

## Séminaire DIADEM 22 Octobre 2018

### « Le peuplement biologique dans les écosystèmes aquatiques face aux polluants émergents »

#### Uliège, Campus d'Arlon

## Modélisation des micropolluants [émergents] à l'échelle des bassins versants

Jf Delière, É. Éverbecq, P. Magermans, A. Grard

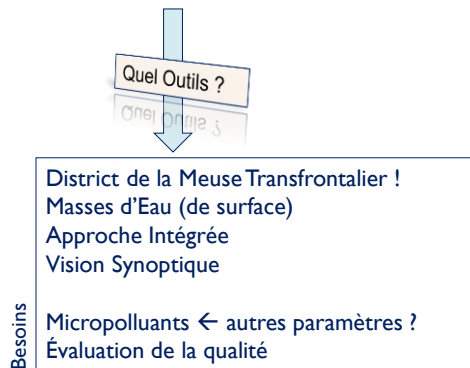
Contact Jf Delière, Université de Liège  
[JfDeliere@uliege.be](mailto:JfDeliere@uliege.be)  
+32 4 366 23 56  
Campus du Sart Tilman B53  
11 allée de la découverte  
4000 Liège



## Réflexions

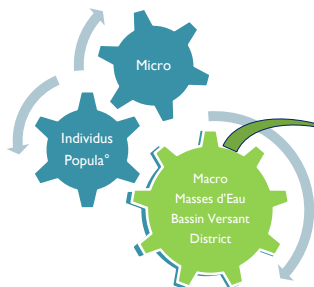
Menaces/Dangers encourus par les écosystèmes (et la biodiversité) face aux polluants émergents

**Approche intégrée pour le diagnostic (de la Qualité)**  
**Méthode d'évaluation transfrontalière de la qualité des ME**  
**Approche Interrégionale commune**  
**Impacts sur les écosystèmes**

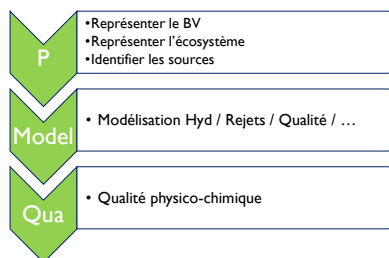


## Apports de la modélisation

### Représentation des micropolluants à différentes échelles



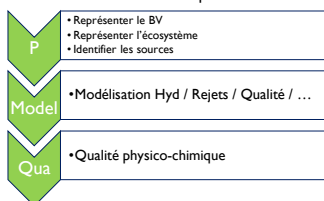
Établir la relation Pression/Impact à l'échelle du BV



## La modélisation Intégrée Bassin versant / Rivière



Établir la relation Pression/Impact à l'échelle du BV



## L'étude COWAT (COcaïne in WATer, SSTC)

L'étude COWAT (Programme de recherche d'appui à la note politique fédérale relative à la problématique de la drogue) a été réalisée par les universités de Liège (Prof. C. Charlier, L. Theunis) et d'Antwerpen (Profs. H. Neels, L. Bervoets)

### Objectif

Approche originale permettant d'évaluer la « consommation » de cocaïne en Belgique par l'analyse (cocaïne et/ou de ses dérivés)

Dans les eaux usées (Step) → estimation consommation/habitant  
ME Surface

Mais interprétation difficile au niveau de la liaison Step → Milieu

Méthodologie : Analyse dans les eaux usées et les eaux de surface

Des concentrations en cocaïne

Des concentrations en benzoylecgonine (BZE)

Métabolite de la cocaïne excrété par les urines  
Environ 45% de la cocaïne ingérée est métabolisée en BZE  
La BZE est relativement stable dans l'environnement  
La BZE constitue un bon indicateur (de la « consommation » de la cocaïne)

5

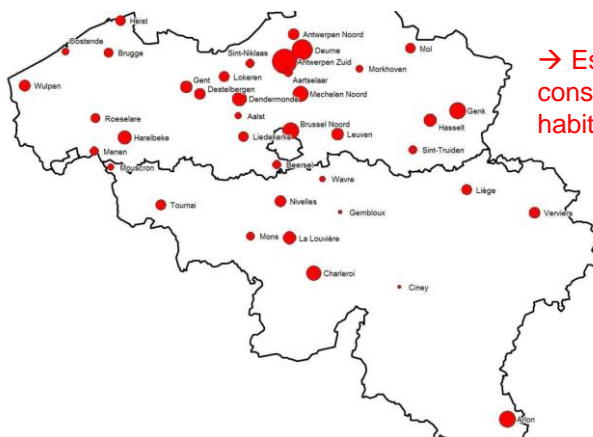
## L'étude COWAT (COcaïne in WATer, SSTC)

### Campagnes d'échantillonnage

STEPs

84 points de prélèvements (été 2007, automne 2007)

43 Stations d'épuration (les + importantes)  
Mesures Semaine / WE  
Estimation de la population raccordée



→ Estimation de la consommation par habitant (mg/j.Hab)

Constatation :

