

Société Royale des Sciences de Liège

Conférence, Liège, le 3 décembre 2010

Modélisation intégrée du cycle de l'Eau :
Méthodologie et perspectives

Jean-François Delière, Aquapôle



Avec le soutien de la
région wallonne et de Liège

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

Introduction



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

Modélisation intégrée du cycle de l'Eau Méthodologie, exemples et perspectives

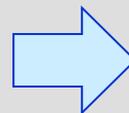
- Objectif : présenter la modélisation intégrée, basée sur une méthode originale et fédératrice
- Contexte : modélisation du cycle de l'eau
- Pré-requis : cycle de l'eau, modèle mathématique, compartiments, base numérique (HW & SW), BDD, ...

Table des matières



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

- Rappels
- Notion d'intégration
 - Pourquoi coupler ?
 - Contraintes
 - Technique d'intégration
- Historique
- Exemples (architectures de type : Mohise, Pégase, Moira, OpenMI)
- Perspectives
 - Développement des outils de modélisation par méthodes intégratrices
 - Opérationnalité : utile & pragmatique

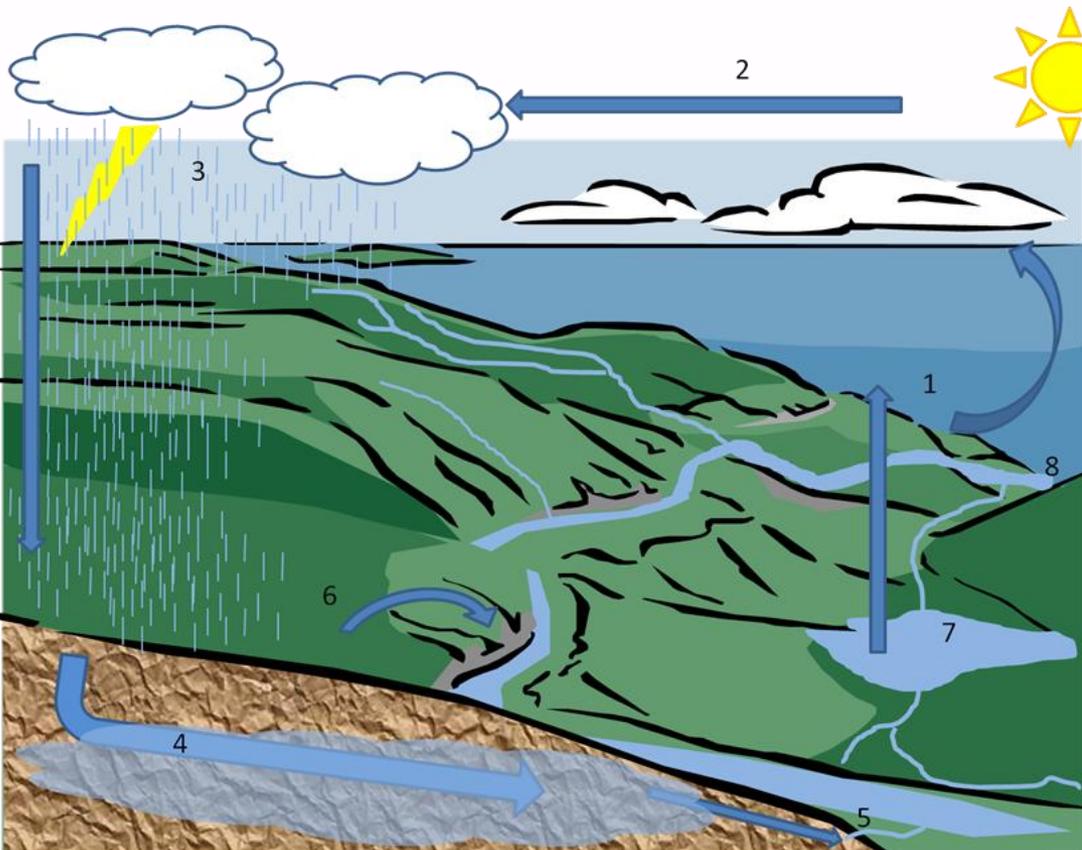


Amélioration GIRE
& pays du Sud

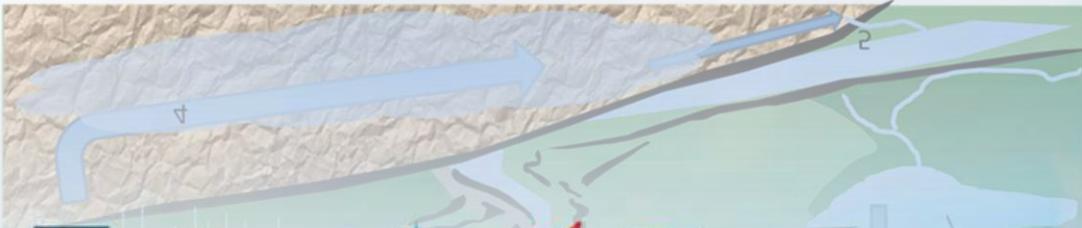
Rappel : Le cycle de l'Eau



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



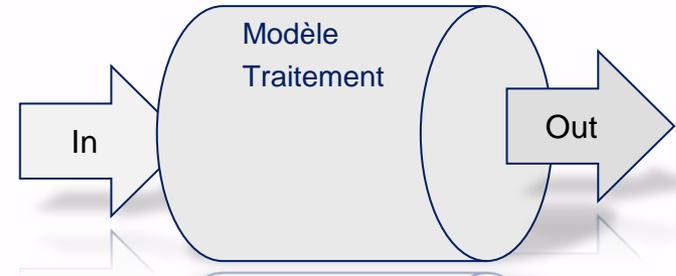
- Évaporation des mers, des rivières et des lacs et transpiration biologique des plantes
- Stockant l'eau sous forme gazeuse et transport par le vent
- Précipitation au dessus des terres (pluie ou neige)
- Une partie des pluies ou de la fonte des glaces s'infiltré dans la terre et séjourne dans les nappes phréatiques (infiltration et/ou percolation)
- Le trop plein de la nappe ressort sous forme de source
- Le reste des pluies ruisselle (ruissellement de surface ou écoulement hypodermique, dans la couche proche de la surface) pour rejoindre les rivières par les berges
- Une partie de l'eau des rivières est stockée dans des lacs. Il y a éventuellement réalimentation des nappes
- Le surplus retourne à la mer



Rappel : La modélisation

- Une représentation de la réalité
 - Liée à la définition des objectifs (pas d'unicité)
 - Buts (e.g. l'eau !) & finalité!
 - Échelles spatiales
 - Échelles temporelles
 - Processus
 - Pour un objectif donné, liée à des choix méthodologiques
 - Schéma numérique (Euler, Lagrange, ...)
 - Typologie de la représentation (physiquement basé, ...)
 - HW, CPU, interface, ...
 - Calibration/validation
 - Outils d'aide à la gestion, à la décision, conception assistée
- ⇒ Scénarii !

Écoulement/transport/ ...



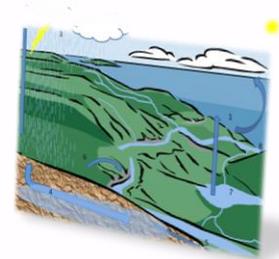
Rappels

Notion d'intégration



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

- Existence de nombreux modèles « compartimentaux »
- Conservation des expertises spécifiques
- Intégration
 - Externe (dé-couplage)
 - Interne directe (facilitation code « oo »)
 - Externe par interface (nombreuses méthodologies aux caractéristiques concurrentielles)
- Tous les modes d'intégration externe, interne directe et interne via interface sont compatibles



Notion d'intégration

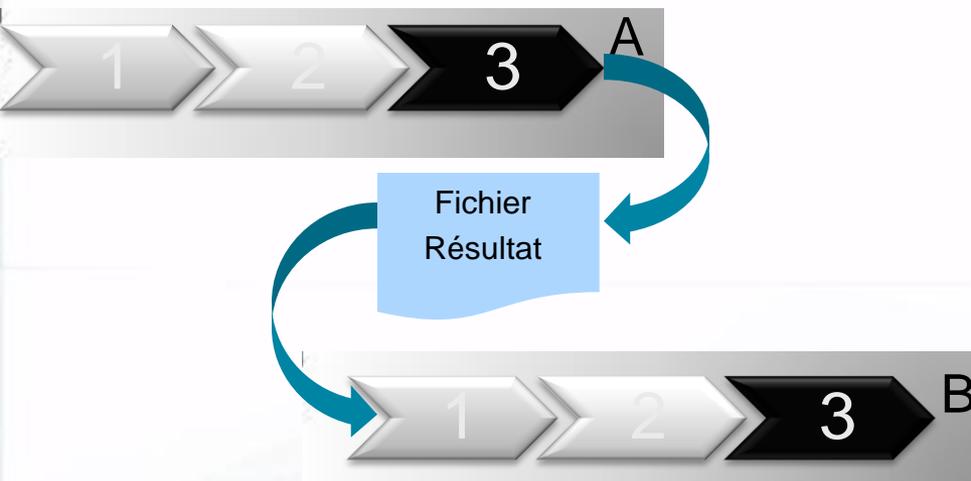
Avec ou sans interface



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

Modélisation Intégrée
Interne ou via interface

Couplage "Externe"



