet un suivi sur de longues périodes.

Le développement de ce système a été réalisée aux Etats-Unis par l'EPA (Environmental Protection Agency) et la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration).

On parle pour de tels systèmes d'utilisation d'animaux sentinelles.

3.3.5.2 Biomarqueurs

Il existe tout un arsenal de composés biologiques qui, associés à des dispositifs de mesure, permettent de quantifier un phénomène observable : cellules, tissus, protéines ou enzymes... On parle alors de biomarqueurs.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 55

Tout d'abord, les systèmes enzymatiques, avec leurs possibles induction ou inhibition, sont couramment utilisés comme biomarqueurs. L'évaluation du pouvoir d'inhibition se traduit par la détermination d'une concentration de produit toxique. Elle correspond à une réduction de l'activité enzymatique de 50% : on parle de CI 50.

Par exemple, ce critère est utilisé pour l'évaluation des performances de l'acétylcholinestérase par rapport aux résultats du Microtox ou pour la détection de pesticides par une électrode de verre utilisant la butyrylcholinestérase. On note cependant que ces détections ne sont pas véritablement spécifiques : il existe un grand nombre d'inhibiteurs ou inducteurs pour certains enzymes.

Le cytochrome P-450 du foie est également utilisé. Il fait partie de la famille des isozymes qui métabolisent par oxydation la plupart des molécules organiques et jouent ainsi un rôle fondamental dans l'élimination. Certains isozymes sont induits par certains polluants tels que les HAP notamment. Cette induction se traduit par un accroissement d'activités enzymatiques telles que l'activité EROD (éthoxyrésorufine O-déséthylase).

Le système EROD des poissons est aujourd'hui couramment utilisé pour le suivi de la qualité des eaux.



*Figure 75 : Cytochrome P-450.
(Source James R. Halpert, Ph D., University of Texas).*

Ce type de dispositif a l'avantage de prendre en compte les effets à long terme de doses faibles de certains polluants et ainsi d'élargir la notion de simple station d'alerte qui prend surtout en compte les effets à court terme. Ainsi, cela permet aussi, comme pour le dispositif cité précédemment, d'approfondir les connaissances écotoxicologiques et les réactions à des expositions ou des doses de polluant même très faibles.

On souligne l'importance du choix des espèces utilisées (comme des paramètres analysés). Pour cela, il existe plusieurs critères. Par exemple, l'organisme doit être facile à capturer, doit être présent avec une densité suffisante dans une aire de dispersion connue et les voies d'exposition de cet organisme au polluant doivent être connues également. Enfin, il faut pouvoir disposer d'animaux témoins.

On note tout de même que ces méthodes ne peuvent en aucun cas se substituer à des tests toxicologiques classiques, mais elles présentent l'avantage de placer les animaux dans des conditions naturelles, à des doses réalistes.

Enfin, il faut être très prudent quant à l'extrapolation des données obtenues à l'homme.

D'autres biomarquages se basent par exemple sur l'étude de l'inhibition de la nitrification de bactéries comme *Nitrobacter*. Cependant, le transfert de cette méthode à un stade technologique commercialisable est complexe : ce système réclame l'établissement d'une flore bactérienne et une maintenance importante.

Des capteurs immunologiques qui exploitent les propriétés de reconnaissance antigène-anticorps peuvent aussi être utilisés. Encore une fois, la commercialisation de systèmes à composante biologique s'avère complexe.

3.3.5.3 Dispositifs mettant en jeu des membranes

A noter enfin l'existence de colonnes de résines permettant de « capter » certaines molécules organiques (HAP par exemple) : membranes de type SPMD (colonne lipophile qui permet de capter les molécules hydrophobes).

D'autres procédés tels que les membranes à dialyse et membranes DGT (Diffusion Gradient in Thin films) permettent d'isoler l'eau interstitielle in situ dans le sédiment, et de concentrer par exemple les métaux dissous (uniquement). Leur coût unitaire approximatif reste cependant élevé (autour de 10 k€).

Ces méthodes présentent l'avantage de concentrer les substances recherchées sur une période de temps non instantanée (accumulation dans le milieu), mais nécessitent la mesure des molécules captées en laboratoire.

3.4 La chaîne de mesure en aval des dispositifs de mesure

L'objectif des stations d'alerte est de pouvoir analyser l'eau en continu et à distance. Les outils de télésurveillance et de télégestion permettent ici de répondre à ces objectifs :

- acquisition et stockage des données des capteurs ;
- paramétrages à distance des capteurs ;
- gestion des alarmes ;
- validation des données ;
- transmission vers d'autres utilisations des informations brutes ou traitées.

En aval des appareils qui envoient un signal de type analogique (en intensité ou en tension électrique, par exemple de type 4-20 mA) ou numérique (type RS485 ou RS232), un poste d'acquisition est installé. Celui-ci doit comporter plusieurs entrées pour relier tous les capteurs de mesure. Les transmetteurs des capteurs n'employant pas le même langage, le poste d'acquisition doit aussi pouvoir s'adapter à plusieurs protocoles de communication.

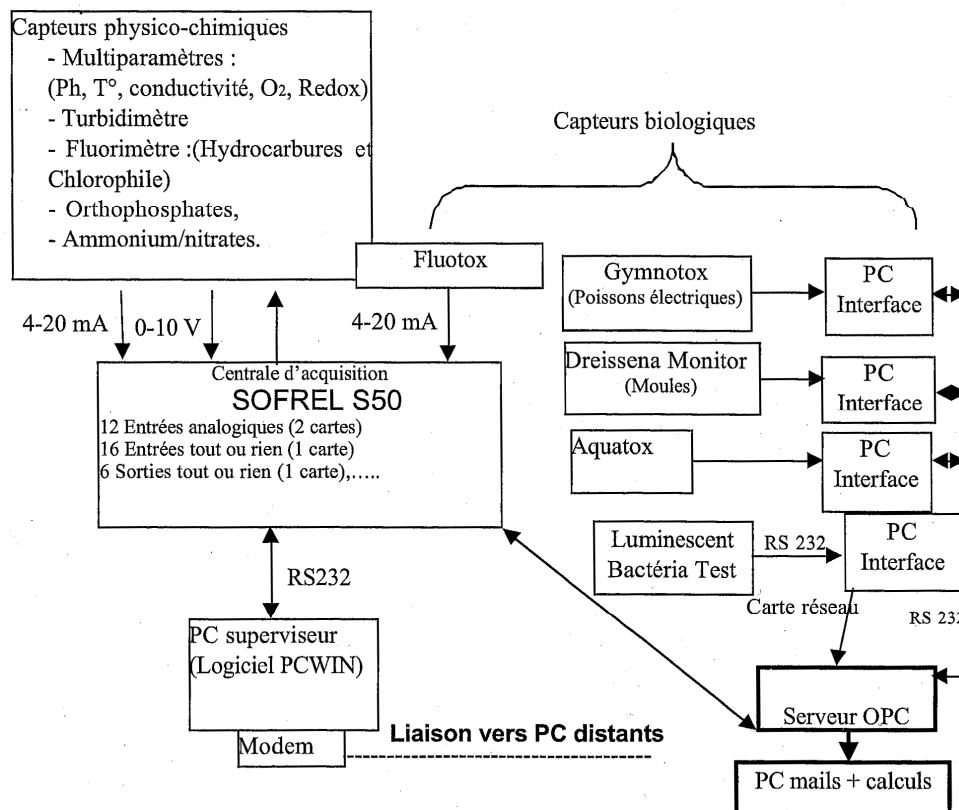


Figure 76 – Exemple d'architecture générale du dispositif de mesure, d'acquisition et de traitement : cas de la station de Méréville sur la Moselle (54).

Les postes d'acquisition locaux assurent prioritairement le déclenchement des alarmes. Le personnel d'astreinte est joint grâce à une liaison téléphonique ou radio : les messages d'alerte transmis sont paramétrables et peuvent concerner aussi bien une alarme sur les valeurs elles-mêmes des paramètres mesurés, qu'une alarme de détection de différents problèmes (par exemple, coupure d'alimentation électrique, défaut pompe, anomalie mémoire, défaut transmission...).

Certains gestionnaires disposent également d'un poste central, où la liaison entre la station de mesure et le poste est établie par transmission téléphonique ou radio commutée : le poste central interroge les postes locaux pour enregistrer les données à intervalles réguliers.

Le poste central est équipé d'un système informatique permettant la réception et l'affichage des données des mesure et de fonctionnement/dysfonctionnement des appareils. Plusieurs logiciels permettent d'accueillir et de présenter les données de fonctionnement de la station sous la forme de synoptiques. On peut citer par exemple les outils informatiques TOPKAPI, PANORAMA, PCWin/PCWeb...

Des outils complémentaires sont généralement développés autour de ces interfaces, afin de permettre l'archivage des informations, l'établissement de courbes et analyses statistiques et de validation des données, et aussi, le cas échéant, la mise à disposition de l'information à d'autres postes via Internet ou une ligne téléphonique.

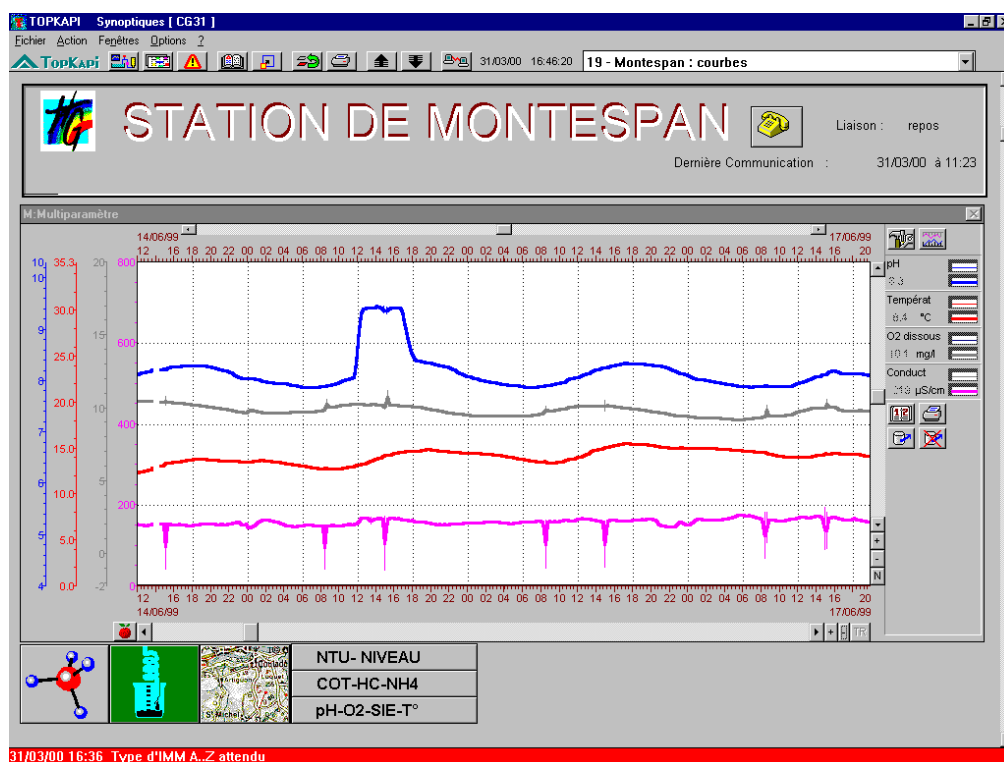


Figure 77 – Exemple de visualisation sur le système TOPKAPI (station de Montespain (31)).

4 - Etudes de cas : présentation de stations d'alerte mis en place en France ou en Belgique

Afin de compléter l'état de l'art bibliographique réalisé dans les parties précédentes de ce rapport, il a été conduit plusieurs entretiens auprès de gestionnaires et/ou exploitants de stations d'alerte ou de surveillance de la qualité des eaux sur des cours d'eau importants en France, afin de recueillir et d'étudier les différents retours d'expériences.

Ainsi, pour ces stations, il a été recherché et analysé les considérations stratégiques de mise en place et d'alerte, les procédés retenus pour l'analyse des eaux, les avantages, inconvénients ou problèmes relevés, les coûts d'investissement et fonctionnement, les moyens engagés pour l'interprétation et la valorisation des données acquises.

4.1 La station d'alerte de Saint-Denis-l'Hôtel à Orléans

Contexte du site, implantation

L'usine du Val et les forages périphériques alimentent en eau potable, environ 150 000 habitants de l'agglomération orléanaise, soit environ 35 000 à 40 000 m³/j (environ 60 000 m³/j en pointe).

L'usine située à proximité des sources du Loiret, capte les eaux souterraines qui ont cheminé dans les calcaires karstiques, dont l'alimentation principale correspond aux infiltrations de la Loire, à une vingtaine de kilomètres en amont d'Orléans.

Une étude de risques a été conduite. Les principaux risques sur la Loire (risques industriels (traitement de surface en particulier), risques nucléaires (2 centrales en amont), risques accidentels liés aux transports...) sont situés en amont du secteur de St-Denis-l'Hôtel, en aval duquel s'effectuent les infiltrations de la Loire vers le Loiret. C'est pour se prémunir de ces risques que la ville d'Orléans, Maître d'ouvrage, a décidé en 1991, la réalisation d'une station d'alerte implantée à St-Denis-l'Hôtel. L'exploitation de la station et de l'usine du Val est confiée à la Lyonnaise des Eaux.

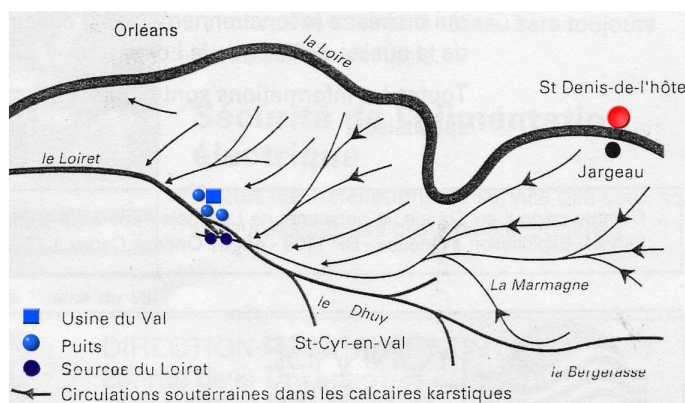
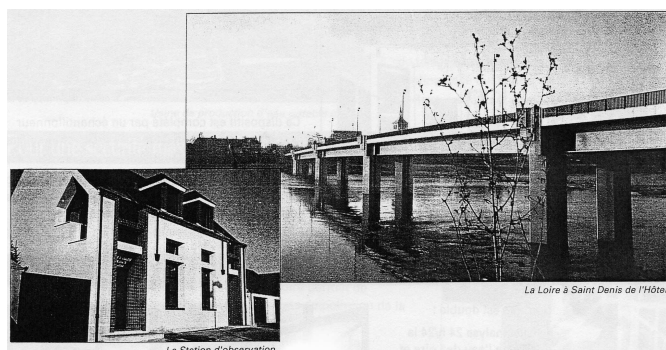


Figure 78 – Description du contexte de la station d'alerte de St Denis l'Hôtel.

L'écoulement de eaux entre la station d'alerte et l'usine du Val a été étudié préalablement : le délai d'écoulement est d'environ 48 heures. Ainsi, une fois l'alerte donnée, compte tenu des réserves de sécurité sur le réseau d'adduction, l'exploitant dispose d'un temps suffisant pour procéder à des analyses complémentaires sur les ressources et mettre en service les forages de secours qui captent d'autres points non vulnérables simultanément.

En outre, une étude par traçage dans la Loire (large de plus de 350 m), a permis de positionner la prise d'eau de la station d'alerte dans le tube de courant principal représentatif.

Description de la station et fonctionnement

La prise d'eau est constituée d'un bras HYDROMOBIL avec flotteur lesté, et située à 120 m de la berge rive droite de la Loire. Cette distance importante, nécessaire pour capter le flux représentatif de l'écoulement de la Loire, n'est pas sans poser problème : il y a 3 ans, une crue a emporté l'ensemble du dispositif de prise d'eau. Ce dispositif a été reconstruit par la suite et amélioré au niveau du lest du flotteur (les lests liquides étant parfois insuffisants, il a été décidé d'adapter le flotteur avec des lests de colliers en acier).

La station est équipée de capteurs physico-chimiques complétés par un Truitosem (truitelles) de marque CIFEC, qui permet de détecter les pollutions toxiques. L'inventaire des capteurs physico-chimiques permet de distinguer :

- un multi-paramètres (pH, température, oxygène dissous, conductivité) ;
- un turbidimètre SERES ;
- un appareil de mesure des hydrocarbures totaux par mesure des HAP par fluorimétrie (modèle Datalink FL200) ;
- un analyseur de métaux lourds (Cr VI, Cd, NI, Pb, Zn, Cu) par polarographie ;
- un appareil de mesure des matières organiques par absorbance UV ;
- une mesure de l'ammonium (Datalink AM200) ;
- une sonde de mesure en continu de la radioactivité (beta et gamma) – Modèle : COBENADE.

L'eau issue du pompage dans la Loire et entrant dans les appareils de mesure est préalablement débourbée (hydrocyclone coupant à 1 mm). Les mesures d'hydrocarbures et le Truitosem bénéficient généralement d'un hydrocyclonage complémentaire à 100 µm. Enfin, les mesures de métaux lourds et d'absorbance UV sont précédées d'une microfiltration par système de filtration tangentielle à barreau d'acier fritté.

La micro-filtration nécessite un entretien assez important puisqu'il convient de régénérer environ toutes les semaines les barreaux (lavage sous pression inverse à l'eau de javel puis acide chlorhydrique). Il convient par ailleurs de changer les barreaux (4 en tout) tous les ans (environ 1 000 €HT/an).

A noter que le Truitosem dispose d'un vivier de remplacement : il convient de remplacer régulièrement les truitelles afin qu'elles ne s'accoutument pas à l'eau transitant hors pollution (possibilité d'accoutumance aux bruits de fond, et réactivité moindre en cas de pollution faible).

Deux préleveurs-échantillonneurs (dont 1 asservi automatique aux alarmes) permettent de conserver l'historique de la pollution en cas d'épisode d'alerte, pour effectuer des analyses manuelles complémentaires.

