

4EMES JOURNEES INTERNATIONALES DE TOXICOLOGIE - LIEGE 2009



**PEGASE : UN MODÈLE INTÉGRÉ
BASSIN HYDROGRAPHIQUE / RIVIÈRES :
PREMIÈRE APPLICATION TEST À LA COCAÏNE.**

Colonster, 15 octobre 2009

**JF Deliège, E. Everbecq, P. Magermans,
A. Grard, T. Bourouag, C. Blockx
Aquapôle, Université de Liège**



Avec le soutien de la Région wallonne et du Fédér

Université de Liège - Sart Tilman
Bâtiment B53, Parking P52
4000 Liège (Belgique)

Tél. + 32 4 366 51 01
Fax + 32 4 366 51 02

aquapole@ulg.ac.be
www.aquapole.ulg.ac.be

L'eau nous fait progresser. Faisons progresser l'eau

Introduction : L'Aquapôle de l'Université de Liège



Aquapôle
(Université de Liège)

Centre universitaire
(Réseau scientifique et technologique)
dans le domaine de l'eau

Interface entre les institutions académiques et les acteurs de l'eau publics (Ministères, Administrations, Directions générales, Agences, ...) et privés

→ Centre d'excellence R&D dans le domaine de l'Eau

Axes : Cycle de l'Eau / Mesures et Analyses

**Modélisation
environnementale**
BDD environnementales
Modélisation intégrée
Latitudes Sud
Hydrogéologie
Écotoxicologie
Collaboration industrielle
Télédétection

Télédétection
Collaboration industrielle

UI

Un rôle intégrateur : Mise en place d'une **approche pluridisciplinaire**

UM

Une Unité R&D : Integrated Modeling, PEGASE, μ polluants, Latitude Sud, Spatial, SIG, ...

Introduction : L'étude COWAT et PEGASE

Existence d'une étude : **COWAT** (Cocaïne in WATER, SSTC) ayant pour but de mesurer la cocaïne et ses dérivés (Participant à l'étude : Prof. Charlier, ULG, membre de l'Aquapôle)

- dans les eaux usées (stations d'épuration) → estimation consommation/habitant
- dans les eaux de surface → interprétation difficile

Existence d'un modèle : **PEGASE** (Planification et Gestion de l'Assainissement des Eaux), développé par l'unité R&D de l'Aquapôle, ULG

- Calcule la relation entre les rejets et concentrations dans les eaux de surface
- Modèle « physiquement basé »
- Outil opérationnel d'aide à la décision

→ **Proposition** d'utiliser le modèle PEGASE pour :

- Faire une première simulation test de la cocaïne
- Vérifier la cohérence des mesures stations / milieu

L'étude COWAT (COcaïne in WATER)



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

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).

But : approche originale permettant d'évaluer la consommation de cocaïne en Belgique par l'analyse des eaux usées.

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

- Des concentrations en cocaïne
- Des concentrations en benzoylecgonine (BZE)

La benzoylecgonine (BZE) est un 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
et constitue donc un bon indicateur de la consommation de la cocaïne

L'étude COWAT (COcaïne in WATer)



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

DEUX CAMPAGNES D'ÉCHANTILLONNAGE (été 2007, automne 2007)

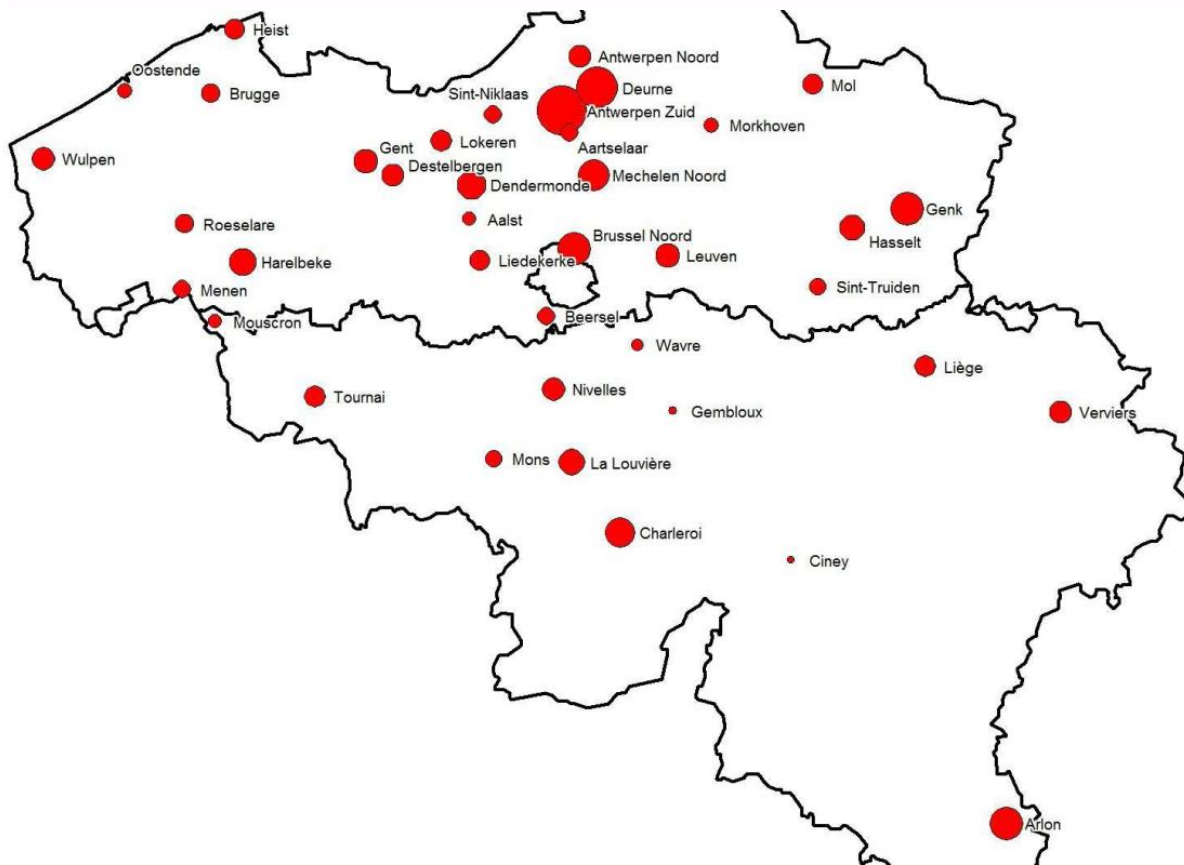
84 points de prélèvements

43 STATIONS D'ÉPURATION (les + importantes)

Mesures Semaine / WE

ESTIMATION DE LA POPULATION RACCORDEE

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



Constatation :

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

L'étude COWAT (COcaïne in WATER)