Résultats A → données B

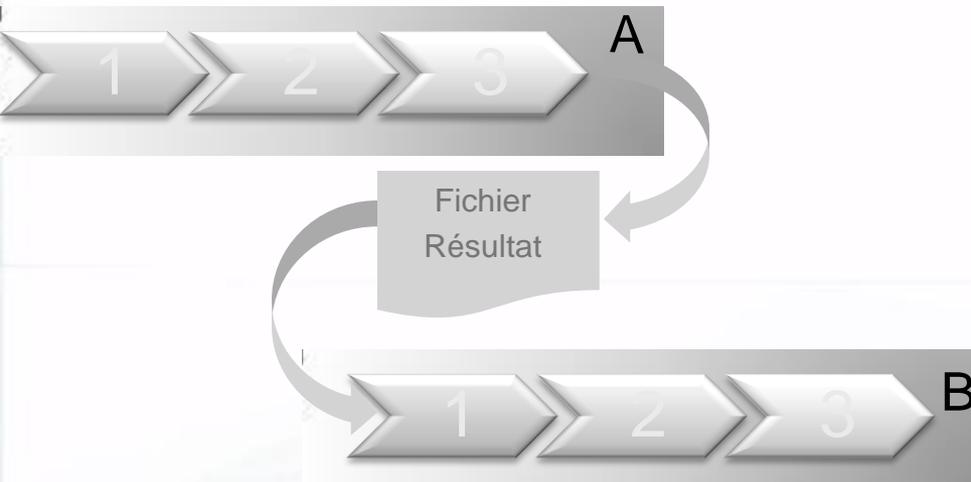
Exécution Séquentielle

Echange par fichiers

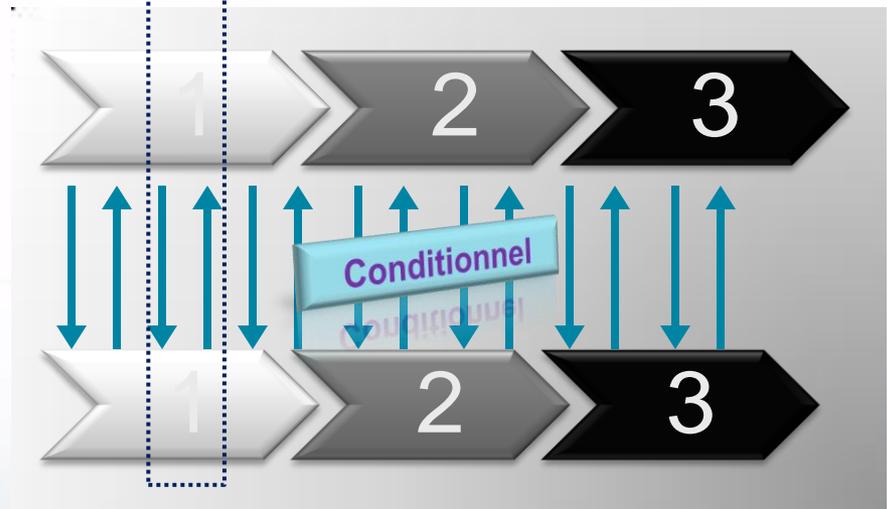
Notion d'intégration

Avec ou sans interface

Couplage "Externe"



Modélisation Intégrée Interne ou via interface



- Résultats A → données B Dialogue direct
- Exécution Séquentielle Exécution Parallèle
- Echange par fichiers Echange bidirectionnel

Pourquoi coupler ?



- Améliorations des modèles / des compartiments / des processus
 - Calcul explicite et déterministe des CLA
 - Couplage d'un modèle sur plusieurs champs d'applications frontalières
 - Pertinence relative à l'accès des BDD
-
- Via une interface : Autorise l'évolution indépendante des modèles (seule l'interface est figée)

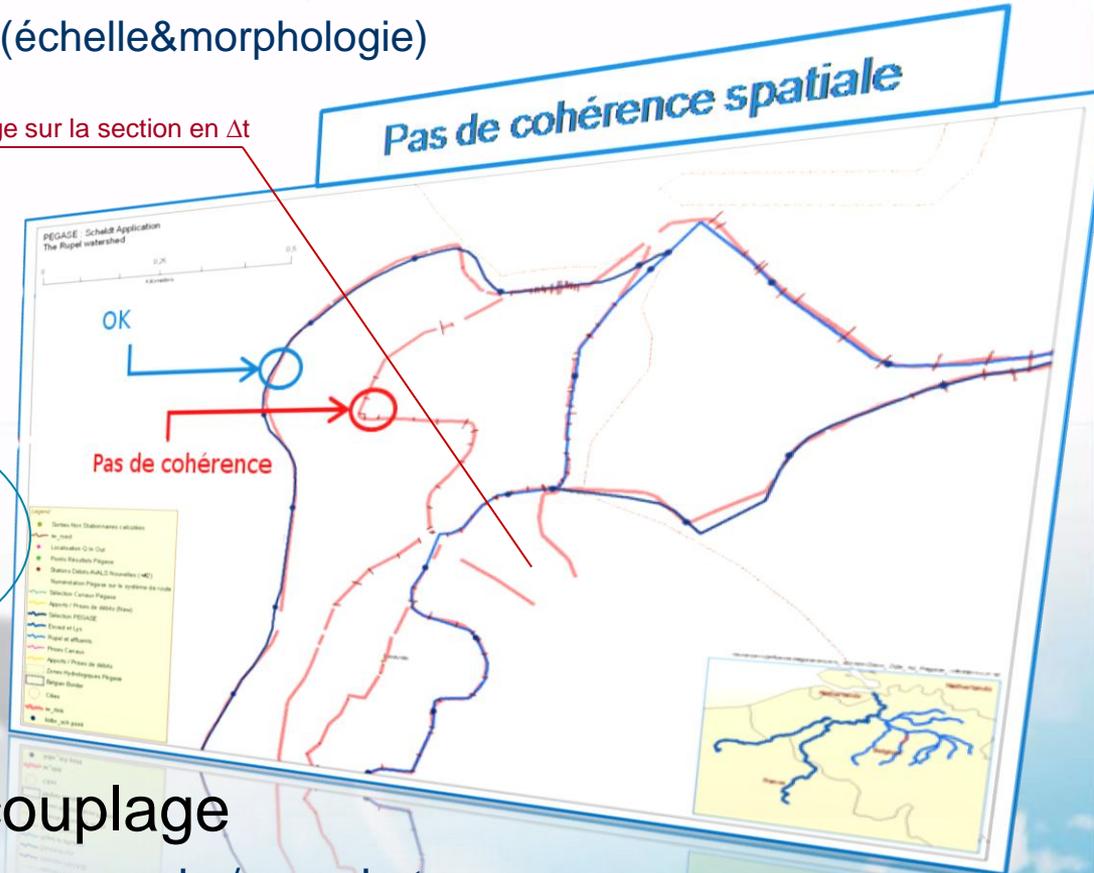


Contraintes

- Différents schémas numériques
- Différentes échelles temporelles (Interne et d'échange)
- Différentes Représentation spatiale (échelle&morphologie)
- BDD à partager

échange sur la section en Δt

Pas de cohérence spatiale



- Résultats exploitables
- Pas de temps d'échange
- Noeuds d'échange

Interface de couplage

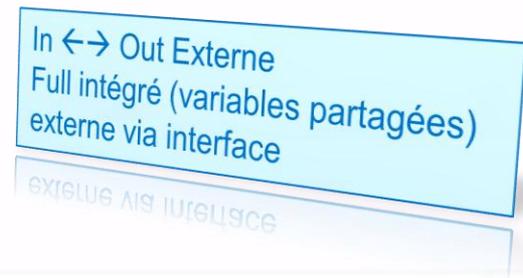
- Répartition entre noeuds / pas de temps
- Transformation des unités

Rappel



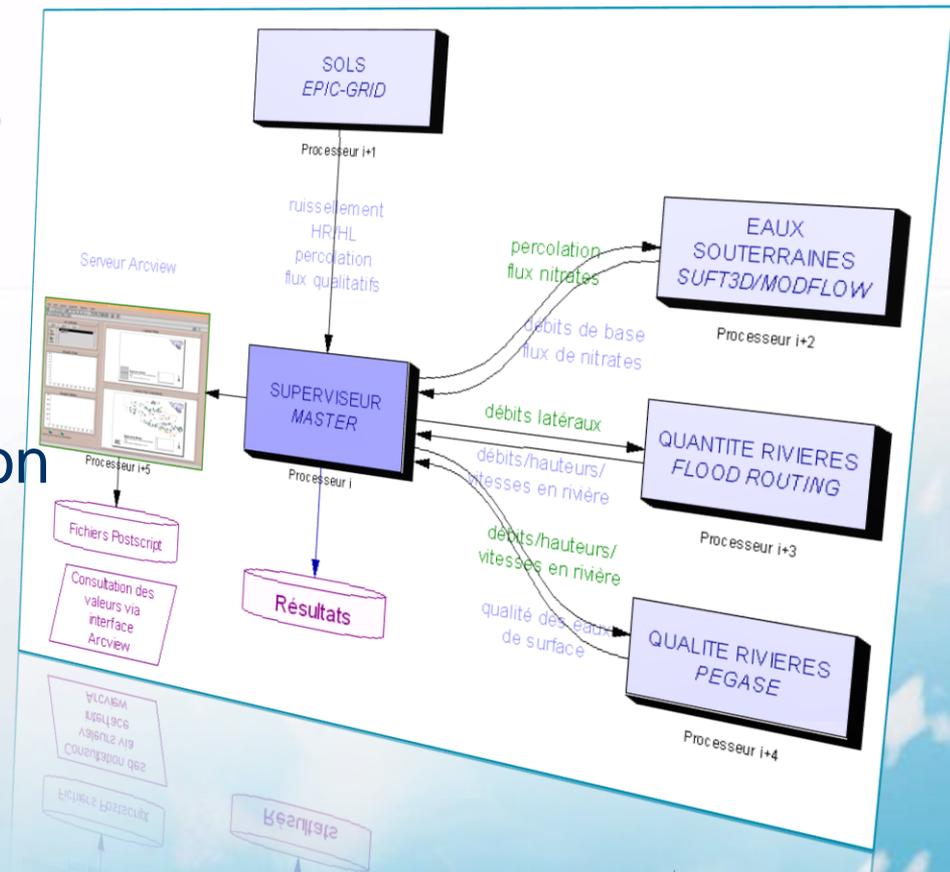
Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

- Rappels
- Notion d'intégration
 - Pourquoi coupler ?
 - Contraintes
 - **Technique d'intégration**
- Historique
- Exemples (architectures de type : Mohise, Pégase, Moira, OpenMI)
- Perspectives



Technique d'intégration par interface

- Couplage par échange de messages entre processus
- Bibliothèques libres de communication (Fortran)
 - 1992 → groupe de travail « Supercomputing '92 »
 - 1994 → MPI v1.1 (Nov 93)
 - 1997 → MPI v1.2 (juillet 97)
- Processus Superviseur
- Messages transitant par le superviseur → optimisation
- Messages
 - Synchrones/asynchrones
 - Bufferisation



