

Opportunités d'utilisation de capteurs dans la surveillance des eaux naturelles

N. Guigues, B. Lepot, A. Togola

Juillet 2017

Note de synthèse

En partenariat avec :





Avec le soutien de



et de



Contexte de programmation et de réalisation

Cette note a été réalisée dans le cadre du programme d'activité AQUAREF pour l'année 2016.

Auteur (s) :

Nathalie Guigues
LNE
Nathalie.guigues@lne.fr

Bénédicte Lepot
INERIS
Benedicte.lepot@ineris.fr

Anne Togola
BRGM
a.togola@brgm.fr

Approbateur :

Sophie Vaslin-Reimann
Sophie.vaslin-reimann@lne.fr

Vérification du document :

Matthieu Masson
IRSTEA
matthieu.masson@irstea.fr

Les correspondants

Onema : Pierre-François Staub, pierre-francois.staub@onema.fr

Etablissement : Sophie Vaslin-Reimann, sophie.vaslin-reimann@lne.fr

Référence du document : Guigues N., Lepot B., Togola A. OPPORTUNITES D'UTILISATION DE CAPTEURS DANS LA SURVEILLANCE DES EAUX NATURELLES. Note Aquaref 2016 - 19 pages.

Droits d'usage :	<i>Accès public</i>
Couverture géographique :	<i>National</i>
Niveau géographique :	
Niveau de lecture :	<i>Professionnels, experts</i>
Nature de la ressource :	<i>Document</i>

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	5
2. RESEAUX DE SURVEILLANCE DES EAUX NATURELLES	6
2.1 Réseau de contrôle de surveillance (RCS)	7
2.2 Réseau de contrôle opérationnel (RCO).....	7
2.3 Réseau de contrôle d'enquête (RCE)	7
2.4 Réseaux de contrôles additionnels (RCA)	7
3. CAPTEURS : DEFINITIONS ET TYPOLOGIE	8
3.1 Définitions.....	8
3.2 Typologie des capteurs	8
3.2.1 Selon leur configuration	9
3.2.2 Selon le mode d'utilisation.....	9
3.2.3 Selon le(s) paramètre(s) suivi(s)	10
3.2.4 Selon le principe de mesure	10
4. OPPORTUNITES DES CAPTEURS DANS LA SURVEILLANCE DES EAUX NATURELLES.....	10
4.1 Mode instantané ou portable sur site	10
4.1.1 Identification des opportunités	10
4.1.2 Exemples d'utilisation.....	11
4.2 Mode haute fréquence ou continu	13
4.2.1 Identification des opportunités	13
4.2.2 Exemples d'utilisation.....	14
5. CONCLUSION.....	16
6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	16

Liste des figures et tableaux

Figure 1 : Schéma du principe de mesure des capteurs et instruments in situ, en ligne (On-Line) et sur site (Off-Line), d'après Greenwood et al. (2007)	9
Figure 2 : Illustration des différentes approches pour la surveillance de la qualité de l'eau : mesure en continu, échantillons ponctuels à pas de temps fixe, concentration moyenne (d'après la présentation SWIFT sur les outils innovants).....	9
Tableau 1 : Synthèse des opportunités des capteurs en mode instantané ou portable sur site dans la surveillance des eaux naturelles.....	11
Tableau 2 : Synthèse des opportunités des capteurs en mode haute fréquence ou en continu dans la surveillance des eaux naturelles	13

1. INTRODUCTION

La directive cadre sur l'eau (DCE) adoptée en 2000 fixe à la fois des objectifs d'atteinte du bon état des eaux et un processus de mise en œuvre, rythmé par la production et l'usage de connaissances. A partir de l'état des lieux des bassins, des résultats des programmes de surveillance et des analyses économiques, des programmes de mesures et d'actions nécessaires à l'atteinte des objectifs doivent être définis puis évalués.

Le guide européen CIS n°19 (2009) sur la surveillance des paramètres chimiques dans les eaux de surface mentionne au chapitre 7 qu'il est souhaitable d'introduire d'autres techniques que l'analyse d'échantillons ponctuels par des méthodes d'analyses classiques afin d'améliorer la qualité de l'évaluation de l'état écologique réalisée.

Ce guide mentionne que l'utilisation des capteurs est possible lors de la conception des programmes de surveillance (optimisation du nombre et de la localisation des stations, optimisation de la fréquence de suivi des paramètres physico-chimiques et des micropolluants etc.), mais aussi pour les réseaux de contrôle de surveillance (RCS), de contrôle opérationnel (RCO) et de contrôle d'enquête (RCE).

Cependant, les principaux freins qui ont été identifiés à travers les travaux menés dans le cadre du projet européen SWIFT-WFD SSPI-CT-2003-502492 (Strosser, 2006) et l'étude E&Y (2013) pour l'utilisation de capteurs dans les programmes de surveillance de la DCE sont notamment :

- l'absence de validation, de certification, de normes et d'outils de contrôle qualité ;
- le niveau de fiabilité, a priori moins bon que pour les méthodes dites classiques ;
- le niveau d'information sur les conditions et protocoles d'utilisation jugé souvent insuffisant ;
- les seuils de détection parfois non adaptés ;
- la difficulté d'interprétation des résultats (car nécessitant souvent une expertise nouvelle) ;
- l'encrassement par les bactéries et les algues (biofouling) lors de l'utilisation prolongée en milieu naturel qui induit une dérive de la mesure non négligeable.

