SIPIBEL
Site Pilote de Bellecombe

Effluents hospitaliers et stations d'épuration urbaines : caractérisation, risques et traitabilité

Synthèse des résultats 2011-2015

QUATRE ANNÉES DE SUIVI, D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES, SUR LE SITE PILOTE DE BELLECOMBE

OCTOBRE 2016

graie

CONTACTS

Vivien Lecomte, animateur de SIPIBEL et projets en appui : **vivien.lecomte@graie.org**
Elodie Brelot, directrice du GRAIE : **elodie.brelot@graie.org**
Luc Patois, directeur du Syndicat des Eaux des Rocailles et de Bellecombe : **lpatois@s-rb.fr**

GRAIE - Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau
Campus LyonTech La Doua
66, Boulevard Niels Bohr – CS 52132
69603 Villeurbanne Cedex
Tél. : 04 72 43 83 68 - Fax : 04 72 43 92 77
Email : sipibel@graie.org - **www.graie.org**

Syndicat des Eaux des Rocailles et de Bellecombe
Maison Cécile Bocquet
160 Grande Rue
74930 REIGNIER-ESERY
Tél. : 04 50 95 71 63 - Fax : 04 72 43 48 84
Email : lpatois@s-rb.fr

Sites internet : www.sipibel.org et www.irmise.org

RÉDACTEURS

Cette synthèse est issue du rapport SIPIBEL 2011-2015, co-rédigé par les équipes de recherche de SIPIBEL (ISA, Université de Limoges, ENTPE, INSA Lyon, Université Paris Sud, Institut de Chimie de Poitiers, INRA de Thonon et Vet'agro sup), Suez, la CIPEL, Claire Tillon (consultante), le Syndicat des eaux des Rocailles et de Bellecombe et le Graie (18 rédacteurs mobilisés).

Ce rapport présente une synthèse des résultats de quatre années de suivi, d'études et de recherches, menés sur le site pilote grâce à la mobilisation des acteurs du territoire, des scientifiques, d'un industriel et des partenaires institutionnels.

SOMMAIRE

LE SITE PILOTE DE BELLECOMBE 3

Configuration du site
A l'origine du projet
Un site étendu au territoire du bassin versant franco-suisse de l'Arve aval

UN SUIVI RÉGULIER DES EFFLUENTS ET DU MILIEU 4

Le dispositif de l'observatoire SIPIBEL
Caractéristiques de la station d'épuration de Bellecombe et de ses effluents

PRINCIPAUX RÉSULTATS DU SUIVI 7

L'effluent hospitalier présente certaines spécificités
La majorité du flux de résidus de médicaments et détergents provient des apports diffus
Le traitement de la STEP est efficace... mais n'élimine pas tous les polluants
Les boues des bassins de la filière hôpital ont tendance à s'enrichir en gènes de résistance
Traiter séparément l'effluent hospitalier n'est pas la solution appropriée
Les effluents hospitaliers méritent une attention particulière
Des traces de résidus de médicaments sont retrouvées dans l'Arve et dans la nappe du Genevois

DES AVANCÉES SUR DIFFÉRENTS AXES DE CONNAISSANCE 12

La modélisation des flux de résidus de médicaments
La compréhension du devenir des micropolluants au sein des boues d'épuration
La caractérisation des dangers écotoxiques et écologiques
L'efficacité des traitements complémentaires par ozonation
Les potentialités de réduction à la source des rejets de médicaments dans l'eau

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 14

COMMUNICATION ET DIFFUSION des résultats de SIPIBEL 15

Le site internet www.sipibel.org
Publications, communications et porté à connaissance
La conférence Eau et Santé 2015

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES citées dans cette synthèse 16

POUR EN SAVOIR PLUS 17

LE SITE PILOTE DE BELLECOMBE

Configuration du site

Situé sur le département de la Haute-Savoie, à proximité de la frontière suisse, le site pilote de Bellecombe (SIPIBEL) est composé :

- **du Centre Hospitalier Alpes Léman (CHAL)**, mis en service en février 2012 ;
- **de la station d'épuration de Bellecombe (STEP)**, avec deux filières de traitement distinctes permettant d'isoler l'effluent hospitalier, ou de le mélanger avec l'effluent urbain.
- **et d'un milieu récepteur** : **la rivière Arve,** qui alimente une partie des ressources en eau destinée à la consommation humaine du bassin genevois.

La station d'épuration de Bellecombe et le Centre Hospitalier Alpes Léman (source : CHAL, 2012)

A l'origine du projet :

- **Une opportunité d'étude,** grâce à la configuration particulière du site et à une obligation réglementaire (arrêté préfectoral demandant à titre expérimental de traiter séparément l'effluent hospitalier pendant 3 ans)
- **La mobilisation d'un réseau** d'acteurs du territoire, équipes de recherche, industriels et partenaires institutionnels, permettant des actions pluridisciplinaires au service des scientifiques et opérationnels

Les acteurs de SIPIBEL

-32 organismes membres et partenaires

-Dont 10 équipes de recherche

-Des partenaires français et suisses

-Une liste de diffusion de 110 contacts

- **La construction d'une problématique** : l'étude de la caractérisation, de la traitabilité et des impacts des effluents hospitaliers en station d'épuration urbaine

Un site étendu au territoire du bassin versant franco-suisse de l'Arve aval

Conscient de ne pas étudier tous les compartiments du cycle de l'eau, à savoir la gestion de la ressource en eau potable, le Syndicat des Eaux des Rocailles et de Bellecombe (SRB) et le Graie se sont rapprochés des autres acteurs du territoire afin de mettre en place un projet transfrontalier qui traiterait cette question en appui sur la dynamique du site SIPIBEL. Le lien transfrontalier est en effet évident considérant que l'Arve est utilisée pour réalimenter artificiellement la nappe du Genevois (ressource en eau de consommation humaine) avec un volume de 9 millions de m^3 par an, ce qui représente 60 % du volume prélevé**.**

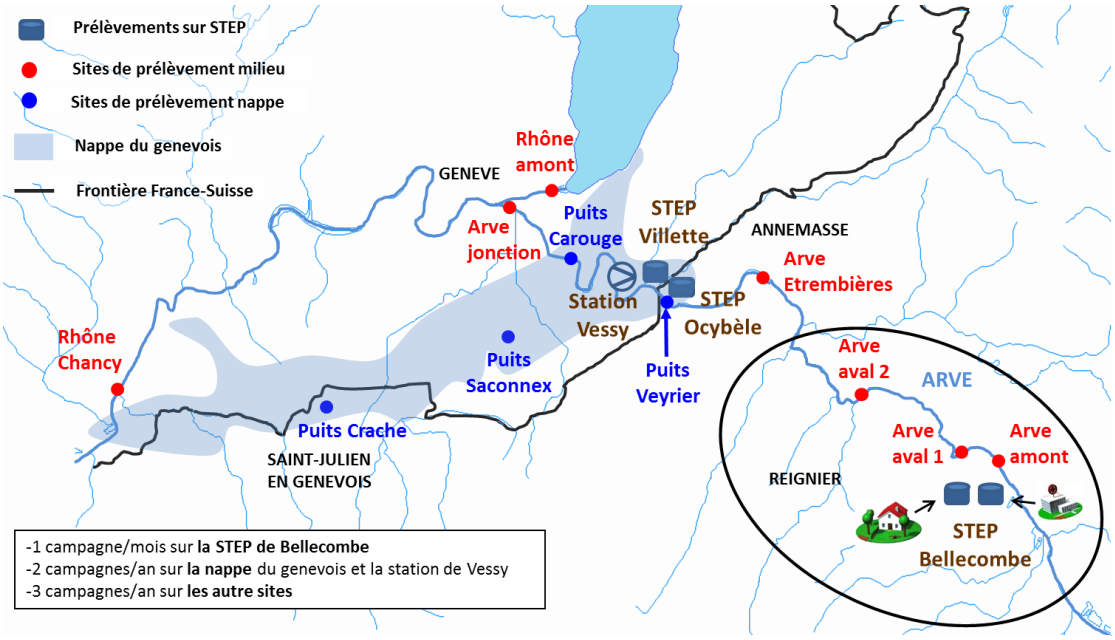
Dès 2013, le site a donc été étendu à l'ensemble du bassin versant franco-suisse de l'Arve aval par le biais du projet Interreg franco-suisse IRMISE (Impacts des Rejets de Micropolluants -et résidus de médicaments- Issus des Stations d'Épuration urbaines).