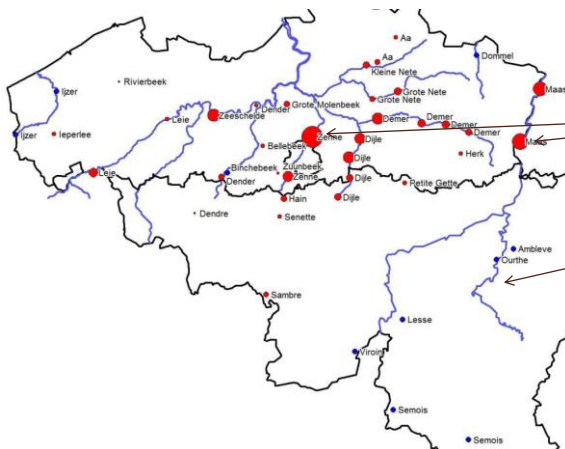
Consommation plus importante dans grandes villes (e.g. Anvers, Bruxelles)

6

## L'étude COWAT (COcaïne in WATer, SSTC)

### Campagnes d'échantillonnage Rivières

41 mesures en rivières (été 2007, automne 2007)  
ESTIMATION DES FLUX EN RIVIERE (g/jour)



Constatation :

Flux importants dans grandes rivières  
Et à l'aval des grandes villes

Concentrations < à Limite de détection dans les zones peu peuplées

7

## L'étude COWAT

### Conclusion de l'étude

*Mesures en station d'épuration* : outil décisionnel en matière de gestion des stupéfiants

- Estimation flux de BZE par habitant (~= 0.10 – 0.65 mg/hab.j)
- Estimation consommation de cocaïne par habitant : Cocaïne (mg/hab.j) = BZE \* 2.33
- Estimation taux de rétention de la BZE dans les stations d'épuration (~= 95%)
- Estimation des tendances saisonnières / régionales

*Mesures en rivières* : difficultés de les utiliser car

- difficile d'estimer le nombre d'habitants en relation avec les eaux usées, traitées ou non
- ampleur du facteur de dilution

PEGASE calcule explicitement ces 2 éléments (Flux entrée stations + flux rivières)

→ Utilité de faire l'application test de PEGASE aux micropolluants

Il existe un modèle BV/rivière qui calcule explicitement ces 2 éléments  
(i.e. Flux entrée stations + Flux rivières)

- Application Test Pégase Micropolluants pour la cocaïne (bze)
- Vérifier la cohérence des mesures stations / milieu

8

## Modélisation BV/Rivière Pégase

### Planification Et Gestion de l'Assainissement des Eaux



#### Objectifs

- Quantifier les relations « pressions-impacts »
- Calculer explicitement la relation entre Rejets et CC dans le milieu
- Aider dans les processus de prise de décision (DSS)
- Mieux comprendre le fonctionnement de l'hydrosystème
- Structurer les connaissances (y compris les « données d'entrée »)

#### Modèle de simulation de la qualité des eaux de surface

- bassins versants / rivières (→ le modèle « rivière » est « étendu » au BV)
- apports et rejets polluants (→ structuration des données)
- écosystème aquatique et qualité de l'eau (O<sub>2</sub>, C, N, P, ...)
- Modèle déterministe et physiquement basé (phytoplancton, bactéries, ...)

#### Outil opérationnel d'aide à la décision pour

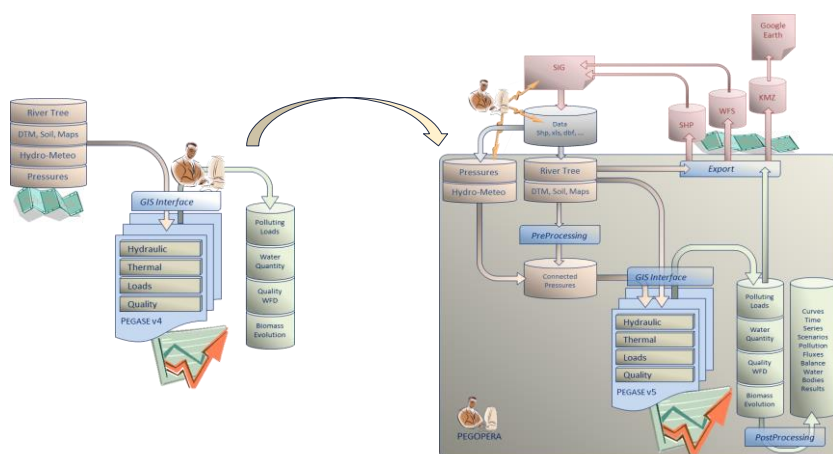
- l'assainissement et la dépollution
- la gestion de la qualité du milieu aquatique
- interactions permanentes avec les utilisateurs