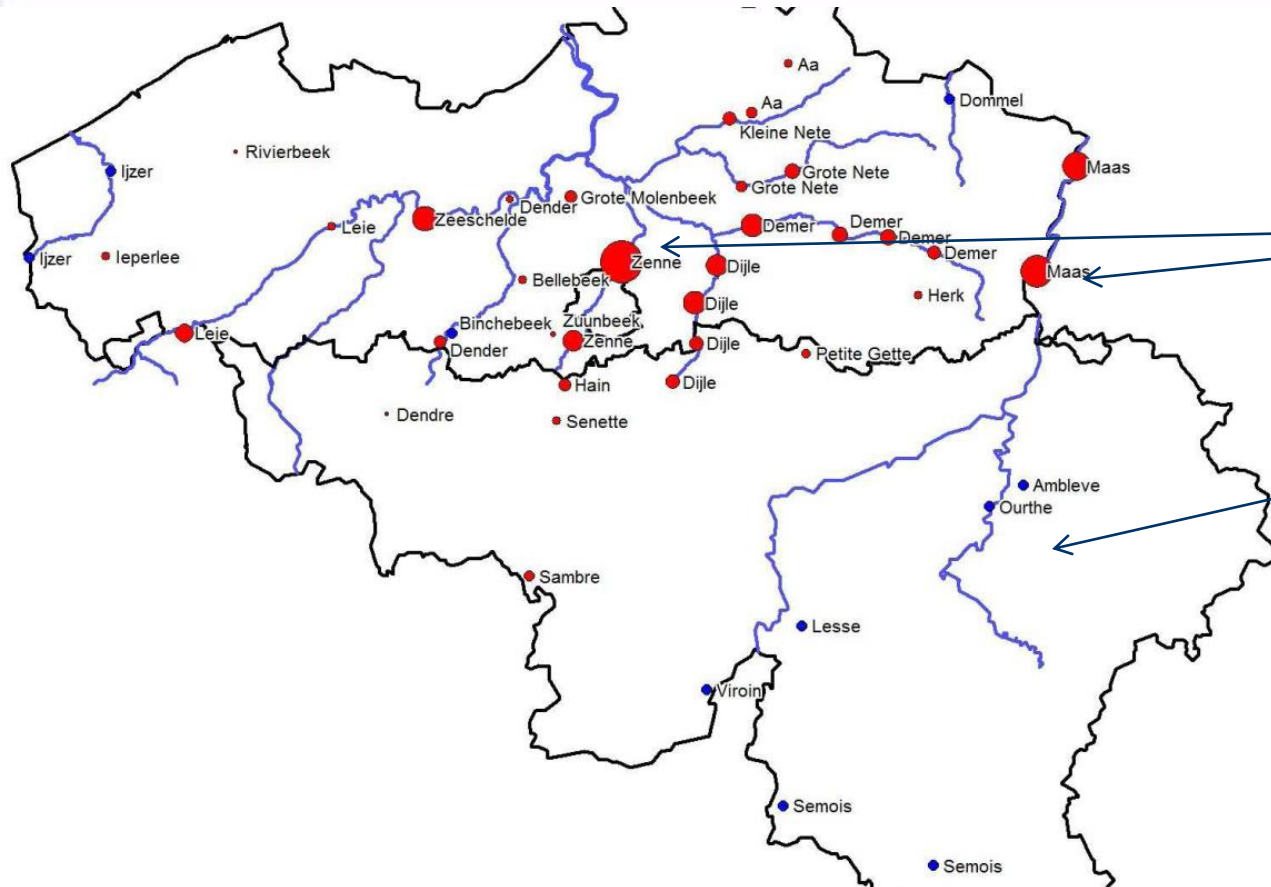


Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

DEUX CAMPAGNES D'ÉCHANTILLONNAGE (été 2007, automne 2007)

41 mesures en rivières

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

L'étude COWAT (COcaïne in WATer)



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

Conclusions de l'étude

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

- Estimation flux de BZE par habitant ($\approx 0.10 - 0.65$ mg/hab.j)
- Estimation consommation de cocaïne par habitant : $\text{Cocaïne (mg/hab.j)} = \text{BZE} * 2.33$
- Estimation taux de rétention de la BZE dans les stations d'épuration ($\approx 95\%$)
- 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

Le modèle PEGASE

Planification Et Gestion de l'Assainissement des Eaux



Développé depuis la fin des années 80 par (initialement) 3 universités belges

- OBJECTIFS :**
- mieux comprendre le fonctionnement de l'hydrosystème
 - structurer les connaissances (y compris les « données d'entrée »)
 - quantifier les relations « pressions-impacts » et aider dans les processus de prise de décision

1) 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 (O₂, C, N, P, ...)

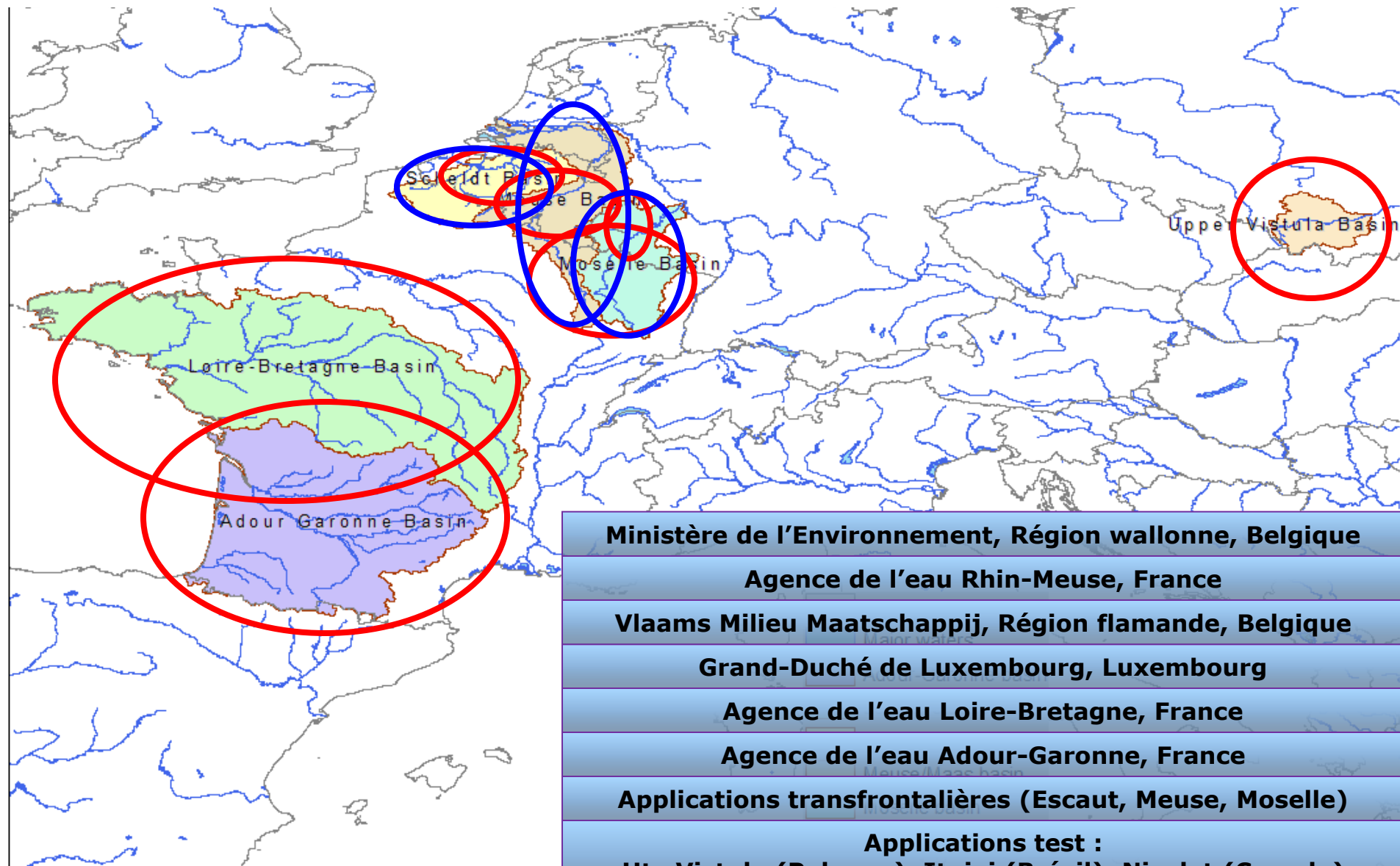
→ modèle déterministe et physiquement basé