Technique d'intégration par interface

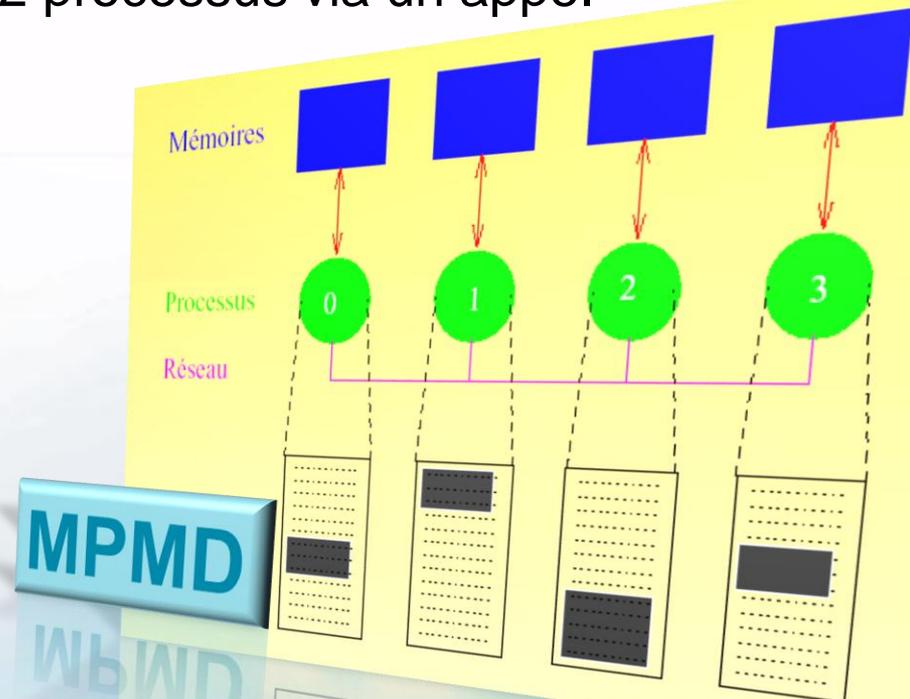
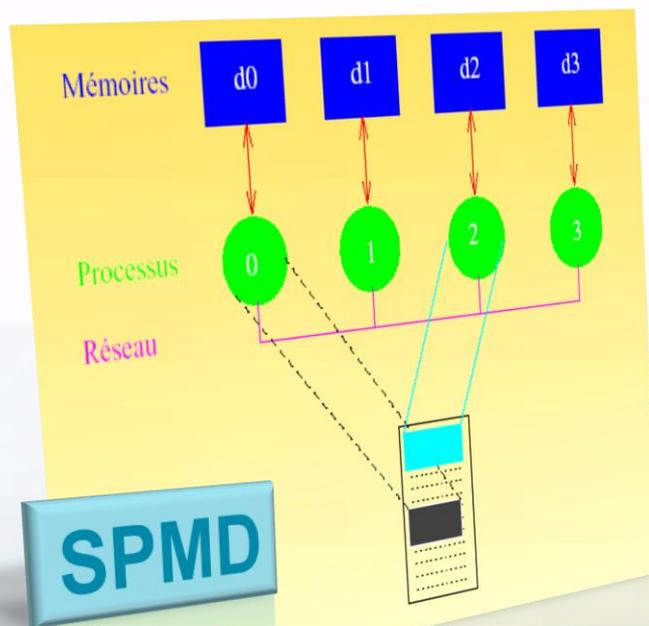
Le modèle d'exécution SPMD et **MPMD** (type MOIRA)

Chaque processus (ou une partie de PGM) est exécuté sur sa BDD

Toutes les variables du PGM sont Privées

Elles résident dans la mémoire locale allouée à chaque processus

Une donnée est échangée entre 2 processus via un appel

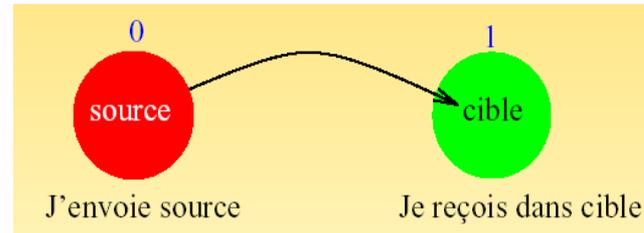


Technique d'intégration par interface

Un message est constitué d'un paquet de données transitant d'un processus émetteur vers un processus récepteur

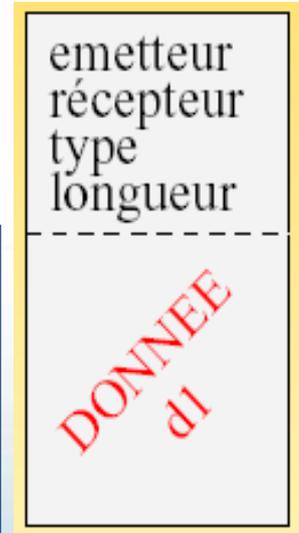
Contient :

- ID émetteur
- Type de donnée
- Taille de la donnée
- ID récepteur



Mise au point d'*algorithmes standards effectuant* pour chaque processus :

l'ouverture des fichiers identifiant la structure MPMD
 les initialisations (identification collective des processus)
 l'initialisation MPI
 la communication allgather des ranks et des IDs
 le broadcasting des paramètres de simulation (dom, sim, ...)



la définition des données dérivées (packages structurés et optimisés)

la procédure d'arrêt coordonné

La synchronisation globale

Historique

∃ de η modèles

Aquapôle : modèles physiquement basé

Externe

- **SEVEX** (années 90)

Interface

- Couplage champs de vent + transport + terme source

- **SALMON** (1994-1998)

Interface

- Couplage Pegase + Estuaire + hydrogéologie sur l'Escaut

- **MOHISE** (1997-2001) MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau

Interface

- Couplage MPI Sol (EPICgrid) + hydrogéologie (SUFT3D/MODFLOW) + rivière (River)

- **MOHICAN** (1996-2002) Modèle Hydrologique Intégré pour le calcul des Crues et l'Amplitude des Niveaux

Interface

- Couplage MPI Hydraulique (FLOOD) + sol (EPICgrid) + hydrogéologie (Ground)

- **MOIRA** (2000-2005) MOdèle Intégré pour les Ressources Aquatiques

- Couplage MPI PEGASE + Sol (EPICgrid) + hydrogéologie (MODFLOW) ←PIRENE

Int/Ext/
Interface

- **PEGASE** (depuis 1980) Planification Et Gestion de l'Assainissement des Eaux

- Modèle intégré interne (Modules Thermiques, Hydro, Qualité et Rejets)

Int/Ext/
Interface

- **AEAG Apports Diffus** (2008)

- Etude de faisabilité couplage modèle sol pour calcul d'apports diffus

Interne

- **OpenMI-Life** (2007-2009) Open Modelling Interface

- Couplage PEGASE-Modèles hydrauliques par interface standard

- **Etc**

MOHISE

MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
Projet SSTC, Impact des changements climatiques



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

Méthodologie

Evaluer les modifications possibles du fonctionnement futur de ces systèmes hydrologiques en simulant l'effet de scénarios climatiques établis au niveau international

- 3 bassins versants belges à la dynamique différente
Geer, Gette, Ourthe
- 3 modèles différents et comparaison de leurs réponses
- Modèle Ulg : intégré via interface, 3 compartiments (4 modules) + 1 superviseur
- Sélection de scénarios IPPC
(Intergovernmental Panel on Climate Change)
- → upscaling à l'échelles des 3 BV sélectionnés

- 1) Modèle IRMB (IRM/KMI)
- 2) Modèle MIKE-SHE (ILWM/KUL)
- 3) Modèle MOHISE (HA/FUSAGx, LGIH/ULg, HG/KUL, CEME/ULg)

| BV/Modèles | IRMB | MIKE-She | MOHISE |
|--|------|----------|--------|
| Gette à Budingem (5786 km ²) | X | X | X |
| Geer à Kanne (466 km ²) | - | X | X |
| Ourthe orientale à Mabompré (315 km ²) | X | - | X |

MOHISE

MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
Projet SSTC, Impact des changements climatiques



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

Partim MOHISE

Δt alimentation latérale : 1j ou décadaire (Q base)
1j transférée h/h (surface)

Simulation non stationnaire
(période d'étiage et de hautes eaux)

Période de simulation effective : 27 ans (1969 - 1996)
Mise en régime de EPIC (2ans) et hydrogéologique

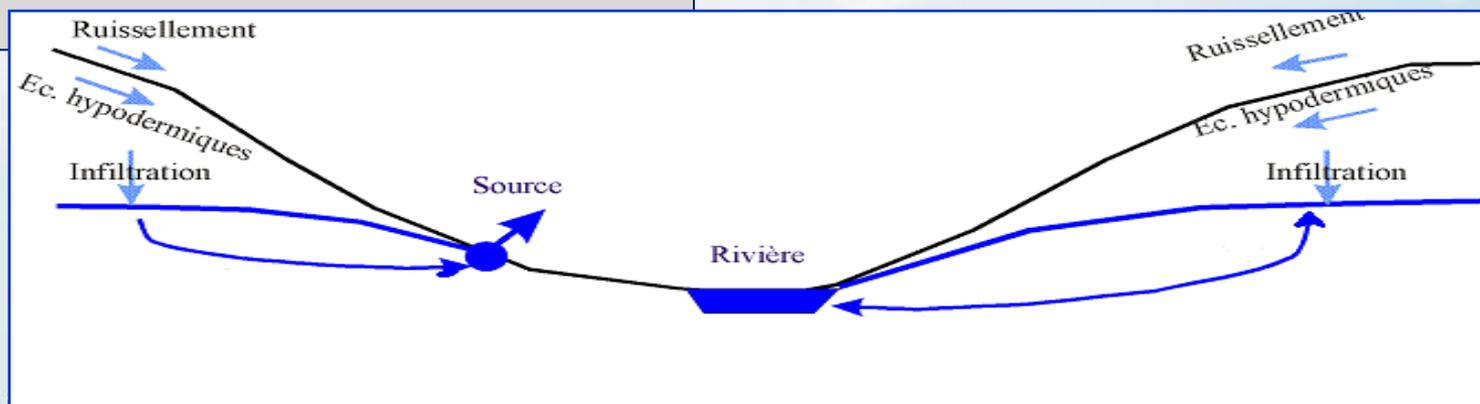
Scénarios historiques période 1969 – 1995
Scénarios changements climatiques
(3 x 27 ans)

Transferts

BV → Rivières Ruissellement
Hypodermique Rapide
Hypodermique Lent

BV → Hydrogéologie Percolation

Rivières → Hydrogéologie
Hauteur d'eau en rivière
H piézométrique de la nappe → Q