9

## Modélisation BV/Rivière Pégase

### Le modèle Pégase → La suite Logicielle PegOpéra

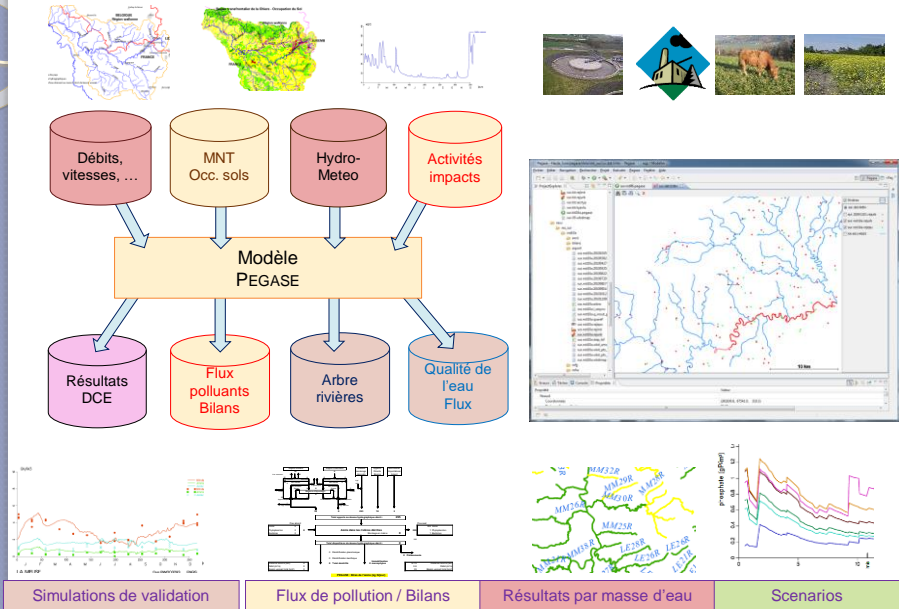


10

Simulations

## Modélisation BV/Rivière Pégase

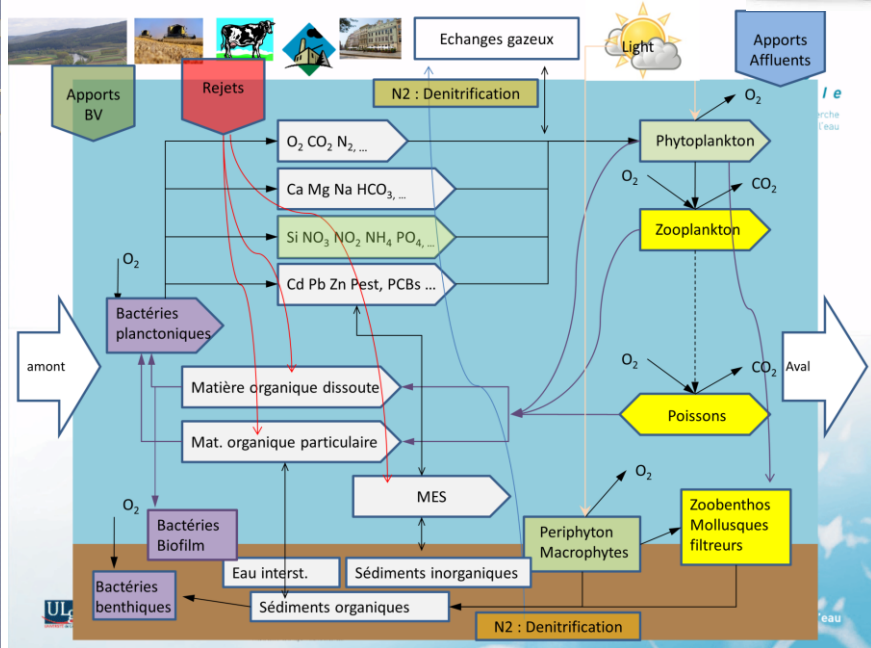
### Données d'Entrée et Résultats



Simulations

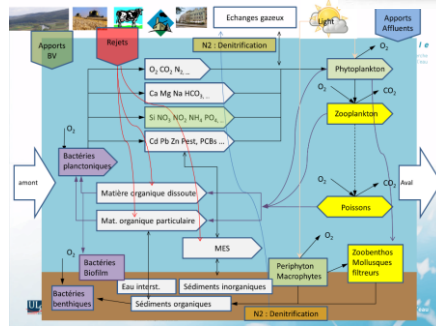
## Modélisation BV/Rivière Pégase

### Le modèle de la qualité des eaux



## Modélisation BV/Rivière Pégase

### Le modèle de la qualité des eaux



#### Les processus

- production primaire
- mortalité, respiration biomasses
- dégradation matière organique
- nitrification, dénitrification
- réaération

#### Les variables

- débits, vitesses, temps de transferts dans le réseau hydrographique
- températures de l'eau
- concentrations : MO, COD, COP, DCO, DBO, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NKj, P<sub>tot</sub>, PO<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> dissous (horaire), biomasses micropolluants (en développement)

#### Les résultats

- globalisation des résultats par rivière, par masse d'eau, par sous-bassin, ... : flux, bilans
- résultats longitudinaux, évolutions temporelles, cartes : calcul de valeurs statistiques (p90, ...), indices de qualité SEQ Eau

## Modélisation BV/Rivière Pégase

### Partim Apport / Rejets



#### Rejets urbains

Equivalent-habitant



Prise en compte des abattements Step (mesurés ou estimés)

#### Rejets industriels

Inventaires de rejets (redevances, ...)



