



# Projet ARMISTIQ

## Amélioration de la réduction des micropolluants dans les stations de traitement des eaux usées domestiques

M. Coquery

**Irstea** : J.M. Choubert, C. Miège

**Suez Environnement** : S. Besnault, M. Esperanza, N. Noyon

**Université Bordeaux** : H. Budzinski





# Les eaux usées domestiques



Traitement en STEU, de plus en plus rigoureux  
(MES, C, N, P)

Matière organique, N, P, graisses, micropolluants



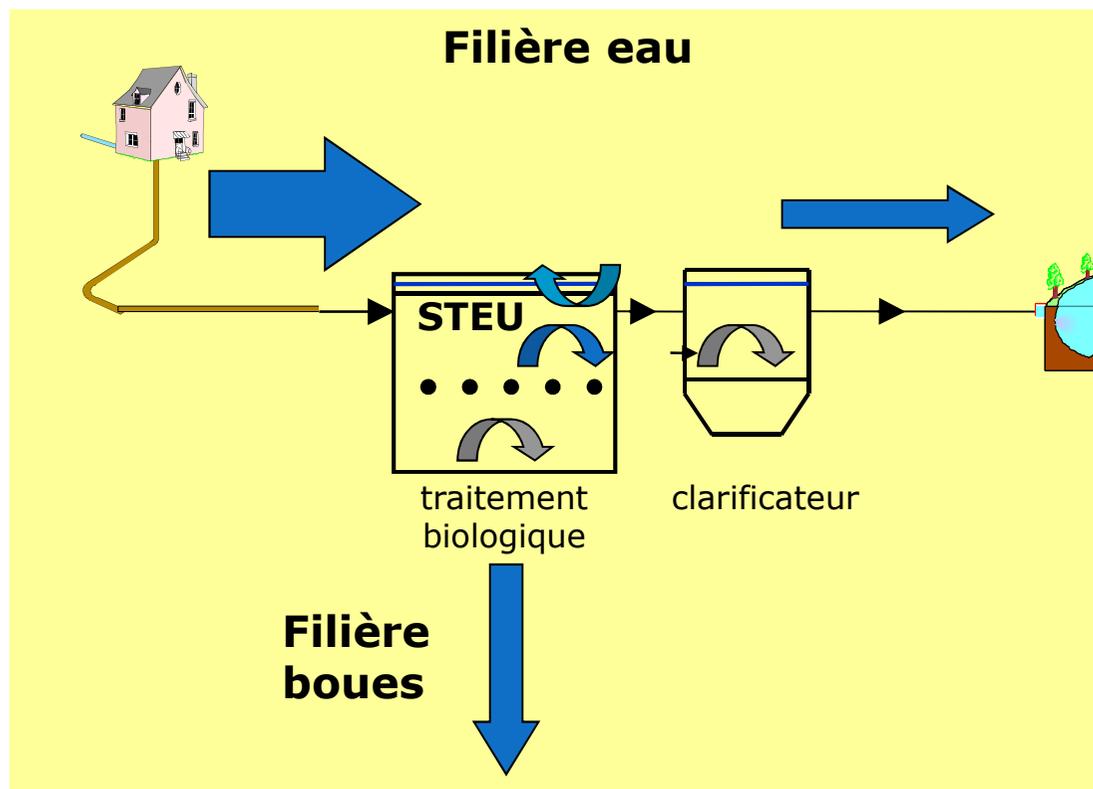
Rejet d'un EH :  $\approx 0,4$  g micropolluants /EH /jour  
(métaux, détergents, pharmaceutiques, pesticides,  
composés organiques volatiles, ...)



Mélange :

- part domestique (bricolage, produits d'entretiens, produits d'hygiène et de beauté)
- part industrielle (conventions de raccordement)