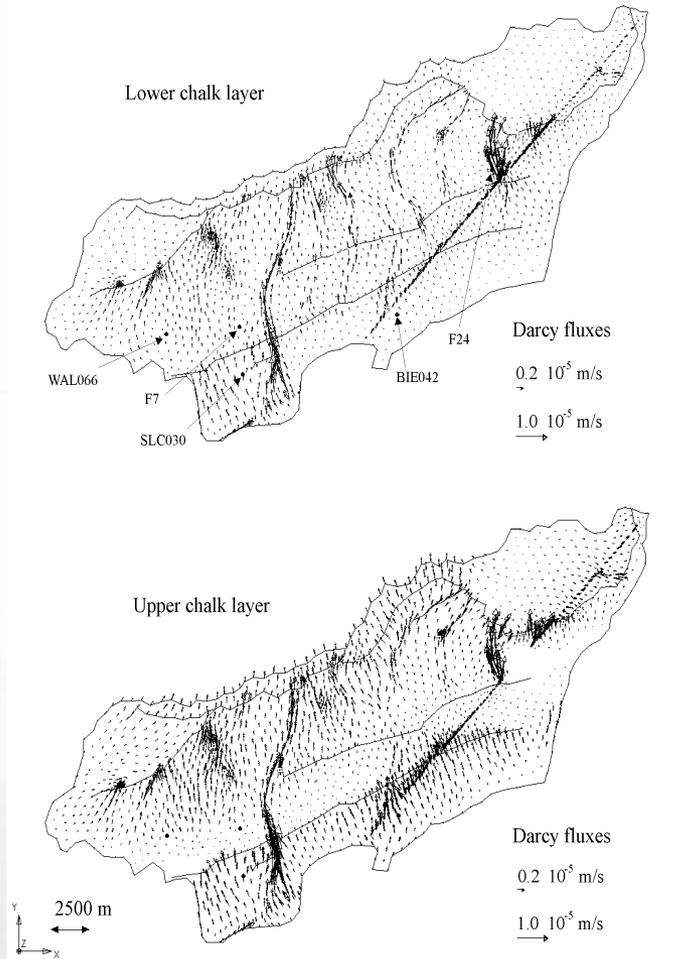
MOHISE

MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
Projet SSTC, Impact des changements climatiques



Pôle de recherche
en sciences de l'eau

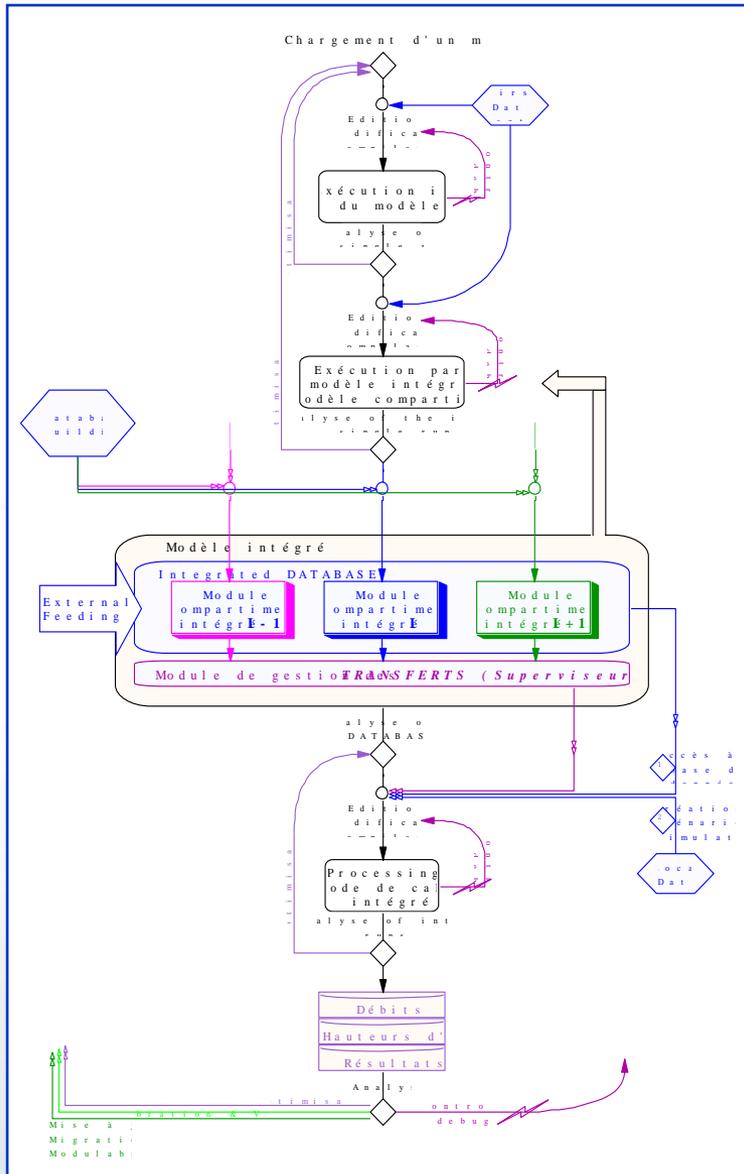
Couplage bi-directionnel Eaux souterraines - Eaux de Surface



- Vérification et modification éventuelle de la sélection des rivières
- Corrections Altimétriques éventuelles
- Couplage avec *MODFLOW* ou *SUFT3D*
- Vérification de la Conservation des échanges avec les Eaux Souterraines en raison du Couplage entre les schémas explicite et implicite (1 à 10 jours)

MOHISE

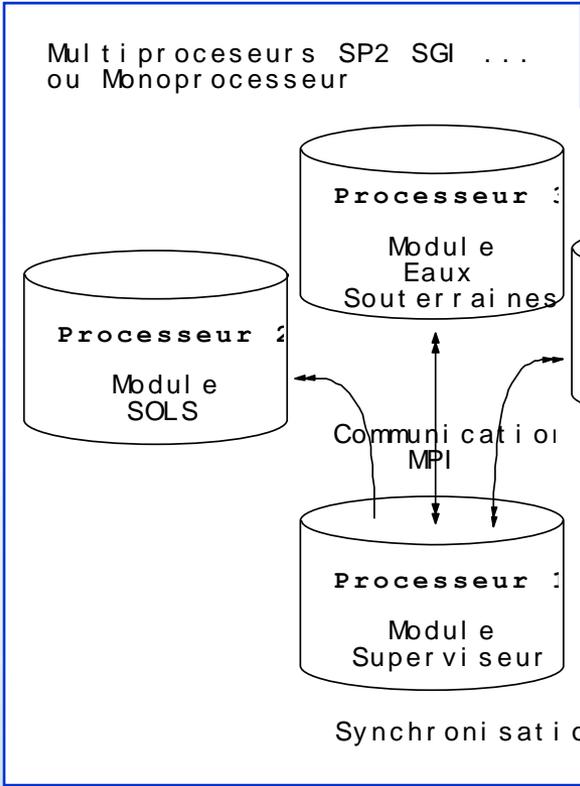
MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
 Projet SSTC, Impact des changements climatiques



Architecture

1 à 4 Processeurs
 Parallel Environment, MPI, PVM
 RAM : de 220 Mb à 434 Mb

Temps calcul (25 ans)
 Geer 100h (4-5j)
 Gette +/- 5j
 Ourthe 196 h (8j)



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

MOHISE

MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
Projet SSTC, Impact des changements climatiques

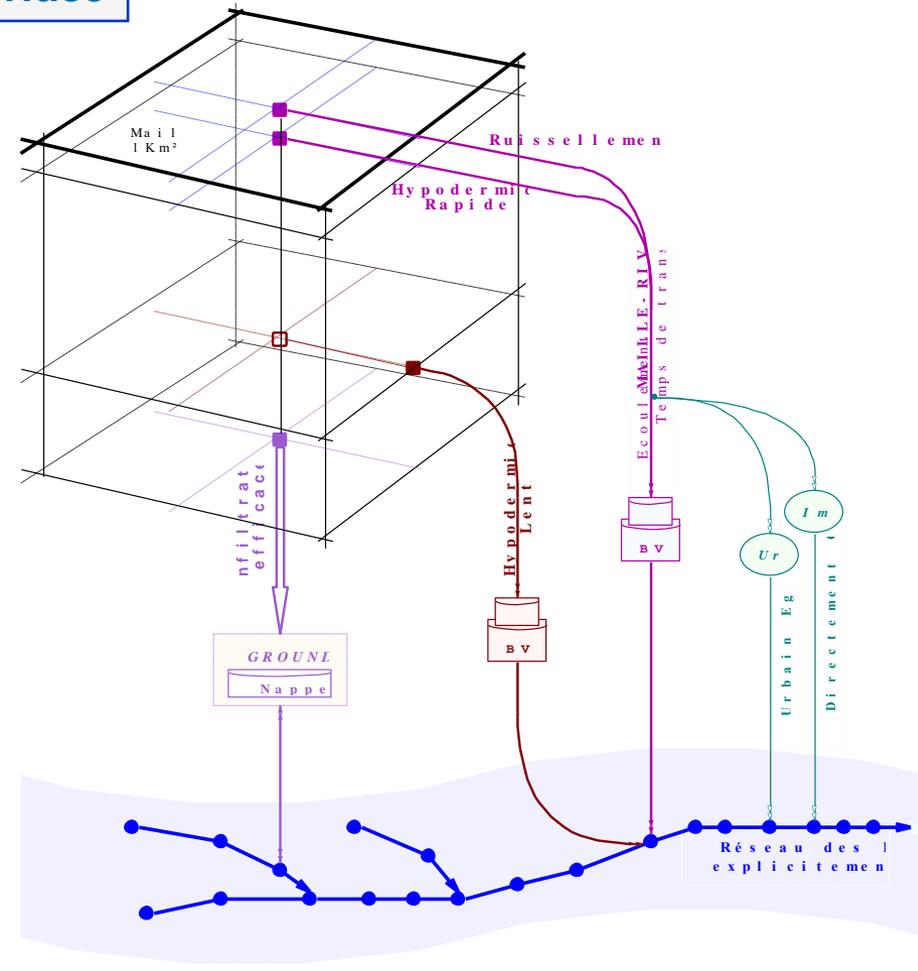
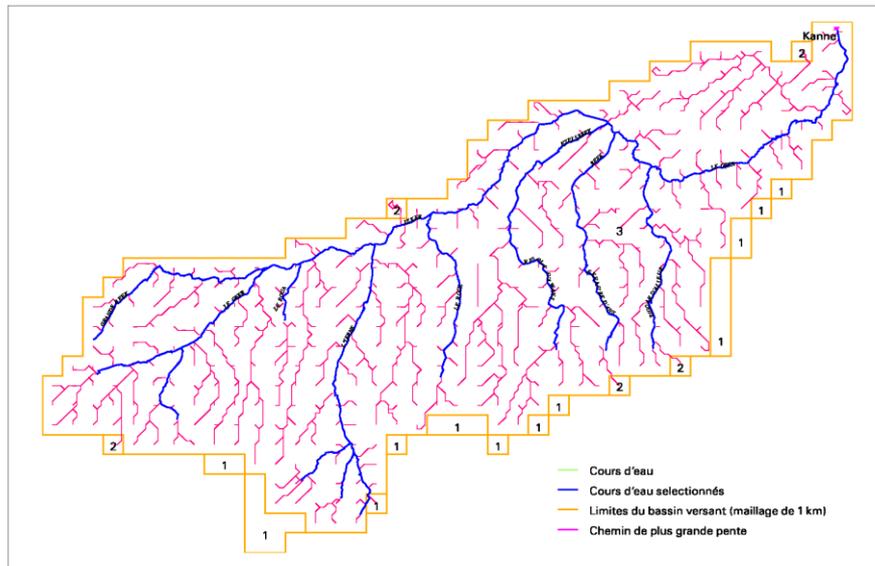