En outre, la station est équipée d'un système concentrateur des micropolluants organiques, utilisé en cas de pollution : le système CLEOR. Les molécules organiques (telles que les pesticides notamment) sont concentrées dans un solvant (dichlorométhane), qui est par la suite distillé en laboratoire pour analyses.

La mesure de l'ammoniaque, initialement réalisée à l'aide d'un appareil SERES par colorimétrie, a été reprise par un autre procédé. L'analyseur Datalink AM200, après ajout dosé de soude et transformation de l'azote en ammoniaque gazeux, analyse la quantité de gaz dégagé par spectrophotométrie. Ce procédé fonctionne très bien et nécessite très peu d'entretien. En revanche, il n'est pas très précis pour des valeurs de quantification faibles (inférieures à 0,5 mg/l), mais reste largement suffisant pour les besoins d'alerte de la station (seuil d'alerte défini à 0,7 mg/l).

La mesure des hydrocarbures, initialement réalisée par l'appareil DHIR SERES (méthode normalisée au fréon), a aussi été remplacée : celle-ci coûtait très chère en produit solvant (près de 30 000 F/mois), et l'achat du fréon est désormais interdit. La méthode de mesure actuellement en place, par fluorimétrie, permet la quantification des HAP, et par l'emploi d'un facteur de conversion, fournit une valeur pour les hydrocarbures totaux.

Le polarographe analyseur de métaux lourds permet la quantification de 6 métaux toxiques (dissous) à des seuils intéressants, de l'ordre du µg/l. Mais il nécessite un entretien et une présence en personnel pour les réglages très importants. L'exploitant souhaiterait pouvoir disposer à terme d'un analyseur alternatif moins contraignant en temps et en fonctionnement.

Il est à noter que la Loire et le fonctionnement de la station présentent des différences sensibles selon la saison : hiver ou été (mai à septembre). En effet, en été, le développement généralisé de micro-algues devient très problématique : à la station d'alerte, l'ensemble des dispositifs se salissent rapidement (colmatage, collage d'algues sur les appareils de mesure), et l'exploitant doit procéder à un entretien lourd, au moins hebdomadaire (la durée d'indisponibilité cumulée des appareils durant cette phase de nettoyage est d'environ 0,5 jour/semaine au maximum).

L'alerte est transmise par l'automate reliant les appareils, au personnel d'astreinte qui valide (ou non) l'alarme en temps qu'alerte véritable, et déclenche le cas échéant le plan d'intervention.

A noter que les seuils d'alerte pour les différents paramètres ont été définis avec le Maître d'ouvrage et les services de la Préfecture et la DDAF.

Un système de gestion centralisée sur PC a été mis en place initialement à l'aide du logiciel CALYSTO, puis plus récemment avec TOPKAPI. Ce système orchestre le fonctionnement de l'ensemble des équipements (synoptique de gestion), et qui permet de consigner l'historique des données mesurées pour la qualité de la Loire à St-Denis-l'Hôtel.

A noter qu'un seul véritable épisode de pollution a pu être observé à la station suite à un déversement accidentel d'hydrocarbures en amont (détection et quantification sur l'appareil SERES initial).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 60

Toutes les informations sont transmises et stockées en temps réel à l'usine du Val par une liaison téléphonique spécialisée. Dans cette usine, les alertes transmises au service d'astreinte sont réalisées grâce à un système de synthèse vocale.

Sur la base des données archivées dans TOPKAPI, l'exploitant établit des bilans mensuels, qui sont transmis à la Ville d'Orléans. Il n'est pas réalisé d'analyses ou corrélations particulières entre différentes sources de données externes. L'objectif assigné à la station est uniquement l'alerte pour la sécurisation des ressources en eau potable captées à l'usine du Val.

A noter que récemment, la station a été certifiée ISO14001. A l'occasion de cette certification, des recherches en matière d'optimisation de la gestion des produits et déchets d'analyses sont menées.

Coûts d'investissement et de fonctionnement

Les coûts d'investissement globaux de la station d'alerte (en 1991-1992) sont d'environ 5 MF, dont 1 MF correspond à la réalisation du bâtiment.

Les premières années suivant la mise en route, les coûts totaux de fonctionnement s'établissaient à près de 800 000 F/an (dont la fourniture du fréon à hauteur d'environ 30 000 F/mois).

A la suite des mesures d'optimisation entreprises (notamment sur l'appareil de mesure des hydrocarbures), et suite à la formation des personnels du service d'exploitation au fonctionnement et à l'entretien de la station, les coûts actuels sont significativement réduits (coûts exacts non disponibles).

En été, les besoins en personnel sont d'une personne durant 2,5 jours/semaine ; en hiver cette occupation représente plutôt 1,5 j/semaine.

Ces coûts sont directement intégrés dans le contrat d'affermage de l'exploitant (usine de production AEP + station d'alerte).

4.2 Le système APES du Conseil Général des Hauts-de-Seine

Contexte du réseau APES, acteurs et implantation

Suite à la délibération de l'Assemblée départementale des Hauts-de-Seine le 14/12/1990, approuvant la réalisation d'un système d'Alerte sur la pollution des eaux superficielles de la Seine (système APES), une convention a été signée le 27/03/1992 entre le Département, le Syndicat des eaux de la presqu'île de Gennevilliers, Eau et Force – Compagnie des eaux de la banlieue de Paris, la Lyonnaise des eaux et la Compagnie générale des eaux.

Le réseau APES, destiné à suivre l'évolution de la qualité de la Seine au cours de sa traversée du département, est constitué de 5 stations de mesures : Issy-les-Moulineaux, Suresnes, Villeneuve-la-Garenne, Rueil-Malmaison et Chatou.

Le fonctionnement du système APES a débuté en avril 1993 avec les stations de Suresnes et de Chatou. Celles d'Issy-les-Moulineaux, Villeneuve-la-Garenne et Rueil-Malmaison ont été terminées respectivement en mars 1994, juin 1994 et février 1996.

La maîtrise d'ouvrage a été assurée par le Département pour les stations d'Issy-les-Moulineaux, de Villeneuve-la-Garenne et de Rueil-Malmaison, par le Syndicat des eaux de la presqu'île de Gennevilliers pour la station de Suresnes et par la Lyonnaise des eaux pour celle de Chatou.

La maîtrise d'œuvre de système a été partagée entre les 5 partenaires.

La réalisation du système APES a bénéficié de l'aide financière de l'Agence de l'eau Seine-Normandie et de la Région Ile-de-France.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 61

L'exploitation des stations de Suresnes et de Chatou est assurée par la Lyonnaise des eaux (Eaux et Force) dans le cadre du contrat d'affermage des équipements de captage, traitement et distribution d'eau potable. Les 3 autres stations sont également exploitées par Eau et Force (sur la base d'un appel d'offres spécifique). La convention inscrit des objectifs en matière de paramètres et fiabilité des mesures, gestion et valorisation des données...

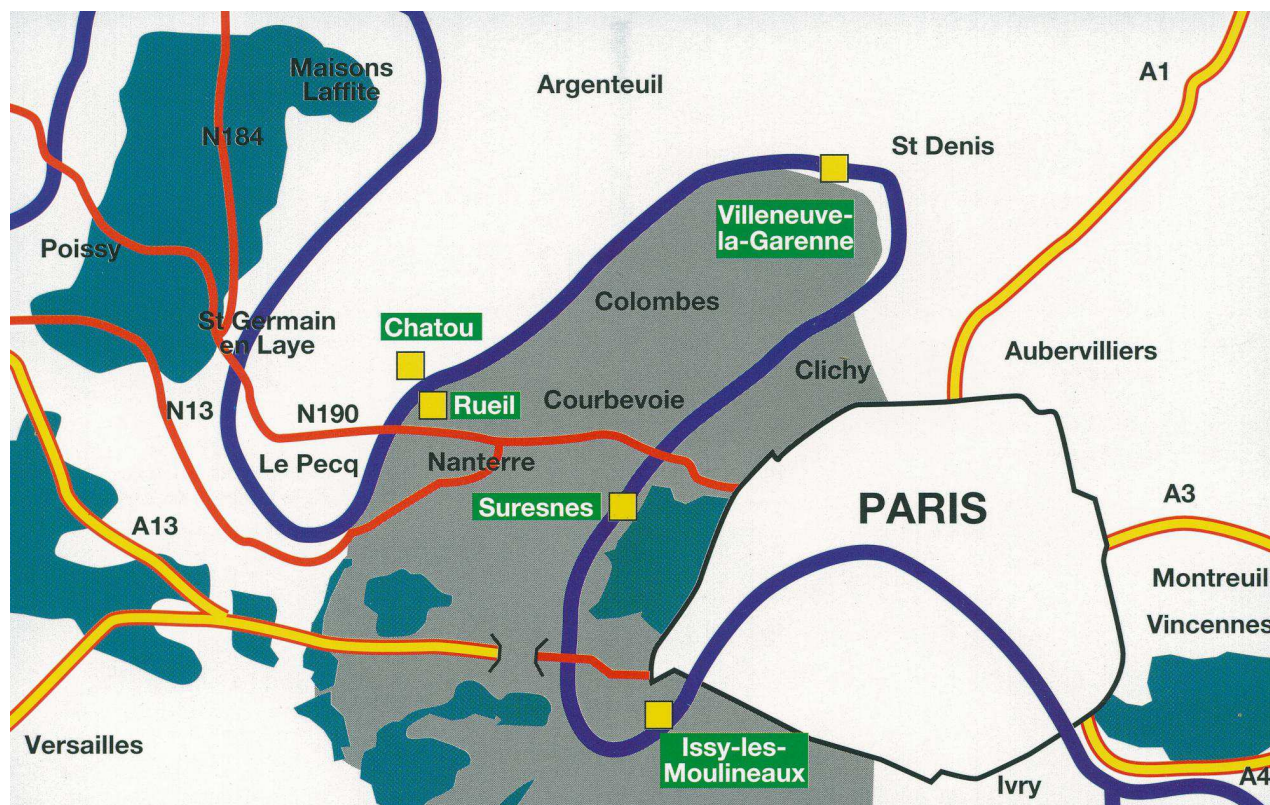


Figure 79 – Carte de localisation des 5 stations du réseau APES.

Les objectifs assignés à APES sont multiples :

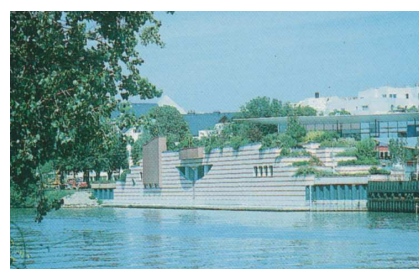
- réaliser l'alerte aux exploitants d'eau potable en cas de pollution accidentelle du fleuve, en particulier pour les stations de Chatou et de Suresnes ;
- mesurer l'impact des rejets des réseaux d'assainissement sur le milieu naturel ;
- améliorer la gestion du réseau d'assainissement départemental en liaison avec la gestion assistée par informatique de l'assainissement ;
- optimiser les investissements en matière d'assainissement et évaluer les résultats sur le milieu naturel.



Station d'Issy-les-Moulineaux



Station de Villeneuve-la-Garenne



Station de pompage et d'alerte de Rueil

Figure 80 – Illustrations de 3 stations du réseau APES.

Description de la station et fonctionnement

Le pompage des eaux s'effectue à l'usine de Rueil 2000 et aux captages du Pecq plus en aval. La stratégie d'emplacement retenue permet à la station de Suresnes de prévenir une alerte à la pollution du fleuve avec un délai de riposte de 30 minutes à 1 heure pour Rueil et de quelques heures pour les captages du Pecq.

Pas d'information disponible concernant d'éventuelles études préalables pour l'implantation des prises d'eau vis-à-vis de la présence (néanmoins suspectée) de veines liquides indépendantes dans le fleuve. Compte tenu de la circulation importante de péniche, il est difficile de positionner les prises d'eau en pleine section d'écoulement.

L'implantation des prises d'eau des stations d'Issy-les-Moulineaux et de Villeneuve-la-Garenne est réalisée depuis la berge, à l'aide d'un bras et d'un flotteur qui permet le prélèvement de l'eau à environ 1 m de profondeur.

La prise d'eau de la station de Chatou s'effectue depuis un ponton de 5 à 10 m au-delà de la berge, avec un prélèvement situé entre 2 et 3 m de profondeur.

A Suresnes et à Rueil-Malmaison, une conduite sous-fluviale permet de capter l'eau au milieu et au fond de la Seine.

Dans chaque station, huit paramètres de base sont mesurés en continu, après débourbage de l'eau à 1 mm :

- oxygène dissous, température, conductivité, potentiel rédox, pH (sondes spécifiques) ;
- turbidité ;
- ammonium et orthophosphates par colorimétrie : cette analyse nécessite une filtration préalable à 10 μ m.

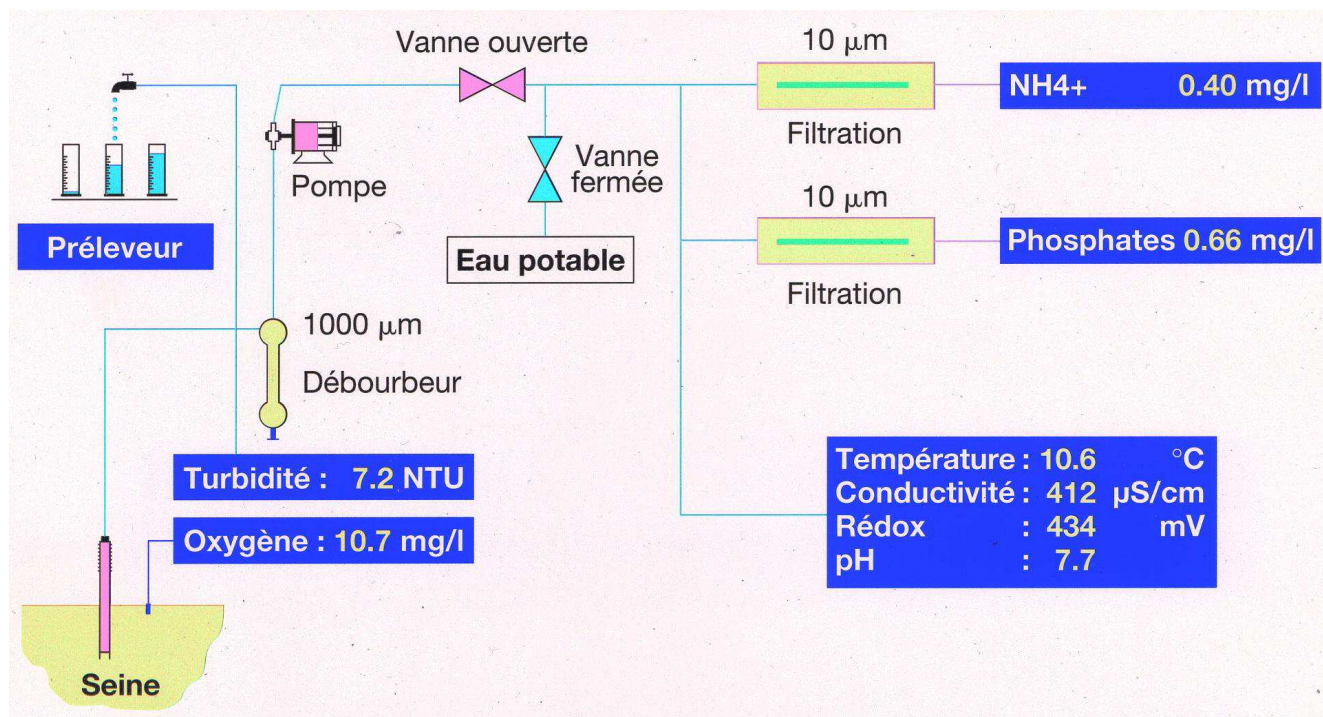


Figure 81 – Schéma hydraulique d'une station APES (analyses de base pour toutes les stations).

Ces paramètres de suivis sont bien en concordance avec l'objectif de suivi de la qualité des eaux par rapport au contexte d'assainissement.

Des mesures supplémentaires, hors convention, sont réalisées sur les stations de Chatou et de Suresnes : elles sont réalisées pour accroître la prévention et l'alerte vis-à-vis d'autres substances polluantes. Ainsi, pour ces 2 stations, sont mesurés :

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 63

- les métaux lourds (cadmium, plomb, cuivre, zinc, nickel et chrome VI) par colorimétrie : cette mesure nécessite une gestion rigoureuse du pH de mesure et une maintenance importante (2 à 3 interventions par semaine) ;
- les hydrocarbures dissous (appareil Datalink par mesure infra-rouge, offrant un seuil de quantification de l'ordre de 0,05 mg/l) ;
- indice phénol par colorimétrie ;
- l'activité de vairons (remplaçant des truitelles car plus tolérants en cas de réchauffement estival de l'eau) dans un aquarium du type Truitosem.
- Par ailleurs, un préleveur-rejeteur (non frigorifié) permet l'échantillonnage spécifique de l'eau en cas de dépassement d'un seuil d'alerte.

Globalement, le fonctionnement des différents capteurs est satisfaisant. Toutefois, la filtration 10 µm et les réglages et entretiens des appareils de mesure fonctionnant par colorimétrie, nécessitent des efforts importants en terme d'occupation du personnel.

Les données mesurées sont transmises au poste central de gestion via un automate qui communique avec les logiciels CALYSTO et TOPKAPI, qui permettent de procéder à la validation automatique (et manuelle) des données, à la transmission et à leur gestion (historique, statistiques corrélatives...).

Toutes les données mesurées à Suresnes, après validation, sont transmises à la Lyonnaise des eaux et au Département, en continu.

En cas de pollution, l'exploitant dispose de l'outil DISPERSO, qui permet de simuler de façon conceptuelle (non déterministe) la pollution et d'en identifier les caractéristiques (pics, durée...), dans le but d'adapter au mieux la riposte.

Malgré les équipements des stations, l'alerte humaine reste un outil privilégié pour riposter face aux pollution. Celle-ci est organisée entre les exploitants des stations d'alerte et différents partenaires : SDIS, exploitants de captages AEP en amont, exploitants des équipements d'assainissement...