A cela s'ajoute une culture biaisée par la sophistication et la technologie face à des outils relativement simples d'utilisation ou encore la réticence au changement de méthodes pour opérer la surveillance.

Malgré ces nombreux freins, l'utilité potentielle des capteurs pour les programmes de surveillance de la DCE est largement reconnue. L'utilisation de capteurs combinée aux méthodes traditionnelles ou seule, permet d'obtenir une meilleure information sur l'état de l'environnement (par exemple Allan et al., 2006b).

Enfin, la directive QA/QC 2009/90/CE spécifie à l'article 3 que « les états membres veillent à ce que toutes les méthodes de laboratoire, de terrain et en ligne,

utilisées à des fins de programmes de surveillances chimiques menés dans le cadre de la directive 2000/60/CE, soient validées et attestées conformément à la norme EN ISO/IEC-17025 ou à toute autre norme équivalente reconnue à l'échelle internationale »

Cette note a pour objectif de dresser un inventaire des opportunités d'utilisation des capteurs, des dispositifs de mesure en continu et portable ainsi que des kits, comme outils complémentaires pour améliorer le diagnostic de l'état des masses d'eau. Dans un premier temps, les différents objectifs des réseaux de surveillance, dont les réseaux DCE, sont décrits, puis les différents types de capteurs existants sont présentés et enfin, les opportunités de leur utilisation dans le contexte de la surveillance des eaux naturelles sont identifiées et illustrées par quelques exemples.

2. RESEAUX DE SURVEILLANCE DES EAUX NATURELLES

La directive-cadre sur l'eau (DCE) requiert, dans son article 8, la mise en œuvre de programmes de surveillance pour suivre au sein de chaque district hydrographique :

- l'état écologique et chimique des eaux superficielles, dont littorales et côtières ;
- l'état chimique et quantitatif des eaux souterraines.

Le découpage en masse d'eau fait partie de l'élément clé de la construction des réseaux de surveillance et permet par ailleurs de prendre en compte : la description des milieux aquatiques (évaluation de l'état) et la définition des objectifs environnementaux lors de l'élaboration du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE).

Les réseaux de surveillances sont des réseaux de mesures pour suivre l'état quantitatif ou qualitatif de l'ensemble des masses d'eau (eaux de surface et eau souterraine).

Il existe plusieurs types de réseaux de mesures dont les principaux sont :

- Le réseau de contrôle de surveillance (RCS) ;
- Le réseau de contrôle opérationnel (RCO) ;
- Le réseau de contrôle d'enquête (RCE) ;
- Les réseaux de contrôles additionnels (RCA) ;
- Les autres réseaux complémentaires (Réseau Complémentaire de Bassin (RCB), Réseau Départemental (RD)...).

Les quatre premiers réseaux sont définis dans le cadre de la DCE, les autres réseaux, quant à eux, sont des réseaux locaux destinés à apporter des informations complémentaires.

2.1 RESEAU DE CONTROLE DE SURVEILLANCE (RCS)

Mis en œuvre depuis janvier 2007, il permet d'évaluer l'état général des eaux et son évolution au niveau d'un bassin, avec 2007 comme année de référence. Le réseau est constitué de stations de mesures représentatives du fonctionnement global de la masse d'eau.

Le RCS est à vocation pérenne. Ce réseau a pour objectif de donner une image de l'état général (qualité et quantité) des masses d'eau de l'ensemble du district hydrographique et de suivre les évolutions sur le long terme des milieux aquatiques dues aux modifications des conditions naturelles et/ou des activités humaines.

2.2 RESEAU DE CONTROLE OPERATIONNEL (RCO)

Le RCO est un réseau temporel permettant de suivre l'évolution des masses d'eau dégradées ou à risque jusqu'à l'atteinte de leur bon état. Seuls les paramètres à l'origine du risque de non-atteinte du bon état de la masse d'eau sont obligatoirement suivis dans ce réseau.

Ce réseau a pour rôle :

- d'assurer le suivi de toutes les masses d'eau identifiées comme risquant de ne pas atteindre le bon état en 2015 (masses d'eau ayant obtenu un report ou une dérogation d'objectif de bon état pour 2021 ou 2027);
- d'évaluer l'efficacité des actions mises en place dans le cadre des programmes de mesure (s'assurer de l'amélioration de la qualité des eaux) ;
- et de préciser, le cas échéant, les raisons de la dégradation de la qualité des eaux.

A noter que pour les eaux souterraines, un suivi quantitatif est également mis en place dans le cadre de la DCE pour contrôler les niveaux d'eau dans les nappes (niveaux piézométriques).

2.3 RESEAU DE CONTROLE D'ENQUETE (RCE)

Seulement utilisé pour les eaux de surface, c'est un réseau de suivi de pollutions accidentelles ou de dégradation de l'état dont l'origine est mal connue afin d'en déterminer l'ampleur et l'incidence. C'est un réseau limité dans le temps.

Les objectifs et modalités de mise en œuvre de ce type de réseau sont à distinguer selon trois cas :

- Cas d'un évènement dont l'origine est inconnue ;
- Cas de non atteinte des objectifs environnementaux ;
- Cas d'une pollution accidentelle.