Pôle de recherche
et d'expertise en sciences de l'eau

Discrétisations spatiale et temporelle

- Δx : BV 1 km² → rivière 200 m
 BV 1 km² → hydrogéologie variable
 Hydrogéologie variable → Riv 200m
- Δt : « sols » : 24h
 « eaux souterraines » : 1j ou 10j
 « rivière » : 1h

Rôle de l'interface



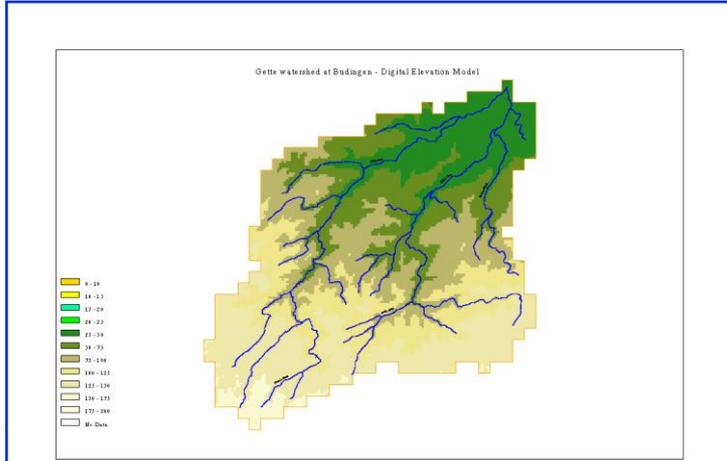
MOHISE

MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
 Projet SSTC, Impact des changements climatiques

Données d'entrée : MNT → altimétrie



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



MOHISE

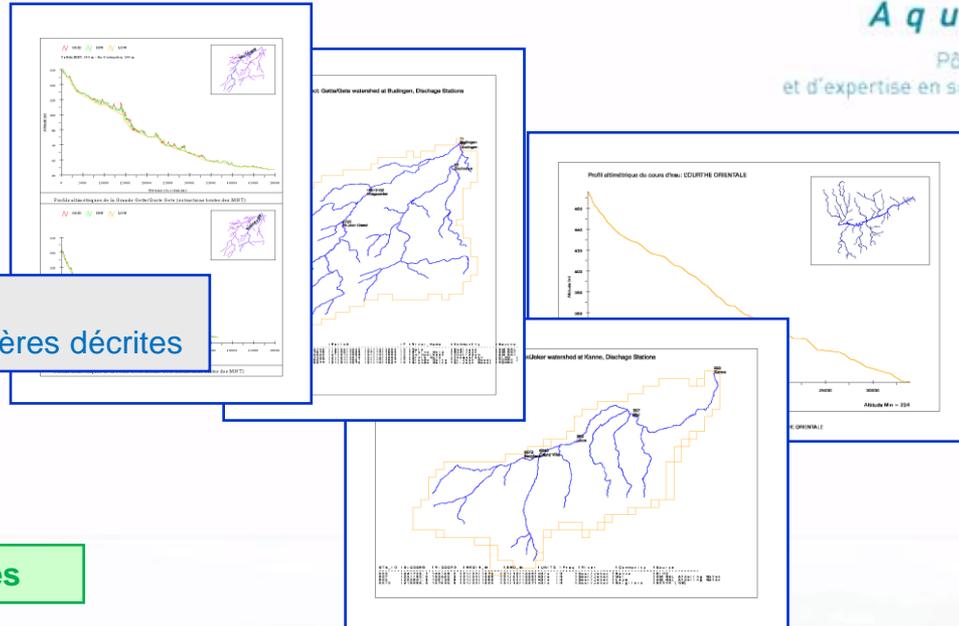
MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
 Projet SSTC, Impact des changements climatiques



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

MOHISE
 Résultats scénario historique

Sorties valeurs horaires v , h , q
 en tout point du réseau des rivières décrites



| Stn. ID | x | y | NCM4 | QNS | F River | Noms | Station |
|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------------|----------------|
| Gette | | | | | | | |
| 01 | 270200 | 171100 | 190883 | 311206 | 0 | Gette | Dudingen |
| 02 | 269100 | 171000 | 190883 | 271206 | 0 | Kleine Gette | Dudingen |
| 03 | 267200 | 168100 | 010196 | 311206 | 0 | Dormaelbeek | Dudingen |
| 1300100 | 168000 | 159100 | 010199 | 311206 | 0 | Grote Gette | Dudingen |
| 070 | 168000 | 160100 | 010187 | 311207 | 0 | Grande Gette | St-Jean-Cappel |
| 075 | 168000 | 160100 | 010170 | 311207 | 0 | Grande Gette | St-Jean-Cappel |
| Geer | | | | | | | |
| 001 | 162100 | 160100 | 010195 | 311206 | 0 | Geer/Jeker | Warem |
| 002 | 162100 | 160100 | 010196 | 010196 | 0 | Geer/Jeker | Warem |
| 003 | 162100 | 160100 | 010196 | 010196 | 0 | Geer/Jeker | Warem |
| 004 | 162100 | 160100 | 010196 | 010196 | 0 | Geer/Jeker | Warem |
| 005 | 162100 | 160100 | 010196 | 311207 | 0 | Geer/Jeker | Warem |
| Ourthe | | | | | | | |
| 001 | 000000 | 000000 | 010178 | 311206 | 0 | Ourthe Orient | Deboverend |
| 002 | 000000 | 000000 | 000000 | 311207 | 0 | Ourthe Orient | Deboverend |

Débits observés

Analyse des résultats sur le scénario historique
 Période 1971 - 1995

- Mean annual discharge
- Mean monthly discharge
- Statistical criteria (5)
 - Extreme value (min/max)
 - Fréchet (min.) and Gumbel (max.) regression
 - Percentiles 5 and 95 (annual)
- Daily hydrographs for the years 1989 and 1995
- Piezometric level time series

MOHISE

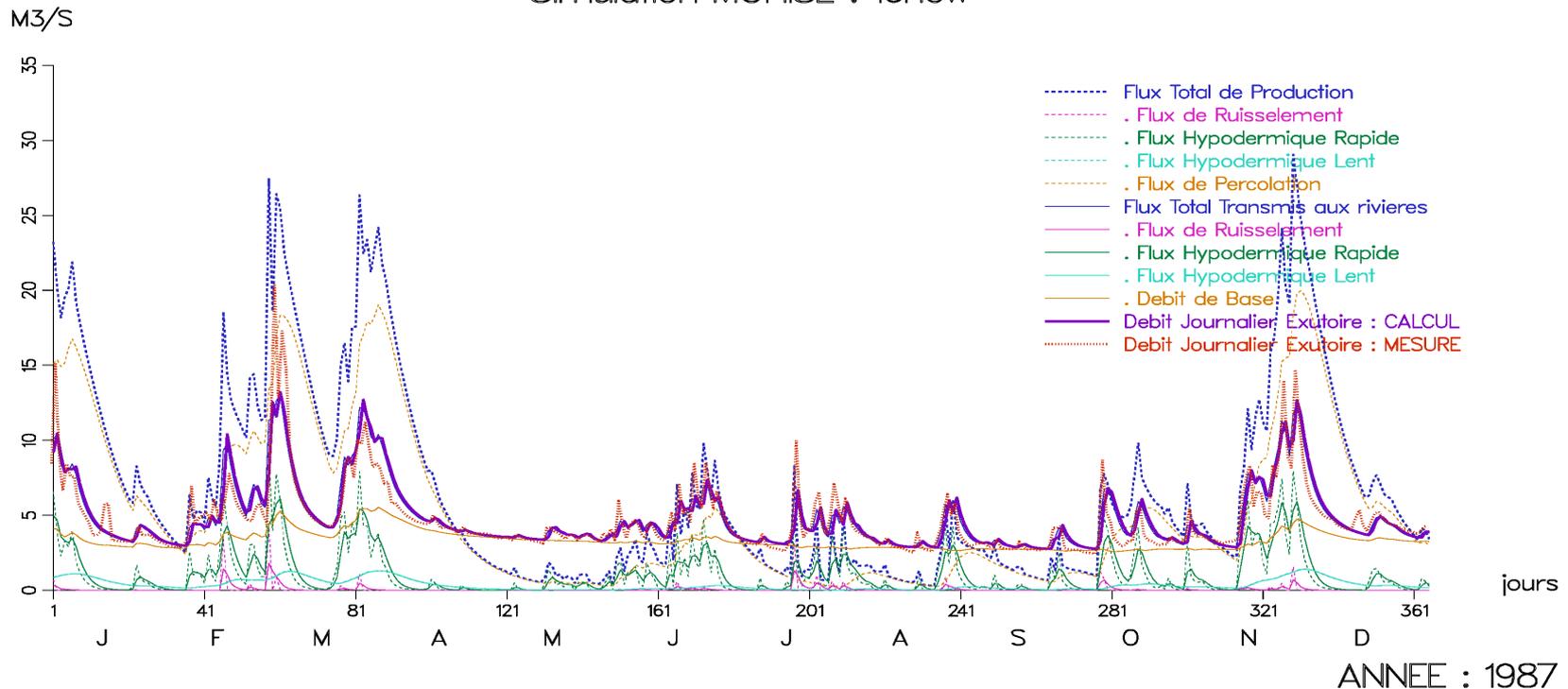
MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
Projet SSTC, Impact des changements climatiques



MOHISE
Résultats scénario historique

RESULTATS MOHISE: BASSIN DE LA GETTE

Debits totaux transférés par le Master
Simulation MOHISE : 16new



Get 16 ans : $A1=1/A2=.5/Tr=12h$
Mon Sep 4 16:01:38 CET 2000

MOHISE

MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
 Projet SSTC, Impact des changements climatiques