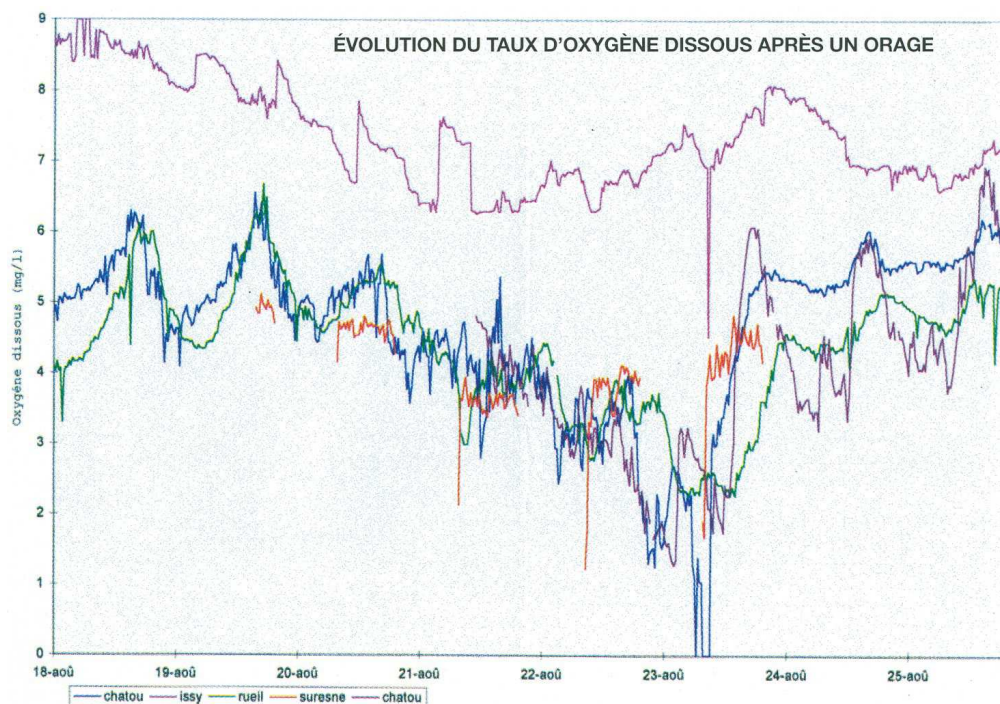
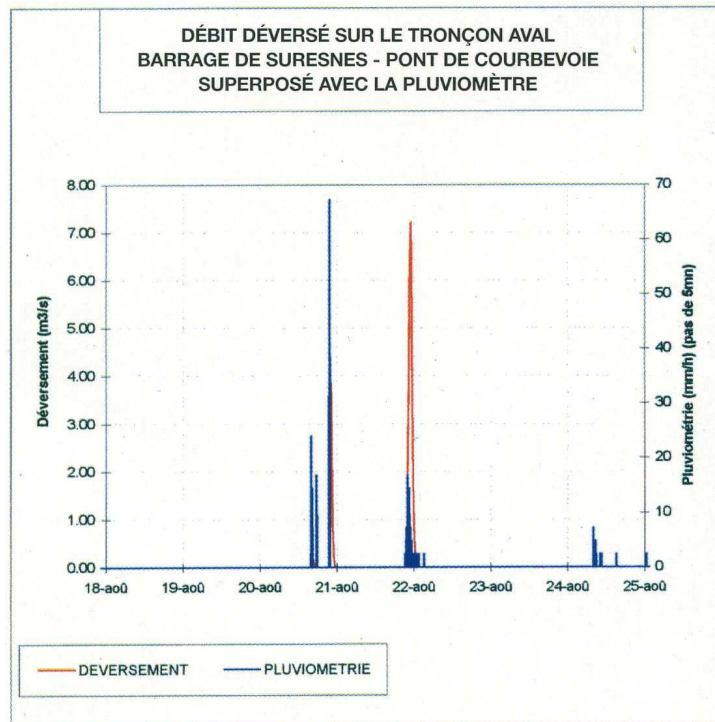
Un effort particulier est fait en matière d'interprétation des données, et permet de valoriser les mesures de façon pertinente pour répondre aux objectifs fixés par la convention.

Les résultats des analyses en continu ne sont pas uniquement présentées dans un rapport descriptif, mais sont couplées avec d'autres sources de données externes pour réaliser des corrélations et des interprétations « sources-effets » :

- débits journaliers de la Seine transmis par le Service de la navigation ;
- valeurs de nitrates mesurées manuellement en laboratoire aux stations, à fréquence hebdomadaire. Ces données viennent compléter la base de données des mesures automatiques ;
- données pluviométriques ;
- données existantes sur les nombreux rejets d'assainissement, dont beaucoup font l'objet d'une instrumentation (volumes rejetés par tronçon) et/ou d'une campagne annuelle de mesure de qualité.

Ainsi l'étude couplée de la qualité de la Seine et de la pluviométrie se révèle particulièrement intéressante, compte tenu du contexte important des rejets de l'assainissement et des déversoirs d'orage. Par exemple, on retient que le débit d'étiage de la Seine est d'environ 70 m³/s, à comparer avec le débit de rejet de la station d'épuration du SIAAP à Clichy qui est du même ordre de grandeur par temps de pluie.

Les figures ci-dessous montrent successivement le passage d'un événement pluvieux et les rejets induits au niveau du réseau d'assainissement puis leurs conséquences sur le taux d'oxygène dissous en Seine mesuré par les stations APES.



En ville, les eaux de pluie sont collectées par les égouts. En raison de l'importance des surfaces imperméabilisées dans le département des Hauts-de-Seine, les capacités d'évacuation et de traitement des eaux deviennent insuffisantes et des rejets en Seine sont nécessaires pour éviter l'inondation de zones urbanisées.

Ces déversements véhiculent des flux polluants qui dégradent la qualité du milieu naturel et sollicitent le pouvoir épurateur de la Seine qui permet la dégradation biologique des matières organiques. Celle-ci est effectuée par des micro-organismes qui digèrent les polluants en utilisant l'oxygène dissous dans l'eau.

En cas de chute importante d'oxygène dissous, des zones d'anoxie apparaissent pouvant provoquer une asphyxie de la faune aquatique.

*Figure 84 – Exemple d'interprétation des données suivies par APES (O₂ dissous)
avec des données externes (pluie et déversement d'assainissement).*

Coûts d'investissement et de fonctionnement

En 1994-1996, pour les 3 stations d'alerte sous maîtrise d'ouvrage du Département (Issy-les-Moulineaux, Villeneuve-la-Garenne et Rueil-Malmaison), les coûts d'investissement hors génie civil, ont été de 2,7 MF TTC. L'Agence de l'eau Seine-Normandie et la Région Ile-de-France ont participé à l'investissement.

Concernant le fonctionnement des stations (2004), on peut noter que les stations APES « de base » représentent environ 8 000 €/HT/station/mois pour les analyseurs eux-mêmes, et de 2 000 €/HT/station/mois pour le réseau informatique et la maintenance sur la gestion des données, soit un total de l'ordre de 10 k€/HT/station/mois : ce prix intègre le remplacement nécessaire de matériels. A noter que les stations de Suresnes et Chatou, plus complètes, présentent un coût de fonctionnement annuel environ 2 fois plus important que pour les stations APES de base.

Au niveau de l'occupation du personnel, la gestion des systèmes de mesure nécessite environ 1,5 temps plein pour 4 stations.

A noter que depuis 2002, les réactifs d'analyses sont achetés à un laboratoire externe.

Sauf le cas particulier de la station de Suresnes, le coût du fonctionnement des stations d'alerte s'inscrit en dehors du contrat d'affermage pour le service d'eau potable proprement dit. D'après les gestionnaires et financeurs, ce fonctionnement reste aujourd'hui satisfaisant, et il n'est pas prévu d'intégrer le coût des stations d'alerte dans le prix de l'eau.

4.3 Les stations d'alerte de l'usine des eaux de Choisy-le-Roi (SEDIF)

Contexte du site, implantation

L'usine Edmond Pépin de Choisy-le-Roi (94), située en rive gauche de la Seine, à 8 km en amont de Paris, permet le captage des eaux de la Seine pour l'alimentation en eau potable d'environ 1 650 000 habitants de la banlieue parisienne (soit plus de 350 000 m³/j produits en moyenne), répartis sur 59 communes.

Cette usine, comme celles de Neuilly-sur-Marne/Noisy-le-Grand et de Méry-sur-Oise, appartient au Syndicat des Eaux d'Ile-de-France (SEDIF) qui en a confié la gestion à la Générale des eaux.

La qualité de la Seine est ici médiocre et changeante, non seulement en fonction des cycles naturels saisonniers mais aussi et surtout en raison de la densité de l'urbanisation et de l'industrialisation et de l'occupation agricole du bassin versant en amont de la prise d'eau.



Figure 85 – Usine des eaux de Choisy-le-Roi, captant les eaux de la Seine.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 66

Devant l'ampleur des risques et la fréquence des pollutions accidentelles des cours d'eau en amont de Choisy-le-Roi, le SEDIF et la Générale des eaux ont mis en œuvre 3 dispositifs d'alerte destinés spécifiquement à prévenir l'usine de Choisy-le-Roi des pollutions :

- la station d'alerte d'Ablon sur la Seine, située à 4 km de la prise d'eau de l'usine ;
- la station d'Athis-Mons sur l'Orge en partie aval, à environ 5 km en amont de la prise d'eau ;
- une station d'analyses en continu à la prise d'eau de Choisy-le-Roi (alerte « ultime »).

Sur l'Orge, une partie des risques de pollution est liée à la présence de l'aéroport de Paris qui rejette ses eaux d'assainissement via un collecteur (DN 2800 mm) vers l'Orge et aux rejets potentiels des eaux d'assainissement acheminées pour traitement à l'usine de Valenton (SIAAP) via un collecteur DN 2000 mm : les principaux risques concernent les hydrocarbures, et les sels de déverglaçage des pistes (acétate de sodium et glycol).

Ailleurs, les risques sont essentiellement liés aux pollutions de type hydrocarbures (péniches, casses automobiles...), à l'assainissement, aux industries.

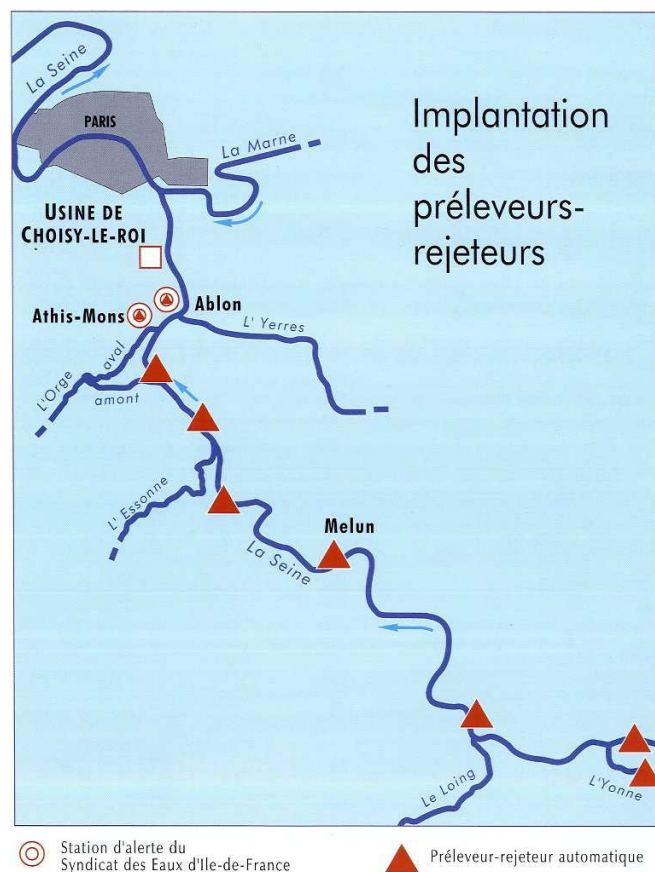
Ces stations ont été mises en œuvre en 1986-1987, afin d'abord de remplir cet objectif d'alerte, mais aussi de permettre une optimisation du traitement de l'eau distribuée réalisé en fonction de la qualité de la Seine, et par là même d'en limiter les coûts.

L'implantation a été retenue en fonction d'une étude des risques afin que les stations puissent répondre aux 2 attentes suivantes :

- intégrer un contexte de risques en amont, le plus important possible,
- disposer d'un délai de riposte suffisant.

Par ailleurs, des études hydrodispersives avec traçages ont été menées, afin de qualifier l'écoulement de la Seine. Celui est très laminaire et des tubes de courant individualisés. Ainsi, après ces études, les prises d'eau des stations d'alerte ont été disposées en partie centrale de la section du cours d'eau à mesurer, et sous environ 20 cm de profondeur à l'aide d'un flotteur.

La mise en place de ces flotteurs (en pleine rivière navigable) a été réalisée en convention avec le Service de la navigation.



Le module de la Seine à Choisy-le-Roi est d'environ 215 m³/s. Les valeurs minimales sont de l'ordre de 60 m³/s, celles en crue peuvent atteindre 1 000 à 1 200 m³/s.

Le module de l'Orge est d'environ 4 m³/s.

Enfin, les stations d'alerte sont complétées par une série de préleveurs-rejeteurs automatiques disposés tout au long des cours d'eau. Par le cycle d'échantillons qu'ils conservent en cas de pollution ou en programme de routine, ils permettent de reconstituer l'historique des variations de la qualité des rivières.

Figure 86 – Réseau de stations d'alerte et de préleveurs-rejeteurs automatiques en amont de l'usine de Choisy-le-Roi.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 67

Description des stations et fonctionnement

La station d'alerte d'Athis-Mons sur l'Orge, comprend 3 unités de pompage pour la prise d'eau (débit total d'environ 2 à 3 m³/h) :

- une sur la sortie du collecteur de l'aéroport de Paris qui renvoie vers l'analyse en continu du COT, des nitrites et de l'indice CH₂ ;
- une sur l'Orge en amont du rejet du collecteur, qui renvoie vers l'analyse de l'ammoniaque et la mesure du multi-paramètres (pH, conductivité, oxygène dissous et température) ;
- une sur l'Orge à la confluence Orge-Seine, au droit d'un émissaire d'assainissement (SIAAP), et qui renvoie vers la mesure de l'ammoniaque.

La station d'Ablon dispose de 2 unités de pompage qui fonctionnent en parallèle, d'un débit total d'environ 3 m³/h (1 flotteur avec 2 pompes, les conduites de refoulement vers la station d'analyse sont bien doublées et bien ancrées au fond du lit).

La prise d'eau pour les analyses en continu réalisées à la station des eaux de Choisy-le-Roi, est constituée de 2 pompes importantes (débit total de 8 à 10 m³/h, avec une hauteur manométrique totale d'environ 200 m), installées près des berges à environ 50 cm de profondeur, grâce à un palan.

Sur chaque station et avant les analyseurs, l'eau subit un débouillage à l'aide d'un dispositif hydrocyclone.

Le tableau suivant présente l'inventaire des dispositifs de mesures en place sur chaque station.

Station d'Ablon sur la Seine	Station d'Athis-Mons	Station de Choisy-le-Roi sur la Seine
Indice CH ₂	Indice CH ₂	Indice CH ₂
COT	COT	COT
Nitrites	Nitrites	
Ammoniaque	Ammoniaque (2 analyseurs distincts)	Ammoniaque
Cyanures		
Nitrates		
Métaux lourds		
pH, O ₂ dissous, conductivité, température	pH, O ₂ dissous, conductivité, température	pH, O ₂ dissous, conductivité, température
Radioactivité		
		Potentiel rédox
		Orthophosphates
		Turbidité

Tableau 9 – Inventaire des paramètres analysés dans les stations d'alerte pour la sécurisation des ressources de l'usine de Choisy-le-Roi.

Les mesures du COT sont réalisées à l'aide d'un analyseur de marque Environnement SA, qui effectue une minéralisation et un stripping pour décarbonater l'échantillon, puis ajout de persulfate de sodium et oxydation aux rayons UV, et qui mesure le CO₂ total produit par ces réactions. La mesure est réalisée toutes les 30 minutes. Le seuil de détection est de 0,7 mg/l. Cet appareil fournit des résultats fiables, et nécessite une maintenance mensuelle.

Le multi-paramètres consiste au regroupement de 4 électrodes spécifiques classiques (pH, O₂ dissous, conductivité et température). Le taux de disponibilité de ces données est très largement supérieur à 80%.

Les mesures de l'ammoniaque, du cyanure et des nitrites sont réalisées avec des électrodes spécifiques (Environnement SA) plus ajouts dosés pour le cyanure et les nitrites, au pas de temps de 1 heure (le pas de temps minimal possible est 15 minutes). Ces mesures sont très fiables (taux de disponibilité supérieur à 80%).

La radioactivité gamma est suivie à l'aide d'une sonde LIRA Saphymo-Phy (cf. chapitre 3.2.4.14), qui fonctionne très bien (taux de disponibilité > 90%).

L'analyse des 5 métaux lourds suivis (Zn, Cd, Pb, Cu et Cr VI) est réalisée à l'aide d'un appareil polarographe Techmetron (coût de l'appareil : environ 40 k€HT), qui est complexe à utiliser et qui nécessite des réglages et un entretien importants : le taux de disponibilité des données est plus faible (il reste néanmoins supérieur à 80% compte-tenu des efforts impliqués) : il faut noter que l'analyseur n'est pas très sélectif et qu'il existe parfois des interférences entre certains métaux.

L'emploi de l'analyseur de métaux est plus problématique encore en période forte turbidité.

L'indice CH₂ est mesuré à l'aide d'une turbine en inox (pas de PVC !) qui accueille l'échantillon d'eau et un solvant organique (tétrachloroéthylène) qui est recyclé en fin d'analyse dans une cartouche de charbon. Après extraction, un spectromètre infrarouge permet une quantification de l'indice CH₂.

A noter que l'atelier d'analyse est équipé d'un extracteur d'air puis d'une filtration à charbon avant rejet de l'air à l'extérieur.