UN SUIVI RÉGULIER DES EFFLUENTS ET DU MILIEU

Le dispositif de l'observatoire SIPIBEL

Les campagnes de mesures mises en place répondent aux objectifs de **caractérisation des effluents, de leur traitabilité, de leur impact** sur la qualité des milieux et des risques potentiels pour la santé. **La comparaison** des effluents hospitaliers aux effluents urbains est au cœur du dispositif.

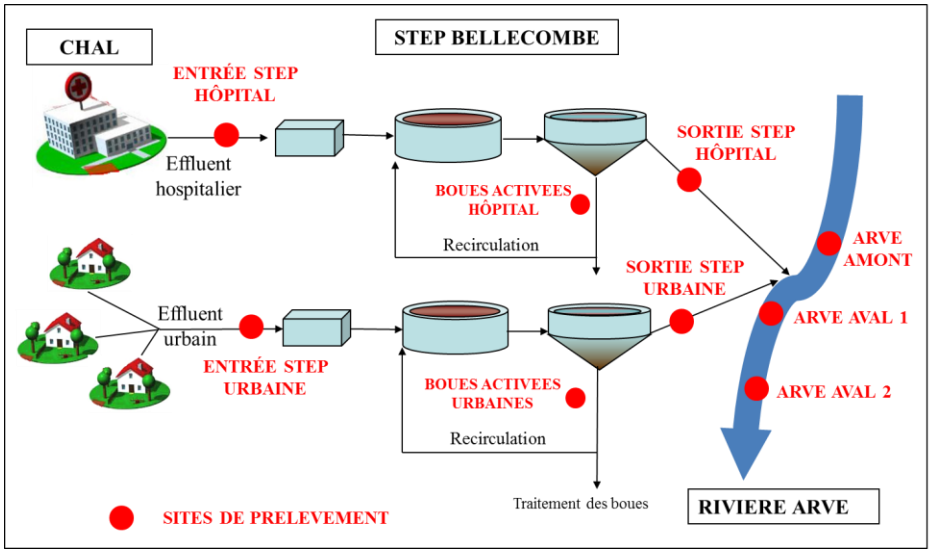
Les sites de prélèvement



Sites de prélèvement de l'observatoire SIPIBEL

Les prélèvements et analyses ont été réalisés sur un total de 22 sites, comprenant différentes matrices :

- **les effluents hospitaliers et urbains de la STEP de Bellecombe :** prélèvements mensuels en entrée (eaux brutes) et en sortie (eaux traitées), ainsi que sur les boues des bassins d'aération ;
- **les effluents traités des STEP Ocybèle (France) et Villette (Suisse)** : 3 campagnes par an ;
- **la rivière Arve et le Rhône :** 3 campagnes par an sur 7 sites de prélèvement
- **la station de réalimentation de Vessy et 4 puits de la nappe du Genevois** : 2 campagnes par an



Zoom sur les sites de prélèvements de la STEP de Bellecombe

Précautions nécessaires concernant le prélèvement et l'échantillonnage

S'agissant de détecter et quantifier des polluants à l'état de traces, de nombreuses précautions sont nécessaires en matière de prélèvement et d'échantillonnage pour garantir la meilleure représentativité possible des échantillons analysés en laboratoire. Bénéficiant de l'expérience acquise dans des programmes de recherche antérieurs, le protocole appliqué suit les recommandations du **guide technique opérationnel Aquaref** (Aquaref, Cemagref, 2011).

Protocole appliqué :

-prélèvement des échantillons moyens 24h :

- STEP : prélèvement asservi aux volumes écoulés
- Arve : échantillon moyen reconstitué à partir des sous-échantillons mélangés proportionnellement aux données de débits fournis par la station EDF
- 150 à 200 prélèvements élémentaires (6 à 8 par heure)

-homogénéisation et distribution de l'échantillon dans les flacons : pâle d'agitation, pompe de distribution, trois remplissages partiels de 1/3 de l'ensemble des flacons

- matériel en contact avec l'échantillon : verre et téflon

-rinçages du matériel entre chaque campagne, selon un protocole précis, (cf. annexe 2 du rapport)

-blancs de prélèvement : pour contrôler la fiabilité du protocole et valider/corriger les données récoltées

Plus de 130 paramètres suivis

Les analyses portent sur les paramètres classiques, mais aussi sur des paramètres spécifiques aux activités de soin et sur des indicateurs permettant d'évaluer à terme les risques pour l'environnement et pour la santé :

	PARAMÈTRES
PHYSICO-CHIMIE	**Paramètres autosurveillance :** DBO_5, DCO, MES, azote et phosphore pour les eaux – Siccité et % fractions organique/minérale pour les boues - ***Laboratoire prestataire***
	DCO dure et NTK dure - ***Labo. prestataire***
	Autres paramètres classiques : pH, conductivité, COT, COD, COV, AOX - ***Labo. prestataire***
	Métaux : Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Gd, Hg, As et Cd *(sur fractions dissoute et particulaire pour les entrées de STEP, dissous uniquement sur les autres matrices)* – ***Labo. prestataire***
	Alkylphénols - ***Labo. prestataire***
	Indicateurs familles de détergents : composés anioniques, cationiques et non ioniques – ***Labo. prestataire***
	Médicaments : 15 molécules - ***ISA***
MICROBIOLOGIE	**Intégrons de multirésistance** - ***Univ. Limoges***
	Pseudomonas aeruginosa : pathogènes opportunistes - ***Vet'agro sup***
BIOESSAIS	**Bioessais** sur micro-crustacés et micro-algues - ***Provademse***
	Essais de génotoxicité : SOS Chromotest, essai micronoyau ***(Labo prestataire)***, essai des comètes ***(ENTPE)***
	Détection d'effets perturbateurs endocriniens – ***Univ. Paris Sud***
HYDROBIOLOGIE	**Indices de biologiques de qualité d'un cours d'eau :** IBGN DCE et IBD - ***Bureau d'étude***

Les médicaments cibles ont été sélectionnés en fonction de leur consommation (en milieu hospitalier et domestique), de leur risque potentiel (bioaccumulation, effets toxiques) et des possibilités analytiques des laboratoires : **15 molécules** ont été retenues, dont l'analyse porte sur la fraction dissoute uniquement.