#### Bovins

Rejets « accidentels » directs du cheptel (cuves, ...)



#### Apports des sols

Fonctions semi-statistiques, régionalisées

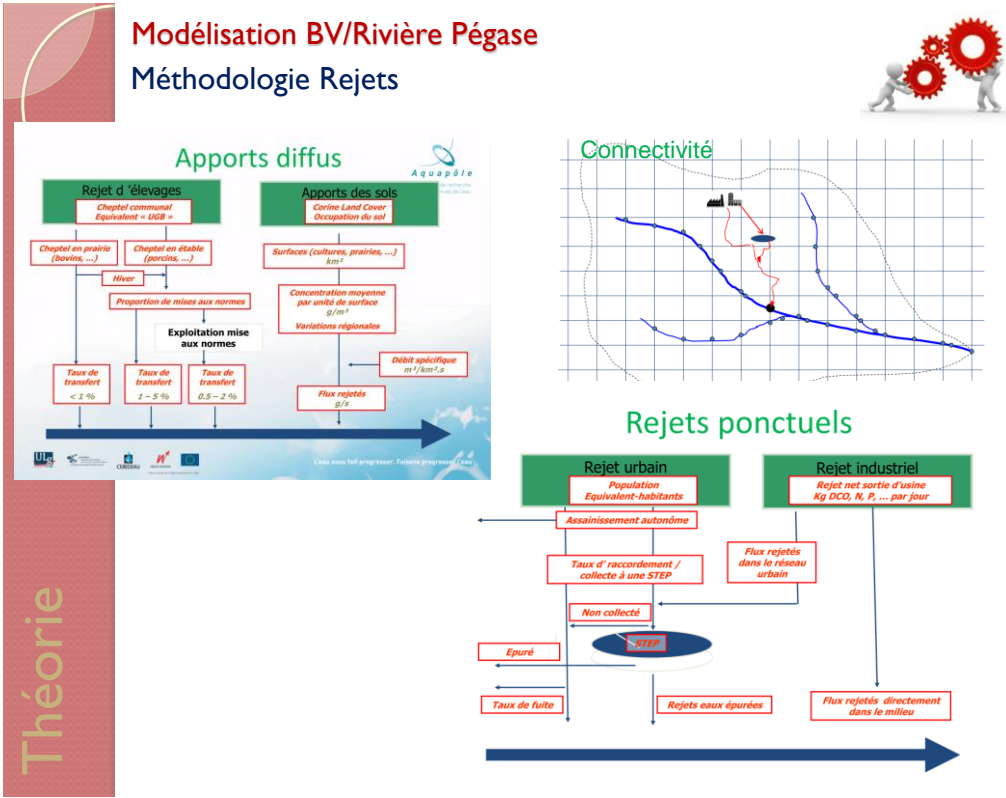
Débit lessivé x concentration lessivage

Possibilité couplage avec modèles sols



## Modélisation BV/Rivière Pégase

### Méthodologie Rejets



Théorie

## Modélisation BV/Rivière Pégase

### Résultats



Débits, vitesses, hauteurs d'eau, ... dans le réseau de rivière ( $\Delta x \sim 200$  m)

Qualité de l'eau et écosystème (moyennes journalières) :

- o Biomasses (bactéries, phytoplancton, ...)
- o Concentrations (DBO5, DCO, COD, N, P, O<sub>2</sub>, μpolluants...)
- o Flux, bilans, ...

Valeurs statistiques (p90, moyenne, max, ...) globalisation par masse d'eau

Indices de qualité (Seq-Eau like) : échelle : 0 - 100

5 classes

Présentation des résultats :

- o cartes 2D (visualisation « par classes »)
- o profils longitudinaux (pour chaque rivière)
- o évolutions annuelles (pour des points spécifiques)
- o Comparaison avec mesures (→ validation)
- o Comparaison de scénarios
- o Bilans par rivière, bassin, masse d'eau, ...
- o Exports (xls, dbase, shp, kml, ...)

Théorie



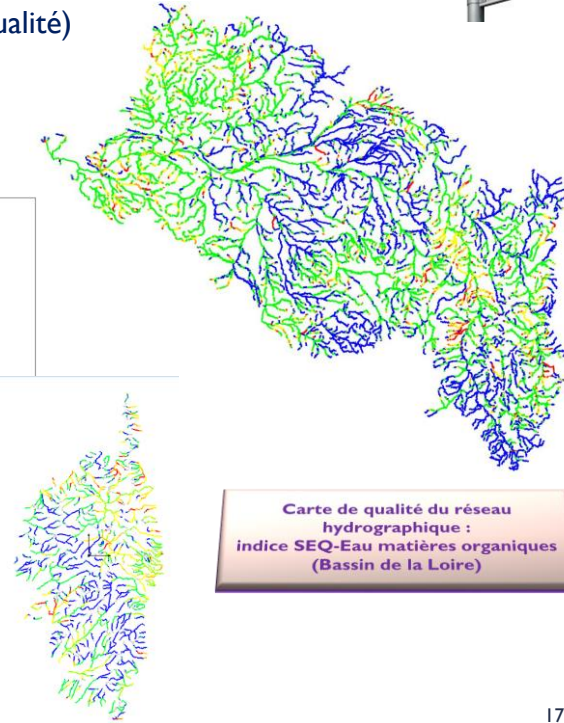
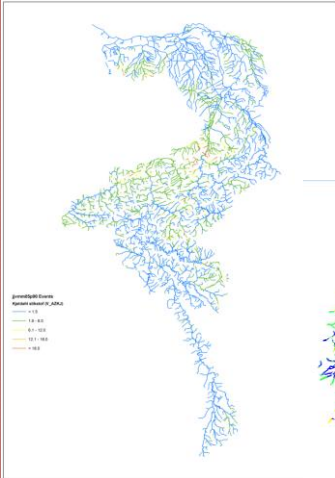
Théorie