La turbidité est mesurée avec un turbidimètre SIGRIST qui donne entière satisfaction.

Une microfiltration tangentielle est appliquée en amont de la mesure des orthophosphates. Celle-ci est réalisée à l'aide d'un barreau céramique microporeux.

A noter qu'auparavant, la station d'Ablon était équipée d'un système de mesure de pollution Microtox. Ce système a été retiré car d'une part, il présentait des fausses alertes trop fréquentes, et les souches bactériennes coûtaient plus de 30 k€ chaque année d'autre part.

Les voies d'optimisation envisagées pour les stations par l'exploitant s'orientent vers la mise en place d'une mesure d'absorbance UV (matières organiques) pour compléter la mesure du COT.

En outre, un appareil est en cours de validation pour la mesure de la chlorophylle a et une réflexion est menée sur l'intérêt et les possibilités d'analyse automatique de pesticides.

En plus des analyses automatiques, l'alerte humaine est ici très développée avec des relations très abouties entre le SEDIF et la Générale des eaux avec différents acteurs tels que le CODIS « département pollution », les pêcheurs, le Service de la navigation, les autres distributeurs d'eau

Ce point est considéré comme majeur dans la prévention des épisodes de pollution.

En cas d'accident déclaré, le gestionnaire et l'exploitant utilisent l'outil DISPERSO, qui permet de prévoir avec une assez bonne précision l'arrivée et la durée d'une pollution accidentelle au droit de la prise d'eau et prendre en conséquence toutes les dispositions utiles en temps voulu.

Sur les 10 dernières années, le nombre moyen annuel d'accidents de pollution est d'environ 20, dont 5 impliquent une modification du traitement de l'eau distribuée à l'usine de Choisy-le-Roi. Parmi ces accidents, environ 2/3 sont liés à des hydrocarbures.

L'ensemble des données analysées sont transmises au poste central de supervision, équipé du logiciel PANORAMA permettant la gestion des appareils et des données (validation, transmission, archivage...).

Un suivi et un bilan (annuel) des données validées sont réalisés de façon très complète. Il recense notamment les différents accidents et incidents de pollution survenus.

En outre, un ingénieur se charge de coupler les valeurs d'analyses avec des données externes (autres suivis de la qualité (DIREN, Agence de l'eau, Service de la navigation...), données sur les rejets (collecteur de l'aéroport, données sur l'assainissement, SIVOA...), pluviométrie...). En plus de la mission d'alerte remplie, ces analyses corrélatives renforcent très largement la pertinence et l'intérêt des stations du SEDIF en matière de surveillance explicative (et prédictive ?) de la qualité de l'eau.

Coûts d'investissement et de fonctionnement

L'exploitation de l'usine des eaux de Choisy-le-Roi, intégrant les stations d'alerte, est réalisée en régie intéressée. Les coûts d'exploitation ne sont pas renseignés. Les stations d'alerte ont été en majeure partie financées par le SEDIF lui-même.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 69

Les coûts de fonctionnement peuvent être appréciés en fonction des besoins en personnel (régie) : la surveillance, le contrôle, le réglage et les validations relatives aux stations d'alerte présentées requièrent au moins 1 emploi à temps plein.

En plus de ce poste, s'ajoutent des coûts liés :

- à la maintenance préventive des matériels (analyseurs mais aussi unités de prélèvement flottantes), d'au moins 63 à 70 k€HT/an au total ;
- aux consommables et à l'énergie et communications, et au remplacement nécessaire de certains matériels (lampes UV, électrodes...), dont les coûts sont variables selon les besoins annuels.

4.4 Le réseau d'alerte sur la Garonne en amont de Toulouse

Contexte du réseau d'alerte, implantation des stations

Dans le département de la Haute-Garonne, environ 90% des ressources d'alimentation en eau potable sont représentées par les eaux superficielles, et en majeure partie par les cours d'eau. Cette alimentation concerne plus de 800 000 habitants, répartis sur 308 communes.

Pour prévenir les risques de pollution sur ces cours d'eau et sécuriser la ressource, le Conseil Général de la Haute-Garonne a décidé dès 1996, la mise en œuvre d'un réseau de station d'alertes réparties sur les principaux cours d'eau du département.

Les vocations du réseau sont d'une part l'alerte face aux pollutions accidentelles, et la surveillance de l'évolution de la qualité des cours d'eau d'autre part. Par ailleurs, les stations d'alerte situées juste en amont de Toulouse permettent d'optimiser le traitement de l'eau distribuée pour l'agglomération toulousaine (captages de Peyche David et de Clairefond (total d'environ 90 000 m³/j)).

Le réseau actuel dispose de 5 stations d'alerte et de surveillance (cf. figure 87). Celles-ci sont gérées par différents organismes

Station	Cours d'eau	Date de conception	Maître d'ouvrage	Gestionnaire
Lacroix-Falgarde	Ariège (aval)	1996	Mairie de Toulouse	Générale des eaux
Montespan	Garonne (amont)	1998	Conseil Général 31	Laboratoire départemental des eaux
Saint-Julien	Garonne (médian)	1998	Conseil Général 31	Laboratoire départemental des eaux
Portet	Garonne avant confluence avec Ariège	1996	Mairie de Toulouse	Générale des eaux
Le Bazacle (Toulouse centre)	Garonne en aval de la confluence avec l'Ariège	1999	Conseil Général 31	Laboratoire départemental des eaux

Tableau 10 – Inventaire récapitulatif des stations d'alerte du Département de la Haute-Garonne.

Entre 2006 et 2008, il est prévu de compléter la réseau existant par 3 stations complémentaires (canal de Saint-Martory, Tarn, Ariège sur sa partie supérieure amont).

Les stations d'alerte sont toutes reliées à un poste central, chargé de la gestion des alertes et du traitement des données. Ce poste est géré par le Laboratoire départemental des eaux.

L'emplacement des stations a été établi suite à des études techniques prenant en compte les bassins versants de risques, les connections du réseau hydrographique et les délais de riposte aux prises d'eau AEP (calculés à l'aide du logiciel DISPERSO) et foncières. Ces études ont été réalisées et financées, sous maîtrise d'ouvrage de l'Agence de l'eau Adour-Garonne.

Parmi les risques ponctuels présents, on retient notamment :

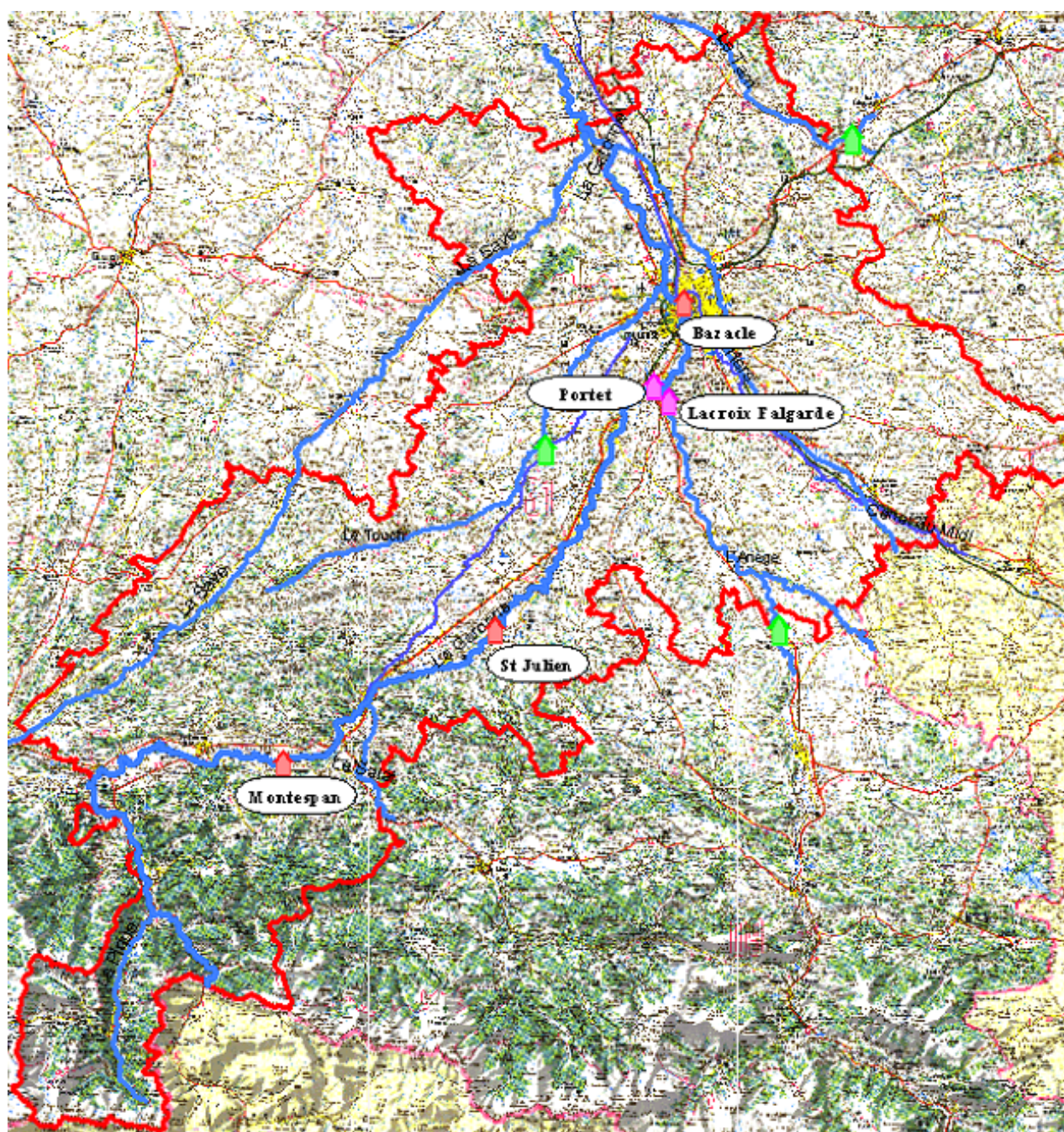


Figure 87 – Carte du réseau des stations d'alerte du Département de la Haute-Garonne.

- une usine de pâte à papier en amont de la station de Montespau ;
- un pôle industriel situé en amont de Saint-Julien ;
- l'ancienne usine AZF en amont du Bazacle ;
- usines de traitement de surface en amont de Portet...

Face à ces risques, l'implantation a été retenue pour disposer d'un délai de riposte d'au moins 2 heures.

Description des stations et fonctionnement

Le prélèvement des eaux pour l'alimentation des stations est réalisé depuis la berge au moyen d'un bras oscillant HYDROMOBIL et d'un flotteur supportant une pompe immergée située entre 40 et 60 cm de profondeur selon les sites, et débitant environ 5 m³/h.

Avant les analyses, l'eau est débourbée au moyen d'un hydrocyclone.

A noter que le cahier des charges technique prescrit lors de la réalisation des stations n'a volontairement pas permis les mesures par analyse colorimétrique : de telles mesures nécessitent en effet une filtration importante souvent coûteuse en moyens et en temps d'entretien. L'objectif recherché étant de pouvoir disposer de stations les plus fiables avec le moins de maintenance possible.

Ainsi les stations ne présentent pas de dispositif de microfiltration.

L'inventaire des paramètres mesurés est présenté dans le tableau suivant. Toutes les stations sont équipées de la même façon, sauf celle du Bazacle qui dispose en plus d'un analyseur de métaux lourds par polarographie (Cu, Zn, Cd, Pb, Cr VI).

Paramètre	Méthode	Pas de temps de mesure	Seuil d'alerte (indicatif)
Turbidité	Mesure néphélométrique optique par double faisceau (appareil Endress+Hauser)	15 minutes	---
Ammoniaque	Electrode spécifique sans filtration (Environnement SA)	15 minutes	0,5 à 1 mg/l
COT	Minéralisation, stripping, persulfate de sodium et UV, puis mesure du CO ₂ produit (appareil Environnement SA)	30 minutes	Non renseigné
Indice CH ₂	Appareil Environnement SA : extraction au tétrachloroéthylène (anciennement réalisée au fréon), puis mesure par spectrophotométrie infrarouge	1 heure	0,5 mg/l
pH, conductivité, température, O ₂ dissous	Sondes multi-paramètres (Environnement SA)	3 minutes	7,2 < pH < 9 Conductivité > 360 µS/cm

Tableau 11 – Inventaire des paramètres communs mesurés dans les stations d'alerte du Département de la Haute-Garonne.

Chaque station est équipée d'un préleveur-rejeteur multi-flacons réfrigéré qui permet de conserver l'historique d'une pollution.

L'ensemble des mesures présente une bonne fiabilité, avec un taux de disponibilité des données supérieur à 90%.

On notera toutefois que le seuil de quantification de l'indice CH₂ est très proche du seuil d'alerte...

Le polarographe de la station du Bazacle est assez problématique en entretien et maintenance (réglage de la goutte de mercure, cristallisation des produits pour ajouts, colmatage de prise d'échantillon, service de fourniture de capillaire pas toujours satisfaisant...), et n'apparaît pas très fiable.

A noter qu'un système Microtox initialement installé a été supprimé en raison de coûts trop élevés et de résultats trop peu pertinents.

La réflexion interne sur l'utilisation éventuelle de biocapteurs (poissons notamment) n'est pas encore clairement définie.

En revanche, une possibilité d'optimisation est étudiée pour la détection d'irisations en surface liées à des hydrocarbures : dans ces cas, la mesure de l'indice CH₂ pouvant s'avérer insuffisante.

Le fonctionnement et la pertinence des stations sont jugés satisfaisants puisqu'ils ont permis de détecter plusieurs pollutions intervenues dans différents contextes. Quelques exemples :

- pollution d'azote ammoniacal suite à l'accident majeur de l'usine AZF ;
- rejet de soude d'une industrie papetière en amont de Montespan ;
- irisations liées à des hydrocarbures ;
- rejets d'acide en étiage en amont du Bazacle...

Le système d'alerte est bien préparé (cf. figure 88) et fonctionne très bien.

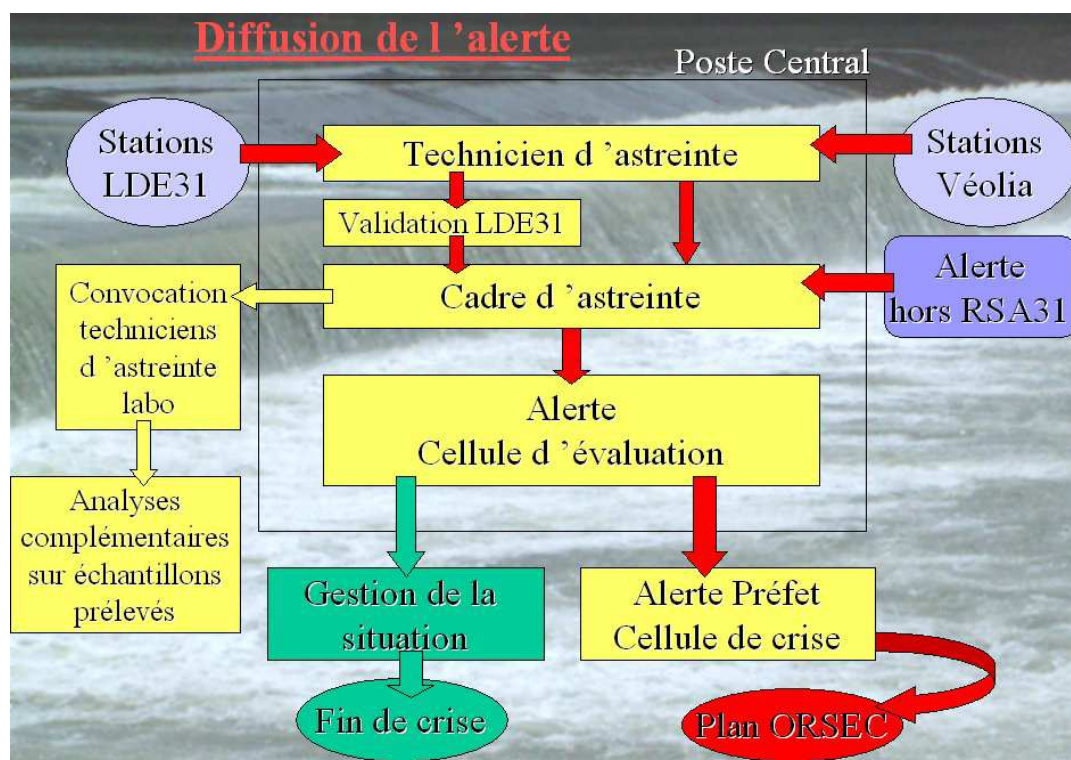


Figure 88 – Déroulement d'une alerte pollution des eaux dans le Département de la Haute-Garonne.

L'ensemble des données mesurées sont regroupées au sein du poste central, situé et géré au Laboratoire départemental de l'eau. Les données brutes sont gérées au moyen du logiciel de suivi TOPKAPI, qui permet également de suivre l'état de fonctionnement et la maintenance des appareils de mesure.

Le Laboratoire, avec l'aide d'un prestataire externe, a développé le logiciel spécifique ALLEAU qui reçoit automatiquement les données générées par TOPKAPI, et qui permet de réaliser plusieurs actions complémentaires essentielles :

- procéder aux pré-invalidations et aux validations ;
- afficher les défauts matériels, et les différentes interventions opérées ;
- de déclarer des événements de pollution et en suivre l'historique
- de croiser les données des analyseurs avec les données manuelles issues du laboratoire ;
- de procéder à des corrélations et représentations automatiques, croisant plusieurs stations si besoin, et couplant les données des analyses automatiques, avec les données qualitatives manuelles, les événements de pollution déclarés, les débits des cours d'eau (données DIREN), la pluviométrie, des résultats issus de simulations DISPERSO...
- d'établir des rapports automatiques.

La génération automatique des rapports est d'une grande utilité. Par exemple, en étiage, le Laboratoire départemental remet un rapport hebdomadaire sur la situation qualitative des cours d'eau à la DDASS.