2) 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

PEGASE : Principales applications en Europe



PEGASE : Principe de fonctionnement



Données d'entrée

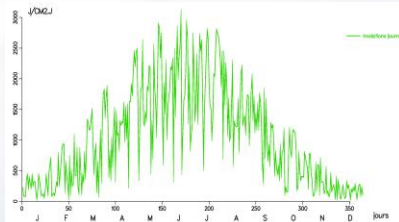
Résultats



Bassins versants



Réseau des rivières



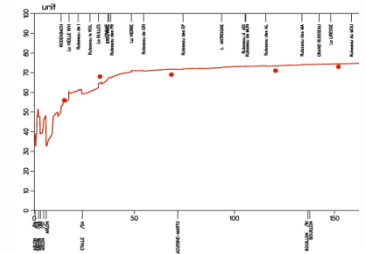
Hydrométéo



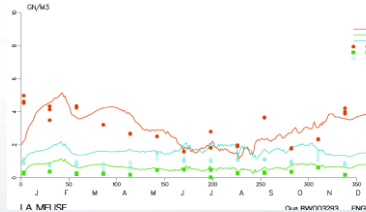
Activités et rejets

Modèle PEGASE

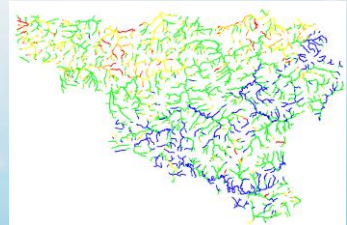
Profils long. Qualité eau



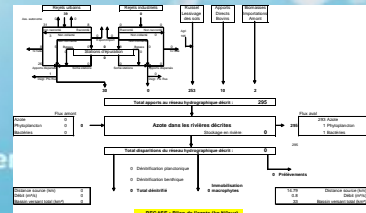
Evolutions annuelles



Cartes qualité



Bilans flux



PEGASE : Points forts



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

- Modèle intégré rivières – bassins versants
- Simulations qqs km² → qqs 100 000 km² (modèle distribué)
- Description « fine » du réseau (actuellement → 3000 rivières)
- Développé en collaboration avec les utilisateurs
- Description physiquement basée complète de l'écosystème (phytoplancton, bactéries, ..)
- Prise en compte « cohérente et complète » des apports et rejets
- Simulations stationnaires ou non stationnaires (jusqu'à plusieurs heures de calcul)
- Modules complémentaires → DCE (coût/efficacité, ..)

PEGASE : modèle de la qualité des eaux

Les processus

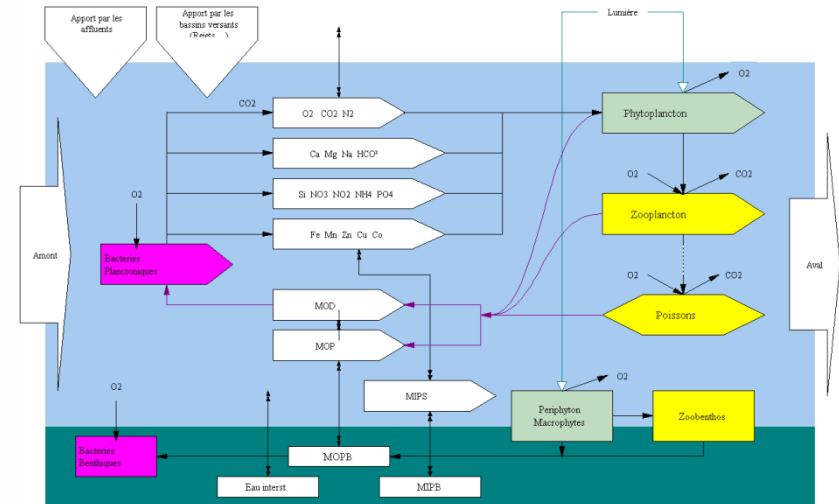
- production primaire
- mortalité, respiration biomasses
- dégradation matière organique
- nitrification, dénitrification
- réaération

Les variables

- débits, vitesses, temps de transferts dans le réseau hydrographique
- températures de l'eau
- concentrations : **MO, COD, COP, DCO, DBO, NH₄, NO₂, NO₃, NKj, P_{tot}, PO₄, O₂ 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**



PEGASE : Méthodologie



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

Estimation des rejets et apports (C, N, P)

Rejets urbains

Equivalent-habitant (g/hab.j)

Prise en compte des abattements en station d'épuration (mesurés ou estimés)



Rejets industriels

Inventaires de rejets (redevances, ...)



Bovins

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



Apports des sols

Fonctions semi-statistiques, régionalisées

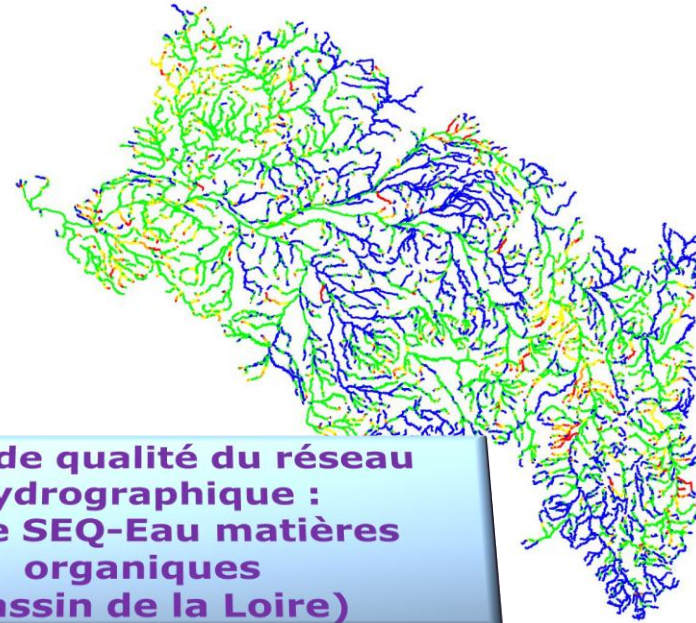
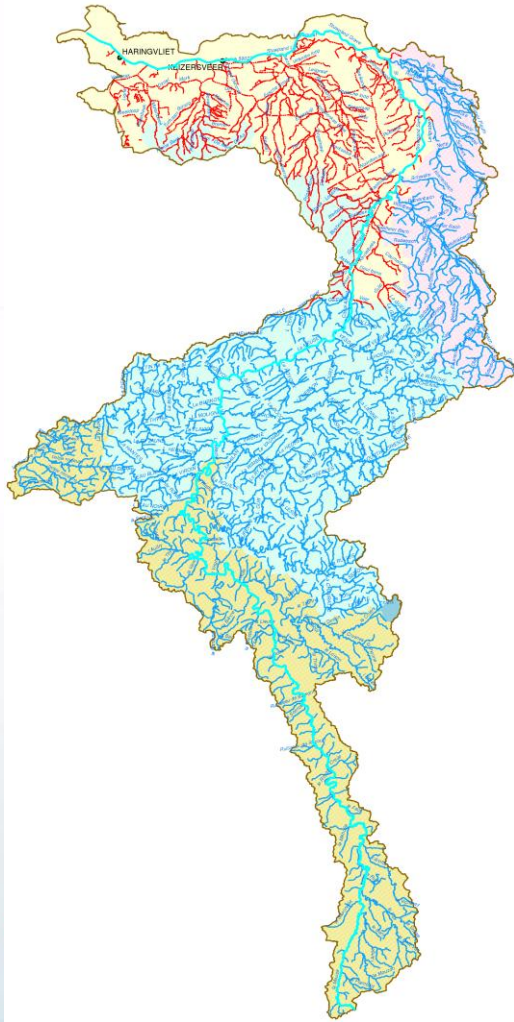
Débit lessivé x concentration lessivage