## Modélisation BV/Rivière Pégase

### Résultats (carte de Qualité)



Application transnationale :  
 DHI de la Meuse  
 (F, B, Lux, D, NL)

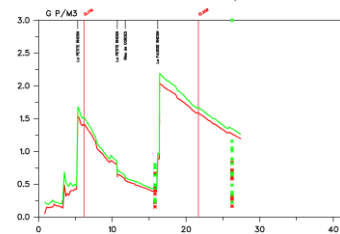
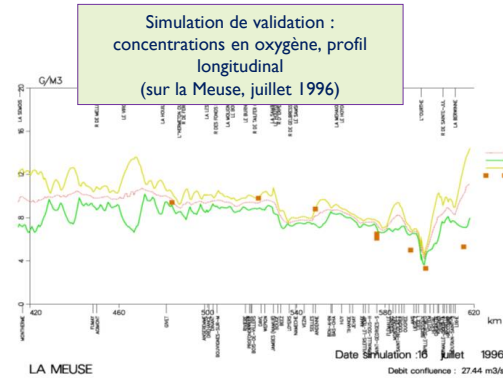
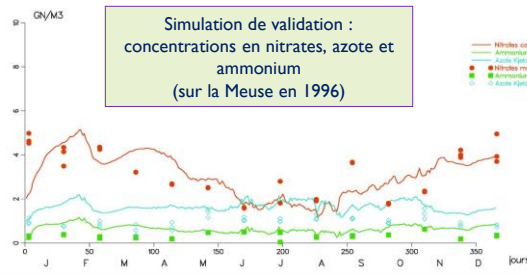


Carte de qualité du réseau hydrographique :  
 indice SEQ-Eau matières organiques  
 (Bassin de la Loire)

Théorie

## Modélisation BV/Rivière Pégase

### Résultats

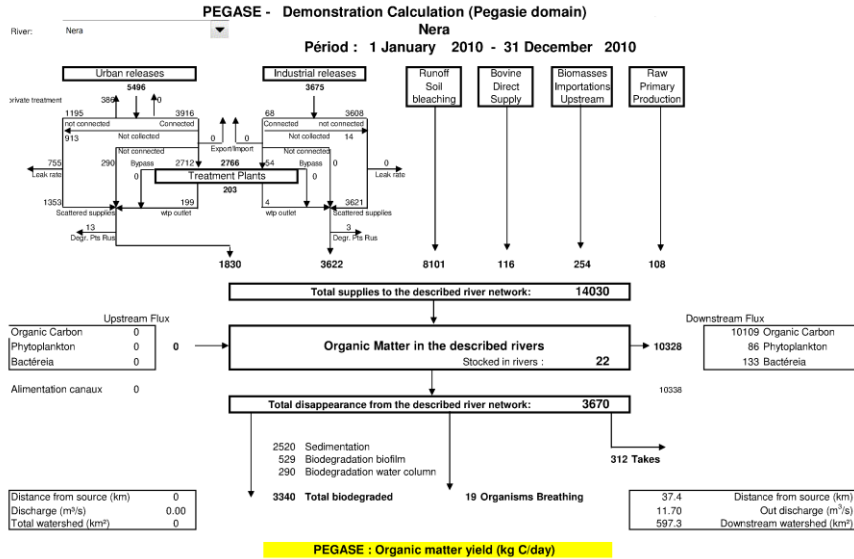


Simulation de validation :  
 Phosphore, Longitudinal  
 P90 valeurs calculées  
 Valeurs mesurées  
 (sur la Rhosne, 2009)

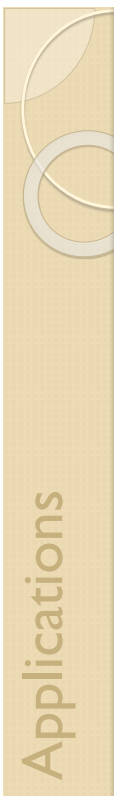


## Modélisation BV/Rivière Pégase

### Résultats Bilans ...



19



## L'étude COWAT / PegOpéra

### Application Test



#### Modélisation de la BenZoylEcgonine (BZE)

- Métabolite « stable » de la cocaïne (~ 45 %)