# Réductions des émissions



- biodégradation
- volatilisation
- adsorption

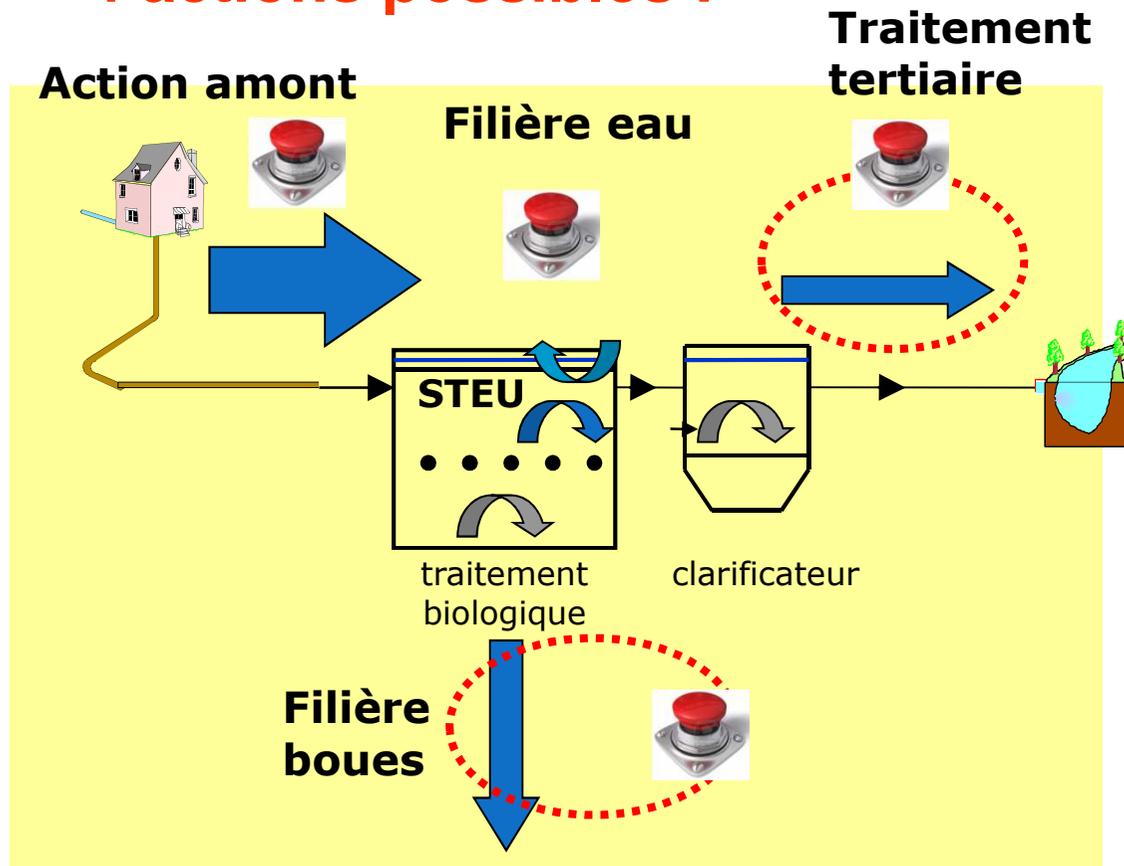
**Substances bien éliminées, mais concentrées en sortie :**  
alkylphénols (NP, OP, NP1EO)  
anti-inflam. (ibuprofène, paracétamol)  
métaux (Zn, As, Cr, Ni, Cu)

**Substances mal éliminées :**  
alkylphénols (NP1EC)  
pesticides (glyphosate, AMPA, atrazine, diuron)  
bétabloquants (oxprénolol, propranolol, sotalol)  
antidépresseurs (carbamazépine, diazépam, nordiazépam)  
bronchodilat. (salbutamol, terbutaline)  
anti-inflammatoire (diclofénac)  
antibiotique (sulfaméthox., roxytrom.)

**Substances stockées dans les boues :**  
alkylphénols (NP, OP)  
pesticides (aldrine, diuron)  
métaux (Cd, Hg, Ni, Pb, Cu, Ti, Zn)  
HAP (fluoranthène, naphtalène)  
autres: tributylSn, triclosan, DEHP

# Réductions des émissions

## 4 actions possibles :



**Substances bien éliminées, mais concentrées en sortie :**  
alkylphénols (NP, OP, NP1EO)  
anti-inflam. (ibuprofène, paracétamol)  
métaux (Zn, As, Cr, Ni, Cu)

**Substances mal éliminées :**  
alkylphénols (NP1EC)  
pesticides (glyphosate, AMPA, atrazine, diuron)  
bétabloquants (oxprénolol, propranolol, sotalol)  
antidépresseurs (carbamazépine, diazépam, nordiazépam)  
bronchodilat. (salbutamol, terbutaline)  
anti-inflammatoire (diclofénac)  
antibiotique (sulfaméthox., roxytrom.)