Possibilité couplage avec modèles sols



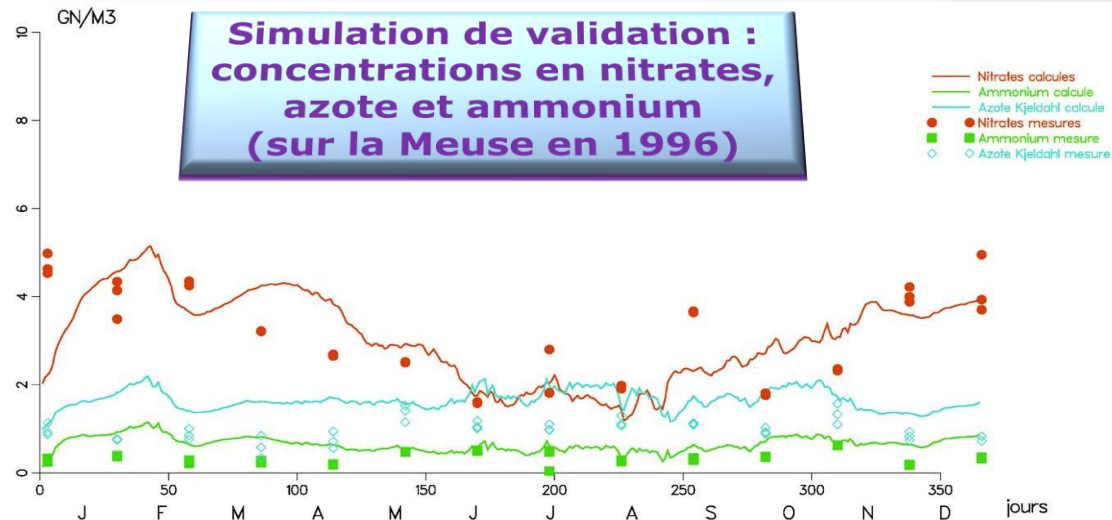
PEGASE : Exemples de résultats

**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)**

**Simulation de validation :
concentrations en nitrates,
azote et ammonium
(sur la Meuse en 1996)**



PEGASE : Exemples de résultats : DCE



Pôle de recherche et d'expertise en sciences de l'eau

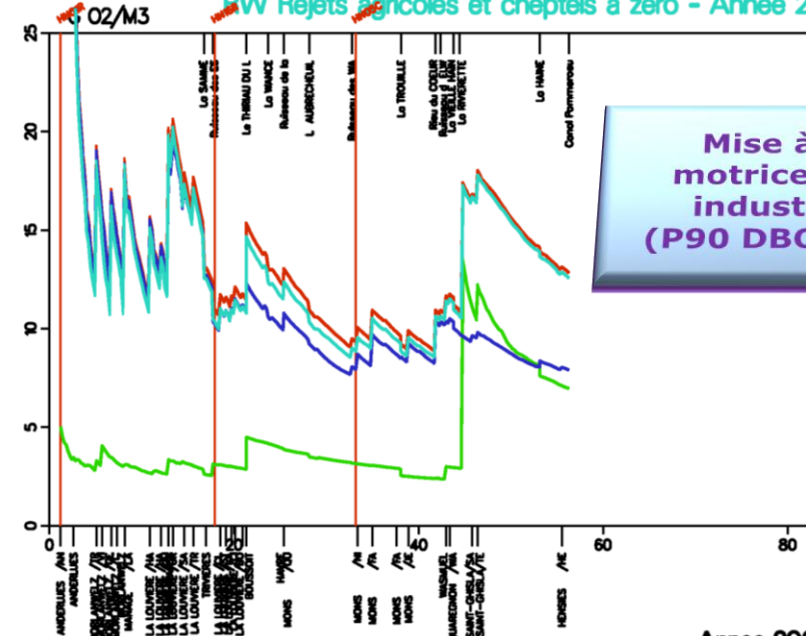
CONCENTRATIONS DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE "DBO5" CARBONE (GO2/M3)

RW Simulation de reference - Region Wallone

RW Rejets urbains a zero - Année 2005

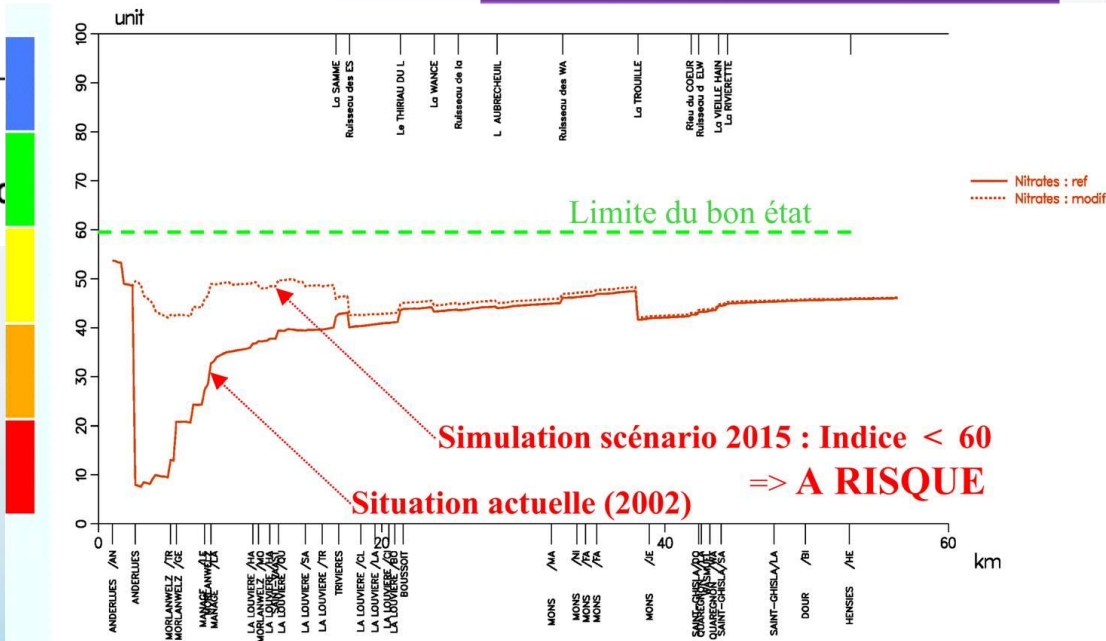
RW Rejets industriels a zero - Année 2005

RW Rejets agricoles et cheptels a zero - Année 2005



Mise à zéro des forces motrices : rejets urbains, industriels et agricoles (P90 DBO5, La Haine, 2005)

Mise en œuvre de la DCE : indice SEQ-Eau nitrates (la Haine)



La HAINE

Année 2005

Utilisation de l'outil de modélisation



✓ contribution pour la mise en œuvre de la directive cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE)

- diagnostic de l'état des masses d'eau des rivières et des canaux avant et après application de différents scénarios de mesures (de base et/ou complémentaires)
- analyses coût – efficacité des différentes combinaisons de mesures possibles
- aide à l'élaboration des programmes de mesures (d'actions)
- extrapolation physiquement basée (spatiale et temporelle) des données recueillies au niveau des sites de surveillance à l'ensemble des masses d'eau

✓ contribution pour les interventions et les expertises spécifiques (bilans, diagnostics, prospectives, ...)