Les médicaments en France (ANSES, 2014)

-2 800 substances actives

-11 000 médicaments

-un français consomme en moyenne 48 boîtes /an

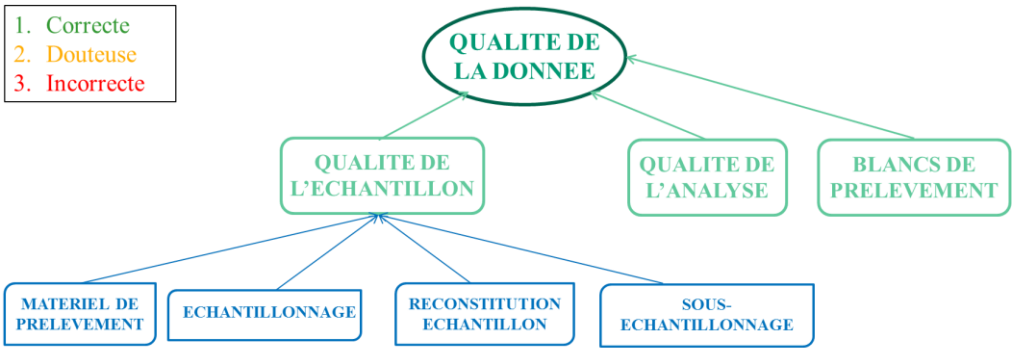
-53 % des quantités vendues sont à prescription obligatoire

Plus de 41 000 données compilées dans une base de données

Dès 2013, le Graie et les partenaires de SIPIBEL ont mis en place un outil base de données permettant :

- **de stocker** tous les résultats des campagnes de mesure de l'observatoire ;
- **de qualifier** ces données, sur la base de 9 critères de validation (voir schéma ci-dessous) ;
- **et de les partager** avec les partenaires du projet.

Il a été fait le choix de le développer sous **Excel**, afin d'en faciliter la consultation par l'ensemble des partenaires. Conçu à partir du format de la base de données du réseau NORMAN, cet outil intègre des **tableaux statistiques et des graphiques automatiques**, qui facilitent la visualisation des résultats et fournissent des indicateurs d'avancement.



7 indicateurs

Avec le soutien de l'Onema, le Graie mène, en 2016, une action visant à optimiser et adapter cet outil base de données afin de le **partager avec d'autres porteurs de projets volontaires.**

Caractéristiques de la station d'épuration de Bellecombe et de ses effluents

La STEP de Bellecombe est desservie par un réseau de 250 km répartis sur 14 communes dont **99 % est en séparatif**. La filière hôpital de la station est alimentée par un collecteur séparatif de 480 m.

-Le traitement est de type biologique, par boues activées très faibles charges. La station est prévue pour traiter la pollution carbonée et azotée.

-Le temps de séjour hydraulique de la filière hôpital est très élevé : 10 jours en moyenne contre 1,5 jours pour la filière urbaine.

-L'effluent hospitalier entrant est plus chargé que l'effluent urbain de la STEP de Bellecombe. En ce qui concerne la DCO, il est nettement plus chargé qu'un effluent urbain moyen (sur le bassin RMC).

-Les filières urbaines et hôpital de la station ont des performances d'épuration nettement supérieures aux exigences réglementaires.

Les débits
quelques ordres de grandeur

-Effluent du CHAL : 140 m³/jour en moyenne

-Effluent urbain : 5 200 m³/jour en moyenne, soit près de 40 fois le débit moyen de l'hôpital

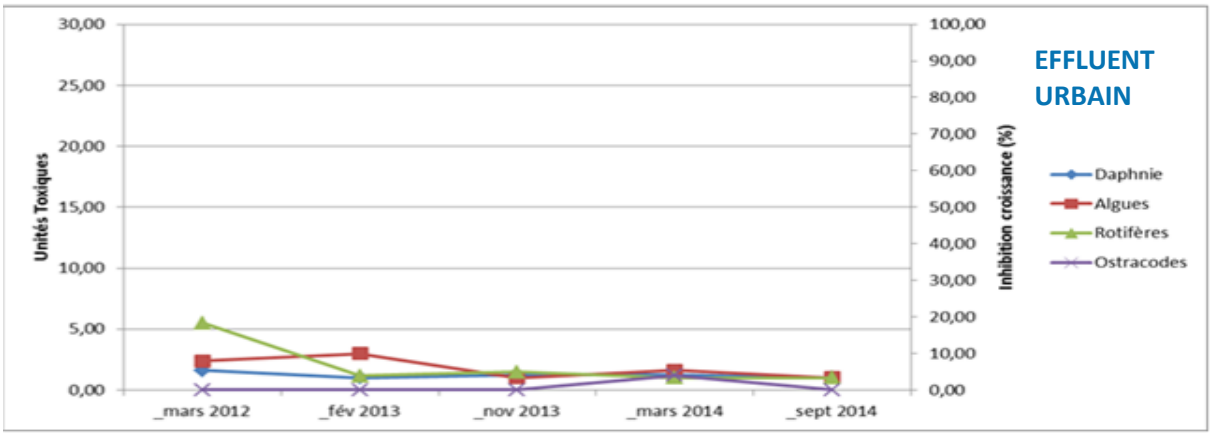
-L'Arve en basses eaux : 20 à 30 m³/s, soit 300 à 500 fois le débit moyen rejeté par la STEP de Bellecombe, et très variable au cours de la journée et des saisons

PRINCIPAUX RÉSULTATS DU SUIVI

L'observatoire SIPIBEL a permis un suivi fin et novateur des effluents urbains et hospitaliers de la STEP de Bellecombe et de leurs impacts sur le milieu, à travers 40 campagnes de prélèvements menées entre février 2011 et décembre 2015 et plus de 130 paramètres mesurés.

L'effluent hospitalier présente certaines spécificités

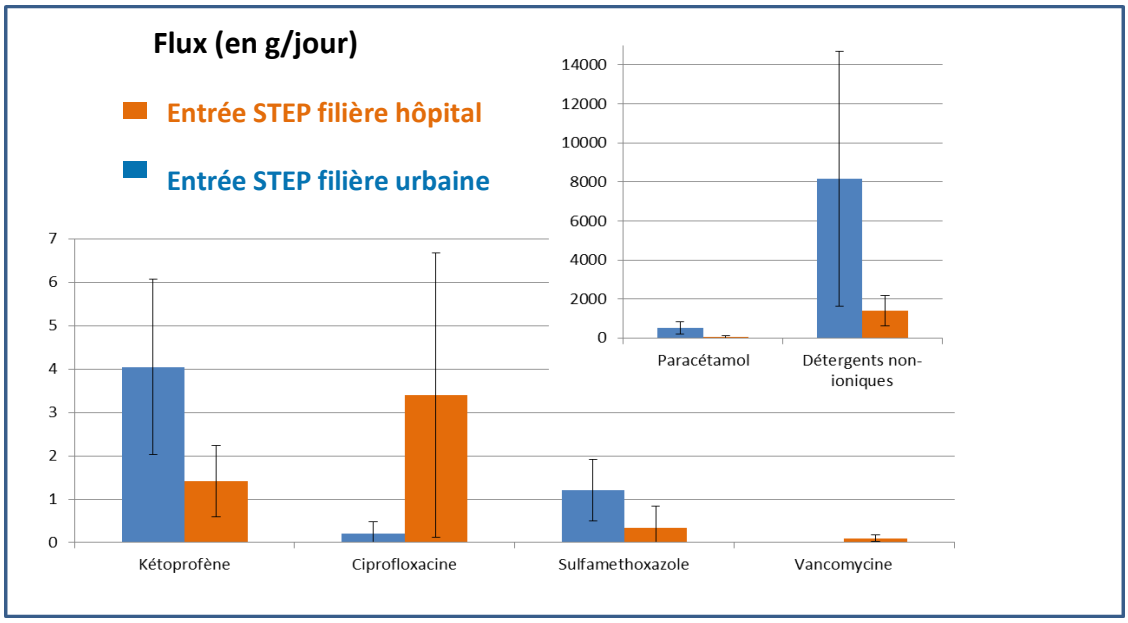
Les résultats acquis grâce à ce suivi ont démontré que l'effluent hospitalier issu du CHAL présente certaines spécificités comparées à l'effluent urbain issu du bassin de collecte : des concentrations en résidus de médicaments plus élevées, une écotoxicité plus marquée (bien que très variable au cours de l'année) et la présence de bactéries potentiellement « plus » antibiorésistantes.