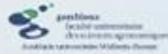
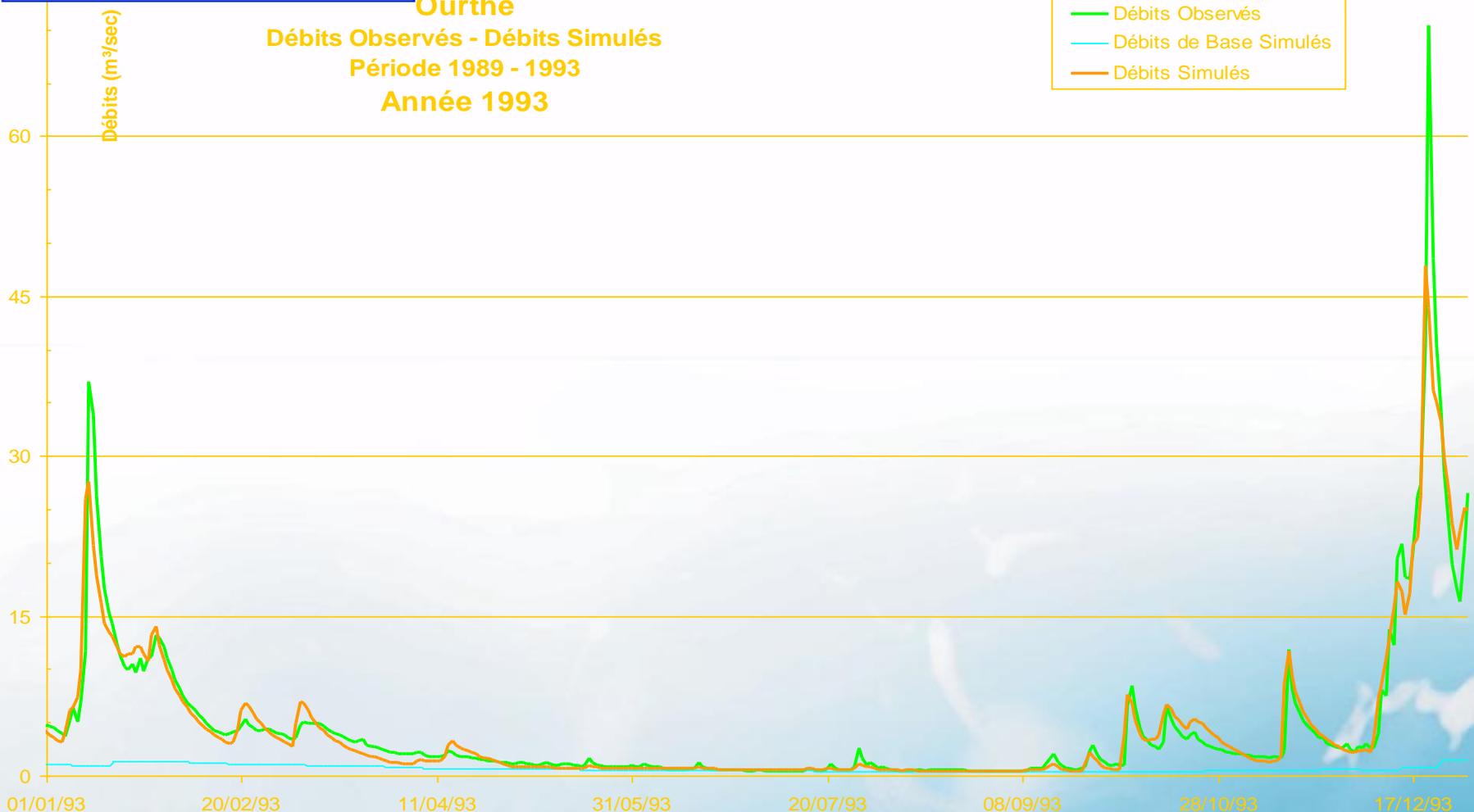


Pôle de recherche
 et d'expertise en sciences de l'eau

MOHISE
 Résultats scénario historique

Ourthe

Débits Observés - Débits Simulés
 Période 1989 - 1993
 Année 1993



Avec le soutien de la Région wallonne et du Fédér

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

Société Royale des Sciences de Liège, 3 décembre 2010

MOHISE

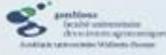
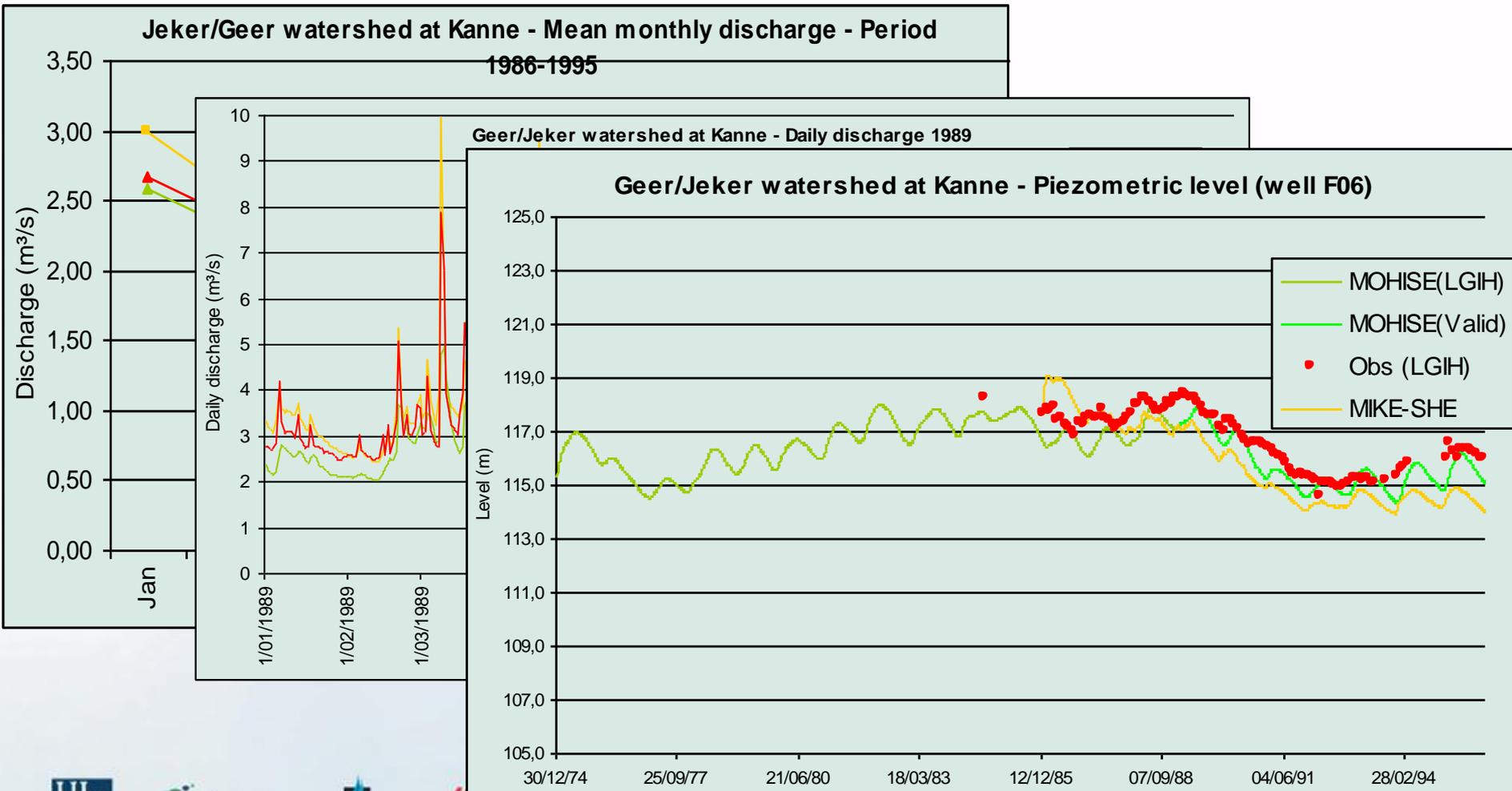
MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
 Projet SSTC, Impact des changements climatiques



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

MOHISE / MIKE SHE / IRMB

Comparaison des modèles sous le scénario historique



Avec le soutien de la Région wallonne et du Fédér

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

Société Royale des Sciences de Liège, 3 décembre 2010

MOHISE

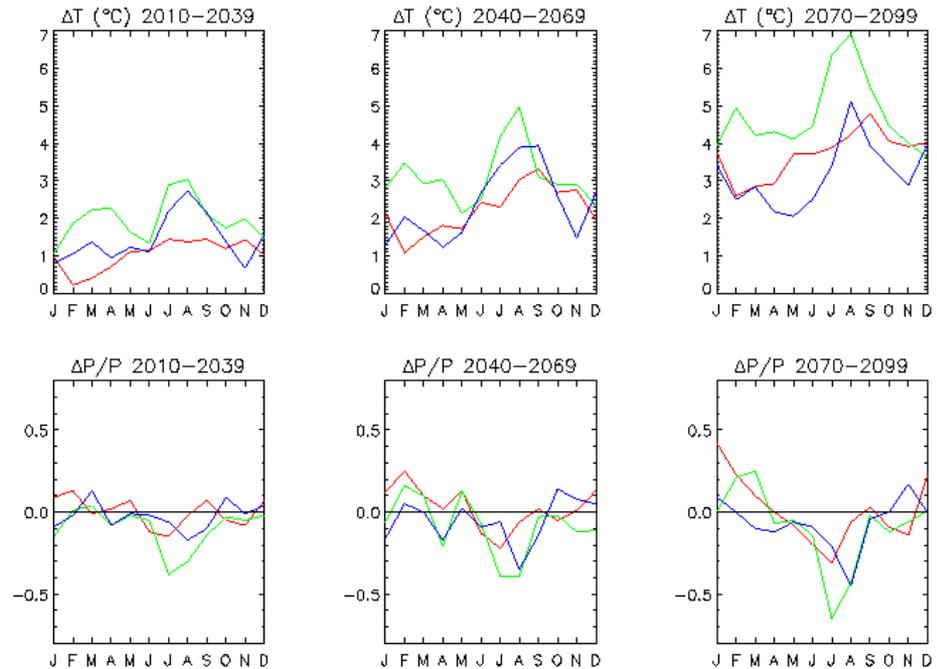
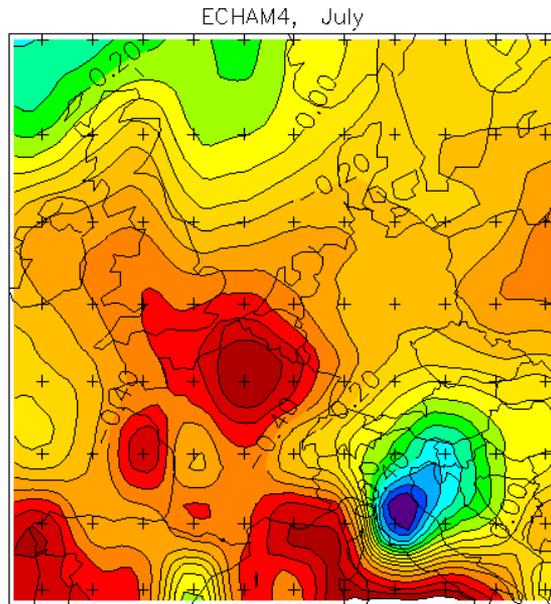
MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
Projet SSTC, Impact des changements climatiques