**Substances stockées dans les boues :**  
alkylphénols (NP, OP)  
pesticides (aldrine, diuron)  
métaux (Cd, Hg, Ni, Pb, Cu, Ti, Zn)  
HAP (fluoranthène, naphtalène)  
autres: tributylSn, triclosan, DEHP



# Projet ARMISTIQ

## Amélioration de la réduction des micropolluants dans les stations de traitement des eaux usées domestiques

- **Coordination : M Coquery**  
Iristea, UR Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions (MALY)
- **Les partenaires :**
  - ✓ Iristea
    - ✓ Equipe Chimie des milieux aquatiques
    - ✓ Equipe EPURE
  - ✓ CIRSEE Suez Environnement
  - ✓ LPTC-EPOC, Université Bordeaux1
- **Financier : ONEMA**
- **Comité de suivi : ONEMA, Agences de l'Eau et MEDDE**



# Objectifs

- **Développer des connaissances et proposer des outils et des méthodes pour optimiser les équipements de traitement des eaux résiduaires vis à vis des micropolluants**

Les objectifs finaux :

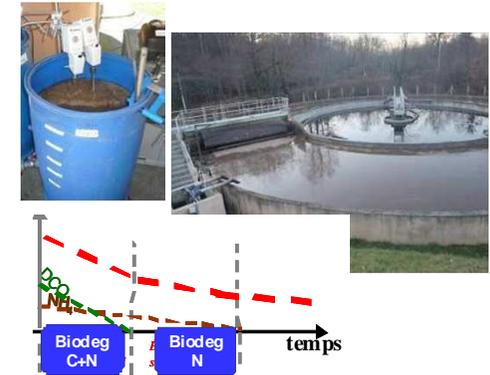
- Acquérir des données opérationnelles concernant l'efficacité d'élimination des substances prioritaires et émergentes pour plusieurs filières de traitement
- Améliorer la connaissance sur les conditions optimales de réduction des substances par les traitements secondaires ou tertiaires des eaux et le traitement des boues
- Disposer de solutions opérationnelles pour réduire les émissions polluantes et améliorer la protection de la qualité des écosystèmes
- Améliorer la connaissance sur les outils innovants (chimique et biologique) permettant d'évaluer globalement l'efficacité de traitement des filières (projet ANR ECHIBIOTEB)

# projet ARMISTIQ

## OPTIMISATION TRAITEMENTS EXISTANTS - BOUES ACTIVEES

*micropolluants partiellement éliminés*

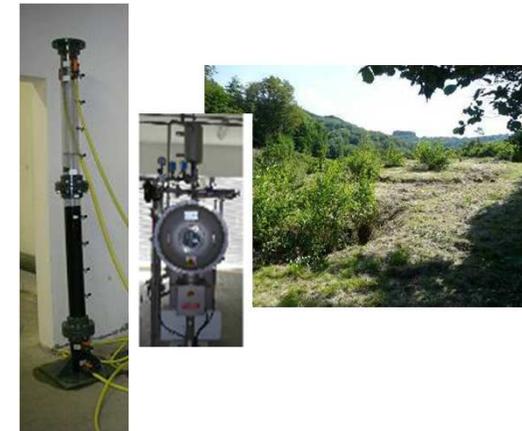
Tests à 4 conditions de fonctionnement, Protocole de mesure adsorption/biodégradation, Modélisation



## TRAITEMENTS COMPLEMENTAIRES

*micropolluants réfractaires aux traitements biologiques*

Oxydation avancée et adsorption sur charbon actif  
Fossé ; matériaux adsorbants alternatifs (argile, zéolite)



## TRAITEMENTS DES BOUES (avant valorisation agricole)

*micropolluants organiques hydrophobes et métaux*

Séchage thermique, séchage solaire, digestion anaérobie, compostage, lit de séchage planté de roseaux



# Partie 1 – Objectifs et procédés étudiés

## Vers des traitements secondaires optimisés pour les micropolluants ?

Substances partiellement éliminées avec rendements variables

Procédé	Temps de séjour des eaux	Caractéristiques
<b>Boues activées aération prolongée</b> (2900 EH) nitrification/dénitrification	24 à 48 h	8 campagnes réparties sur 1 an réseau séparatif, eaux usées domestiques
<b>Pilote</b> (Batch 200 L)	96 h	4 campagnes réparties sur 1 an conditions contrôlées



- Variabilité des concentrations pendant 1 an
- Rendements d'élimination
- Influence des conditions de fonctionnement