2.4 RESEAUX DE CONTROLES ADDITIONNELS (RCA)

Ce sont des réseaux de contrôles portant sur les zones stratégiques pour un usage particulier (captage d'eau potable, ...) et sur les zones d'habitat et de protection d'espèces. Ces réseaux ne sont pas à la charge des agences de l'eau.

3. CAPTEURS : DEFINITIONS ET TYPOLOGIE

3.1 DEFINITIONS

Dans ce paragraphe, quelques définitions de capteurs sont proposées, définitions issues du Vocabulaire International de Métrologie (VIM 2012), du projet de norme prEN 17075 sur les équipements pour l'eau et des dossiers techniques de l'ingénieur.

Capteur (VIM 2012) : élément d'un **système de mesure** qui est directement soumis à l'action du phénomène, du corps ou de la substance portant la **grandeur** à mesurer.

Capteur (prEN 17075) : dispositif électronique qui détecte un état physique ou un composé chimique et qui délivre un signal électronique proportionnel à la caractéristique observée.

Capteurs chimiques ou biochimique (Debliqy, 2010a et 2010b) : ce sont généralement des systèmes simples, constitués d'une couche sensible permettant la reconnaissance de l'espèce avec laquelle elle interagit et d'un système transducteur transformant l'interaction chimique en un signal électrique. Souvent, les deux fonctions sont intimement liées.

Les composés biologiques fixés sur les capteurs biochimiques ou biocapteurs peuvent être séparés en deux catégories : ceux fixant simplement l'analyte sans modification, comme les anticorps et les récepteurs, et ceux ayant une activité catalytique, comme les enzymes et les micro-organismes.

Dispositifs de mesure en continu (prEN 17075) : dispositif qui fournit de façon continue (ou à une fréquence donnée) un signal de sortie proportionnel à la valeur d'une ou plusieurs caractéristiques à déterminer dans les eaux qu'il mesure.

Dispositif de mesure portable (prEN 17075) : dispositif de mesure qui peut être déplacé d'un point de mesure à un autre.

3.2 TYPOLOGIE DES CAPTEURS

Il est possible de classer les capteurs selon plusieurs critères. Dans ce document, les critères suivants ont été utilisés pour identifier les différents types de capteurs selon :

- leur configuration ;
- leur mode d'utilisation ;
- le (s) paramètre(s) suivi(s) ou grandeur(s) mesurée(s) ;
- le principe de mesure.

3.2.1 Selon leur configuration

Pour schématiser, trois configurations sont possibles pour les capteurs (Figure 1) :

- *in situ* : le capteur est immergé dans la masse d'eau. Il est relié à un transmetteur (ou contrôleur) ou fonctionne de manière autonome avec des batteries internes ;
- « on-line » - en ligne : l'échantillon est prélevé dans la masse d'eau de manière automatisée avec une sonde, puis amené au dispositif de mesure par l'intermédiaire d'une conduite appropriée ;
- « off-line » - sur site : les mesures sont réalisées sur site immédiatement après avoir effectué un prélèvement manuel.

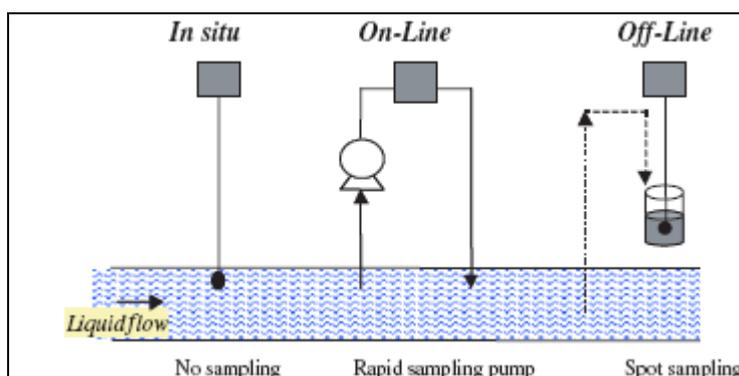


Figure 1 : Schéma du principe de mesure des capteurs et instruments in situ, en ligne (On-Line) et sur site (Off-Line), d'après Greenwood et al. (2007)

3.2.2 Selon le mode d'utilisation

Les capteurs peuvent être utilisés principalement de deux manières différentes (Figure 2) :

- en mode continu, avec une fréquence de mesure élevée, typiquement de quelques secondes à 1 heure, et mis en oeuvre pendant plusieurs jours ou mois sur site ;
- en mode instantané ou portable sur site.