Coûts d'investissement et de fonctionnement

L'investissement initial pour une station d'alerte représente 230 k€TTC, dont environ 10% pour le génie civil. L'investissement courant complémentaire annuel (véhicule, appareillage, PC...) s'établit à environ 20 k€TTC. Le développement du logiciel ALLEAU a coûté environ 100 k€.

Concernant le fonctionnement, les coûts sont d'environ 384 k€TTC par an, pour les 3 stations d'alerte et pour le poste central gérés par le Laboratoire départemental, dont :

- 120 à 130 k€TTC en frais de matériels et produits réactifs ;
- 15 k€TTC pour les analyses manuelles en laboratoire ;
- 15 k€TTC pour le loyer du poste central ;
- le reste correspondant aux frais des personnels directs et indirects.

En terme de moyens humains directs, la maintenance nécessite l'équivalent de 1,5 temps plein de technicien sur l'année, pour les 5 stations d'alerte.

A cela, s'ajoutent les moyens indirects nécessaires pour l'astreinte (1 cadre, 1 technicien, et 2 techniciens de laboratoire).

Pour ces stations, le Laboratoire départemental ne bénéficie pas de contrat d'exploitation particulier : le Conseil Général donne les moyens en régie au Laboratoire pour assurer le meilleur fonctionnement possible et la gestion des stations d'alerte concernées et du poste central de gestion des données.

Pour les stations de Portet et de Lacroix-Falgarde, la gestion financière est entièrement incluse dans les contrats d'affermage des sites de production d'eau potable (Mairie de Toulouse / Générale des eaux), et est répercutée sur le prix de l'eau distribuée.

4.5 La station d'échantillonnage du Rhône à Arles

Contexte du suivi et implantation de la station d'Arles

A partir de 1996, l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) souhaite étudier les flux radioactifs entrants à la mer par les fleuves. Le Rhône étant le fleuve le plus électro-nucléarisé en Europe, il convenait qu'un point de mesure de ce fleuve soit intégré dans la démarche.

L'IRSN a retenu le site d'Arles, en aval du Grand Rhône avant sa confluence avec la mer Méditerranée pour mesurer les flux dissous et solides, vecteurs de radioactivité.

En 1997-1998, l'Agence de l'eau et un laboratoire d'université (Didier PONT) participent avec l'IRSN à la réflexion : le groupe d'étude intervient pendant près de 2 ans dans un programme d'études hydrauliques (pas de traçage) et foncières, prélèvements et analyses sur le Rhône à Arles à l'aide d'une barge, afin d'étudier la mise en place d'une station pérenne.

Ces études confortent l'hypothèse de la représentativité de la rive droite du Rhône en aval du pont d'Arles pour l'implantation de la station de mesures : le bon mélange est atteint, sauf peut-être en cas de crue du Gard isolée (impactant nettement la rive droite du Rhône) et en cas de crue importante du Rhône (au-delà de 3 000 m³/s), pour laquelle, l'hypothèse d'une sous-estimation de la charge solide peut être faite.

Ainsi en 2000, l'IRSN prend la maîtrise d'ouvrage de la réalisation de la station de mesures. Celle-ci est inaugurée en 2003 : l'IRSN y entreprend uniquement des mesures (en laboratoire) de radioactivité sur la fraction dissoute et sur la fraction particulaire, échantillonnées automatiques à la station.

Depuis peu, le Centre d'océanologie de Marseille (COM) s'associe avec l'IRSN pour la réalisation de mesures qualitatives physico-chimiques et de MES journalières, à l'aide de prélèvements automatiques.

Dans son état actuel, la station d'Arles représente ainsi une station d'échantillonnage des eaux du Rhône.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 74

Description de la station et fonctionnement

Le prélèvement de l'eau du Rhône est réalisé depuis la berge rive droite, au moyen d'un bras HYDROMOBIL de 12 mètre de longueur, ancré sur le fond du lit. Ce bras est raccordé à un flotteur supportant la pompe de prélèvement (8 m³/h), située à environ 50 cm sous la surface : l'articulation angulaire du bras, compte tenu de l'action du niveau d'eau sur le flotteur, permet de suivre les battements du fleuve sur une amplitude maximale de 6 mètres.

A noter que l'ancrage du dispositif de prise d'eau est suffisant, celui-ci a résisté à la crue historique survenue en décembre 2003.

La crépine et la conduite d'adduction de la prise peuvent faire l'objet d'un décolmatage à air comprimé automatisé.



*Figure 89 – Le Rhône à Arles (vue vers l'amont) (à gauche).
Flotteur de prélèvement et conduite d'adduction (à droite).*

Au niveau de la représentativité du point de prélèvement vis-à-vis de la charge solide, plutôt que de rechercher une section « parfaite », l'IRSN préfère caractériser le biais éventuel de la station par des mesures comparatives manuelles de la charge solide (prélèvement par intervenant harnaché au quai (!) et qui remplit des bidons).

NB : il n'a jamais été testé de prélèvements à plusieurs niveaux de profondeur afin de savoir si il y a densification éventuelle de la charge avec la profondeur. Dans ses travaux scientifiques précédents sur des canaux, Olivier MASSON (IRSN), actuellement en charge des mesures réalisées à la station, a montré que ce phénomène de densification n'était pas vraiment significatif.

La station de l'IRSN présente lignes d'échantillonnage distinctes : une en cas de crue du Rhône, et une en circuit de routine.

Circuit de routine

Le circuit de routine consiste à diriger les eaux prélevées au Rhône dans un filtre afin de séparer la fraction particulaire du dissous. Cette opération s'effectue pendant un mois, avec 2 échantillons mensuels : 1 pour le dissous, et 1 pour le particulaire.

La filtration s'effectue au travers d'un débourbeur, puis d'un filtre MILLIPORE 0,45 µm (type feutre et non papier plissé), qui peut accumuler les particules pendant 1 mois (hors crue).

Le fraction dissoute est dirigée dans une cuve d'échantillonnage, qui renvoie vers un évaporateur qui permet de concentrer le dissous (évaporateur à hotte fonctionnant à 70°C), à hauteur d'environ 40 l/jour. En fin d'opération, on remplit un flacon de 5 l.

Ce circuit permet ainsi la préparation d'échantillons moyennés au pas de temps mensuel, dissous et particulaire, qui font l'objet d'une analyse de la radioactivité en laboratoire.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 75

A noter qu'un multi-paramètres est également installé dans la station. Celui-ci mesure la turbidité (néphélométrie), la conductivité, le pH, et la température. Mais ces données ne sont pas calibrées et certaines sont aberrantes. En fait dans l'état actuel, il n'y a pas véritablement de valorisation de ces données.

En parallèle, le débit du Rhône est connu en continu grâce à une sonde de pression hydrostatique installée sur l'échelle limnimétrique tarée des Voies navigables de France.

Circuit en période de crue

Une majeure partie des flux qualitatifs et radioactifs du Rhône étant véhiculés en période de crue, via la fraction particulaire, il est particulièrement intéressant de procéder à un échantillonnage plus fin et discret des MES au cours de la crue.

Pour cela, l'IRSN a développé un système original basé sur 5 filtres MILLIPORE 0,45 µm (type feutre) placés en parallèle, dont l'accès par l'eau prélevée est contrôlée par une électrovanne.



Figure 90 – Dispositif de 5 filtres en parallèle pour échantillonnage discret des MES en crue à Arles.

Ce système permet ainsi de discrétiser l'épisode de crue en 5 pas de temps. L'autonomie du filtre (avant saturation) est de 8 heures à raison de prélèvements tous les 1/4 d'heures.

La direction respective de l'eau dans les filtres n'est pas automatisée, et le protocole d'échantillonnage nécessite alors la présence d'un opérateur manuel qui commande les électrovannes.

Après l'opération, on peut ainsi récupérer environ 30 à 100 g de solide par filtre, ce qui est suffisant pour l'analyse des éléments radioactifs (les eaux de lavage des carters de filtre (avec MES donc) sont également récupérées pour compléter les solides l'échantillon-filtre). La mesure de la radioactivité est réalisée en laboratoire par passage à l'étude, puis calcination : les cendres résiduelles sont broyées et la radioactivité est mesurée à l'aide d'un compteur adéquat.

Un système de supervision de la station permet de visualiser l'ensemble des données de fonctionnement (synoptique) et des mesures réalisées.

Local du Centre d'océanologie de Marseille

Dans un bâtiment voisin, le COM a disposé 3 armoires réfrigérées avec des préleveurs-rejeteurs multi-flacons horodateurs :

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 76

- un pour les événements particuliers (12 flacons) ;
- un pour la réalisation d'analyses physico-chimiques sur la fraction dissoute (12 flacons) ;
- un pour le suivi des charges solides journalières (24 flacons) : un remplissage par jour en routine.

Le branchement et la programmation de l'automate de prélèvement s'effectuent manuellement.

La station dispose en outre d'une centrifugeuse destinée initialement à préparer des échantillons de fraction particulaire. Mais il faut noter que celle-ci ne peut convenir pour l'analyse des métaux par la suite car ses bols sont métalliques.

Par ailleurs, cette centrifugeuse ne peut être automatisée (il faut ajuster manuellement le débit de sortie qui est évolutif au cours de la centrifugation).

De plus, le seuil de coupure (entre 8 et 20 μm) est grossier par rapport à celui des filtres MILLIPORE (0,45 μm)

Pour ces raisons, la centrifugeuse n'a servi qu'une dizaine de fois et est aujourd'hui inutilisée.

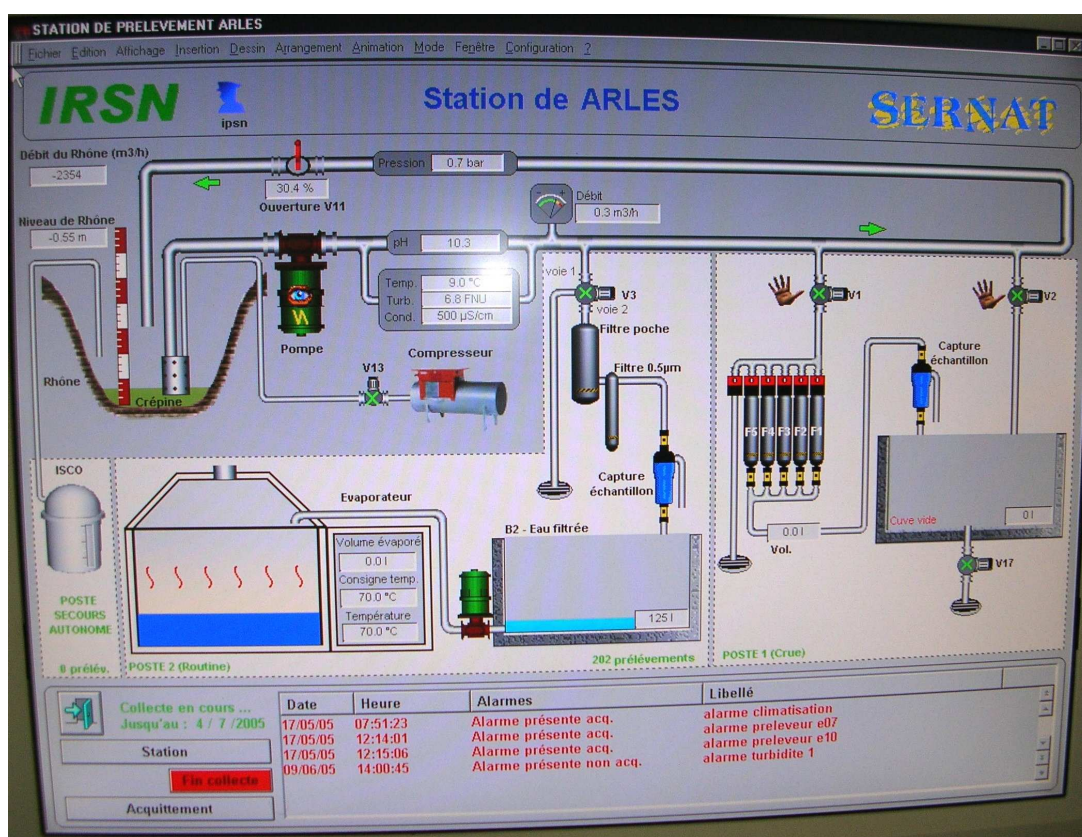


Figure 91 – Synoptique de supervision de la station d'Arles.

Les données recueillies par l'IRSN sont valorisées au sein d'études scientifiques et dans le cadre du réseau de surveillance radioactive OPERA (Observatoires permanents de la radioactivité de l'environnement) qui regroupe plus de 35 stations de mesure (atmosphériques, marines, fluviales, terrestres).

Coûts d'investissement et de fonctionnement

Les coûts d'investissement sont de 100 k€HT pour la prise d'eau, et d'environ 460 k€HT pour les dispositifs hydrauliques et d'analyses. A noter que la station a été implantée dans un bâtiment existant en convention avec le Service de la navigation/VNF.

Le partage financier de l'investissement a été réparti comme suit : 40% IRSN, 40% Agence de l'eau RM&C, 20% Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 77

Les coûts de fonctionnement sont partagés à 50% entre l'IRSN (et bientôt le COM pour l'entretien des appareils et du bâtiment qu'il utilise) et 50% pour l'Agence de l'eau. Ces coûts intègrent :

- l'EDF, les consommables, l'entretien, la climatisation, les produits divers, pour 35 k€HT/an environ ;
- les analyses en laboratoire, pour environ 30 k€HT/an ;
- la mise à disposition d'un technicien à temps plein et d'un ingénieur superviseur occupé entre 10 et 50% de son temps par la station de mesure.

4.6 La station d'alerte sur la Moselle à Epinal (station de Soba)

Contexte du site, implantation

L'alimentation en eau potable de la Ville d'Epinal est assurée à environ 60% par les captages de Dogneville situés dans la nappe d'accompagnement de la Moselle en aval d'Epinal (environ 6 000 m³/j pour l'eau potable (environ 5 700 m³/j) et l'eau industrielle). Les 40% restants sont assurés par les captages de 3 sources de versants (Uzefaing, Margotte et Saint-Ogier), et par des puits dans la nappe d'accompagnement de la Moselle en amont d'Epinal, à Soba, où est également implantée la station d'alerte.

La Ville d'Epinal s'est engagée dans une action complète pour la protection de l'environnement, depuis la préservation de la ressource qui permet de renforcer la sécurité de l'alimentation en eau potable de la Ville, jusqu'au l'augmentation des capacités de dépollution et d'amélioration de la qualité de l'eau de la Moselle (plus de 95% de eaux usées sont traitées, dont eaux pluviales).

La nappe de la Moselle à Dogneville et Soba est alimentée par filtration naturelle depuis la rivière et bénéficie de conditions d'environnement et de filtration favorables à une bonne protection de la ressource.

Cependant, la présence d'activités industrielles en amont des captages (papeterie et textile), de l'assainissement et des affluents (Mosellotte, Vologne), peut provoquer un risque de pollution accidentelle de la Moselle.

C'est pour prévenir ces risques et assurer la sécurité de l'alimentation en eau potable, qu'a été décidé la construction de la station d'alerte de Soba sur la Moselle, avec des mesures en temps réel de la qualité de la rivière, à environ 7 km des captages de Dogneville (et au droit immédiat des captages périphériques de Soba).

Description de la station et fonctionnement

La station a été construite en 1991, sous maîtrise d'ouvrage de la Ville d'Epinal. Le maître d'œuvre (conception et travaux) est la Lyonnaise des Eaux, qui exploite aujourd'hui l'ensemble captages + station d'alerte.

La station a pour seule vocation de réaliser l'alerte à la pollution, en vue de stopper les captages situés en aval le temps de l'épisode polluant.



Figure 92 – Vues extérieure et intérieure de la station d'alerte de Soba.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 78

On ne recense pas de donnée disponible sur la réalisation d'étude hydraulique préalable à l'implantation. Mais, il faut noter que la Moselle présente un régime peu laminaire, et que le bon mélange s'obtient rapidement.

Le prélèvement d'eau à la Moselle s'effectue à l'aide d'un bras HYDROMOBIL, avec flotteur.



Figure 93 – Illustrations du bras HYDROMOBIL et du flotteur de prise d'eau de la station de Soba.

En revanche l'étude de vulnérabilité de la nappe face aux risques en amont a été établie et montre que les pollutions peuvent être provoquées par :

- les liqueurs de blanchiment contenant du chlore ou de l'hypochlorite de sodium, de l'eau oxygénée ainsi que de l'acide chlorhydrique ou de la soude provenant de la neutralisation ;
- des substances utilisées pour préparer et alourdir le papier (sulfate d'aluminium, résinate de sodium, kaolin, métaux lourds) ;
- des colorants tant minéraux qu'organiques, en majeure partie à base d'aniline de soufre ;
- des acides ;
- du potassium ;
- des détergents ;
- des hydrocarbures ;
- des phénols ;
- des solvants.

Dans son état initial, la station a été équipée des appareils suivants :

- multi-paramètres : pH, température, conductivité, oxygène dissous ;
- turbidimètre (Polymétron) ;
- hydrocarbures totaux dissous (SERES) ;
- mesure de l'absorption UV (matières organiques) ;
- analyseur de métaux lourds ;
- Truitosem à effet doppler ;
- préleveur-échantillonneur en cas de pollution.

A noter que tous les appareils fonctionnent sur l'eau brute, simplement débourbée à environ 100 µm (pas besoin de filtration spécifique).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 79

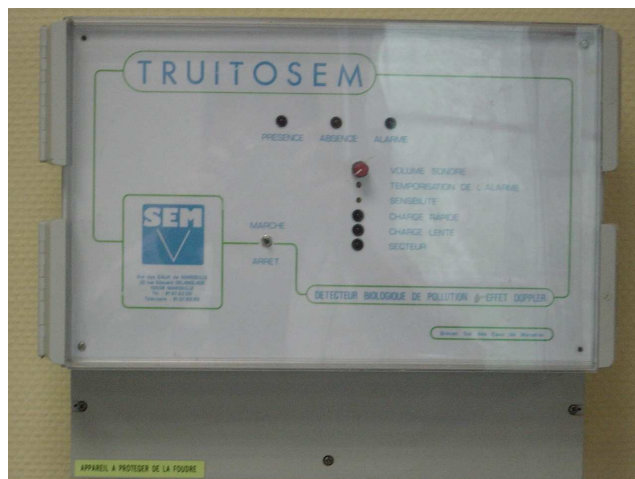


Figure 94 – Illustration du Truitosem de la station de Soba.