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

MOHISE
Impacts changements climatiques

Changements climatiques :
 3 scénarios IPCC
 (Intergovernmental Panel on Climate Change)



Echam 4 German Climate Research Center
 HadCM2 UK HadleybCenter for Climate
 Prediction and Research
 CGCM1 Canadian Center for Climate
 Modelling and Analysis



Avec le soutien de la Région wallonne et du Fédér

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

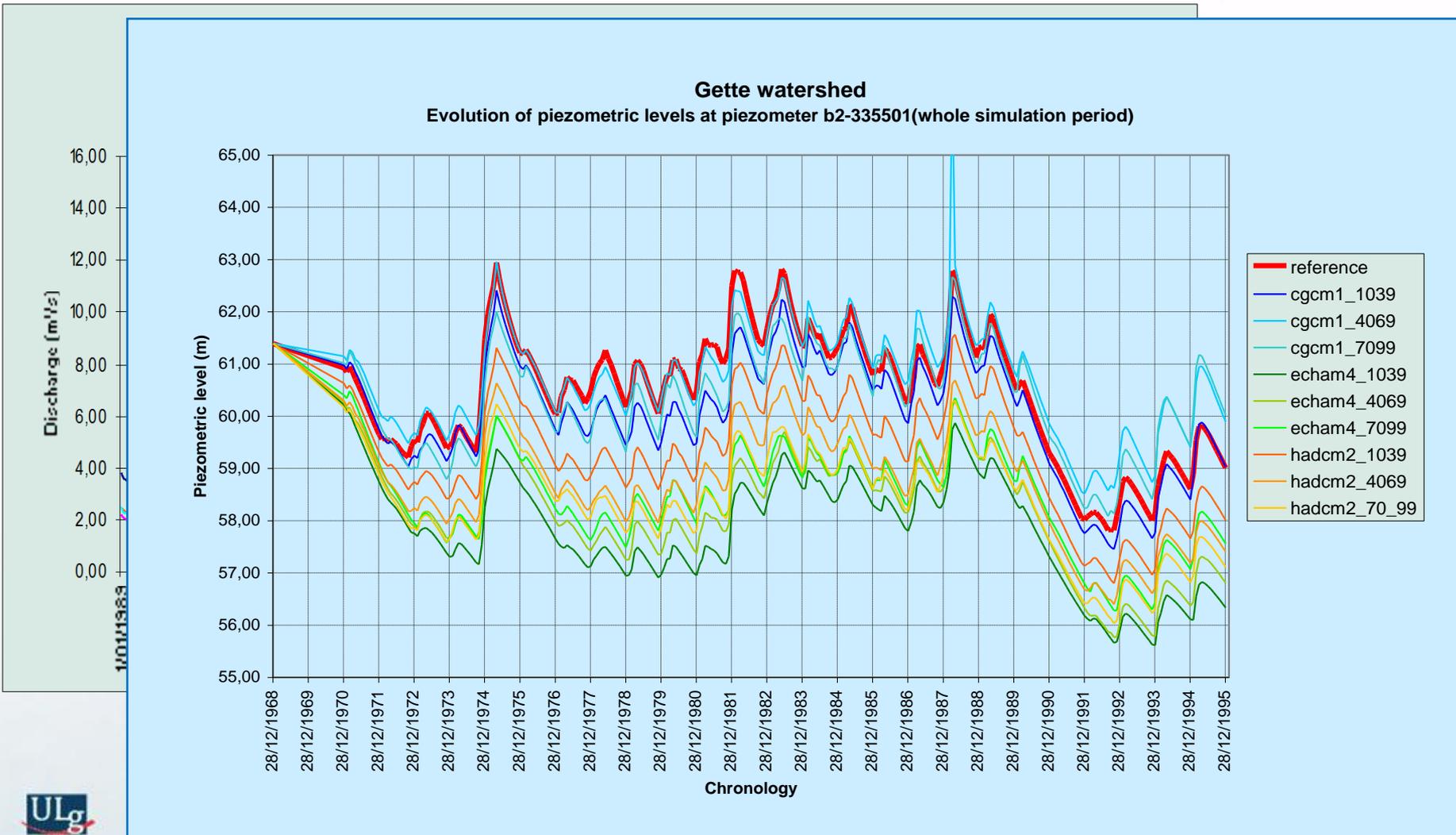
MOHISE

MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
 Projet SSTC, Impact des changements climatiques



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

MOHISE
 Impacts changements climatiques



MOHISE

MOdèle Hydrologique Intégré pour la Simulation du cycle de l'Eau (par interface)
Projet SSTC, Impact des changements climatiques



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

HORIZON 2040 – 2069

IMPACT on MEAN MONTHLY FLOW : FEBRUARY

| Scenario : | CGCM1 | ECHAM4 | HadCM2 |
|------------|--------|--------|--------|
| IRMB | + 20 % | - 14 % | - 10 % |
| MIKE-SHE | + 15 % | - 27 % | - 18 % |
| MOHISE | + 18 % | - 18 % | - 15 % |

IMPACT on MEAN MONTHLY FLOW : SEPTEMBER

| Scenario : | CGCM1 | ECHAM4 | HadCM2 |
|------------|-------|--------|--------|
| IRMB | + 5 % | - 21 % | - 23 % |
| MIKE-SHE | - 6 % | - 34 % | - 28 % |
| MOHISE | + 6 % | - 31 % | - 27 % |

PEGASE

Modèle intégré (interne) BV/Rivière



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

- Modèle intégré BV \leftrightarrow Rivières
 - 4 modules internes (Thermique, Hydro, Rejets & Qualité)
 - Intégration directe (code partagé)
- Outils de gestion intégrée des Ressources en Eaux
- Modèle évolutif permanent (intérêt de scinder les modules
→ technique “OO”)
- Intégration directe

PEGASE

Modèle intégré (interne) BV/Rivière

Le modèle PEGASE

Planification Et Gestion de l'Assainissement des Eaux



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

Développé depuis la fin des années 80 par 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 (→ étendre modèles « rivière »)
- apports et rejets polluants (→ structurer les 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

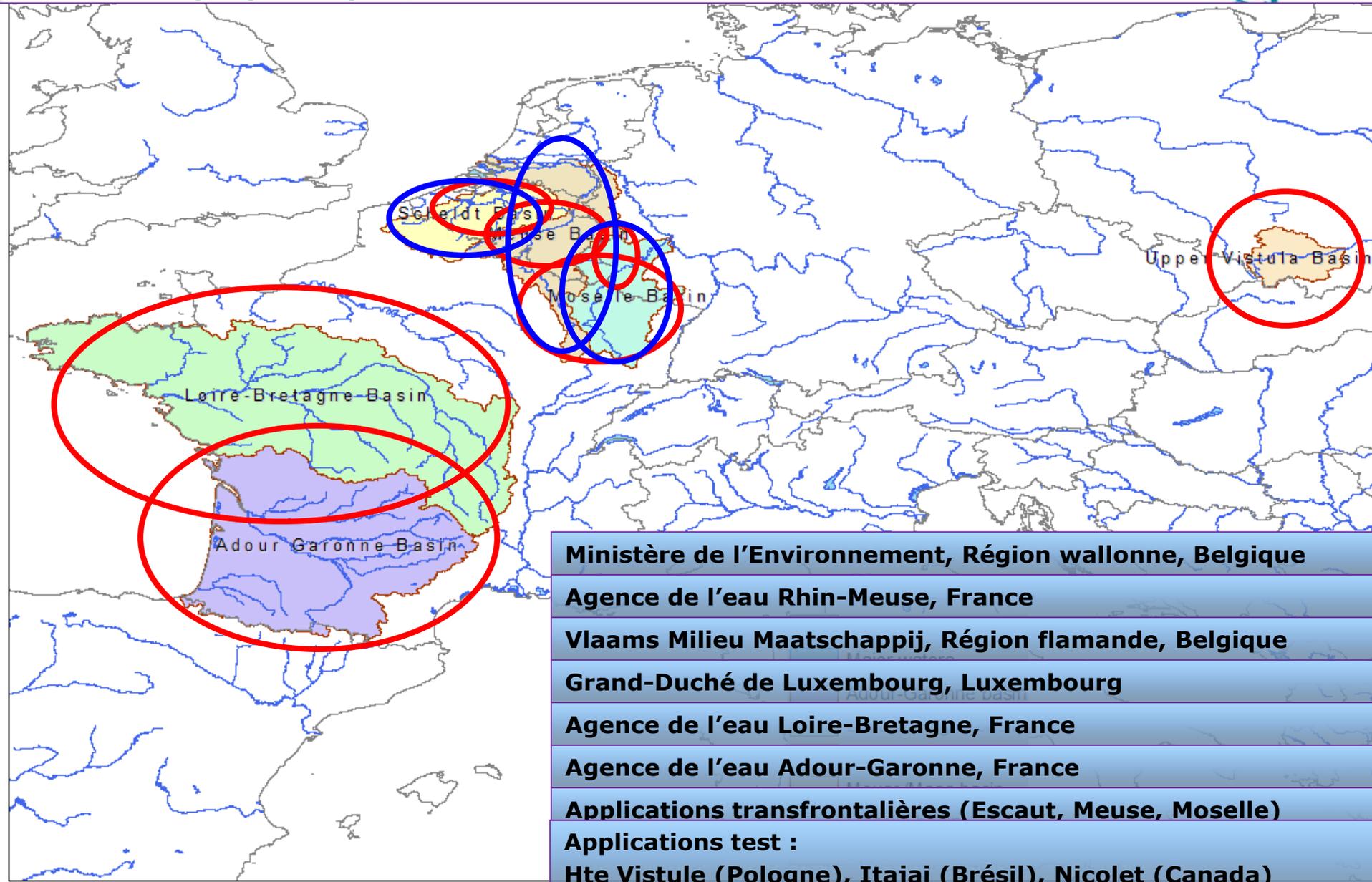
- l'assainissement et la dépollution
- la gestion de la qualité du milieu aquatique