- établissement des priorités d'interventions (par ex. dans le domaine de l'assainissement)
- soutiens techniques des administrations aux actions locales
- études d'impact des rejets des stations d'épuration ou des rejets industriels et urbains
- modulation géographique des aides et redevances
- appui à la définition d'actions au niveau international (bassins transfrontaliers)

PEGASE – COCAINE : Application test



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

Modélisation de la benzoylecgonine (BZE)

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

COWAT

- A permis l'estimation du rejet moyen journalier par habitant
- Concentrations dans les rivières
→ pour validation (exclusivement) des résultats du modèle

PEGASE

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

PEGASE – COCAINE : Application test



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

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 + bassin de l'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)



Avec le soutien de la Région wallonne et du Fédér

L'eau nous fait progresser. Faisons progresser l'eau

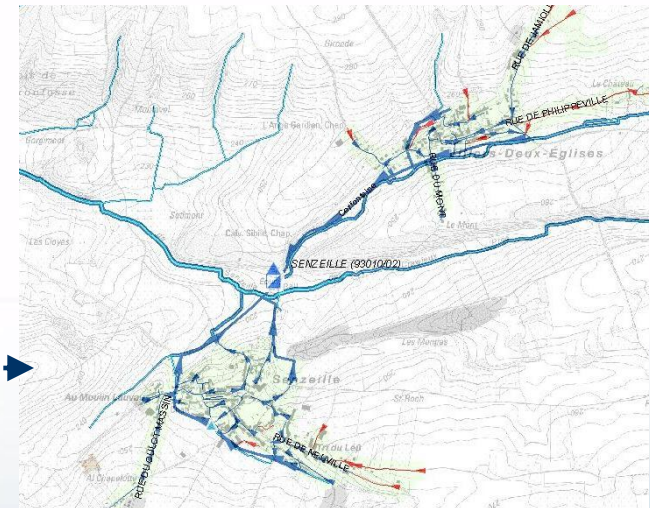
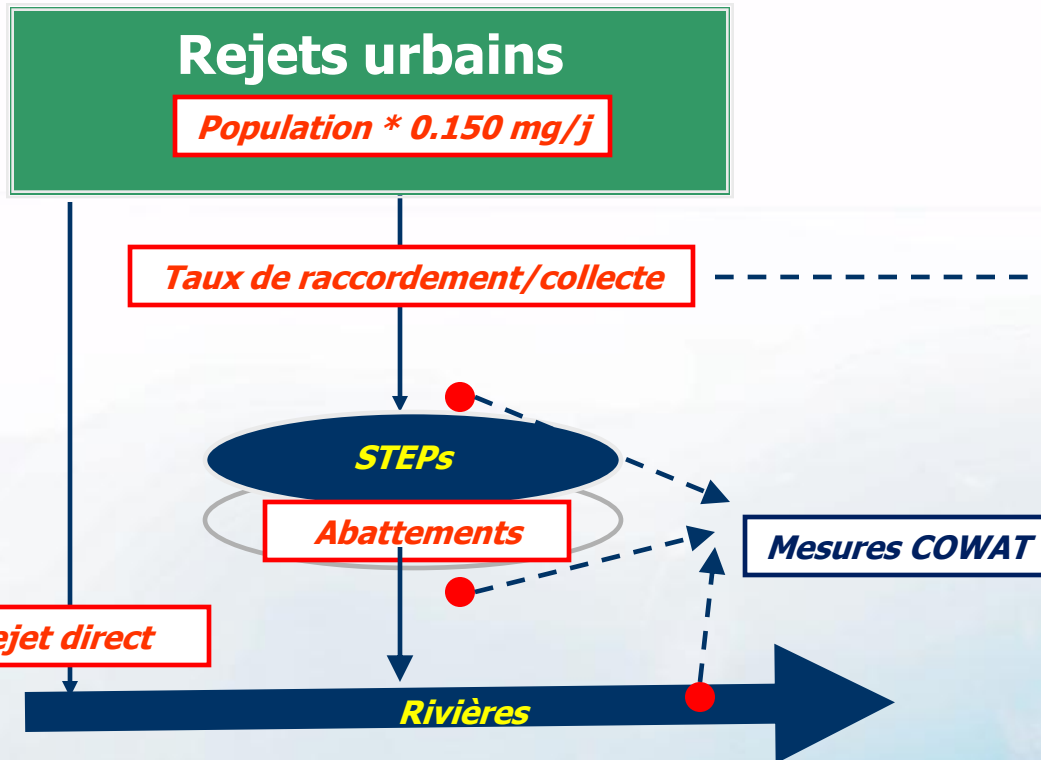
PEGASE – COCAÏNE : Application test