Comparaison de l'écotoxicité des effluents hospitaliers et urbains avant traitement
(Daphnies, Algues et Rotifères: unités toxiques = (1/CE20) x 100 ; ostracodes : inhibition de la croissance des organismes)

La majorité du flux de résidus de médicaments et détergents provient des apports diffus

En raison d'un débit beaucoup plus faible, la contribution de l'effluent hospitalier en termes de flux de résidus de médicaments et détergents entrant à la STEP de Bellecombe est inférieure à 30 % sauf pour 2 antibiotiques, plus spécifiquement utilisés en milieu hospitalier : la ciprofloxacine et la vancomycine.



Flux (en g/j) apportés par les effluents urbains et hospitaliers, de molécules dont les concentrations sont supérieures dans l'effluent hospitalier (février 2012 à octobre 2014 ; 30 campagnes)

Le traitement de la STEP est efficace... mais n'élimine pas tous les polluants

Les deux filières de la STEP mises en place, avec leurs paramètres d'exploitation spécifiques, permettent de diminuer fortement la toxicité, l'antibiorésistance et les charges pour la majorité des micropolluants testés.

Cependant, des teneurs significatives en certains composés sont rejetées au milieu en raison de leurs concentrations élevées en entrée de STEP (ex : paracétamol) et/ou de leurs propriétés intrinsèques qui les rendent réfractaires au traitement (ex : diclofénac).

De même, malgré un fort abattement, le résiduel de l'activité oestrogénomimétique mesuré dans les effluents traités est encore, à certaines dates et avant dilution dans la rivière, d'un niveau susceptible d'induire de faibles effets perturbants sur la faune aquatique.

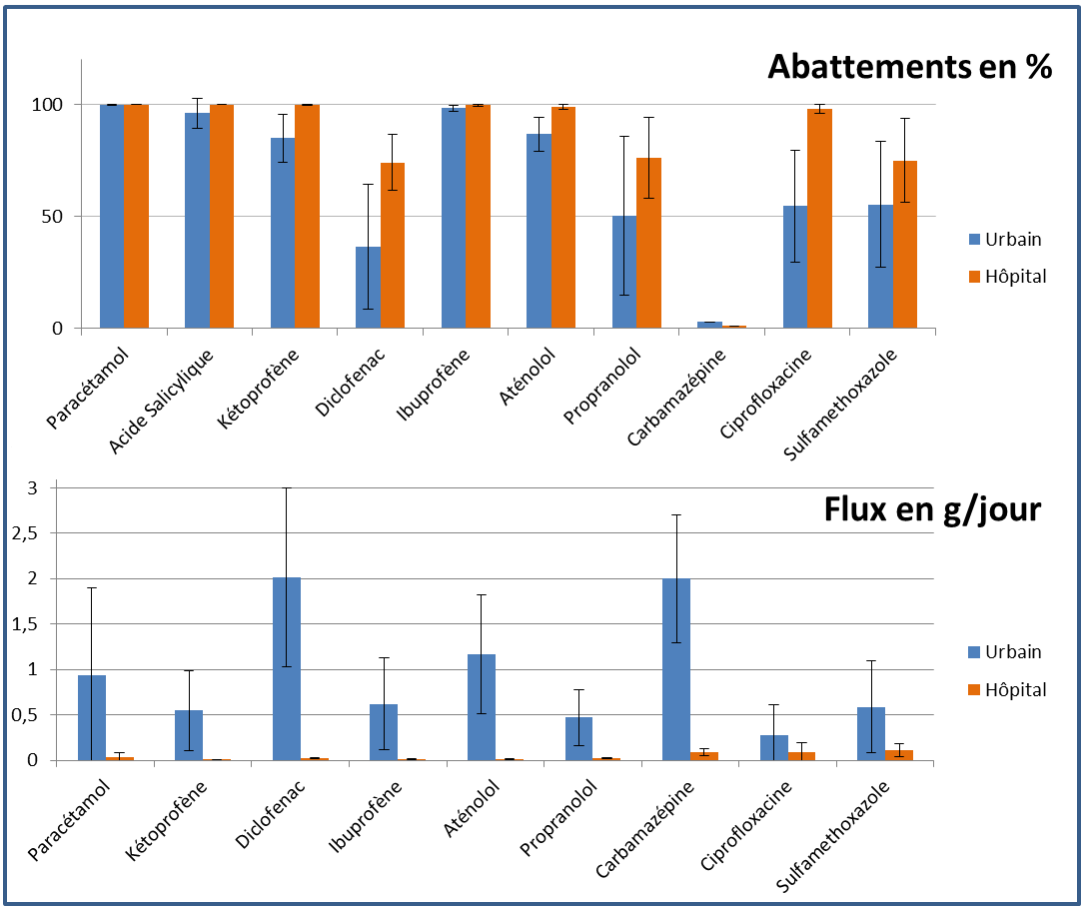
Campagne de mesure de novembre 2013		EFFLUENT HOSPITALIER		EFFLUENT URBAIN	
		ENTRÉE	SORTIE	ENTRÉE	SORTIE
Daphnies	(CE_{50}) (%)	9,9	> 90	78,8	> 90
Algues	(CE_{20}) (%)	15,1	80	> 80	80
Rotifères	(CE_{20}) (%)	4,5	20	34,1	> 100
Ostracodes	Inhibition croissance (%)	66,2	0	0	0
Essai des comètes (sur extrait)	(% tail DNA)	NS	NS	NS	NS
SOS Chromotest (sur extrait)	(Induc. factor)	1,2	1,2	1,1	1
Essai micronoyaux (sur extrait)	(nb noyaux)	2,5	1,25	12,5	1,3
Perturbateurs endocriniens (hormones thyroïdiennes) (extrait)	(ng/L Eq T3)	NS	NS	NS	NS
Perturbateurs endocriniens (oestrogènes) (extrait)	(ng/L Eq E2)	114	0,55	28	1,5

Comparaison de l'écotoxicité et de l'effet estrogénomimétique avant et après traitement -
exemple de la campagne de mesure de novembre 2013 - Code couleurs : Rouge -> effets importants.
Orange -> effets intermédiaires. Vert -> peu d'effets ou absence d'effet (Santiago *et al.*, 2002 ; Degrémont *et al.*, 2009).

Les abattements dans l'eau des deux filières de la STEP de Bellecombe sont très variables selon les composés avec certains très bien abattus comme le paracétamol, l'acide salicylique et l'ibuprofène et d'autres plus réfractaires comme le diclofénac, le propranolol, la carbamazépine et les antibiotiques ciprofloxacine et sulfaméthoxazole.

Ils sont supérieurs au sein de la filière hôpital, qui présente des paramètres d'exploitation différents de la filière urbaine, et notamment un temps de séjour plus élevé.

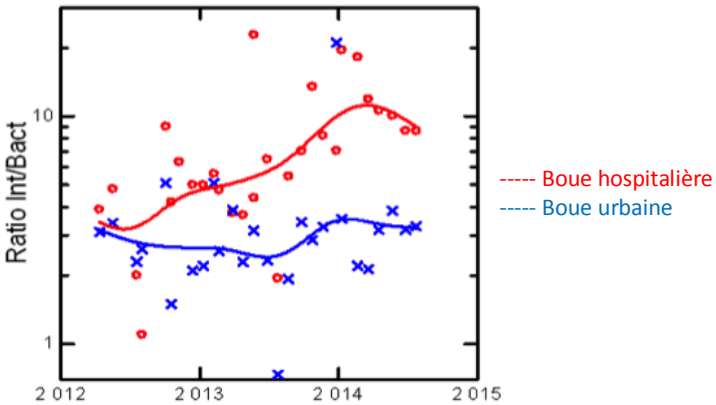
De même qu'en entrées de STEP, les flux de résidus de médicaments rejetés par la filière urbaine de la station sont très nettement supérieurs à ceux de la filière hôpital.