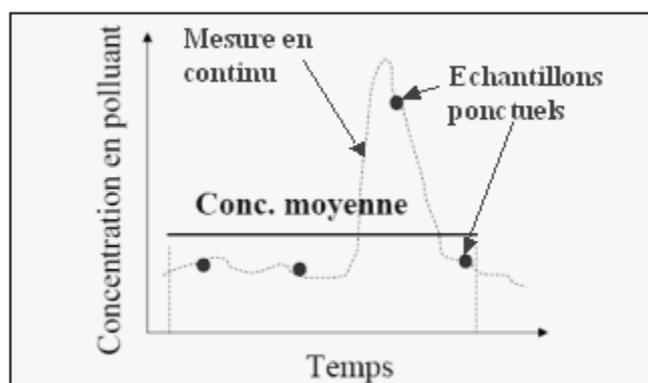


Figure 2 : Illustration des différentes approches pour la surveillance de la qualité de l'eau : mesure en continu, échantillons ponctuels à pas de temps fixe, concentration moyenne (d'après la présentation SWIFT sur les outils innovants)

Les dispositifs de mesure en continu ont été développés pour permettre la mesure en temps réel et suivre des variations temporelles à une échelle de temps courte. Quant aux dispositifs de mesure portables, ils ont été développés pour pouvoir

réaliser des mesures ponctuelles sur site ou in situ afin d'obtenir une réponse immédiate et pouvoir prendre une décision rapidement.

3.2.3 Selon le(s) paramètre(s) suivi(s)

Il existe des capteurs commercialement disponibles (Gantois et al. 2016), ou en cours de développement (Namour 2008, Namour et al. 2009, Masson et Lestremau 2016) pour suivre les paramètres suivants :

- Paramètres physico-chimiques non conservatifs (température, pH, conductivité, oxygène dissous, potentiel redox, turbidité, chlore) ;
- Paramètres chimiques (cations et anions constitutifs de l'eau, nutriments, matière organique, indice phénol, cyanures, etc.) ;
- Paramètres biologiques (algues vertes, chlorophylle a, cyanobactéries, diatomées, etc.) ;
- Eléments traces inorganiques (métaux) ;
- Micropolluants organiques (pesticides, hydrocarbures, HAP etc.) ;
- Toxicité, génotoxicité, cytotoxicité.

3.2.4 Selon le principe de mesure

Les techniques mises en œuvre pour l'analyse par les capteurs reposent principalement sur une mesure par :

- Electrochimie (potentiométrie, ampérométrie, conductimétrie, coulométrie, voltampérométrie etc.) ;
- Optique (Absorbance UV-visible, fluorescence, infra-rouge etc.) ;
- Réaction chimique (complexation, oxydo-réduction, acide-base etc.), enzymatique / immunoenzymatique
- Réponse biologique (au niveau moléculaire, organismes entiers, comportemental).

4. OPPORTUNITES DES CAPTEURS DANS LA SURVEILLANCE DES EAUX NATURELLES

Dans ce paragraphe, les opportunités pour les capteurs sont présentés selon leur mode de fonctionnement : i) en mode instantané ou portable sur site et ii) en mode haute fréquence ou continu. Une sélection d'exemples permet d'illustrer ces opportunités.

4.1 MODE INSTANTANE OU PORTABLE SUR SITE

4.1.1 Identification des opportunités

Plusieurs opportunités pour les capteurs utilisés en mode instantané ont été identifiées à partir de différentes sources bibliographiques, dont notamment : Allan et al (2006a et 2006b), Greenwood (2006 et 2007), Guide CIS 19, Guigues et al. (2012), Lepot et al (2013) et Roig et al. (2007a et 2007b). Ces opportunités sont résumées dans le Tableau 1.

Opportunité dans la surveillance	Réseau	Avantages	Inconvénients	Exemples
Identification des zones de toxicités minimales ou maximales	Conception et/ou optimisation de réseau (RCS, RCO)	Mesure rapide Facilité d'utilisation Outil de screening	Pas d'identification des substances / facteurs à l'origine de la toxicité Spécificité / Interférences pouvant induire des faux positifs	SWIFT - étude de cas sur le Ribble (Roig et al., 2007a)
Identification des sources de contamination	RCO, RCE	Mesure rapide Facilité d'utilisation	Adéquation des limites de quantification avec les niveaux mesurés, Spécificité / Interférences pouvant induire des faux positifs	SWIFT - étude de cas de la ville de Rezekne en Lettonie (Roig et al., 2007a)
Optimisation de la station de mesure - représentativité de la station	Conception et/ou optimisation de réseau (RCS, RCO)	Nombre important de mesure à coût réduit		SWIFT - étude de cas de la ville de Rezekne en Lettonie (Roig et al., 2007a)
Cartographie d'une zone géographique - détermination rapide de concentration en macropolluants et/ou micropolluants	RCO, RCE	Optimisation du coût de la surveillance Outil de screening		SWIFT - étude de cas du bassin de la Hardt en Alsace (Roig et al., 2007a) Aquaref - étude de la variabilité spatiale et temporelle lors de CIL prélèvement
Identification d'un panache de pollution lors d'un accident	RCE			SWIFT - Essai de performance à Eijsden (Allan et al. 2007)
Sélection d'échantillons nécessitant une analyse plus poussée	RCO, RCE			Projet Transpolar (Baran et Sapairoles 2012 ; Togola, 2009)

Tableau 1 : Synthèse des opportunités des capteurs en mode instantané ou portable sur site dans la surveillance des eaux naturelles

4.1.2 Exemples d'utilisation

Afin d'illustrer les opportunités identifiées dans le Tableau 1 pour les capteurs en mode instantané, six exemples sont présentés ci-après :

- Quatre exemples sont issus du projet européen SWIFT-WFD (SSPI-CT-2003-502492), dans lequel des études de cas démontrant l'utilité des capteurs pour la surveillance DCE ont été réalisées entre 2004 et 2006.
- Un exemple est issu du programme Aquaref.
- Un exemple est issu du projet Transpolar (Région, FEDER)

- **Identification des zones de toxicité**

Plusieurs kits ou appareils portables ont été testés dans le cadre du projet SWIFT dans l'estuaire du Ribble au Royaume Uni afin d'identifier les zones de contaminations. Ces tests ont permis de mettre en évidence les zones de l'estuaire présentant des toxicités et génotoxicités significatives. Par ailleurs, des tests plus spécifiques pour les composés organiques et pour les métaux ont aussi permis d'avoir une idée de la nature des polluants générant cette toxicité ou génotoxicité.