- Constantes cinétiques de biodégradation
- Influence des conditions de fonctionnement
- Influence du substrat présent

## Partie 2 - Objectifs et procédés étudiés

### Vers des traitements complémentaires de l'eau usée ?

Substances organiques polaires non biodégradables et substances adsorbables (ex métaux) avec concentrations quantifiées dans effluents des procédés secondaires

Trois procédés de traitement ont été évalués combinant des procédés à échelle réelle et à l'échelle pilote



Procédé	Temps de séjour des eaux	Caractéristiques
<b>Filtre à charbon actif en grain (CAG)</b> (en amont : boues activées aération prolongée + filtre à sable + ozone désinfection )	10 min	Charbon actif en grain Filtrisorb 400
<b>Oxydation avancée (AOP)</b> (en amont : bioréacteur à membranes)	2 à 10 min	O <sub>3</sub> ou O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ou O <sub>3</sub> /UV ou H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV 5 mgO <sub>3</sub> /L ; 2-10 mg H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /L; 400-800 mJ/cm <sup>2</sup>
<b>Oxydation avancée (AOP)</b> (en amont : boues activées aération prolongée + filtre à sable )	2 à 10 min	Idem



## Partie 2 (suite) – Objectifs et procédés étudiés

### Vers des traitements complémentaires de l'eau usée ?

Substances organiques polaires non biodégradables et substances adsorbables (ex métaux) avec concentrations quantifiées dans effluents des procédés secondaires

Deux procédés de traitement ont été évalués combinant des procédés à échelle réelle et à l'échelle pilote

Procédé	Temps de séjour des eaux	Caractéristiques
<b>Fossé incliné</b> (en amont : filière décanteur digesteur + lit d'infiltration percolation)	10 min	1 campagne mi-septembre 2010
<b>Filtres garnis de matériaux adsorbants</b> Zéolite / Argile expansée Charbon actif (en amont : boues activées aération prolongée)	4 h et 24 h 1,5 h	4 campagnes (nov. 2011 à mars 2012) 4 campagnes (juin à novembre 2012)



## Partie 3 – Objectifs et procédés étudiés

### Efficacité des procédés de traitements biologiques et thermiques des boues ?

Micropolluants organiques hydrophobes et métaux adsorbés dans les boues

Procédé	Temps de séjour de la boue
Sécheur haute température (120°C)	5 h
Sécheur basse température (72°C)	1,8 h
Séchage solaire	28 jours
Digestion anaérobie mésophile	20 jours
Compostage tunnels	1 mois
Compostage casiers	2 mois
Compostage andains	1,5 mois
Lits de séchage planté de roseaux (alimentation 2 jours / repos 14 jours)	Vidange au bout de 10 ans
Lit de séchage planté de roseaux (alimentation 2 semaines / repos 14 semaines)	Vidange au bout de 10 ans



# Partie 4 – Combinaisons innovantes d’outils chimiques et biologiques pour caractériser l’efficacité des traitements complémentaires

## Projet ECHIBIOTEB

### Projet ARMISTIQ

#### OPTIMISATION TRAITEMENTS EXISTANTS - BOUES ACTIVEES

*micropolluants partiellement éliminés*

Tests à 4 conditions de fonctionnement, Protocole de mesure adsorption/biodégradation, Modélisation

#### TRAITEMENTS COMPLEMENTAIRES

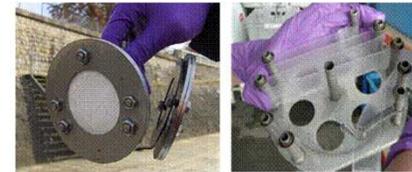
*micropolluants réfractaires aux traitements biologiques*

Oxydation avancée et adsorption sur charbon actif  
Fossé ; matériaux adsorbants alternatifs (argile, zéolite)

#### TRAITEMENTS DES BOUES (avant valorisation agricole)

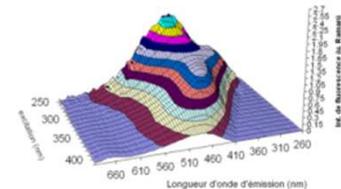
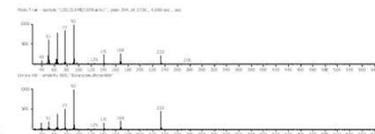
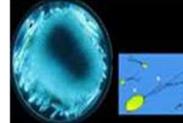
*micropolluants organiques hydrophobes et métaux*