Moyennes des abattements et flux de médicaments en sortie des filières urbaine et hôpital
(février 2012 à octobre 2014 ; 20 campagnes)

Les boues des bassins d'aération de la filière hôpital ont tendance à s'enrichir en gènes de résistance

Les résultats moyennés sur la durée de l'observation ont montré une augmentation de l'abondance relative dans le bassin alimenté par l'effluent hospitalier : cela se traduit par le fait que pour une quantité de bactéries donnée, le nombre de gènes de résistance est plus important et a tendance à augmenter tout le long du suivi.



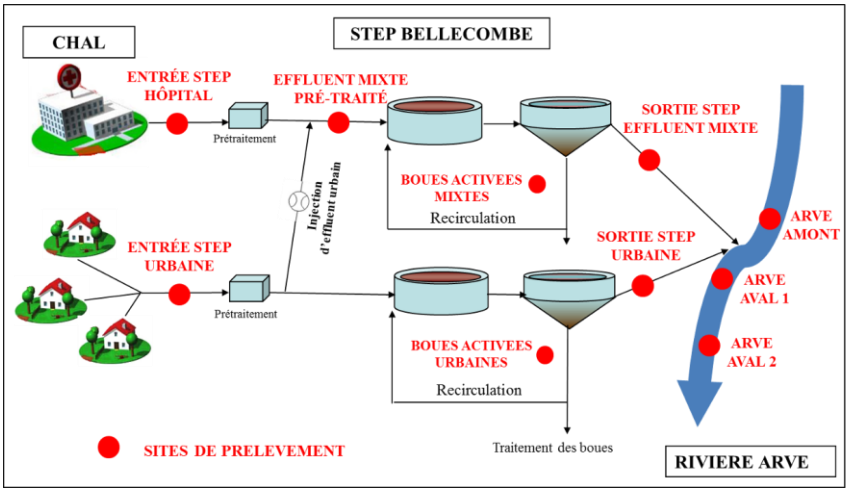
Evolution de l'abondance relative pour les boues des bassins d'aération de la STEP de Bellecombe

Traiter séparément l'effluent hospitalier n'est pas la solution appropriée

Sur les bases des conclusions de SIPIBEL, le Syndicat des eaux des Rocailles et de Bellecombe, appuyé par le consortium scientifique, a sollicité une modification de l'arrêté préfectoral afin de revenir à une situation classique de traitement des effluents hospitalier et urbain au sein d'une filière unique (mélange des effluents).

En effet :

- Le suivi mené sur SIPIBEL ne montre **pas de perturbation des taux de traitement** de la station d'épuration -en termes de paramètres classiques, médicaments, détergents et indicateurs biologiques suivis- **lorsque l'effluent hospitalier est mélangé à l'effluent urbain**, comme expérimenté sur le site à partir d'octobre 2014.



Configuration de la STEP de Bellecombe entre octobre 2014 et avril 2016

Campagne de mesure de janvier 2015		ENTRÉES			SORTIES	
		Effluent hospitalier	Effluent urbain	Effluent mixte pré-traité	Effluent urbain	Effluent mixte
Daphnies	(CE_{50}) (%)	31,3	> 90	52,2	> 90	> 90
Algues	(CE_{20}) (%)	34,8	> 80	76,5	> 80	> 80
Rotifères	(CE_{20}) (%)	24,7	> 100	51,3	> 100	> 100
Ostracodes	Inhibition croissance (%)	28,9	0	0	5,7	3,7
Essai des comètes (sur extrait)	(% tail DNA)	NS	NS	NS	NS	NS
SOS Chromotest (sur extrait)	(Induc. factor)	1,6	0,85	1,35	1,15	1,4
Perturbateurs endocriniens (œstrogènes) (extrait)	(ng/L Eq E2)	24	44,5	33	1,4	2,9

Bioessais sur effluents hospitalier, urbain et mixte
effluent mixte constitué *in situ* avec 1/3 d'effluent hospitalier et 2/3 d'effluent urbain – NS = non significatif.

- **Les résultats des analyses effectuées sur les boues** issues de la filière mixte (mélange d'effluents hospitalier et urbain) sont conformes à la réglementation en vigueur sur l'ensemble des paramètres physico-chimiques et microbiologiques. La vigilance est cependant de mise concernant les paramètres non réglementaires pouvant avoir une incidence environnementale (résidus de médicaments, détergents, gènes de résistance, etc.), dont l'étude est poursuivie dans l'observatoire.

- **L'évaluation des ratios coût/bénéfice** menée dans le cadre des programmes européens PILLS et NO PILLS n'est globalement pas en faveur d'un traitement spécifique de l'effluent hospitalier ; les études technico-économiques ont montré que cette option n'était rentable ni d'un point de vue économique, ni d'un point de vue environnemental, notamment en considérant l'intégralité des rejets à l'échelle d'un territoire. Il est démontré qu'à l'échelle d'une agglomération possédant un centre hospitalier, la charge de résidus de médicaments liée à l'hôpital ne représente qu'environ 20 % de la charge globale de l'ensemble de l'agglomération. De plus, les soins ambulatoires et

l'hospitalisation à domicile tendent à se développer sous l'impulsion du Ministère en charge de la Santé, y compris pour des traitements médicamenteux lourds, augmentant ainsi la charge provenant des rejets diffus.

➔ Les résultats de SIPIBEL, PILLS et NO PILLS ont ainsi démontré que **l'implantation d'une station d'épuration <u>sur site hospitalier</u> n'est pas la solution appropriée.**

Les effluents hospitaliers méritent une attention particulière

Les rejets issus des établissements de santé sont spécifiques et, comme tout rejet de type non domestique, méritent une attention et une gestion particulières, comme cela est souligné dans toutes les études portant sur ces effluents (Pills, 2012 ; No Pills, 2015).

La question de l'impact de ces effluents ne se limite pas aux enjeux liés aux résidus de médicaments, aux produits détergents et biocides. Ces établissements doivent être appréhendés de façon globale, en considérant l'ensemble de leurs activités et rejets potentiels (services médicaux, restauration, tour aéro-réfrigérante, blanchisserie, laboratoire, etc.) afin de préconiser les pratiques, prétraitements et suivis nécessaires.

Trois documents utiles :

1. **Guide du Ministère en charge de la Santé** "Pour une bonne gestion des déchets produits par les établissements de santé et médico-sociaux" (2016)
2. Document du GT Effluents non domestiques du Graie : « La gestion des effluents d'un établissement de santé : principe de la démarche et préconisations sur le suivi des rejets » (2016)
3. **Résumé du programme européen NO PILLS** : recommandations à la politique (2015)

Des traces de résidus de médicaments sont retrouvées dans l'Arve et dans la nappe du Genevois

Dans la rivière Arve, 8 molécules sont détectées à des fréquences supérieures à 50 % (parmi les 15 recherchées). Seul le diclofénac présente une concentration moyenne supérieure à la Norme de Qualité Environnementale (NQE).

Aucun changement significatif n'a été observé depuis l'ouverture du CHAL.

Les mesures montrent également que la contamination en résidus de médicaments est déjà présente en amont de la STEP de Bellecombe.

Les quantités d'intégrons de résistance sont très faibles en amont mais aussi en aval des rejets des 3 STEPs du bassin versant étudié (STEP de Bellecombe, Ocybèle et Villette).

Il apparait en revanche, une plus forte prévalence des pathogènes opportunistes *Pseudomonas aeruginosa* à l'aval de ces mêmes rejets.

D'où viennent ces résidus de médicaments ?

Des rejets d'eaux usées :
-Principalement via l'excrétion naturelle des principes actifs et de leurs métabolites : 70 % du mélange de médicaments consommé est excrété (Pills, 2012)
-Secondairement, par une mauvaise élimination des médicaments non utilisés via l'évier, les toilettes ou les centres de stockage de déchets ;
-Les rejets ponctuels des lieux de production de médicaments contribuent également à cette pollution.