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

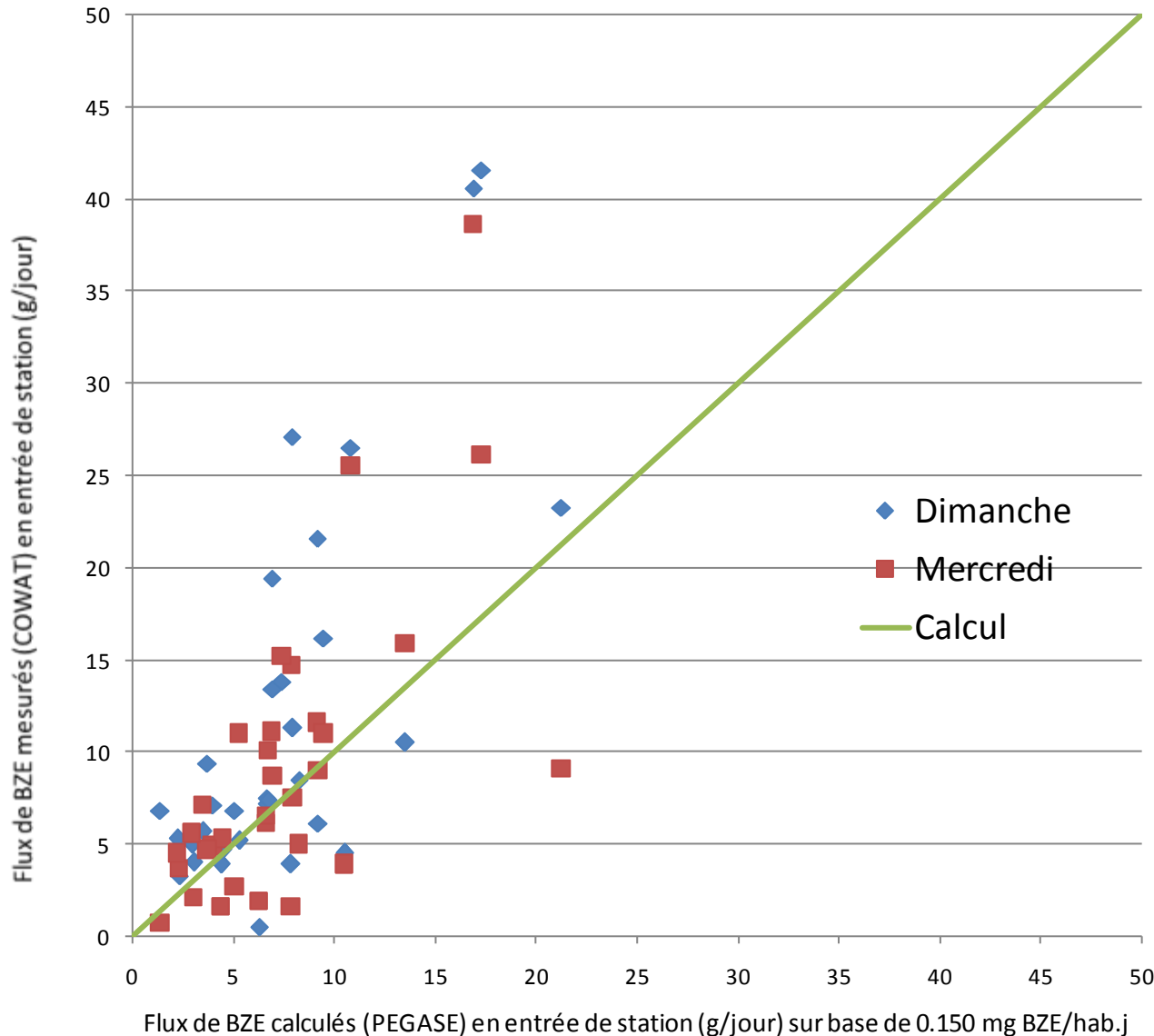
Rejets

- Rejets BZE = rejets urbains (PAS de rejets agricoles, industriels ou diffus)
- Estimation équivalent-habitant : 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)

PEGASE – COCAÏNE : Résultats



Entrées des stations d'épuration :

Comparaison entre les flux PEGASE (sur base EH + PASH) et flux mesurés COWAT :

- Ptes stations : OK
- Gdes stations : sous-estimation des flux (consommation > dans gdes villes)

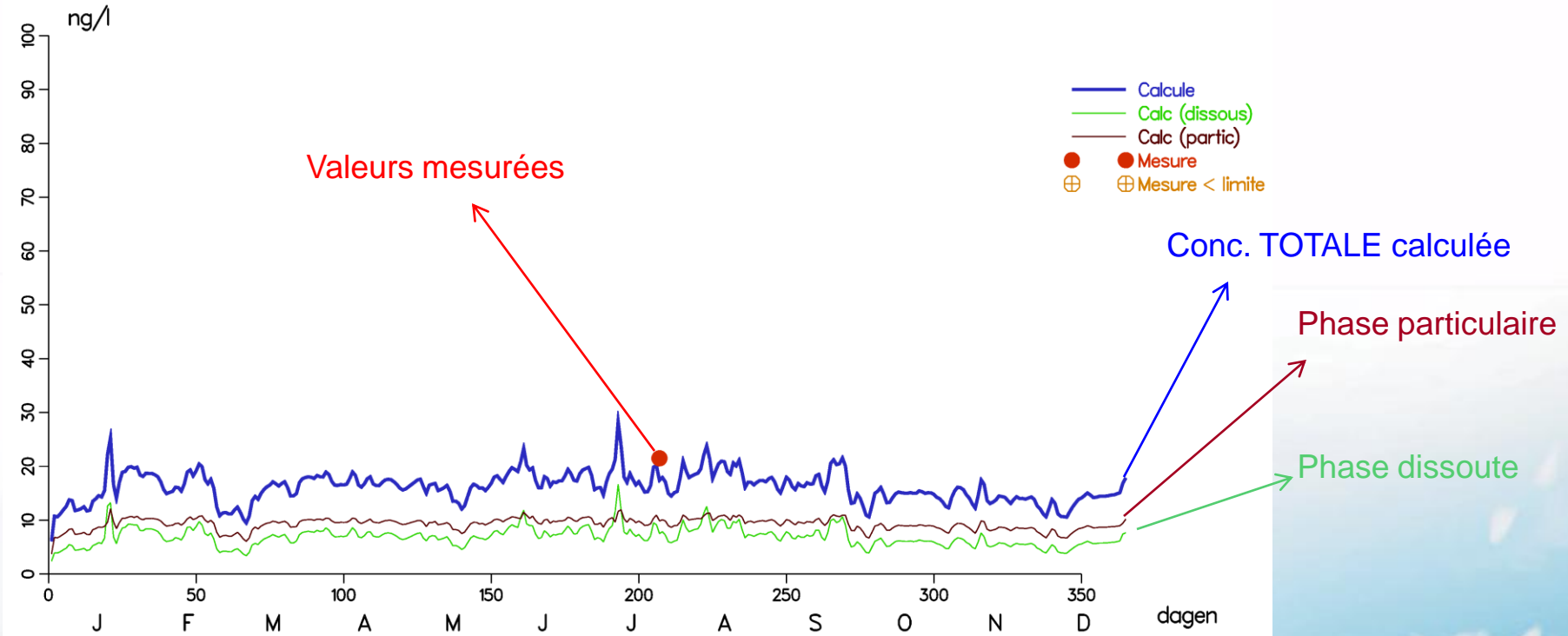
PEGASE – COCAÏNE : Résultats

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



Pôle de recherche et d'expertise en sciences de l'eau

VMM :Simulation cocaine test - annee 2007 -



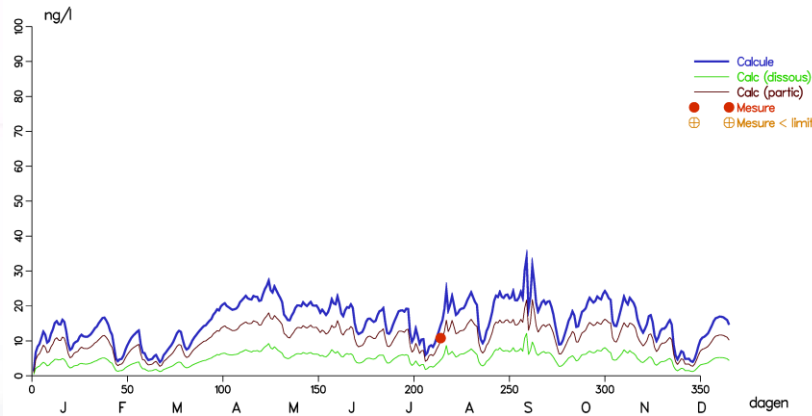
La Dyle à la limite Région Wallonne / Région flamande (km 37.9)