#### COWAT

- A permis l'estimation du rejet moyen journalier par habitant (← Mesures aux Step)
- + Mesures Concentrations dans les rivières

Ces données pourront être exploitées pour la validation (exclusivement) des résultats du modèle

#### PEGASE

- Utilisation du modèle SANS modifications spécifiques
- BZE = micropolluant « classique » de PEGASE, conservatif
- Apports BZE = population (« Pégase ») \* Equivalent-habitant

20

## L'étude COWAT / PegOpéra

### Application Test



#### Modélisation

- BZE = micropolluant considéré comme conservatif
- Transport / Dilution dans les eaux de surface
- Adsorption/Désorption sur les sédiments, sédimentation
- Simulations non-stationnaires sur l'année 2007
- Simulations sur Région Wallonne + Rg Flamande (Meuse/Escaut)
- Validation = comparaison entre calculs et mesures
  - Evolutions annuelles aux points de mesure
  - Profils longitudinaux aux dates des mesures

Remerciements pour utilisation des données « PEGASE » (fonds de carte, ...)  
VMM : Vlaamse Milieu Maatschappij (application Escaut)  
SPW : Service Public de Wallonie (application Région Wallonne)

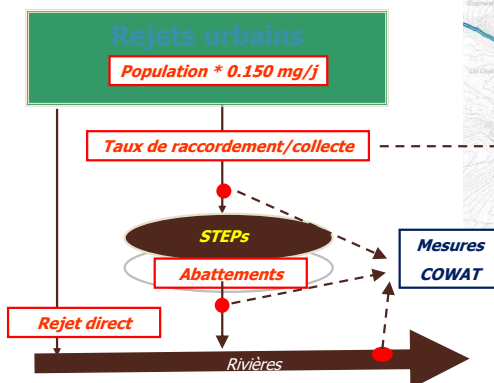
21

## L'étude COWAT / PegOpéra

### Rejets



- Rejets BZE = rejets urbains (PAS de rejets agricoles, industriels ou diffus)
- Estimation EQH : **0.150 mg BZE/hab.j** (constant dans le temps et dans l'espace)
- Estimation nombre habitants + connexion STEPs : via PEGASE
- Abattements dans les STEPs : 95%

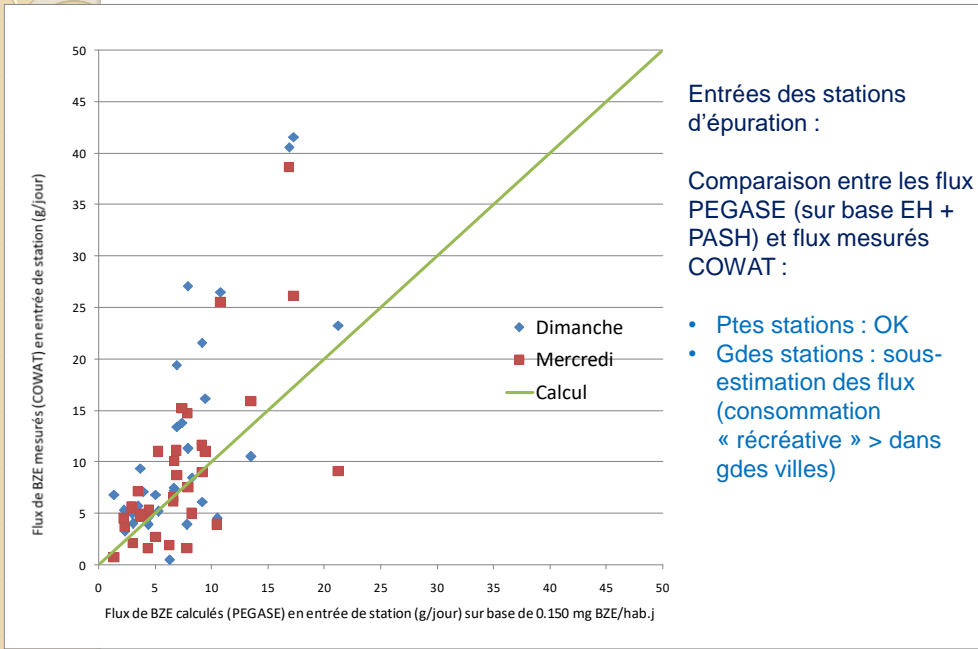


Utilisation données précises sur l'égouttage et les stations d'épuration (PASH)