Des rejets issus d'activités d'élevage :
-Soit directement au milieu : <u>ex</u> activités piscicoles ;
-Soit par ruissellement, après épandage sur les sols ;

Sources humaines VS sources agricoles :
En 2012, 720 t d'antibiotiques ont été consommées par les humains (stagnation, voire hausse) contre 760 t pour les animaux (en baisse, suite au plan Ecoantibio).

La nappe du Genevois contient de très faibles traces de résidus de médicaments. Seul l'antibiotique sulfaméthoxazole a été régulièrement quantifié (> 1,7 ng/L) dans les eaux de la station de Vessy (eau de l'Arve injectée dans la nappe) et des puits étudiés. Les intégrons de résistance et les Pseudomonas aeruginosa n'ont pas été détectés dans ces mêmes eaux souterraines.

DES AVANCÉES SUR DIFFÉRENTS AXES DE CONNAISSANCE

Les études et les actions de recherche développées sur le site ont permis des avancées importantes, notamment sur 5 axes de connaissances :

La modélisation des flux de résidus de médicaments

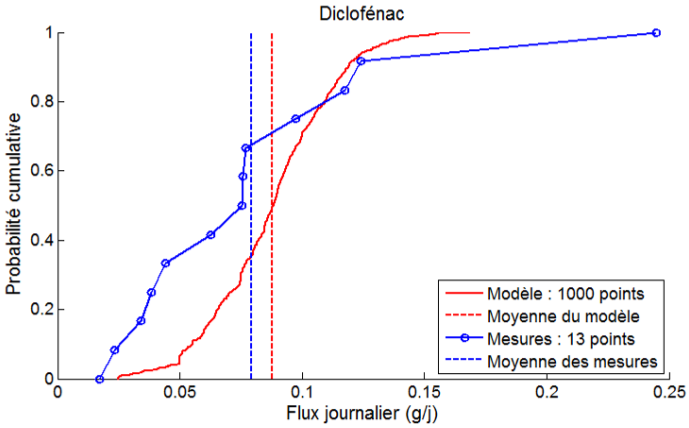
Un modèle de prédiction des flux de résidus de médicaments rejetés par l'hôpital d'une part, et par le bassin versant urbain de la STEP d'autre part, est en cours de développement [thèse T. Pouzol, INSA Lyon].

Sont modélisées les trois grandes étapes du parcours du médicament, entre sa vente et son arrivée à la STEP :

-la consommation : elle est estimée d'après les données de consommation de l'hôpital et d'après les données de ventes des pharmacies du territoire ;

-le métabolisme : le modèle s'inspire des recherches faites en pharmacocinétique pour décrire le devenir des médicaments au sein du corps humain jusqu'à leur excrétion ;

-le transport : il est modélisé grâce à une étude du régime hydraulique du réseau.



Comparaison des mesures et du modèle des flux de diclofénac entrant en STEP pour la filière hôpital

Les différentes parties du modèle global sont établies et doivent maintenant être couplées de manière intégrée. Les premiers résultats sont cohérents avec les observations.

La compréhension du devenir des micropolluants au sein des boues d'épuration

Les travaux menés ont permis d'apporter des éléments de compréhension du devenir des résidus de médicaments et de deux éléments traces métalliques, pour différents types de procédés de traitement des boues urbaines ou hospitalières : chaulage, digestion anaérobie, compostage. Les résultats démontrent l'intérêt de la prise en compte des interactions micropolluants/boues mais aussi micropolluants/sols [thèse D. Lachassagne, Université de Limoges-Suez-ADEME].

La caractérisation des dangers écotoxiques et écologiques

De nouveaux indicateurs de pollution ont été développés par les équipes de recherche de SIPIBEL :

- **L'utilisation de biofilm** pour évaluer la persistance de médicaments et de bactéries pathogènes dans les effluents et la rivière [Projet Persist'Env].
- **Des outils analytiques** pour étudier la biodisponibilité, la bioaccumulation et la biotransformation de médicaments et d'autres contaminants organiques :

  -à l'échelle d'un individu, chez des invertébrés aquatiques d'eau douce [thèse A. Berlioz-Barbier, ISA CNRS] ;

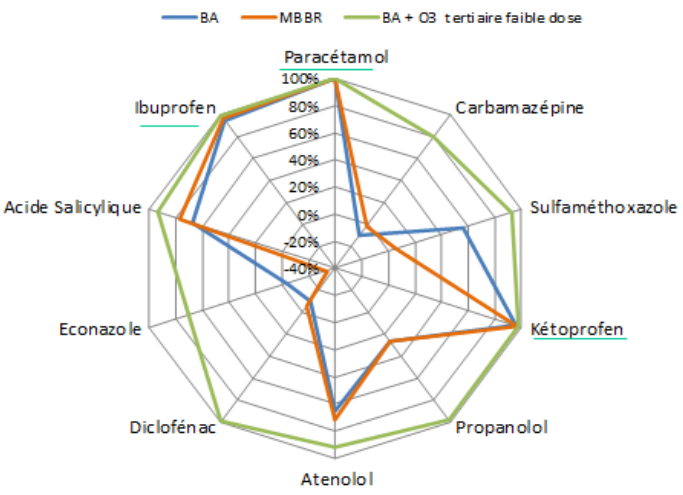
  -au sein d'une chaine alimentaire expérimentale [thèse F. Orias, ENTPE].

Dispositif mis en place pour le projet Persist'Env

L'efficacité des traitements complémentaires par ozonation

Des pilotes de traitement ont été installés à la STEP de Bellecombe afin de tester l'efficacité de l'ozonation sur l'abattement de la concentration de micropolluants, sur un effluent mixte (50 % hospitalier / 50 % urbain) reconstitué à partir des effluents arrivant séparément sur la station [Projet Triumph]. Les résultats mettent en évidence une efficacité de traitement élevée pour les 10 composés pharmaceutiques étudiés, et ce dès l'utilisation de faibles doses d'ozone (4 à 5 mgO_3/L) : un rendement moyen de 92 % est obtenu, avec un minimum de 70 % pour l'éconazole.

Le projet propose une caractérisation globale de l'effluent, incluant des mesures biologiques et la recherche de signatures chimiques.



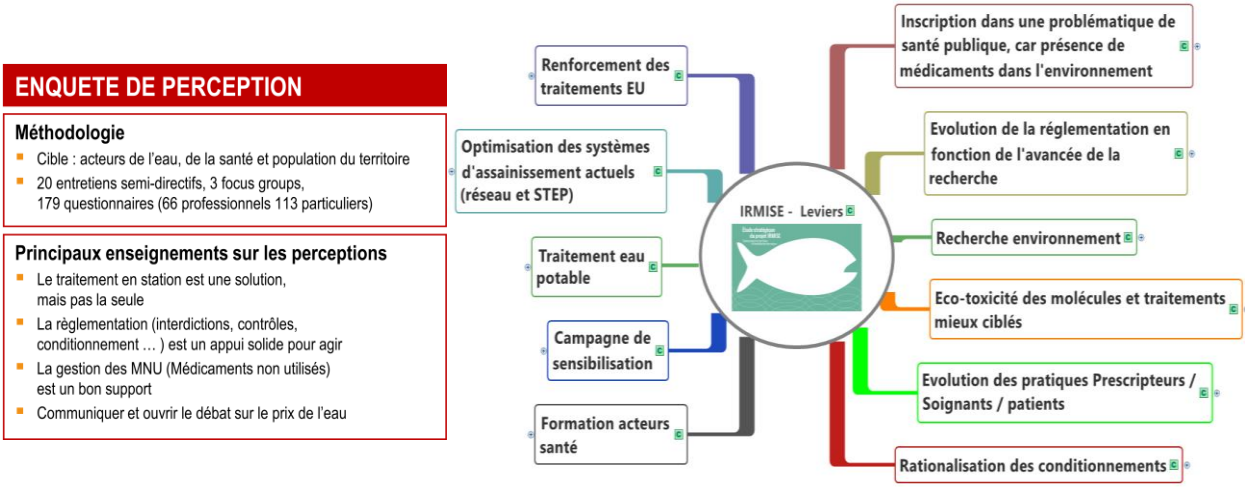
Efficacité des traitements biologiques seuls et avec ozonation
Boues activées ; **MBBR (procédé biologique de type culture fixée)** ;
Boues activées + ozone tertiaire faible dose –
les composés les moins réfractaires au traitement sont soulignés

L'implantation de dispositifs de traitement complémentaire (ozonation et charbon actif notamment) est d'une manière générale, efficace à l'encontre des résidus de médicaments et autres micropolluants. Elle relève cependant de choix politiques, économiques, environnementaux et sociétaux (ratio coût/bénéfice) et de la mise en place d'une exploitation rigoureuse.