- **Optimisation du réseau de stations de mesure du programme RCS**

L'objectif de l'étude réalisée sur le bassin de la Hardt (Alsace, FR) dans le cadre du projet SWIFT, était d'évaluer la variabilité spatiale des nutriments, dont les nitrates, et de quelques pesticides (atrazine et alachlore) sur deux bassins versants (Weihenbachgraben et Sauruntz) afin de soutenir la redéfinition des stations de mesure du programme de surveillance (Roig et al, 2007a). Des dispositifs portables et des kits immunoenzymatiques ont été utilisés pour réaliser une cartographie intégrant environ une trentaine de mesures en deux jours sur deux cours d'eau. Les résultats ont pu mettre en évidence les zones de concentrations importantes qui doivent faire l'objet d'une surveillance et celles de concentrations plus faibles.

- **Identification d'un panache de pollution**

Une simulation d'un pic de pollution sur 5 jours avec des concentrations variables en métaux a été réalisée lors de l'essai sur Eijsden (Pays Bas) en 2005 dans le cadre du projet SWIFT (Allan et al. 2007). Plusieurs dispositifs portables ont été testés, comme un système utilisant des électrodes jetables et une méthode électrochimique permettant de mesurer trois métaux en 5-10 minutes. Les résultats ont permis de démontrer que ce capteur est bien adapté pour suivre et identifier un pic de pollution en temps réel.

- **Représentativité de la station et recherche des sources de contamination**

L'objectif de l'essai réalisé en 2005 en Lettonie dans le cadre du projet SWIFT était de vérifier que la station de mesure en aval de la ville de Rezekne était bien représentative des impacts urbains et de la station de traitement des eaux (Roig et al, 2007a).

Des dispositifs portables ont été utilisés pour évaluer sur 1 journée et à moindre coût (par rapport à des analyses laboratoires) les teneurs en nutriments entre la station de mesure située en amont et celle en aval de Rezekne afin d'identifier les potentielles sources de rejets. Les résultats ont montré des concentrations très variables en ammonium et en nitrates entre l'amont et l'aval de la ville, avec un impact de la station d'épuration sur les teneurs en nitrates et phosphates. Au final la localisation de la station a été maintenue.

- **Caractérisation de la variabilité spatiale à l'échelle d'une station**

Lors de la mise en œuvre des essais collaboratifs Aquaref entre 2007 et 2012 sur l'échantillonnage des eaux (cours d'eau, plan d'eau, eau souterraine, eau de rejet), ainsi que lors de l'essai pilote d'aptitude co-organisé par AGLAE et Aquaref, des mesures ponctuelles ont été réalisées (i) en amont de l'essai afin de caractériser la variabilité spatiale du milieu (profil longitudinal, section transversale) et ainsi définir une zone d'homogénéité pour réaliser les essais et (ii) lors du déroulement de l'essai avec les préleveurs participants, afin de suivre dans le temps une variabilité éventuelle et de ne pas l'attribuer à un effet préleveur.

- **Sélection d'échantillon nécessitant des analyses plus poussées**

Dans le cadre du projet TRANSPOLAR (projet Région, FEDER ; Baran et Saplaïroles, 2012 et Togola, 2009), qui s'est déroulé en 2009 en Région Midi Pyrénées et dont l'objectif était d'étudier la présence de phytosanitaires employés (antérieurement ou actuellement) pour la culture du maïs. L'initiative a été prise de tester l'usage des mesures par kits ELISA des deux composés ciblés : l'atrazine et le métolachlor. Sur les 150 points échantillonnés et analysés avec les kits ELISA, 16 ont ainsi pu

être sélectionnés de manière totalement éclairée sans négliger des zones qui auraient pu être considérées à priori comme préservées. L'intérêt de l'utilisation des kits dans ce projet était la rapidité de traitement de l'échantillon, ce qui a permis le suivi d'un grand nombre de sites mesurés lors d'une même analyse et ce à un faible coût.