PEGASE – COCAÏNE : Résultats

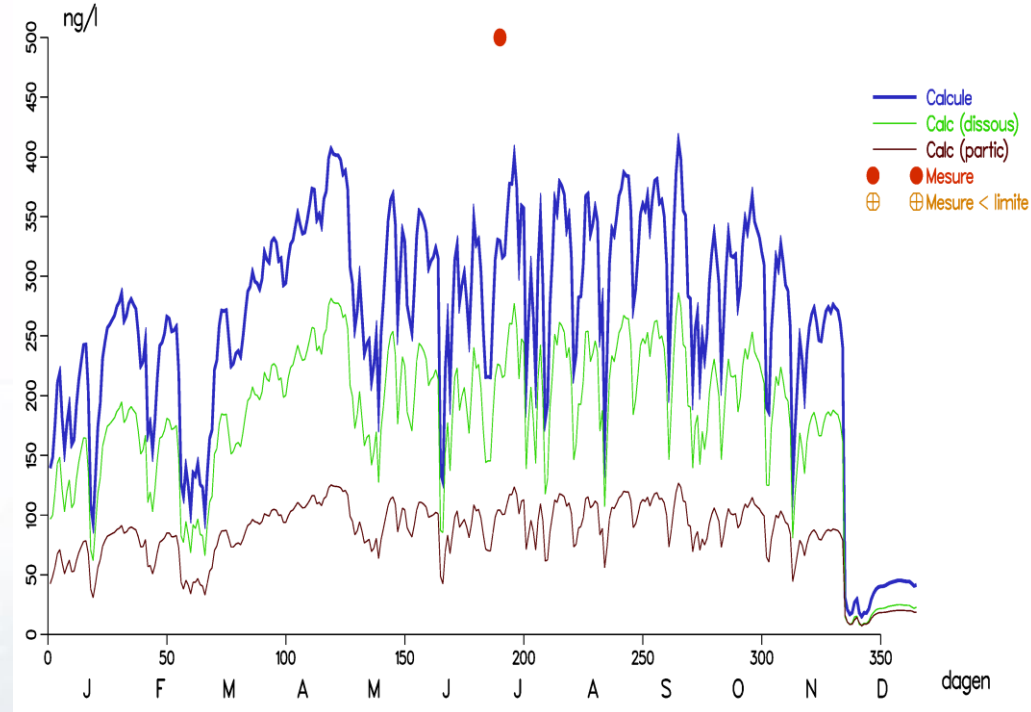
Concentrations de BZE (ng/l) dans les rivières : Evolutions annuelles (année 2007)



Pôle de recherche et d'expertise en sciences de l'eau



L'Escaut à Melle (aval Gand)
Bon accord



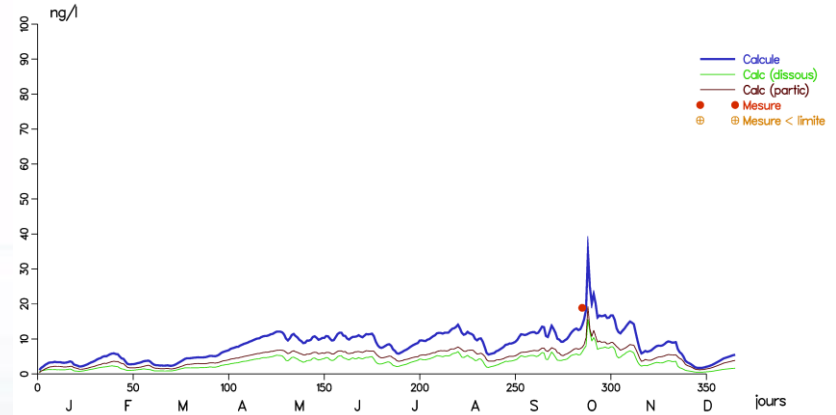
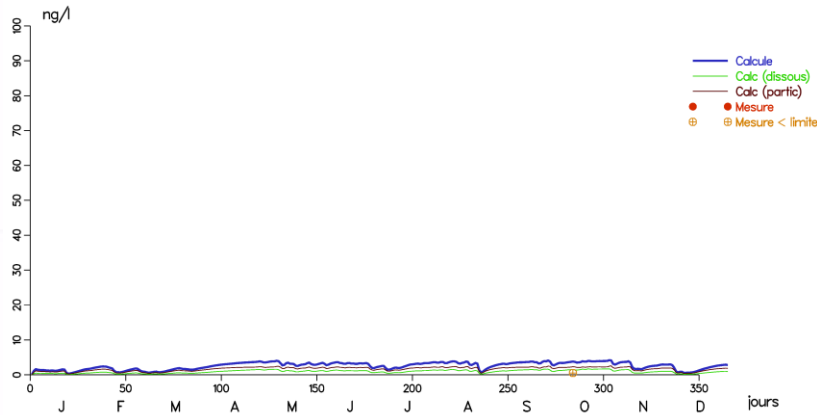
La Senne à Vilvorde (aval Bruxelles)
Sous-estimation des calculs
EH Bruxelles > EH moyen adopté
!!!! Echelle du dessin 5 x + grande)

PEGASE – COCAÏNE : Résultats

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



Pôle de recherche et d'expertise en sciences de l'eau



La Lesse à Gendron (Ardennes)
Concentrations « mesurées » < LD ($0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
Concentrations calculées basses
mais supérieures à la LD

La Meuse à Lanaye
(aval Liège, frontière NL)
Bon accord
NB : Concentrations basses malgré le fait
Que la STEP de Liège n'était pas en
fonctionnement en 2007