Les potentialités de réduction à la source des rejets de médicaments dans l'eau

Une enquête des perceptions des professionnels de la santé et de la gestion de l'eau, ainsi que des habitants, a été menée sur le bassin-versant franco-suisse de l'Arve aval. Elle a permis d'enrichir l'analyse de plusieurs scénarios de gestion de l'eau et de mettre en évidence différents leviers d'action pour réduire les rejets de résidus de médicaments dans l'environnement [Étude stratégique IRMISE].

L'objectif est de formaliser la perception des risques, les attentes et les innovations en termes de pratiques pouvant contribuer à limiter les apports de résidus de médicaments dans l'eau. Il s'agit de décrire les comportements impliqués dans les processus de rejets des médicaments dans les eaux hospitalières et urbaines sur l'ensemble de la chaîne des responsabilités, usages et activités. Ces descriptions doivent permettre de concevoir les meilleures stratégies pour modifier les réponses techniques et les pratiques sociales individuelles et collectives incriminées dans ces rejets.



Éléments descriptifs de l'enquête de perception de l'étude stratégique IRMISE et leviers d'action identifiés

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Conclusions et enseignements

Le suivi de l'observatoire SIPIBEL a permis, d'une part, de mettre en évidence les spécificités de l'effluent hospitalier et, d'autre part, de caractériser la traitabilité et les impacts des deux types d'effluents sur le milieu.

Les conclusions de ce suivi et de l'expérimentation d'injection d'effluent urbain dans la filière hospitalière ont conduit le Syndicat des eaux des Rocailles et de Bellecombe, appuyé par le consortium scientifique, à solliciter une modification de l'arrêté préfectoral afin de revenir à une situation classique de traitement des effluents hospitalier et urbain au sein d'une filière unique. Cette autorisation a été accordée en avril 2016, suite à l'avis favorable du Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques (CODERST).

La réalisation de campagnes de mesure en routine a permis de valider certains paramètres en tant qu'indicateurs (ex : 12 des 15 molécules de la liste des médicaments suivis, les intégrons de résistance, la batterie de bioessais sur organismes) et la non-pertinence d'autres paramètres, qui ont été retirés de la liste (ex : test d'Ames). Elle souligne également l'importance de l'association « analyses chimiques et biologiques », qui est un enrichissement considérable pour l'appréciation des risques. Enfin, elle confirme tout l'intérêt d'un observatoire, qui rend possible l'étude de la variabilité (en termes de concentrations, flux, toxicité, etc.) et des évolutions relatives à la nature des effluents, au système d'assainissement et à l'impact des effluents sur le milieu, grâce à un suivi sur plusieurs années.

Les études et les actions de recherche développées en appui sur le site ont permis des avancées significatives concernant les potentialités de modélisation des flux de résidus de médicaments, l'efficacité des traitements complémentaires par ozonation, la compréhension du devenir des micropolluants au sein des boues d'épuration, le développement d'outils analytiques et la mise en évidence de leviers d'action pour réduire les rejets de résidus de médicaments dans l'environnement.

L'ensemble des résultats acquis confirment qu'une stratégie efficace de réduction des rejets de médicaments, détergents et biocides dans l'environnement nécessite des approches complémentaires de réduction à la source et d'optimisation du traitement, non centrées sur les seuls établissements de soin.

Au-delà de ces résultats, l'exemple de SIPIBEL démontre l'importance du rôle d'animation territoriale, qui a permis de mobiliser les acteurs de l'eau et de la santé, français et suisses, et de poursuivre cette dynamique avec l'engagement volontaire de tous, au travers notamment de l'étude MediATeS.

Perspectives

- **Le maintien de l'observatoire** permet, d'une part, de poursuivre le suivi mené depuis 2011 avec les objectifs qui lui sont associés et, d'autre part, de développer/tester de nouveaux paramètres (ex : fraction particulaire et métabolites des médicaments, indicateurs biologiques plus sensibles, etc.) afin de mieux évaluer les risques relatifs aux effluents hospitaliers, et plus largement, aux résidus de médicaments, détergents, biocides et bactéries antibiorésistantes. Un focus est actuellement réalisé sur les boues d'épuration, afin de compléter le bilan matière de la station et l'évaluation de l'impact des effluents (vis-à-vis de l'épandage) et d'émettre des préconisations en termes de traitement et de gestion de ces boues.

Les études et les recherches en appui sur le site se poursuivent, avec, en particulier :

- **le projet SIPIBEL-RILACT** (Risques et Leviers d'Actions relatifs aux rejets de médicaments, détergents et biocides dans les effluents hospitaliers et urbains), retenu dans le cadre de l'appel à projets national « Micropolluants » lancé par l'Onema, les Agences de l'Eau et le Ministère en charge de l'Environnement : ce projet a notamment pour objectif de caractériser l'évolution des effluents et les processus de dégradation et transformation des résidus de médicaments au sein du réseau d'assainissement.
- **l'étude SIPIBEL-MediATeS,** qui vise à lancer une démarche expérimentale d'animation territoriale et de sensibilisation à la problématique des médicaments dans l'eau sur le territoire franco-suisse étudié, à travers la diffusion de kits de sensibilisation comprenant notamment des « vidéos dessinées ».

COMMUNICATION ET DIFFUSION des résultats de SIPIBEL

Le site internet www.sipibel.org

Ce site constitue la vitrine du site pilote de Bellecombe et des projets en appui sur le site, avec la mise en ligne de nombreux documents (rapports d'études, livrables, etc.), la liste de l'ensemble des publications et une rubrique « Actualités »

Publications, communications et porté à connaissance

Les membres et partenaires de SIPIBEL communiquent régulièrement sur les résultats acquis sur le site pilote, à travers des conférences, des rapports d'étude et des publications scientifiques. Ils valorisent directement leurs connaissances via le groupe de travail Effluents non domestiques du Graie, l'inscription dans les plans nationaux (Micropolluants et résidus de médicaments dans l'eau) et régionaux (Plan Régional Santé Environnement) ou encore dans le cadre du projet Méli Mélo, avec une vidéo sur youtube dédiée aux médicaments dans l'eau.

Un dossier spécial est paru dans la revue Techniques Hospitalières (nov-dec 2015 – voir ci-contre) et dans la revue TSM (juin 2016).

Entre 2011 et juillet 2016 :

- -8 rapports d'étude publics
- -30aine de publications dans des revues scientifiques et techniques
- -20aine communications dans des conférences nationales
- -20aine communications dans des conférences internationales
- -4 thèses soutenues (et 1 en cours)

Dessin de presse du projet multimédia Méli Mélo

La conférence Eau et Santé 2015

Les médicaments dans le cycle urbain de l'eau : état des connaissances et stratégies de réduction

Cette conférence organisée par le GRAIE et l'ASTEE visait à valoriser les résultats de SIPIBEL et des projets en appui sur le site pilote, mais aussi à faire un état des connaissances en sollicitant des communications scientifiques et retours d'expériences européens afin d'échanger sur les stratégies opérationnelles développées sur différents territoires.