Séchage thermique, séchage solaire, digestion anaérobie, compostage, lit de séchage planté de roseaux



POCIS

SPMD



#### OUTILS INNOVANTS ECHANTILLONNAGE – CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

Echantillonneurs  
intégratifs

Identification

molécules nouvelles

Bioanalyse

Potentiel de toxicité

Détection fractions

toxiques



# Produits opérationnels

## ■ Sur le plan méthodologique

- Bonnes pratiques pour la réalisation de bilans matière sur site pour les procédés de traitement d'eau et des boues
- Règles de calcul des rendements d'élimination des micropolluants spécifiques aux traitements complémentaires des eaux et aux traitements des boues
- Protocole de mesure de l'adsorption et de la biodégradation

## ■ Sur le plan technologique

- Valeurs de rendements d'élimination de micropolluants par différents procédés de traitement (eaux et boues)
- Influence des conditions opératoires, conditions permettant de maximiser et fiabiliser la réduction des micropolluants

## ■ Sur le plan scientifique

- Devenir des micropolluants par adsorption (boues ou matériaux minéraux), biodégradation (directe ou cométabolisme), volatilisation
- Variabilité des concentrations intra et inter STEU
- Modèle calé/validé pour prédire les concentrations en micropolluants en sortie de STEU (boues activées)