Depuis 1991, date de la mise en route de la station, le contexte des risques industriels en amont des captages a changé : diminution importante des activités de l'industrie textile et papetière. Parallèlement à cette diminution, des efforts importants en matière d'assainissement, de traitements et de rejets industriels et d'évolution des process ont été notables.

Ainsi, en 2002, dans un but d'optimisation technique et financière, des modifications ont été apportées à la station d'alerte :

- suppression de l'analyseur de métaux lourds (après conduite d'une étude de risques préalable). Cet analyseur était le plus coûteux en maintenance dans la chaîne de mesures ;
- remplacement de l'analyseur d'hydrocarbures totaux dissous (quantitatif) par un système de détection des hydrocarbures (surnageant) de marque Néréides, jugé nettement suffisant à des seules fins d'alerte.

Les données d'état de fonctionnement des appareils et les mesures directes sont transposées sur un poste central, à l'aide du logiciel TOPKAPI. A Soba, la seule vocation est l'alerte en direct, aussi l'historique des mesures n'est pas conservé informatiquement (il existe un historique court, mais à mémoire tournante, qui est écrasé au fur et à mesure des nouvelles données) : bien que cela soit possible (développement d'une nouvelle couche « base de données à long terme » sur TOPKAPI), il n'y a actuellement pas de demande du Maître d'ouvrage pour un tel équipement informatique.

En cas d'alerte, l'agent d'astreinte reçoit l'alarme sur son téléphone portable GSM par SMS, et peut se connecter sur PC (chez lui) pour consulter TOPKAPI, afin de vérifier s'il s'agit d'un dysfonctionnement matériel ou d'une véritable alerte, et déclencher alors le plan d'alerte.

A noter qu'en 2004, un déversement accidentel acide a eu lieu à Arches (quelques kilomètres en amont de la station d'alerte), avec mortalité de poissons au droit immédiat de la pollution, mais après dilution rapide dans la Moselle, aucun signal particulier n'a pu être observé à la station.

Le gestionnaire précise qu'en plus de l'existence de la station de Soba, il convient d'accorder une grande importance à l'organisation et à la communication relative aux alertes humaines avec différents partenaires : pompiers, pêcheurs, riverains...

Coûts d'investissement et de fonctionnement

L'investissement a représenté 3 MF HT, sans aucun génie civil (la station a été installée dans un bâtiment existant à Soba).

Le fonctionnement de la station nécessite 250 h/an en personnel, soit environ 1/2 journée par semaine. La Lyonnaise des eaux assure la maintenance elle-même (pas de maintenance externe).

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 80

Le coût des petits matériels et consommables représente environ 8 k€HT/an. Celui du renouvellement nécessaire des matériels (variable chaque année) s'établit en moyenne à 15 k€HT/an.

Après les remplacements et suppressions effectuées en 2002, le fonctionnement et l'entretien de la station sont améliorés et permettent de remplir les objectifs d'alerte avec un coût optimisé.

Ces coûts sont directement intégrés dans le prix de l'eau (pas de contrat d'exploitation particulier pour la station d'alerte), et ne posent pas de problème vis-à-vis des abonnés. De nombreuses visites d'information et de présentation du site sont réalisées.

4.7 La station d'alerte de Méréville sur la Moselle (agglomération de Nancy)

Contexte du site, implantation

En ce qui concerne l'alimentation en eau potable, Nancy et son agglomération (265 000 habitants) représentent environ 100 000 m³/j. La Moselle est l'unique ressource pour l'alimentation en eau potable.

En crue, la ressource peut présenter des problèmes de turbidité excessive. En étiage, le débit faible de la Moselle (qui peut descendre en dessous de 5 m³/s) peut s'accompagner de problèmes d'eutrophisation, de matières organiques, et diminue les capacités de dilution du cours d'eau face à différents rejets.



Figure 95 – Lieu de prélèvement des eaux brutes de la Moselle.

Ainsi le Maître d'ouvrage (Communauté urbaine du Grand Nancy) a décidé la mise en œuvre d'une station d'alerte, à Méréville, à 12 km en amont de la prise d'eau AEP dans la Moselle.

En 1999, avec le soutien d'autres partenaires et dans le cadre d'un projet LIFE (financé ainsi en grande partie par la Communauté européenne), la station d'alerte a fait l'objet d'un programme d'améliorations et d'innovations, en intégrant en particulier des biocapteurs à l'ouvrage (à l'origine, la station n'était équipée que de capteurs physico-chimiques).

Le projet LIFE 99/ENV/F/000492 intitulé « Protection et surveillance multi-paramètres des ressources aquatiques » a été soutenu et monté en collaboration avec les partenaires suivants :

- coordinateur : NANCIE (Centre international de l'eau de Nancy) ;
- partenaires publics : Communauté urbaine du Grand Nancy, Université de Ratisbonne (Allemagne) ;
- partenaires privés : Arnatronic, Envicontrol, ER Ingénierie, Kerren Umwelt Technik, Suez-Lyonnaise des eaux (CIRSEE) ;
- assistance extérieure : GEMCEA (Groupement pour l'évaluation des mesures en continu dans les eaux et l'assainissement), IRH Environnement, CIRSEE Pôle informatique et technique.

Cette station est gérée par la Société nancéienne des eaux de Nancy.

Une étude préalable de vulnérabilité qualitative de la ressource a été conduite sur le bassin versant de la Moselle (Agence de l'eau, DIREN, CSP, 2000). Elle révèle les risques majeurs de pollution : l'atrazine est la substance toxique la plus souvent présente dans les eaux de la Lorraine en 1999.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 81

En 2001, une pollution de la Moselle à l'atrazine (8 fois la norme maximale admissible) est d'ailleurs intervenue.

D'autre part, une étude statistique préliminaire sur les données historiques de la qualité de l'eau ainsi que les données recueillies quotidiennement sur le site de Méréville (sur la base d'un échantillonnage automatique de 5 minutes), a été réalisée. Cette étude a permis d'établir des critères de comportements des grandeurs en situation dite normale, et de qualifier le bruit de fond de la Moselle pour différents paramètres, afin de cibler au mieux les équipements et réglages de la station d'alerte.

Description de la station et fonctionnement

La station est équipée des dispositifs physico-chimiques suivants :

- un analyseur multi-paramètres : pH, température, O₂ dissous, potentiel rédox, conductivité (sondes WTW) ;
- un turbidimètre SIGRIST ;
- un fluorimètre pour la mesure des hydrocarbures (HAP) (Sea&Sun Technology GmbH) et de la chlorophylle a (modèle Chelsea Technology Group) ;
- une sonde pour la mesure des orthophosphates, de l'ammonium et des nitrates (Sea&Sun Technology GmbH).
-

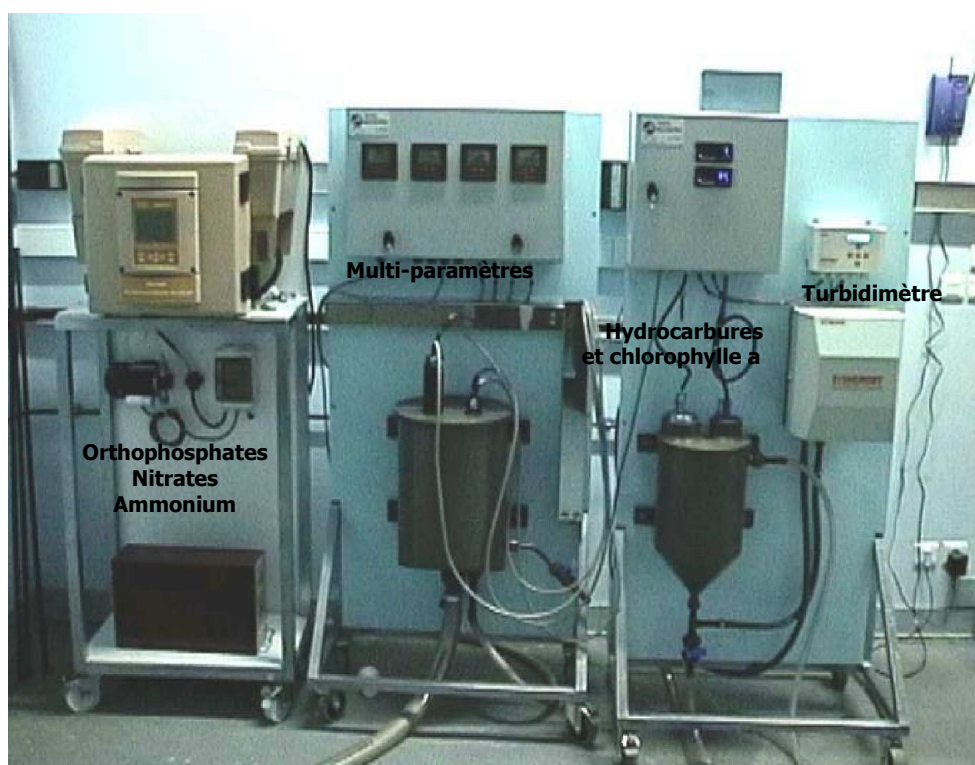


Figure 96 – Appareils de mesure physico-chimique de la station de Méréville.

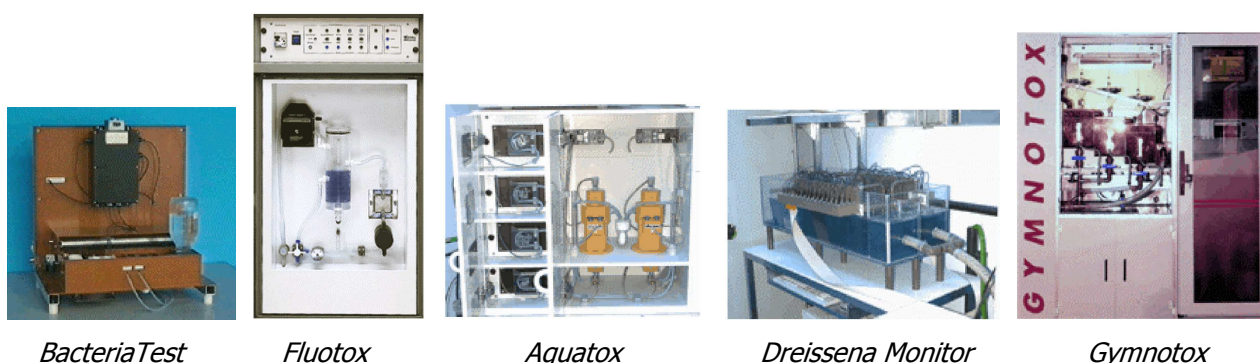
Pour la mesure des orthophosphates, ammonium et nitrates, il est nécessaire de procéder à une filtration préalable. Celle-ci est réalisée au moyen d'une platine de filtration tangentielle (2 à 1 µm) à l'aide d'un barreau d'acier fritté poreux (débit minimum d'environ 1,5 m³/h).



Figure 97 – Platine de filtration tangentielle (barreau acier).

Couplés à ces appareils, les biocapteurs suivants sont également mis en place :

- un Bacteria Test (Regensburger Leuchbakterientest). La mesure est effectuée toutes les 30 minutes. L'alerte est donnée si l'inhibition de la luminescence est supérieure à 20% ;
- un Fluotox, au pas de temps de donnée de 1 minute ;
- un Aquatox à daphnies, présentant 2 cuves de 12 daphnies chacune. Pas de temps de mesure : 5 minutes ;
- un Dreissena Monitor. Les variables mesurées ici (toutes les 5 minutes) sont le pourcentage de moules ouvertes, et le nombre de mouvements valvaires par moule et par heure. Le dispositif présente en tout 84 moules (2 canaux de 42 moules) ;
- un Gymnotox : 3 poissons électriques sont disposés dans 3 bacs distincts. Les signaux électriques générés sont mesurés et analysés toutes les secondes, après amplification.



BacteriaTest

Fluotox

Aquatox

Dreissena Monitor

Gymnotox

Figure 98 – Chaîne des biocapteurs de la station de Méréville.

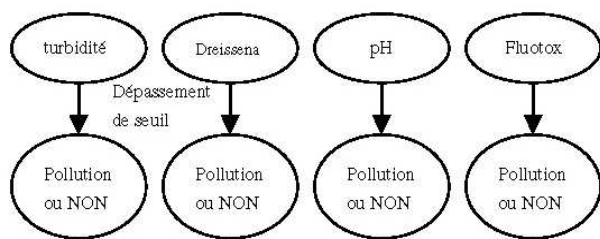
C'est ici la première fois que l'ensemble des biocapteurs représentant la chaîne trophique du milieu aquatique équipe une station d'alerte.

Concernant l'acquisition des données, seules les capteurs physico-chimiques et le Fluotox sont reliés à la centrale d'acquisition de façon standardisée. Pour tous les autres biocapteurs (protocoles non standard), les appareils sont reliés à un PC qui joue le rôle d'interface avant renvoi à la centrale d'acquisition.

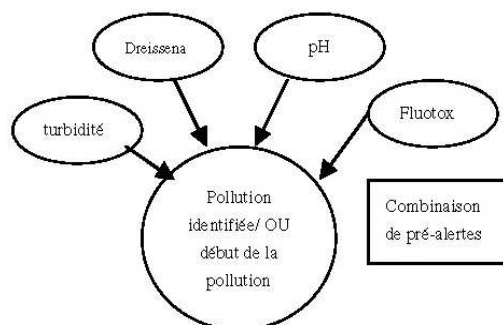
Pour augmenter la fiabilité du transfert des données, et faciliter leur traitement analytique (regroupement des données, validation, statistique, synoptiques, départ vers la télégestion...), toutes les données sont unifiées dès l'acquisition et transmises sur une même centrale (SOFREL S50) puis un poste PC de traitement (cf. figure 76).

Pour la gestion et le traitement des données, il a été retenu de procéder à la fusion des données issues de chaque capteur, plutôt que de les traiter une à une. Ceci permet de synthétiser les informations et de n'en fournir plus qu'une seule ou du moins un nombre restreint : cette information unique permet le cas échéant, de déclencher une situation d'alerte sur la base de pré-alertes déterminées par combinaisons inter-paramètres (valorisation préalable des bases de données historiques, des premiers suivis à la station, et des test toxiques (cf. infra)), et de déterminer quasi-instantanément le type de pollution objet de l'alerte.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 83



Méthode classique : analyse mono-signal



Fusion des données et comparaison aux scénarios de pré-alertes

Ce système s'enrichit au fur et à mesure de suivis et des données enregistrées et les informations synthétiques deviennent de plus en plus pertinentes (suppression par exemple de toutes les « fausses alertes » unitaires éventuelles liées à un capteur donné).

Le projet LIFE a permis la réalisation très judicieuse de tests toxiques pour l'analyse de la sensibilité des biocapteurs. Ces tests de sensibilité (39 tests différents sur 1 an pour les différents biocapteurs) ont été effectués avec différentes injections artificielles de polluants variés ou modifications des conditions physico-chimiques dans l'eau de la station (pH, conductivité, turbidité, anoxie, phosphates, nitrates, ammonium, pollution écologique, atrazine, pollutions type agricole, carbofuran, chrome hexavalent, pollution industrielle type, pyralène, gasoil, fuel, acétone...). Ces tests ont permis d'apprécier la réactivité et la pertinence des biocapteurs pour des pollutions types :

- le Gymnotox est bien sensible à beaucoup de types de pollutions, mais il est également sensible aux modifications des paramètres physico-chimiques (conductivité, turbidité) ;
- le Dreissena est peu réactif aux modifications physico-chimiques non toxiques, sauf par rapport à la conductivité. Il est très réactif face aux substances polluantes testées. La pertinence du Dreissena comme indicateur global de toxicité est très forte ;
- le Fluotox est influencé par le pH. Les algues sont également (et logiquement) très influencées par les tests de pollutions agricoles et atrazine. Il faut noter que ce biocapteur réagit aussi assez bien aux tests de pollution par le chrome hexavalent (mais à des concentrations élevées : supérieures au mg/l), mais qu'il semble insensible aux pollutions type gasoil ;
- le biocapteur bactérien est bien réactif aux modifications des paramètres physico-chimiques non toxiques, ainsi qu'à certaines pollutions (hydrocarbures, plastifiants...). Sa réactivité pour les pollutions de type agricole est notable mais pas aussi systématique que pour le Fluotox ou le Dreissena. Le Bacteria Test couvre un large éventail de pollutions, légèrement différent de ceux couverts par les autres biocapteurs étudiés ;
- pour l'Aquatox, le signal fourni par le système est « bruité » et nécessite une filtration du signal. Après cette filtration, les tests laissent apparaître que les daphnies semblent particulièrement aux pollutions de type industriel.

Ces tests très informatifs méritent toutefois d'être confirmés par d'autres essais de pollution artificiels mieux contrôlés (car lors des tests réalisés, l'eau de la qualité intrinsèque de l'eau de la Moselle n'était pas forcément constante).

En juin 2002, au cours de la réalisation du programme, une pollution réelle est d'ailleurs intervenue sur la Moselle, avec détection et dépassements du seuil d'alerte au niveau de l'ammonium grâce au capteur physico-chimique. Le croisement avec les réactions mesurées au niveau des biocapteurs ont permis d'aller plus loin dans l'identification de la nature du polluant (engrais simple ou pesticide azoté...).

L'approche multi-trophique (cinq taxons biologiques de la chaîne alimentaire aquatique) présente ici un grand avantage puisqu'elle permet une représentation de la toxicité globale, et couvre une grande majorité des risques de dégradation ou de pollution de la Moselle.

L'analyse couplée de l'ensemble des données physico-chimiques et biologiques et le système de traitement de données basé sur les pré-alertes, permettent de détecter une anomalie de la qualité du milieu de façon plus précoce et plus pertinente (en matière d'identification du type de pollution) qu'avec les seuls suivis physico-chimiques.