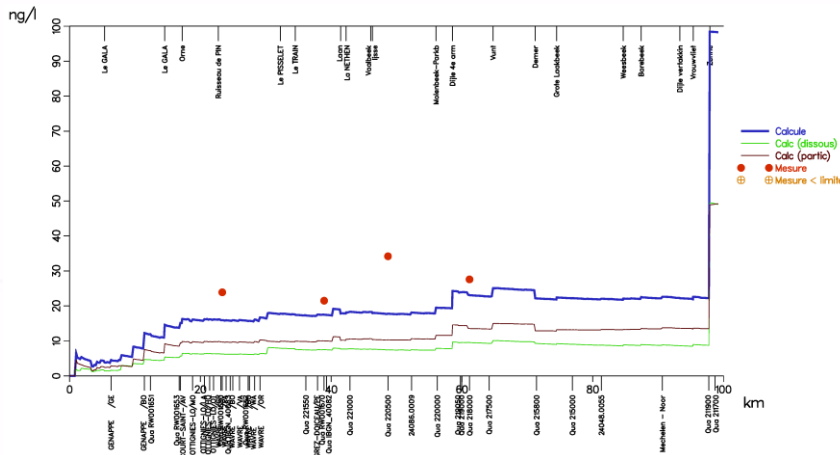
PEGASE – COCAÏNE : Résultats

Concentrations de BZE (ng/l) dans les rivières

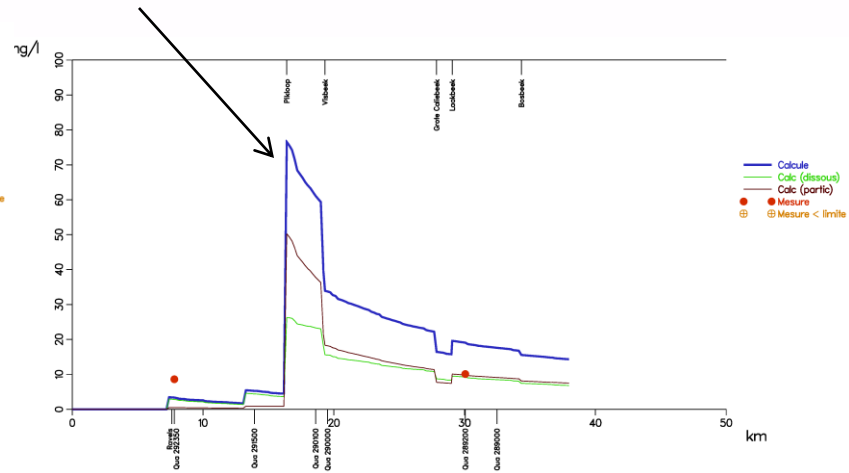
Profils longitudinaux



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau



Turnhout



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

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

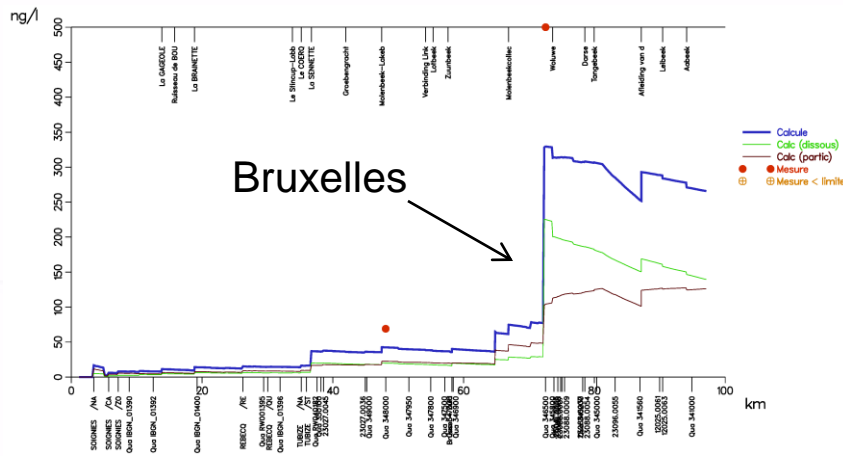
PEGASE – COCAINE : Résultats

Concentrations de BZE (ng/l) dans les rivières

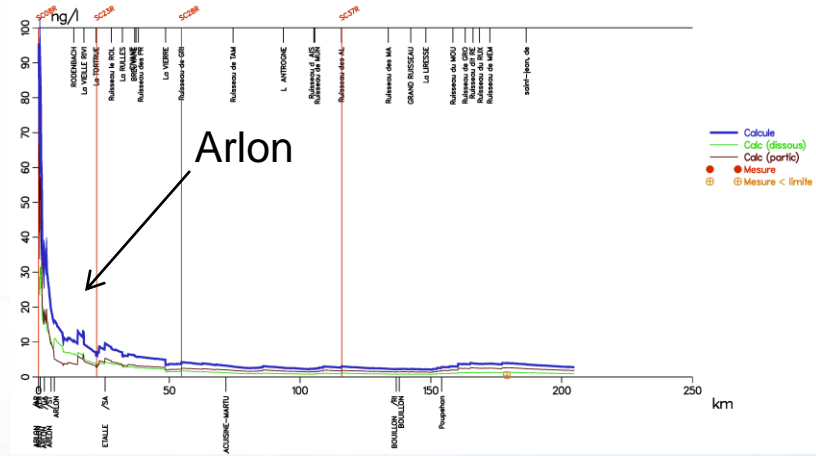
Profils longitudinaux



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau



Bruxelles



Arlon

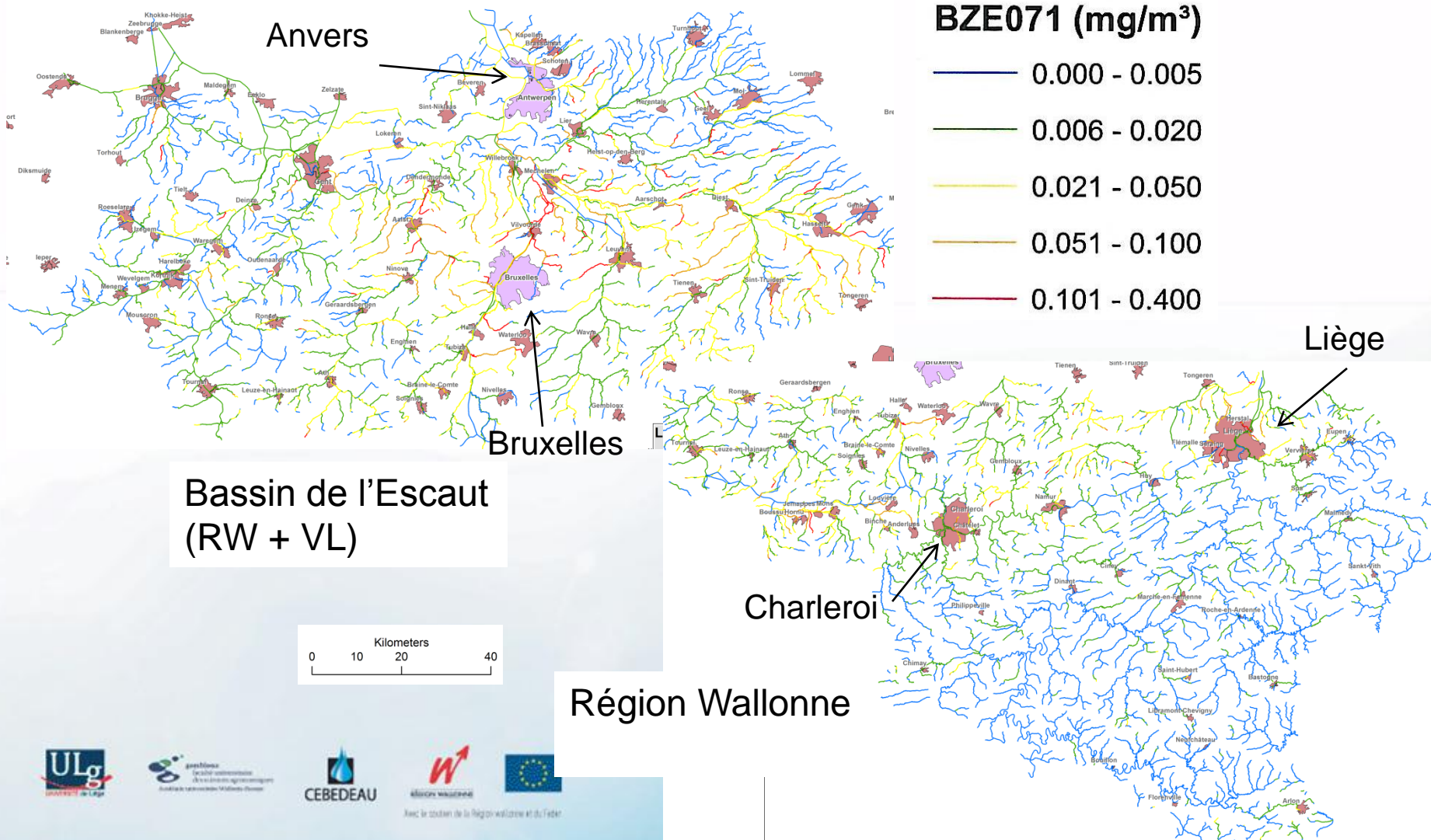
La Senne, 9 juillet 2007
Sous-estimation des calculs
EH Bruxelles > EH moyen adopté
Effet rejets Bruxelles non épurés
!!!! Echelle dessin 5 x + grande

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

PEGASE – COCAINE : Résultats

Concentrations de BZE (mg/m³) dans les rivières

Cartes de concentrations



PEGASE – COCAÏNE : Conclusions



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

- 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
- Possibilité d'estimer par des mesures « en rivière » la consommation de cocaïne (et son évolution dans le temps et dans l'espace)
- Possibilité future d'utiliser le modèle « de manière inverse » → mieux connaître les sources

PEGASE – COCAÏNE : Conclusions

Améliorations souhaitables



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

- **Modification PEGASE → équivalent-habitant « variable » (dans l'espace (gdes villes) et le temps (WE))**
- **Calibration/validation données d'entrée : EH, abattements (gdes et ptes STEPs)**
- **Calibration/validation données « modèle » : dégradation, adsorption/désorption, ...**
- **Extension à d'autres métabolites (résidus médicamenteux, ...)**



Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau



Merci de votre attention



Avec le soutien de la Région wallonne et du Fedex

L'eau nous fait progresser. Faisons progresser l'eau