22

## L'étude COWAT / PegOpéra

### Résultats



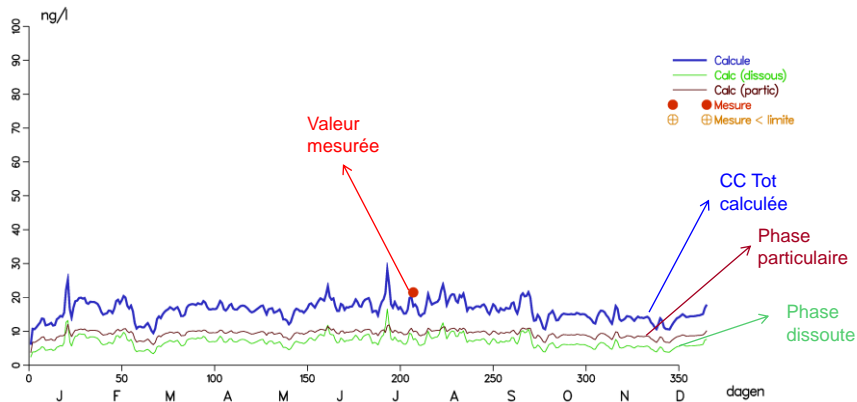
## L'étude COWAT / PegOpéra

### Résultats



Concentrations de BZE (ng/l) dans les rivières  
 Evolutions annuelles (année 2007)

VMM : Simulation cocaïne test - année 2007 -



La Dyle à la limite Région Wallonne / Région flamande (km 37.9)

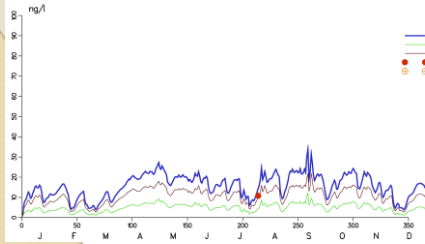
Applications

Applications

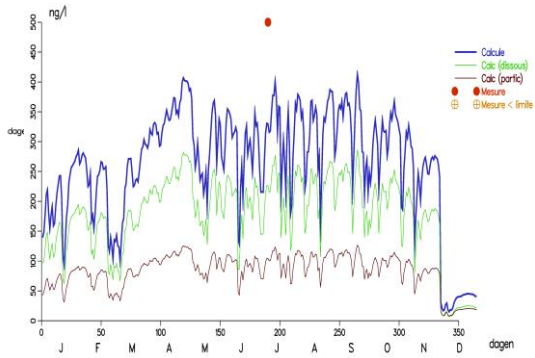
## L'étude COWAT / PegOpéra

### Résultats

Concentrations de BZE (ng/l) dans les rivières  
 Evolutions annuelles (année 2007)



L'Escaut à Melle (aval Gand)  
 Bon accord



La Senne à Vilvorde (aval Bruxelles)  
 Sous-estimation des calculs  
 EH Bruxelles > EH moyen adopté  
 (!! Echelle du dessin 5 x + grande)

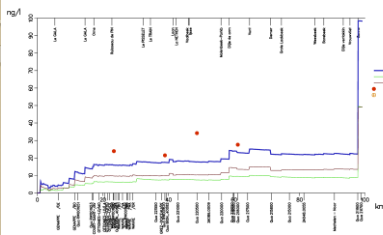
25

Applications

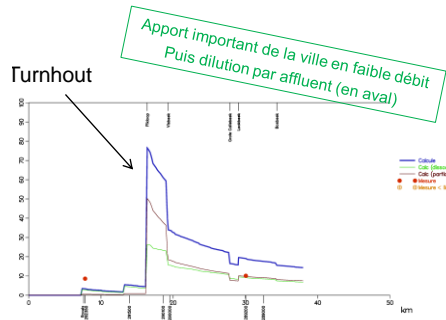
## L'étude COWAT / PegOpéra

### Résultats

Concentrations de BZE (ng/l) dans les rivières  
 Profil longitudinal



La Dyle, le 17 juillet 2007  
 Bon accord  
 Très légère sous-estimation



L'Aa le 27 juin 2007  
 Bon accord  
 Importance modélisation → vue globale

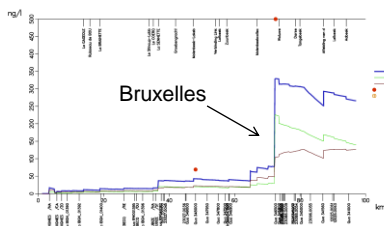
26

Applications

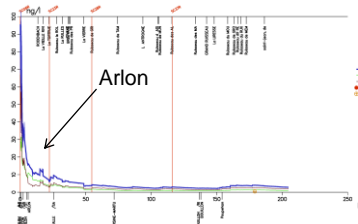
## L'étude COWAT / PegOpéra

### Résultats

Concentrations de BZE (ng/l) dans les rivières  
 Profil longitudinal



La Senne, 9 juillet 2007  
 Sous-estimation des calculs  
 EH Bruxelles > EH moyen adopté  
 Effet rejets Bruxelles non épurés  
 !!!! Echelle dessin 5 x + grande



La Semois, 12 octobre 2007  
 Influence Arlon à l'Amont  
 Concentrations baissent rapidement  
 en aval (peu de population)