Coûts d'investissement et de fonctionnement

La mise en place et la réalisation du projet LIFE ont généré un budget d'environ 1 million d'euros réparti comme suit :

- personnel : 399 000 €HT,
- assistance extérieure : 256 500 €HT,
- matériels durables : 189 900 €HT,
- matériels consommables : 37 400 €HT,
- diffusion des connaissances et autres : 55 300 €HT,
- déplacements : 20 500 €HT.

Les coûts spécifiques à l'investissement des appareils sont les suivants :

- Bacteria Test : 20 000 € HT,
- Fluotox : 25 500 € HT,
- Aquatox : 29 000 € HT,
- Dreissena : 22 000 € HT,
- Gymnotox : 21 000 € HT,
- Multi-paramètres (pH, rédox, oxygène dissous, conductivité) : 6 200 € HT,
- Hydrocarbures et orthophosphates : 25 100 € HT,
- Nitrates et ammonium : 10 200 € HT,
- Chlorophylle a : 7 200 € HT,
- Turbidité : 6 700 € HT,
- Châssis : 7 100 € HT,
- Composants et matériels informatiques : 11 600 € HT.

Pour le projet LIFE, la somme dédiée aux consommables est en grande partie liée à la réalisation des tests de toxicité (polluants, réactifs biologiques...).

En routine, ce poste représente environ 15 000 € HT par an.

La station nécessite l'intervention d'un technicien 2 fois par semaine plus quelques maintenances mensuelles, trimestrielles ou annuelles. En outre, il est nécessaire de former 1 à 2 techniciens pour assurer une disponibilité de personnel qualifié, en permanence.

La maintenance de l'installation représente une charge équivalente à 1/3 de poste, ceci incluant les temps nécessaires aux déplacements bihebdomadaires vers le site d'implantation.

En routine, le système de recueil et de traitement des données nécessite l'intervention d'un ingénieur à raison d'un jour par semaine environ.

A ces coûts s'ajoutent les frais de déplacement, de fonctionnement (électricité, téléphone, assurances...).

A noter que la réalisation du projet s'est étalée sur une durée de 36 mois (à partir de 1999), rallongée de 6 mois pour la réalisation des tests de toxicité.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 85

4.8. Le réseau AQUAPOL en Wallonie belge : 9 stations d'alerte et une base de données commune en ligne

Ecartant volontairement l'analyse technique détaillée des systèmes de mesure, la présentation du réseau AQUAPOL est ici proposée afin de présenter une démarche originale et judicieuse de collecte, validation, et diffusion pour un réseau de 9 sites différents, à l'aide d'un outil informatique unique.

Contexte du réseau AQUAPOL

En 1991, le Ministère de la Région Wallonne a décidé d'améliorer la surveillance de la qualité des eaux des cours d'eau du territoire en complétant les réseaux physico-chimiques et bactériologiques de mesures manuelles par un réseau de stations d'alerte. Le réseau d'alerte est composé de 9 stations d'analyse et/ou d'échantillonnage fonctionnant en permanence et dont les objectifs sont de :

- surveiller en continu la qualité des eaux de surface ;
- détecter les accidents de pollutions ;
- disposer d'échantillons provenant de différents sites afin de localiser l'origine de ces accidents.

Les stations, qu'elles soient de mesure ou d'échantillonnage, sont installées en des points stratégiques du réseau hydrographique wallon :

- points transfrontaliers ;
- aval de zones urbaines et/ou industrielles ;
- aval ou amont d'une confluence.

Les stations, présentées sur la figure 99, sont les suivantes :

- station de Bléharies (commune de Brunehaut) sur l'Escaut (mesure sans échantillonnage) ;
- station de Solre-sur-Sambre (commune d'Erquelinnes) sur la Sambre (mesure et échantillonnage) ;
- station de Roselies (commune de Aiseau-Presle) sur la Sambre (mesure et échantillonnage) ;
- station de Bohan (commune de Vresse-sur-Semois) sur le Semois (mesure et échantillonnage) ;
- station de Hastière (commune de Hastière) sur la Meuse amont (mesure et échantillonnage) ;
- station de Andenne (commune d'Andenne) sur la Meuse (mesure et échantillonnage) ;
- station de Flémalle (commune de Flémalle) sur la Meuse (mesure et échantillonnage) ;
- station de la Chênée (commune de Liège) sur la Vesdre (mesure et échantillonnage) ;
- station de Lixhe (commune de Visé) sur la Meuse aval (mesure et échantillonnage) ;
- station de Visé (commune de Visé) sur la Meuse aval (échantillonnage seul) ;
- station de Angleur (commune de Liège) sur l'Ourthe (échantillonnage seul).



Préleveur d'Angleur



Station de Lixhe



Station de Roselies



Station de Solre

Figure 99 – Photographies de quelques stations du réseau AQUAPOL.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 86

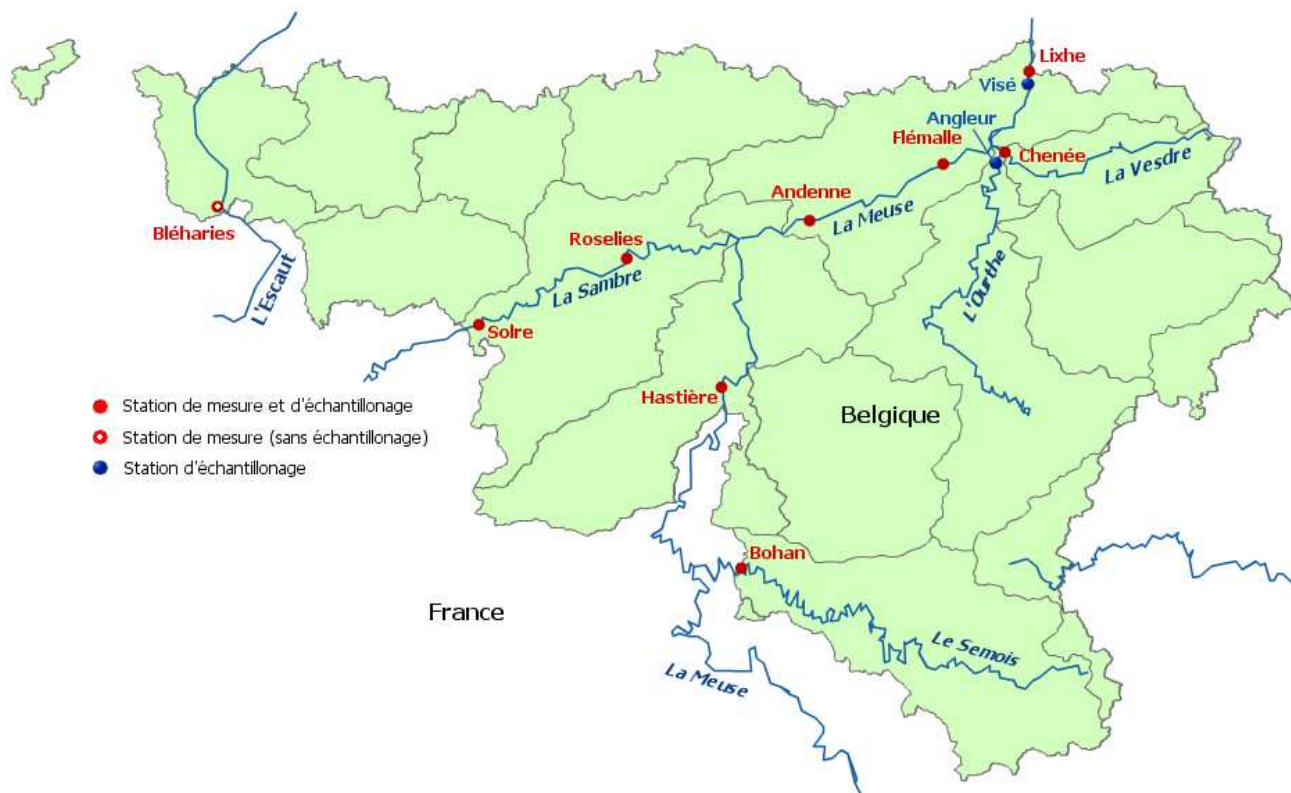


Figure 100 – Carte des stations de mesures du réseau AQUAPOL.

L'ensemble du réseau hydraulique (confluences) est ainsi stratégiquement bouclé par un point de mesure et/ou d'échantillonnage.

Équipements des stations de mesure

Les stations de mesures en continu analysent au minimum 4 paramètres physico-chimiques classiques : pH, température, conductivité et oxygène dissous.

En fonction des sites, d'autres paramètres sont également mesurés : azote ammoniacal, chlorures, fluorures, cyanures, sulfates, nitrates, orthophosphates, carbone organique total (COT), matières organiques par absorption du spectre UV à 254 nm et 280 nm. La station de Lixhe, à la confluence aval du système hydraulique regroupe l'ensemble de tous ces dispositifs de mesure.

Station de mesure	Paramètres analysés en continu
Bléharies	Ammoniaque et azote ammoniacal, COT, oxygène dissous, conductivité, chlorures, sulfates, température, turbidité, pH
Solre-sur-Sambre	Ammoniaque et azote ammoniacal, COT, oxygène dissous, conductivité, température, turbidité, pH
Roselies	Ammoniaque et azote ammoniacal, COT, oxygène dissous, conductivité, chlorures, cyanures, température, turbidité, pH
Bohan	Conductivité, oxygène dissous, température, turbidité, pH
Hastière	Conductivité, oxygène dissous, température, turbidité, pH
Andenne	Ammoniaque et azote ammoniacal, COT, oxygène dissous, conductivité, chlorures, fluorures, température, turbidité, pH
Flémalle	Conductivité, oxygène dissous, température, pH
La Chênée	Conductivité, oxygène dissous, température, pH
Lixhe	Absorptions UV 254 et 280 nm, ammoniaque et azote ammoniacal, COT, oxygène dissous, conductivité, chlorures, fluorures, cyanures, nitrates, sulfates, orthophosphates, température, turbidité, pH

Tableau 12 – Inventaire des paramètres mesurés aux stations en continu du réseau AQUAPOL.

Sur les stations munies d'échantillonneurs, l'équipement consiste en un préleveur automatisé muni de 24 bouteilles d'un litre et programmé pour prélever un échantillon de 50 ml toutes les 72 minutes. Pour chaque journée, on dispose d'un échantillon d'un litre qui est conservé dans un groupe réfrigéré maintenu à 4°C. Une relève et une analyse manuelles sont par la suite effectuées.

Regroupement, traitement, valorisation et mise en ligne des données mesurées

Autour de ces stations, le projet AQUAPOL a consisté à développer un projet informatique et un outil commun visant à améliorer :

- la gestion journalière du réseau d'alerte ;
- l'archivage et la validation des données analytiques ;
- l'interprétation et la diffusion des données analytiques.

Améliorer la gestion journalière du réseau d'alerte

Le système informatique mis en place permet :

- de visualiser la mise à jour de la banque de données ;
- de suivre les alarmes qu'elles soient de type système, analyseur ou mesure (alerte véritable) ;
- de suivre les maintenances et les contrôles réalisés dans les stations ;
- d'évaluer la fiabilité des automates ;
- de connaître en temps réel et à distance, la qualité des cours d'eau surveillés.

Archivage et validation des données analytiques

En ce qui concerne l'archivage des données analytiques, toutes les stations du réseau sont équipées d'un datalogger collectant l'ensemble des signaux provenant des différents analyseurs ou capteurs. Dans un premier temps, ces signaux sont archivés temporairement au niveau du datalogger. Puis, toutes les trois heures, le poste central interroge chaque datalogger, rapatrie et archive les données. Les nouvelles données collectées au niveau du PC central sont alors archivées avec un statut dans la banque de données se trouvant sur un serveur. La valeur ponctuelle de chaque signal analogique est archivée toutes les 15 minutes.

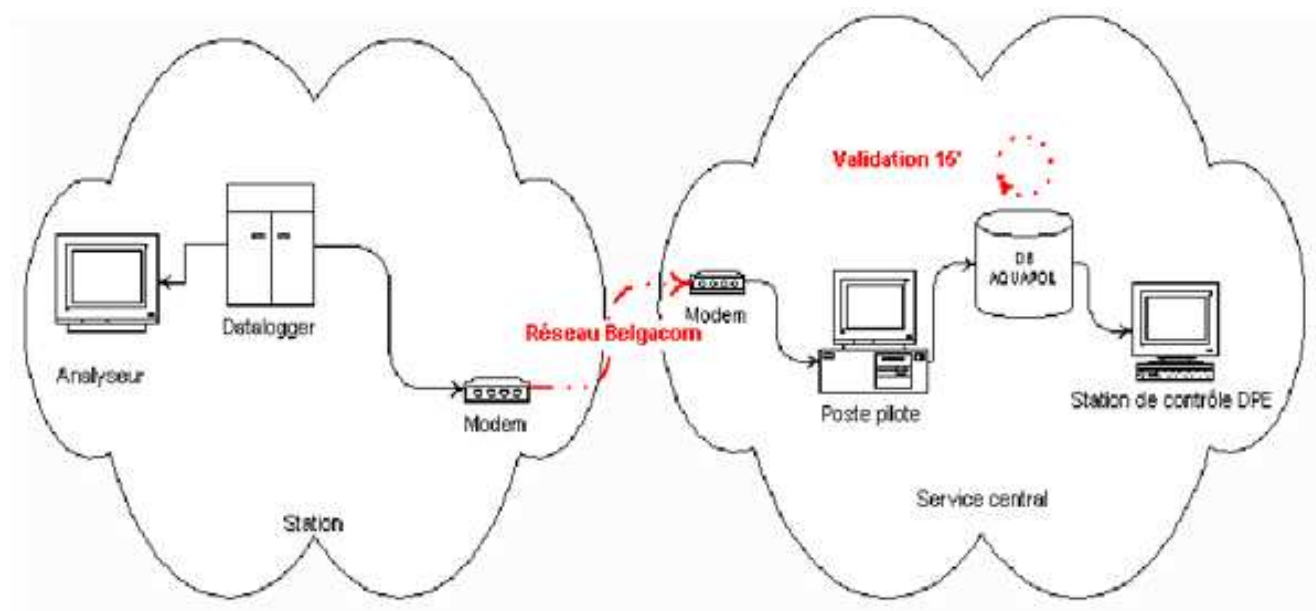


Figure 101 – Schéma de collecte, transfert, validation et archivage des données du réseau AQUAPOL.

RLy.1538/ A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Page : 88

Validation des données au pas de temps de 15 minutes

Disposant de résultats analytiques avec un statut, la validation automatique est effectuée deux fois par jour sur les données analytiques au pas de temps de 15 minutes. La validation automatique est basée sur un algorithme permettant de lisser les données sur une période de 2h30 et de comparer les données estimées avec les données mesurées. La validation automatique des données au pas de temps 15 minutes permet notamment :

- de mettre en évidence des séries anormalement plates ou instables,
- d'écarter des valeurs aberrantes.

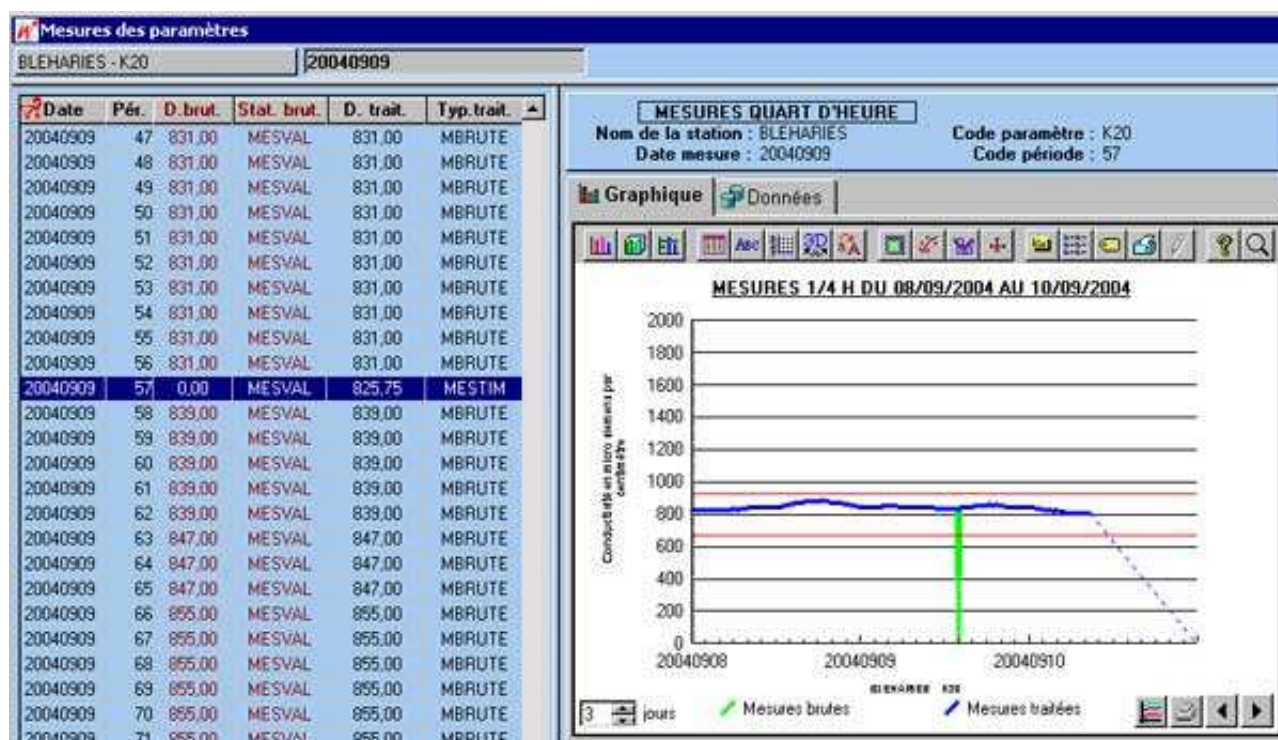


Figure 102 – Exemple d'écran de validation automatique des données du système AQUAPOL.

En parallèle, une validation manuelle des données au pas de temps 15 minutes, afin :

- de corriger des dérives possibles d'appareils (dérives constantes ou linéaires) ;
- de corriger les validations automatiques ;
- d'écarter éventuellement des données apparemment inexactes.