4.2 MODE HAUTE FREQUENCE OU CONTINU

4.2.1 Identification des opportunités

Opportunité dans la surveillance	Réseau	Avantages	Inconvénients	Exemples
Alerte de dépassement de seuils	RCO	Temps réel, Mesure à haute fréquence	Coût d'investissement, Formation des opérateurs indispensable, Maintenance importante, Impact de l'encrassement sur les capteurs	Station d'Huingue gérée par l'Aprona (Aprona 2013, E&Y 2013)
Alerte en cas de pollution pour la protection de la ressource en eau potable	RCA			Réseau de stations sur la haute Garonne gérées par le LDE31 (LDE31, 2014)
Identification de la variabilité temporelle et optimisation de la fréquence de mesure - optimisation du programme de surveillance	RCS, RCO			Réseau de stations en Meuse gérées par l'Andra (Guigues, 2012)
Evaluation de l'impact d'ouvrage (rejet industriel, rejet urbain) ou de conditions environnementales (temps de pluie / orages)	RCO			Etude du Gemcea sur le Grémillon à Nancy (Gemcea, 2009)
Evaluation de flux (couplage avec une mesure de débit)				Etude des flux de matières par temps de pluie (Lacour, 2009) Etude des flux de nutriments au sein d'une ZRV (Papias, 2017)
Etude de fonctionnement de bassin versant				Etude de l'Université de Lille sur les métaux (Billon et al, 2009). Projet Life ENV/D/000337 sur l'eutrophisation de bassins versants transfrontaliers

Tableau 2 : Synthèse des opportunités des capteurs en mode haute fréquence ou en continu dans la surveillance des eaux naturelles

Plusieurs opportunités pour les capteurs utilisés en mode haute fréquence ou continu ont été identifiées à partir de différentes sources bibliographiques, dont notamment : Allan et al (2006a et 2006b), Greenwood (2006 et 2007), Roig et al.

(2007a et 2007b), Bonnet et al. (2008), Guide CIS 19 (2009), Guigues et al. (2012), Lepot et al (2013) et E&Y (2013). Ces opportunités sont résumées dans le Tableau 2.

4.2.2 Exemples d'utilisation

Certaines applications de mise en œuvre de mesure haute fréquence ou en continu sont déployées depuis plusieurs années alors que d'autres sont plus ponctuelles car souvent liées à des projets spécifiques. Il a été fait le choix de ne sélectionner deux exemples au maximum par opportunité pour illustration.

- **Alerte de dépassement de seuils**

La station de l'APRONA à Huningue (68) permet de détecter certaines pollutions des eaux du Rhin par les hydrocarbures, les métaux lourds, les matières organiques et les composés fluorescents (Aprona, 2013 ; E&Y, 2013). En cas de dépassement de seuils prédéfinis, une alerte est télétransmise automatiquement aux services chargés de la gestion des ouvrages situés sur le Rhin. Les vannes de la prise d'eau du canal de Huningue et certaines assurant la communication entre le Rhin et le réseau hydrographique alsacien peuvent, si nécessaire, être fermées.

D'autres exemples de station d'alerte sont les stations du réseau AQUALARM au Pays Bas ou encore celles du réseau AQUAPOL en Belgique.

- **Surveillance de la protection de la ressource en eau potable**

Le Réseau de Stations d'Alerte (RSA) sur la haute Garonne (31) surveille en continu les ressources en eau potable du département (LDE31, 2014). Il permet de prévenir les autorités sanitaires ainsi que les exploitants d'unités de production d'eau potable en cas de dégradation de la qualité des eaux et de pollution accidentelle, notamment en matière organique. Par ailleurs, il alimente régulièrement une base de données pour une meilleure connaissance du milieu.

D'autres exemples de station de surveillance installée en amont de la ressource en eau potable et qui sont mises en place et gérées par des collectivités ou des exploitants, sont les stations des villes d'Etampes, de Montauban, celles des syndicats comme le SEDIF en région parisiennes ou le Sicasil (bassin cannois).

- **Evaluation de l'impact urbain sur un cours d'eau**

Une étude sur le développement de l'urbanisation et ses effets sur les cours d'eaux, notamment les ruisseaux périurbains en vue de leur revalorisation, a été réalisée par le GEMCEA de 2005 à 2009 en prenant l'exemple du Gremillon à Nancy (Gemcea, 2009). Une première phase de diagnostic de la qualité de l'eau a été effectuée afin à la fois d'évaluer l'impact des rejets urbanisés par temps sec et par temps de pluie, et identifier les principales sources de rejets. Ce diagnostic était basé sur un couplage entre mesures en continu pour le suivi temporel et prélèvements ponctuels avec analyses en laboratoire pour le suivi spatial des nutriments (ammonium et nitrates).

D'autres exemples de stations de surveillance mises en place afin de suivre l'impact urbains et/ou agricole sont les 5 stations de mesure du syndicat de l'Orge Aval ou encore les deux stations mises en place par le syndicat de Grand Lieu (Nantes).

- **Acquisition de connaissance sur la variabilité temporelle de la qualité de l'eau**

Exemple des métaux :

En 2009, l'université de Lille et le laboratoire Géosystèmes, en collaboration avec l'Agence de l'Eau Artois Picardie, ont conduit une étude pour la mise en place d'un suivi en continu d'éléments traces métalliques dans la colonne d'eau du canal de la Deûle (Billon et al, 2009). Au cours de cette étude, une station de mesure autonome des ETM (l'ATMS), développée par le NTNU (Trondheim, Norvège), a été optimisée afin de suivre en continu les teneurs des formes électrolabiles du zinc et du plomb dans la colonne d'eau toutes les deux heures entre mi-avril et mi-mai 2009. Les résultats ont montré que ces concentrations variaient très fortement en fonction des saisons et qu'à partir de début mai, des cycles journaliers ont été observés due à la diagenèse précoce dans les sédiments de surface.