La conférence « Eau et Santé » 2015

- -2 journées de conférences
- -220 participants et 30 intervenants : scientifiques, professionnels de l'eau et de la santé, élus et acteurs du territoire
- -Posters et temps de convivialité
- -Traduction simultanée français-anglais

Cette conférence a permis de croiser les regards des acteurs de l'eau, de la santé, des techniciens et des élus.

➔ Les actes et la synthèse de cette conférence sont disponibles sur www.sipibel.org.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES citées dans cette synthèse

ANSES (2014) - Analyse des ventes de médicaments en France en 2013, 36 p., juin 2014
http://ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/3df7b99f8f4c9ee634a6a9b094624341.pdf

Aquaref, Cemagref (2011) - Pratiques d'échantillonnage et de conditionnement en vue de la recherche de micropolluants prioritaires et émergents en assainissement collectif et individuel. Guide technique opérationnel, 85 p.
http://www.aquaref.fr/system/files/Guide_Technique_prelevementRejetMicropol_2011_V1_1.pdf

Conférence Eau et Santé GRAIE – ASTEE (5ème), 26-27 mars 2015, Genève-Annemasse – Les médicaments dans le cycle urbain de l'eau : état des connaissances et stratégies de réduction – Actes et synthèse de la conférence, 186 p.
http://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/actesyntheses/sante-conf-actes-graie-medicamentseau-mar15.pdf

Degrémont, C., Cachot J. (juin 2009) - La génotoxicité, Quels risques pour les milieux aquatiques. Fascicule Seine Aval, GIP Seine Aval.
http://seine-aval.crihan.fr/web/attached_file/componentId/kmelia106/attachmentId/20456/lang/fr/name/fasc_2-2_web.pdf

Groupe de travail régional Effluents non domestiques du Graie (2016) - La gestion des effluents d'un établissement de santé : principe de la démarche et préconisations sur le suivi des rejets. novembre 2016, 19 p.
http://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/Racco/racc-outil-graie-rejetsetablissementsante.pdf

Méli Mélo – Démêlons les fils de l'eau – Projet multimédia porté par le GRAIE et Médiapro
http://www.eaumelimelo.org

Ministère des Affaires Sociales et de la Santé (2016) - Guide pratique : pour une bonne gestion des déchets produits par les établissements de santé et médico-sociaux. mars 2016, 138 p.
http://social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pour_une_bonne_gestion_des_dechets_produits_par_les_etablissements_de_sante_et_medico-sociaux.pdf

Mullot, J.U. (2009) - Modélisation des flux de médicaments dans les effluents hospitaliers. Thèse de la faculté de pharmacie de Chatenay-Malabry, Université Paris Sud, 2009, 334 p.
http://www.lspe.u-psud.fr/These%20Ju%20Mullot.pdf

NoPills in water (2015) – NoPills report
http://www.no-pills.eu/conference/BS_NoPills_Final%20Report_long_EN.pdf

Pills (2012) – Pharmaceutical input and Elimination from local sources. Final report of the European cooperation project Pills
http://www.pills-project.eu/PILLS_summary_english.pdf

Santiago S, Becker van Slooten K, Chèvre N, Pardos M, Benninghoff C, Thybaud E, *et al.,* (2002) - Guide pour l'utilisation des tests écotoxicologiques, avec les daphnies, les bactéries luminescentes et les algues vertes, appliqués aux échantillons de l'environnement. 55 p.

POUR EN SAVOIR PLUS

Rapport SIPIBEL 2011-2015

« Synthèse des résultats de quatre années de suivi, d'études et de recherches, sur le site pilote de Bellecombe » – *174 p., octobre 2016*

http://www.graie.org/Sipibel/publications/sipibel-rapport-effluentshospitaliersmedicaments-oct16.pdf

Rapports et synthèse de l'étude stratégique IRMISE

« Problématique et stratégie transfrontalières de maîtrise des flux de micropolluants liés à la santé et préservation de la ressource en eau sur le bassin versant de l'Arve aval »

Etude menée par un groupement de consultantes piloté par Claire Tillon, sous maîtrise d'ouvrage du SM3A et en partenariat avec l'Etat de Genève – 2014-2015

http://www.graie.org/Sipibel/publications.html#rapports

Manuscrits de 3 thèses menées sur le site pilote

- **Alexandra BERLIOZ-BARBIER, ISA Lyon (2015) :**
  « Développement de méthodologies innovantes basées sur la nano chromatographie pour l'étude de l'accumulation et de la transformation de polluants émergents chez des invertébrés aquatiques d'eau douce ».

Mollusque
Potamopyrgus antipodarum

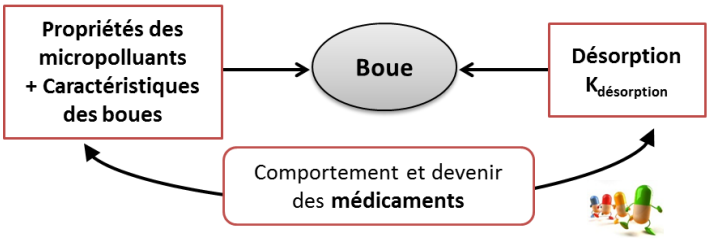
Crustacé
Gammarus fossarum

Larve d'insecte
Chironomus riparius

http://www.graie.org/Sipibel/publications/these-A.Berlioz-Barbier-analyses-micropolluants-invertebres-2015.pdf

- **Delphine LACHASSAGNE, Université de Limoges – Suez – ADEME (2014) :**
  « Devenir de micropolluants présents dans les boues d'épuration, du traitement à l'épandage agricole : application aux micropolluants métalliques (Cd, Cu) et organiques (médicaments) issus du traitement biologique conventionnel d'effluents urbains ou hospitaliers ».

http://www.graie.org/Sipibel/publications/these-D.Lachassagne-boues-medicaments-2015-vdiffusable.pdf



- **Frédéric ORIAS, ENTPE Lyon (2015) :**
  « Contribution à l'évaluation des risques écotoxicologiques des effluents hospitaliers : bioconcentration, bioaccumulation et bioamplification des résidus pharmaceutiques ».

http://www.graie.org/Sipibel/publications/these-F.Orias-bioaccumulation-medicaments-sipibel2015.pdf

L'ensemble des rapports et la liste des publications sont consultables sur le site internet **www.sipibel.org**.

SIPIBEL - Site Pilote de Bellecombe sur les effluents hospitaliers et stations d'épuration urbaines, est un observatoire animé par le GRAIE et le Syndicat des eaux des Rocailles et de Bellecombe (74), qui mobilise des acteurs du territoire, des équipes de recherche, des consultants, un industriel et des partenaires institutionnels. Il est le support de plusieurs programmes d'études et recherches, dont le projet Interreg franco-suisse IRMISE Arve aval (2012-2015) sur « l'Impact des Rejets de Micropolluants (et résidus de médicaments) Issus de Stations d'Epuration sur l'aval du bassin de l'Arve et la nappe du Genevois » et le projet SIPIBEL-RILACT (2014-2018) sur « les Risques et Leviers d'Actions relatifs aux rejets de médicaments, détergents et biocides dans les effluents hospitaliers et urbains », retenu dans le cadre de l'appel à projets national « Micropolluants ».

ACTEURS DU TERRITOIRE

ÉQUIPES DE RECHERCHE

MEMBRE INDUSTRIEL

CONSULTANTS

PARTENAIRES

ANIMATION

www.sipibel.org