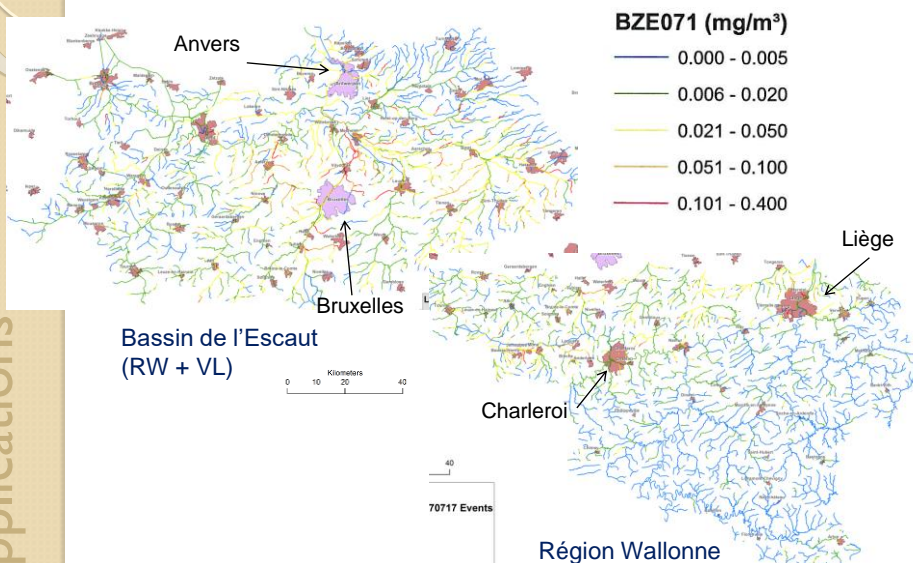
27

Applications

## L'étude COWAT / PegOpéra

### Résultats

Concentrations de BZE (ng/l) dans les rivières  
 Cartes des concentrations



28

## L'étude COWAT / PegOpéra Conclusions



- Possibilité de simuler le devenir des dérivés de la cocaïne dans les eaux de surface
- Démonstration de la cohérence des mesures réalisées dans le cadre de l'étude COWAT (Mesures Step → EH → CC rivière → Mes Riv Ok)
- Possibilité d'estimer par des mesures « en rivière » la consommation de cocaïne (et son évolution dans le temps et dans l'espace) [Liaison Pression / Impact]
- Possibilité d'utiliser le modèle « de manière inverse » → mieux connaître les sources



29

## Modélisation Pégase Cocaïne Améliorations Souhaitables



- Modification PEGASE → équivalent-habitant « variable » (dans l'espace [g<sup>des</sup> villes] et le temps [WE]) Data
  - Calibration/validation données d'entrée EH, abattements (g<sup>des</sup> et p<sup>tes</sup> STEPs)
  - Calibration/validation Paramètres « modèle » dégradation, adsorption/Désorption, ...
- Extension à d'autres métabolites (résidus médicamenteux, ...)



30

## Modélisation Pégase Micropolluants Améliorations réalisées



- Extension « générique » à n'importe quel  $\mu$ polluant
- Processus de disparition des  $\mu$ polluants intégrés  
 Dégradation, photo-dissociation, sédimentation, ...
- ➔ Extension à d'autres métabolites (type résidus médicamenteux, ...) grâce à :
  - L'Identifications des Sources  $\mu$ polluants en utilisant :  
 Equivalent-habitant + rejets industriels
  - Processus de Transport / Dilution / Dispersion : Pégase
  - Processus de disparition (dégradat°, sédimentat°, ...), à calibrer
- ➔ Simulation de concentrations  $\mu$ polluants émergents
  - Sur tout le réseau de rivières (plusieurs centaines de rivières)
  - Pour toute l'année (moyennes journalières)



31

## Modélisation Pégase Micropolluants Améliorations Futures Couplage avec modèle BioAccumulation



Pégase → Concentrations  $\mu$ polluants  
 Dans la colonne d'eau  
 Dans les matières en suspension

Modèle de BioAccumulation → Concentrations  $\mu$ polluants  
 Dans la biocénose

### Exemple réalisé transferts radionucléides dans chaîne trophique

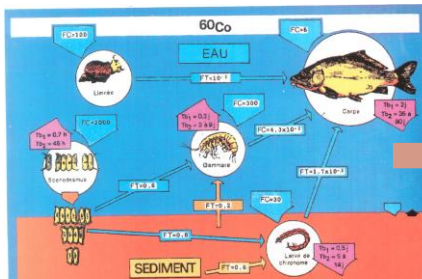


Figure 16. Transfert de  $^{60}\text{Co}$  au réseau trophique d'eau douce. F1 - facteur de transfert; FC - facteur de concentration; T1, T2, T3 - périodes biotiques.

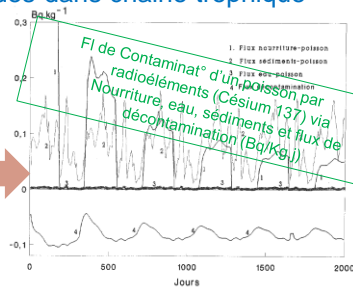


Figure 26. Flux de contamination en  $^{137}\text{Cs}$  d'une carpe-type à Huellet, calculés par le modèle pour une période de 5 ans (l'après la situation de 1975), et flux correspondant de décontamination ( $\text{Bq.kg}^{-1}.\text{j}$ ).

32



Conclusions



Merci de votre attention