Exemple des nutriments et lien avec l'eutrophisation des masses d'eau

Dans le cadre Life ENV/D/000337 « Surveillance en continu de substances d'eutrophisation provenant de sources diffuses dans la région SAAR-LOR-LUX » des stations mobiles intégrant des dispositifs de mesure en continu des nutriments (azote et phosphore) et matière organique ainsi que la chlorophylle comme indicateur de l'eutrophisation ont été développées et utilisées pour suivre la qualité de l'eau de deux rivières transfrontalières, la rivière Nied (Allemagne - France) et la rivière Attert (Belgique - Luxembourg). Les mesures en continu obtenues sur les différentes stations en simultanées ont permis de mieux comprendre la dynamique de transport des nutriments et d'identifier les apports dans les bassins versants transfrontaliers étudiés.

- **Adaptation de la stratégie de surveillance pour intégrer la variabilité temporelle du milieu**

L'Andra a mis en place depuis 2007 un dispositif capable de décrire l'environnement actuel de la zone dans laquelle il est envisagé d'implanter le futur centre de stockage de déchets radioactifs, avant même le début des travaux. L'originalité de cet observatoire appelé « Observatoire Pérenne de l'Environnement ou OPE », est son programme d'observation multidisciplinaire de l'ensemble des domaines de l'environnement sur une durée à minima séculaire (Andra - OPE, site web). L'analyse des données de surveillance des eaux superficielles acquises sur la période 2007-2010 a mis en évidence la forte variabilité spatiotemporelle de la qualité des eaux dans un contexte hydrologique karstique. Il est apparu nécessaire de développer une approche complémentaire pour mieux intégrer la variabilité temporelle des paramètres physico-chimiques car les prélèvements ponctuels à une fréquence de 6 à 12 fois par an ne peuvent l'appréhender correctement. Ainsi, des stations de mesure en continu ont été installées et mise en fonctionnement en 2012 pour permettre de mesurer à une fréquence élevée des paramètres physico-chimiques d'intérêt (Guigues, 2013). Les mesures en continu ont permis de mettre en évidence des fonctionnements différents entre les deux cours d'eau principaux de la zone OPE pendant les périodes d'étiages et de hautes eaux.

- **Evaluation de flux**

Flux de MES et DCO par temps de pluie à l'échelle annuelle dans les réseaux d'assainissement

Une étude a été réalisée dans le cadre du réseau OPUR, sur la faisabilité d'utiliser la mesure en continu de la turbidité pour évaluer les flux transportés dans les réseaux d'assainissement par temps de pluie (Lacour, 2009). Les résultats ont pu montrer l'intérêt de la mesure en continu en améliorant la précision sur l'évaluation des flux par rapport aux méthodes classiquement utilisées, notamment en raison du pas de mesure qui permet d'obtenir une description fine de la dynamique des événements pluvieux.

Flux de nutriments dans une zone de rejet végétalisée (ZRV)

Dans le cadre du projet ZRV financé par l'AFB, le fonctionnement d'une zone de rejet végétalisée est en cours d'étude. Des mesures en continu des formes azotées ont permis d'établir des flux de nitrate et d'ammonium le long de la ZRV et de préciser les transformations de l'azote qui se déroulent dans certaines zones de la ZRV (Papias et al., 2017).

5. CONCLUSION

Les capteurs peuvent être utilisés dans les réseaux de surveillance des eaux naturelles, soit en complément de la surveillance mise en place, soit en vue d'optimiser cette surveillance. Différentes opportunités ont été ainsi identifiées selon le mode d'utilisation de ces capteurs : en mode instantanée ou portable sur site et en mode haute fréquence ou en continu. Des exemples permettent d'illustrer l'utilisation de ces capteurs dans des cas concrets. Ainsi il apparaît que les capteurs ont bien leur place dans la surveillance des eaux et sont d'ailleurs déjà largement utilisés par les collectivités ou dans le cadre de projets spécifiques.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Allan I.J., Vrana B., Greenwood R., Mills G.A., Roig B., Gonzalez C. (2006a) A "toolbox" for biological and chemical monitoring requirements for the European Union's Water Framework Directive, *Talanta*, 69, 302-322

Allan I.J., Mills G.A., Vrana B., Knutsson J., Holmber A., Guigues N., Laschi S., Fouillac A-M., Greenwood R. (2006b) Strategic monitoring for the European Water Framework directive, *TrAC*, 25, 704-715

Allan I.J., Greenwood R., Guigues N., Fouillac A.M. (2007) Deliverable D25: Field evaluation of screening tools and techniques in response to chemical monitoring requirements of the WFD, SWIFT-WFD, Screening methods for water data information in support of the implementation of Water Framework Directive. 6th FP Contract n° SSPI-CT-2003-502492

Andra - OPE - Site web (www.andra.fr/ope)

Aprona (2013) - Station d'alerte de Huningue, rapport de synthèse 2013

Billon G., Magnier A., Lourino-Cabana B., Baeyens W., Fischer J.C. et Ouddane B. (2009) Suivi en continu d'éléments traces métalliques dans le canal de la Deule, rapport scientifique

Baran N., Saplaïroles M. (2012) projet TRANSPOLAR, Etude des solutés (nitrates et produits phytosanitaires) dans la plaine alluviale de l'Ariège et de l'Hers-Vif : synthèse des résultats. BRGM RP-60405-FR 55 p 25 ill.