Allègement de la base de données et validation des données au pas de temps de 2 heures

Des tests statistiques réalisés à partir des séries chronologiques de données au pas de temps de 15 minutes, ont montré que l'information contenue dans de telles séries était redondante. Pour alléger la base des données validées (sans perdre d'information significative) et faciliter la phase d'interprétation des résultats, le système informatique d'AQUAPOL permet de réduire la quantité de données en conservant uniquement 1 donnée sur 8, soit une donnée toutes les 2 heures.

Interprétation et diffusion des données

L'outil informatique AQUAPOL permet :

- de calculer a posteriori certains paramètres tels que la saturation en oxygène dissous (sur la base des concentrations en oxygène dissous et de la température), ou l'ammoniac pour certaines stations (à partir d'autres paramètres mesurés) ;

- et surtout de déterminer un paramètre à partir d'autres paramètres mesurés dans la même station, sur la base de corrélations statistiques vérifiées (corrélations préalablement réalisées sur l'historique des valeurs mesurées, et actualisées au fur et à mesure des données nouvellement acquises).
- Enfin, AQUAPOL réalise automatiquement l'interprétation statistique des historiques journaliers, mensuels ou annuels (avec notamment prise en compte des écarts-types).

La diffusion des données est assurée par le site AQUAPOL qui permet d'interroger en temps direct la banque de données. Toutes les données sont consultables : catalogue des données enregistrées au pas de temps de 15 minutes (sur une période maximale d'un mois) et 2 heures, et au pas de temps journalier, et taux de fiabilité des mesures. Les données au pas de temps de 2 heures, les historiques journaliers, mensuels et annuels sont diffusés en ligne et entièrement téléchargeables sur le site Internet d'AQUAPOL : <http://aquapol.environnement.wallonie.be/login.do>

5 - Conclusion

Les stations d'alerte de la qualité des eaux de surface sont souvent associées à des captages d'eau potable en rivière, dont la vulnérabilité reste importante vis-à-vis des risques de pollution en amont, compte tenu des temps de transit rapide vers les points de prélèvement.

Dans ces contextes, les principaux objectifs d'une station d'alerte consistent à :

- détecter la pollution pour déclencher l'alerte avec un délai de riposte adapté ;
- déterminer la nature de la pollution pour répondre au mieux au traitement éventuel de l'eau ;
- si possible, déterminer l'origine de la pollution (pour engager des actions de réparation ou de prévention ultérieures).

A partir des années 1980, la surveillance de la qualité des cours d'eau à l'aide d'appareils de mesure en ligne, s'est réalisée par une approche exclusivement physico-chimique, et pour des paramètres classiques tels que le pH, l'oxygène dissous, le potentiel redox, la conductivité, le COT, ou encore l'ammoniaque et les nitrates.

Par la suite, certains gestionnaires ont mis en œuvre des stations physico-chimiques plus sophistiquées, avec des équipements dévolus à la détection de polluants toxiques spécifiques comme par exemple les hydrocarbures ou encore certains métaux lourds.

Mais les risques de pollution sont multiples et le nombre de substances polluantes susceptibles de toucher le milieu aquatique à surveiller est trop important, techniquement et économiquement, pour disposer de capteurs physico-chimiques pour chaque substance. Pour beaucoup de produits xénobiotiques, un enregistrement continu est impossible, parfois même l'analyse reste difficile. En fait, seules 200 substances environ peuvent être détectées de façon routinière, ce qui est peu en regard des divers polluants pouvant être considérés.

Ainsi, pour ces raisons de limites d'utilisation des dispositifs physico-chimiques, l'emploi de méthodes globales plus intégratrices (en substances) au travers des tests biologiques est particulièrement intéressante dans les contextes de risques de pollution variés, en particulier si l'on couple les suivis physico-chimiques aux mesures biologiques. Cependant, cette pratique est encore peu développée sur les stations d'alerte en France¹.

L'expérience récente (1999-2004) menée dans le cadre du projet LIFE à la station de Méréville (agglomération de Nancy) sur la Moselle, qui regroupe des mesures physico-chimiques « classiques » avec des systèmes biologiques, couplés de façon innovante selon la chaîne multi-trophique aquatique, démontre les avantages techniques et financiers de l'utilisation des biocapteurs pour atteindre les objectifs fixés par les stations d'alerte.

¹ A noter que sur le bassin du Rhin en Allemagne, il existe de très nombreuses stations de suivi de la qualité des eaux, intégrant pour la plus grande majorité d'entre elles, un test à daphnies.

La situation actuelle en matière de suivi de la qualité relève des situations contrastées. Certains responsables ou gestionnaires de points d'eau sont soit peu ou pas équipés de dispositifs de surveillance et/ou d'alerte, soit suréquipés avec une ou plusieurs stations très sophistiquées allant au-delà des seules vocations souhaitées pour la station de mesure (par exemple, alerte AEP uniquement). Cette dernière situation implique évidemment des coûts d'investissement et de fonctionnement importants et considérés comme très ou trop élevés par les gestionnaires et partenaires financiers de ces équipements.

Le suivi de substances toxiques particulières (métaux lourds, pesticides, hydrocarbures dissous par exemple) reste délicat à réaliser tant au niveau des mesures que de la validation et l'interprétation des données mesurées, et nécessite des efforts technique, humain et financier toujours très importants et parfois pénalisants sur le fonctionnement et la gestion globale d'une station.

Pour contourner ces difficultés et mieux atteindre les objectifs de surveillance et d'alerte, les biocapteurs semblent bien adaptés. Il faut cependant rappeler que l'objectif des biocapteurs n'est pas de définir la nature du problème, même s'il se peut qu'ils le fassent dans certains cas particuliers : ils permettent de caractériser le fait qu'il y a ou non un problème global de la qualité de l'eau et de déclencher une alerte pollution.

ANNEXES

RLy.1538 / A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Annexes

Annexe 1

*Liste indicative (non exhaustive) de fabricants,
distributeurs et installateurs de dispositifs de mesure*

Cette annexe contient 5 pages

RLy.1538 / A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Annexes

Coordonnées	Domaines techniques
American sigma Hach Company P.O. Box 389 Loveland, CO 80539-0389 Tél 800 635 4567 – Fax 970 461 3914 www.americansigma.com	Préleveurs (Danaher Corporation)
ANAEL S.A.S. ZI – 15 rue Nobel 45700 Villemandeur Tél 02 38 85 77 12 – Fax 02 38 85 99 65 www.analyse-en-ligne.com	Analyseurs de tous types
AQUACAN-HYDROMOBIL 89 route d'Uzès - 30000 NIMES Tél 04 66 26 71 29 - Fax 04 66 26 14 01 www.hydromobil.com	Prise d'eau en rivières ou lacs
Aquacontrol Tél 01 34 70 02 19 – Fax 01 39 37 95 68 www.aquacontrol.fr	Analyseurs régulateurs
AquaMS (Aqua Monitoring System) 17, bd de Finlande 54340 Pompey Tél 03 83 49 54 72 – Fax 03 83 49 54 73 www.aquams.com	Mesure en continu des HAP et de la chlorophylle et de H ₂ S dissous
AWA Instruments 53 chemin du Vieux Chêne 38240 Meylan Zirst Tél : 04 76 90 52 00 – Fax 04 76 90 52 02 www.awa-instruments.com	Analyseurs multi-paramètres
AZUR Environnement 29 Murrell Green Business Park London Road Hook, Hampshire RG279GR Angleterre Tél 44 (0) 1256 763030 – Fax 44 (0) 1256 763020 www.azurenv.com	Microtox
BAMO 22 rue de la voie des Bancs - 95100 ARGENTEUIL Tél 01 30 25 83 20 - Fax 01 34 10 16 05 www.bamo.fr	Préleveurs/échantillonneurs/rejeteurs, analyseurs paramètres physiques et chimiques simples
BERTHOLD TECHNOLOGIES GmbH Ameisgasse 49 - 51 1140 Wien Tél +43 1 914 22 51 0 - Fax: +43 1 914 22 51 85 http://www.BertholdTech.com	Instruments de radioprotection
CIFEC 12 bis rue du Cdt Pilot Neuilly sur Seine Tél 01 46 40 49 49 – Fax 01 46 40 00 87 www.cifec.tm.fr	Analyseurs d'eau en continu (Truitosem, pH, chlore, nitrates)
DANFOSS 7, avenue Roger Hennequin – BP 58 78193 Trappes Cedex Tél 01 30 62 50 00 – Fax 01 30 69 74 70 www.danfoss.fr	Capteurs pression, température

RLy.1538 / A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Annexes

Coordonnées	Domaines techniques
datalink instruments dtli 67, avenue de la République 38170 Seyssinet Pariset Tél 04 76 84 19 77 – Fax 04 76 84 57 09 www.datalink-instruments.com	Analyseurs tous paramètres.
Delta Consult B.V. Postbus 71, 4420 AC Kapelle, The Netherlands Tél 31 113 36 21 00 – Fax 31 113 36 21 99 www.mosselmonitor.nl	Musselmonitor
ELTA BP 48 31702 BLAGNAC CEDEX Tél +33 (0)5 34 36 10 00 - Fax +33 (0)5 34 36 10 01 www.elta.fr	Analyseurs multi-paramètres et métaux lourds
ENDRESS + HAUSER France Tél 0 825 888 001 www.fr.endress.com	Préleveurs/échantillonneurs/rejeteurs, analyseurs paramètres physiques
EFS BP 34 69390 MILLERY Tél 04 72 49 27 79 – Fax 04 72 49 27 77 www.efs.fr	Analyseurs physico-chimiques simples, sondes multi-paramètres
ENVIRONNEMENT SA 111 boulevard Robespierre – BP 4513 – 78304 POISSY Tél 01 39 22 38 00 – Fax 01 39 65 38 08 www.environnement-sa.fr	Analyseurs physico-chimiques, sondes multi-paramètres...
ER Ingénierie 18 rue Blaise Pascal 54320 MAXEVILLE Tél 03 83 98 23 23 Fax 03 83 98 02 21	Conception et réalisation de machines et informatique industrielle. Fabricant du Gymnotox
Galvanic Applied Sciences INC. Ackerstraße 144 Dusseldorf, 40233, Germany Tel [49] 211 68780 40 - Fax [49] 211 68780 430 www.galvanic.com	Analyseurs de turbidité (MONITEK), MES, viscosité, H ₂ S dissous.
GESTRA Postfach 105460 D-28054 Bremen Münchener Str. 77 Allemagne Tél 49 (0) 421 35 03-0 – Fax 49 (0) 421 35 03-393 www.gestra.com	Capteurs pression, température
Gloor Instruments AG Brauereistrasse 10 8610 USTER Tél +41 1 9409955 - Fax +41 1 9409914 www.gloorinstruments.ch	Instruments de radioprotection
HACH LANGE Hach Company P.O. Box 389 Loveland, CO 80539-0389 Tél 800 635 4567 – Fax 970 461 3914 http://shop.hach-lange.com www.drlange.com www.hach.com	Analyseurs paramètres physico-chimiques simples

RLy.1538 / A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Annexes

Coordonnées	Domaines techniques
HEWLETT-PACKARD 150 Route du Nant-d'Avril 1217 Meyrin 2 Genève Tél 41 22 780 8111 – Fax 41 22 780 8542 http://welcome.hp.com/country/fr/fr/welcome.html	Analyseurs pesticides
HOCER IS Moulin des Roches – 23 Bd Einstein – BP 92369 44323 NANTES CEDX 3 Tél 02 40 94 19 00 – Fax 02 40 94 19 05 www.hocer.com	Analyseur par spectrophotométrie AQUAPOD
HYDROLOGIC 4 rue du Tour de l'Eau - BP275 - 38407 SAINT MARTIN D'HERES Tél 04 76 03 74 74 – Fax 04 76 42 40 70 www.hydrologic.fr	Analyseurs débit, niveau, vitesse
INATECH 11, rue du Tienne B-1490 Court-St-Etienne Tél +32 (0) 10 61 77 87 http://users.skynet.be/inatech/index.html	Distributeurs d'appareils de mesure
ISCO Inc. 4700 Superior street Lincoln, NE 68504 USA www.isco.com	Préleveurs/échantillonneurs/rejeteurs, analyseurs physico-chimiques
ISMA Rue Hector Malot - 57600 FORBACH Tél 03 87 87 62 16 - Fax 03 87 88 18 59 www.isma.fr	Préleveurs/échantillonneurs/rejeteurs
LUMITOX 409 Tiffany Drive River Ridge, La. 70123 Tél 504 738 1564 – Fax 504 738 1564 www.lumitox.com	Lumitox
MARTEC SA 29 avenue de la Baltique – ZI de Courtabœuf - 91053 LES ULLIS Tél 01 69 82 20 00 www.martec.fr	Préleveurs/échantillonneurs/rejeteurs (distributeur ISCO)
MERMAYDE Zakedijkje 60 NL 1862 HC Bergen P.O. Bax 109 NL 1860 AC Bergen Tél / Fax 31 72 581 81 82 www.mermayde.nl	Musselmonitor
NEOSENS SA La Pyrénéenne – BP 27201 31672 LABEGE CEDEX Tél 05 61 75 62 47 Fax 05 61 75 63 08 Contact : Bertrand CHEVALLEY www.neo-sens.com	Sondes pour oxygène dissous autonettoyantes et sans maintenance. Sondes pour turbidité de 0 à 9999 NFU Sondes débit, niveau, conductivité, rédox, pH...

RLy.1538 / A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Annexes

Coordonnées	Domaines techniques
NEOTEK ZA du buisson de la Coudre – 9 allée des Châtaigniers 78190 TRAPPES Tél 01 30 16 50 60 Fax 01 30 62 52 09 www.neotek-web.com	Préleveurs/échantillonneurs/rejeteurs (distributeur ISCO) Analyseurs multi-paramètres (PONSELLE), turbidimètres (MERCK), paramètres physico- chimiques spécifiques
NEREIDES 4, avenue des Indes 91969 COURTABOEUF CEDEX Tél 01 69 07 20 48 – Fax 01 69 07 19 14 www.nereides.fr	Station d'alerte, capteurs physico-chimiques simples, détecteurs hydrocarbures
OTT France S.A.R.L. Europarc de Pichauray, Bât. D2 – BP 395 13 799 Aix en Provence Cedex 3 Tél 04 42 90 05 90 – Fax 04 42 90 05 95 www.ottfrance.fr	Sondes multiparamètres pour la mesure de la qualité des eaux de surface, capteurs cyanobactéries
PONSELLE mesures 14 avenue de la pépinière 78220 VIROFLAY Tél 01 30 24 62 62 Fax 01 30 24 31 85	Mesures physico-chimiques, tests biologiques
POLYMETRON 33, rue du Ballon 93165 Noisy- le-Grand Cedex Tél 01 48 15 80 80 – Fax 01 48 15 80 00 www.polymetron.com	Analyseurs paramètres physico-chimiques simples (Danaher Corporation)
RadTech Via Correggio, 19 20149 MILANO Tél +39 02 4692865 – Fax : +39 02 4692865 www.radtech.it	Instruments de radioprotection
RANDOX 55 Diamond Road, Crumlin Co. Antrim, United Kingdom, BT29 4QY Tél 44 (0) 28 9442 2413 – Fax 44 (0) 28 9445 2912 www.randox.com	Aquanox
RHENO Umwelttechnik AG Brandstrasse 24 8952 Schlieren Tél 043 444 86 00 – Fax 043 444 86 44 www.rheno.ch	Analyse paramètres physico-chimiques simples
ROSEMOUNT 8200 Market Blvd. Chanhassen MN USA 55317 1-800-999-9307 (North America) Tél 952 906 8888 – Fax 952 949 7001 www.rosemount.com	Capteurs pression température
SAPHYMO-PHY 5 rue du Théâtre 91884 Massy tél 01 69 53 73 13 – Fax 01 69 53 73 01 www.saphymo.com	Matériel de radioprotection, sonde de radioactivité

RLy.1538 / A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Annexes

Coordonnées	Domaines techniques
SECAUTO Centre Est 15-17 rue Alfred Nobel – Château de l'île - 69552 FEYZIN Tél 04 72 89 04 40 - Fax 04 78 70 50 68 www.secauto.com	Filtration
SERES 360 rue Louis de Broglie – La Duranne – BP 87000 13793 Aix en Provence – Cedex 3 Tél 04 42 97 37 37 – Fax 04 42 97 30 30 www.seres-france.com	Analyseurs industriels en ligne destinés au contrôle de l'environnement, à la conduite des installations de traitement, des procédés industriels
SIGRIST PHOTOMETERAG Hofurlistrasse 1 CH-6373 Ennetbürgen Tél 41 (0) 41 624 54 54 – Fax 41 (0) 41 624 54 55 http://www.photometer.com/en/	Analyseurs, Détecteurs hydrocarbures
SIVA ZA Les Laurons - 26110 NYONS Tél 04 75 27 09 47 - Fax 75 27 09 48 www.siva-unit.com	Filtration
SWAN Turicaphonstrasse 29 Postfach 3 CH-8616 Riedikon / Switzerland Tél 41 1 943 63 00 – Fax 41 1 943 63 01 www.swan.ch	Analyseurs paramètres physico-chimiques simples
Wallace Tiersan S.A.R.L. BP 150, 1/3 rue Pavlov 78196 Trappes Cedex Tél 01 34 82 18 50 – Fax 01 30 50 98 08 www.wallace-tiernan.de	Analyseurs multicritères, paramètres physico-chimiques simples
WTW France 22 rue des Aulnes – 69410 CHAMPAGNE AU MONT D'OR Tél 04 78 43 22 96 – Fax 04 78 43 21 38 www.wtw.com	Préleveurs/échantillonneurs/rejeteurs, analyseurs physico-chimiques
YOKOGAWA France Parc d'activité de Vienne et Vivier Bât. S 61 rue du Vivier 69007 Lyon Tél 04 72 76 69 00 - Fax 04 72 76 69 19 www.yokogawa.com	Analyseurs paramètres physico-chimiques simples

RLy.1538 / A.13841 / CLyZ050018	
GBo – CM	
21/06/2005	Annexes