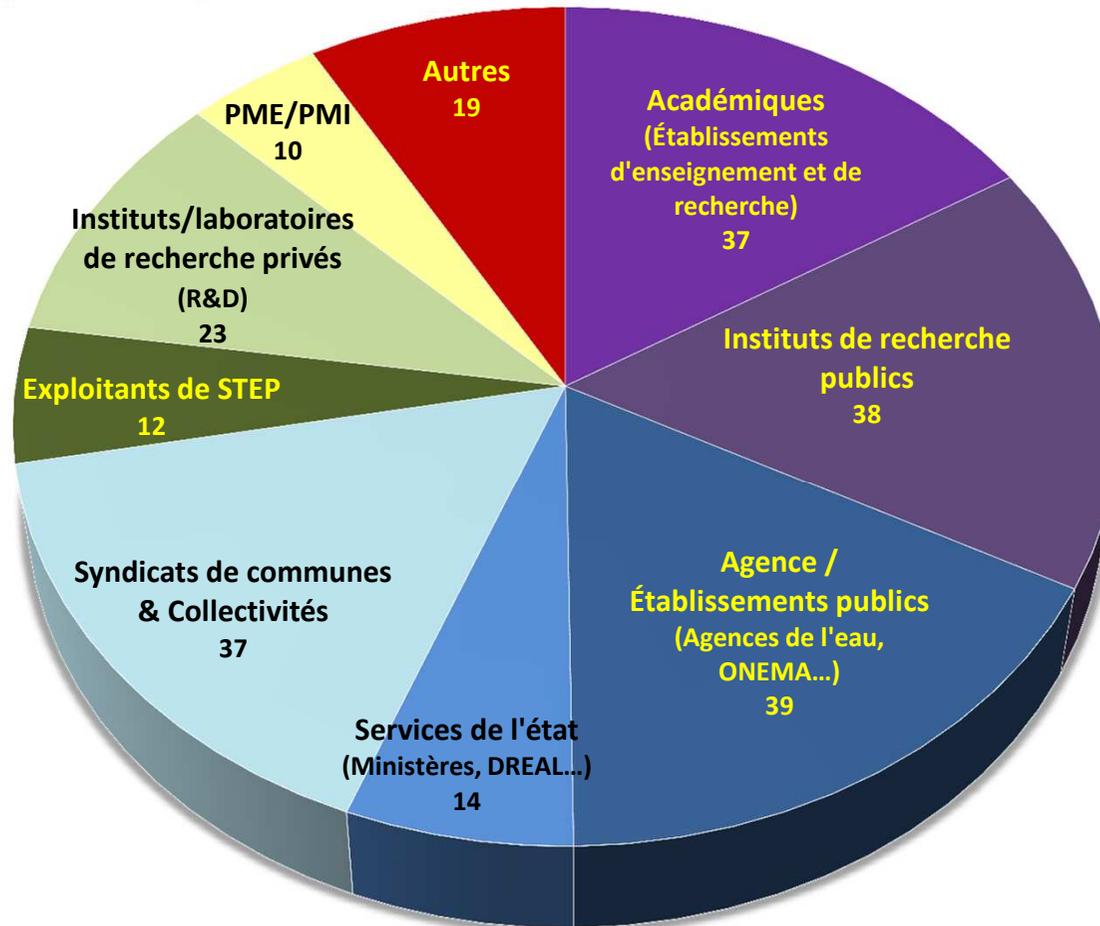
# Remerciements

- **Pour l'aide au choix des STEU et autorisation d'accès :**
  - les maîtres d'ouvrages et les équipes d'exploitation, Lyonnaise des Eaux, Nantaise des eaux, DDT et Satese 42, Grand Lyon, Terralys
  - **Iristea** : C Boutin, P Molle
  - **Suez Environnement** : P Camacho, J-L Martel
- **Pour la réalisation des campagnes de terrain, les analyses et l'exploitation des résultats :**
  - **Iristea** : C Crétollier, M Pomiès, A Tahar, M Arhror, S Bazergues, K Brimo, D Coupet, P Bados, C Brosse, L Dherret, D Gorini, G Grisot, J Iaciancio, C Lassablière, C Michard, J Panay, P Le Pimpec, L Richard, A Roussel-Galle, H Sanejouand, S Schiavone, F Serveto, P Vernay, G Viviani, E Vray
  - **Suez Environnement** : J-C Alibar, A Bruchet, C Gogot, M Zhou, C Deville, A Gonzalez, C Boucher, B Heiniger, V Pilmis, G Altounian
  - **EPOC-LPTC université Bordeaux** : P Labadie, K Lemenach, N Tapie, P Pardon, S Augagneur, E Geneste, A Guillon, T Geny, P Van Delft
  - **Université Montpellier 1** : C Wisniewski
- **Le Comité de suivi du projet :**
  - **Onema** : S Garnaud, C Lacour ; **AE RMC** : C Lagarrigue
  - **MEDDE, DEB** : L. Souliac, V. Ferstler
  - **AE AP, LB, RM, SN** : A-S Allonier, B Casterot, D Colin, J Dimare, M Lasneau, J Lesavre, A-L Mill, A Vachon, H Verhaeghe



# Participants au colloque ARMISTIQ

## ■ 229 participants :





# Programme du colloque ARMISTIQ

9h00	Accueil & Café
9h30	Ouverture (P. Boistard, Iristea & S. Martin, Suez Environnement) Introduction (M. Coquery, Iristea)
10h15	<b>Partie I – Peut-on améliorer l'élimination des micropolluants des eaux usées en optimisant le procédé à boues activées ?</b>  - Variabilité des concentrations en entrée et en sortie (M. Coquery, Iristea)  - Mécanismes d'élimination et possibilités d'amélioration des rendements (J.M. Choubert, Iristea)
	Questions & Discussion
11h15	<b>Partie II – Quelle amélioration de l'élimination des micropolluants et à quel prix grâce aux traitements complémentaires ?</b>  - Occurrence et variabilité des concentrations en entrée et en sortie (H. Budzinski, Université de Bordeaux)  - Rendements d'élimination d'un fossé et de filtres garnis de matériaux adsorbants (J.M. Choubert, Iristea)  - Evaluation multicritères des procédés d'oxydation avancée et de l'adsorption sur charbon actif en grain (S. Besnault, Suez Environnement)
	Questions & Discussion
12h35	Déjeuner



# Programme du colloque ARMISTIQ

<b>14h15</b>	<b>Partie III – Que deviennent les micropolluants adsorbables à travers les procédés de traitement des boues ?</b>  - Présence des micropolluants dans les boues et enjeux analytiques (N. Noyon, Suez Environnement)  - Rendements d'élimination des micropolluants par les procédés de traitement des boues (S. Besnault, Suez Environnement)
	Questions & Discussion
<b>15h15</b>	<b>Partie IV – Combinaisons innovantes d'outils chimiques et biologiques pour caractériser l'efficacité des traitements complémentaires - projet Echibioteb (C. Miège, Irstea)</b>
	Questions & Discussion
<b>15h45</b>	Stratégie du MEDDE pour réduire les émissions de polluants dans le milieu (L. Souliac, MEDDE)  Discussion avec les participants animée par A. Grasmick (Université de Montpellier 2)
<b>16h30</b>	Conclusions (S. Martin, Suez Environnement & M. Coquery, Irstea) Clôture (P. Dupont, Onema)
<b>17h15</b>	Fin