Bonnet M-E., Fecherolle J., Floc'h C. (2008) Mesure en continu et surveillance des ressources en eau, Ateliers Santé-Environnement EHESP IGS 2007-2008

Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2009) Guidance Document No.19: Guidance on surface water chemical monitoring under the Water Framework Directive

Debliquy M. (2010a) Capteurs chimiques, Technique de l'Ingénieur, dossier r420

Debliquy M. (2010b) Capteurs biochimiques, Technique de l'Ingénieur, dossier r421

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

Directive 2009/90/CE de la commission du 31 juillet 2009 établissant, conformément à la directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil, des spécifications techniques pour l'analyse chimique et la surveillance de l'état des eaux.

E&Y (2013) Rapport sur les intérêts technico - économiques de l'analyse en continu de la qualité de l'eau et des milieux au regard des pratiques actuelles

Gantois F., Guigues N., Lepot B., Gal F. (2016) Panorama de l'existant sur les capteurs et analyseurs en ligne pour la mesure des paramètres physico-chimiques dans l'eau, rapport Aquaref

GEMCEA (2009) Etude du comportement d'un ruisseau péri urbain (Gremillon) - diagnostic et propositions d'aménagement, rapport final

Greenwood R., Roig B. (2006) Deliverable D5: Directory of Screening tools- A toolbox of existing and emerging methods for chemical and ecological status monitoring under the WFD, SWIFT-WFD, Screening methods for water data information in support of the implementation of Water Framework Directive. 6th FP Contract n° SSPI-CT-2003-502492

Greenwood R., Mills G.A., Roig B. (2007) Introduction to emerging tools and their use in water monitoring, Trends in Analytical Chemistry, 26, 263-267

Guigues N., Lepot B., Behro C., Salvétat F. (2012) Panorama de l'existant et retour d'expérience sur les capteurs et analyseurs en ligne pour la mesure des paramètres physico-chimiques dans l'eau, Rapport Aquaref

Guigues N. (2013) Analyse des données des stations instrumentées acquises de mars 2012 à novembre 2013, Rapport LNE dans le cadre du contrat de partenariat Andra-LNE 2011

Lacour C. (2009) Evaluation de flux de MES et de DCO à partir de mesures en continu de turbidité : sensibilité aux données de calibration, présentation au séminaire OPUR du 23 juin 2009.

Lepot B., Poulleau J. (2013) Méthodes de mesurage des polluants rejetés à l'atmosphère ou dans les eaux. Surveillance des rejets de polluants organiques et inorganiques dans les milieux fluides. Métrologies existantes et en développement

JCGM 200 :2012 International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd edition

LDE31 (2014) Réseau de stations d'alerte (RSA), présentation lors de la Journée technique « Capteurs pour la mesure en continu dans l'eau », 27 novembre 2014

Life ENV/D/000337 (2004) Remotely controlled monitoring of eutrophication substances from diffuse sources in the region SAAR-LOR-LUX, Layman report.

Masson M. et Lestremeau F. (2017) Veille bibliographique sur les capteurs en développement (non commercialisés) pour la mesure in situ et en continu des substances réglementées DCE et des composés majeurs permettant la caractérisation globale des eaux, Rapport Aquaref

Namour P., Jaffrezic-Renault N. (2009) Capteurs pour la mesure de la matière organique totale et biodégradable dans les eaux, Rapport Aquaref

Namour P. (2008) Bulletin de veille bibliographique n°1 - Micro-capteurs, Rapport Aquaref

NF EN ISO/CEI 17025 (2005) - Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnage et d'essais

Papias S., Prsot-Boucle S., Coquery M., Masson M., Arhror M., Boutin C. (2017). Annual nitrogen mass balance in a CW receiving treated wastewater based on continuous water monitoring, sludge and plants samplings. 7th International Symposium for Wetland Pollutant Dynamics and Control (**WETPOL**), Montana, USA, 21-25 Août 2017.

PrEN 17075 (2017) Qualité de l'eau - Exigences générales et modes opératoires d'essai de performances pour les équipements de surveillance de l'eau - Dispositifs de mesure

Roig B., Mills G., Greenwood R, Allan A., Guigues N., Berho C., Valat C., Spinelli S., Kramer K., Lückge H. (2007a) Deliverable D43: Report of performances evaluation of screening methods (field trials results), SWIFT-WFD, Screening methods for water

data information in support of the implementation of Water Framework Directive.
6th FP Contract n° SSPI-CT-2003-502492

Roig B., Valat C., Berho C., Allan I.J., Guigues N., Mills G.A., Ulitzur N., Greenwood R. (2007b) The use of field studies to establish the performance of a range of tools for monitoring water quality, TrAC, 26, 274-282

Strosser P. (2006) Méthodes alternatives de mesure de la qualité chimique de l'eau - Mais qu'en pensent nos voisins européens?, Présentation lors du workshop national SWIFT-WFD en France, Paris, novembre 2006

Togola A. (2009) - Applicabilité des kits ELISA dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines et eaux superficielles, Rapport BRGM/RP-58259FR, 27 pages, 11 illustrations. Rapport AQUAREF.