→ interactions permanentes avec les utilisateurs

PEGASE

Modèle intégré (interne) BV/Rivière

2



PEGASE

Modèle intégré (interne) BV/Rivière

Le modèle de qualité des eaux

Les processus

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

Les variables

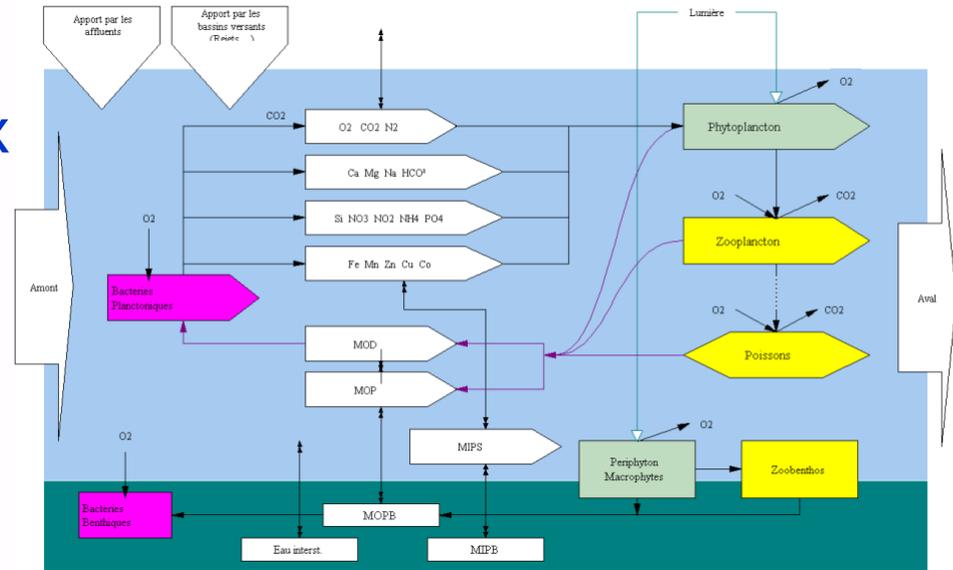
débits, vitesses, temps de transferts dans le réseau hydrographique

températures de l'eau

concentrations : **MO, COD, COP, DCO, DBO, NH₄, NO₂, NO₃, NKj, P_{tot}, PO₄, O₂ dissous (horaire) biomasses**

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

Modèle intégré (interne) BV/Rivière

Principe de fonctionnement



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

Données d'entrée

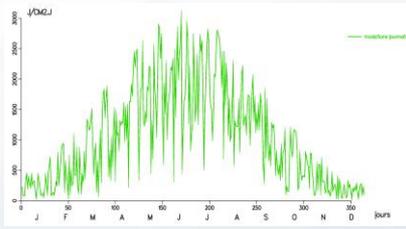
Bassins versants



Réseau des rivières



Hydrométéo



Activités et rejets

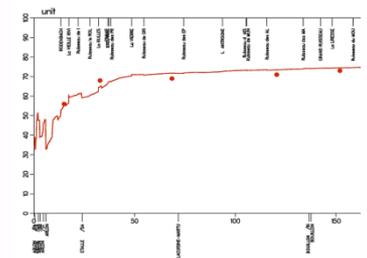


Avec le soutien de la Région wallonne et du Fedet

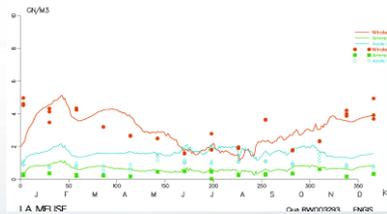
Modèle PEGASE

Résultats

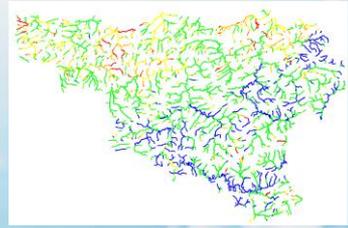
Profils long. Qualité eau



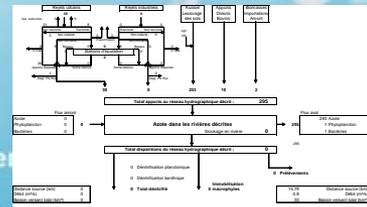
Evolutions annuelles



Cartes qualité



Bilans flux



PEGASE

Modèle intégré (interne) BV/Rivière

Méthodologie

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



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

Rejets urbains

Equivalent-habitant

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



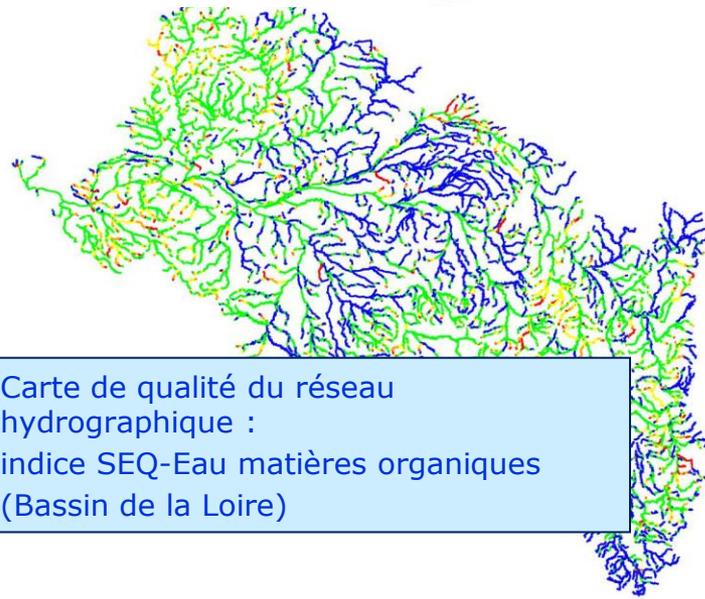
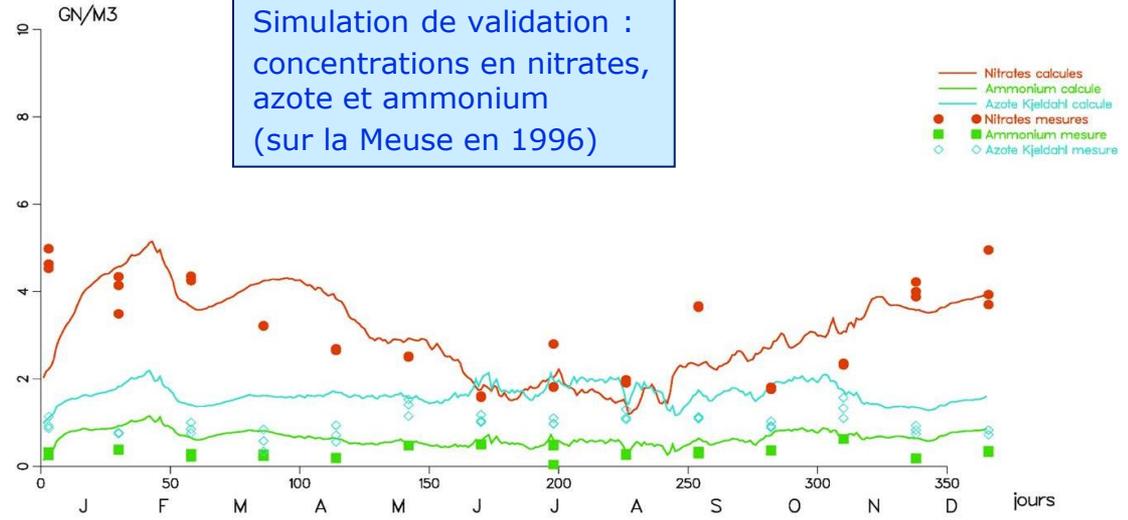
Modélisation intégrée du cycle de l'Eau



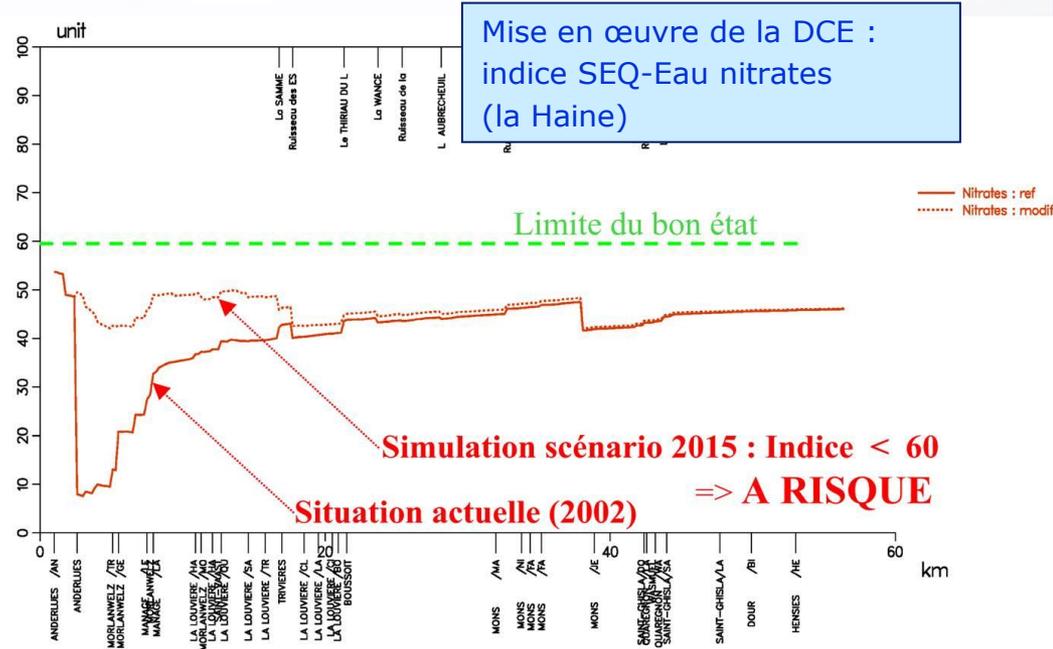
Application transnationale :
DHI de la Meuse
(F, B, Lux, D, NL)

Limite de bassin

France



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



PEGASE

Modèle intégré (interne) BV/Rivière

Pegase représente un outil :



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

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

- **Extrapolation physiquement basée (spatiale et temporelle) des données recueillies au niveau des sites de surveillance à l'ensemble des masses d'eau**
- **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**
- **Elaboration des programmes de mesures (d'actions)**

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

Modèle intégré (interne) BV/Rivière

Pegase représente



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

Une nouvelle manière de manipuler l'évaluation de la qualité des rivières, grâce à un calcul non stationnaire, précis et physiquement basé, à l'échelle d'un bassin entier, et grâce à la comparaison avec les points de mesures pour le calibration/validation

- ✓ connaissance beaucoup plus précise de la qualité du réseau de rivières
- ✓ Dans le contexte de la *DCE*

Une nouvelle manière d'évaluer l'impact des mesures visant à augmenter la qualité de certaines masses d'eau, en effectuant des *simulations de scénarios sur le bassin*, et évaluer ainsi le rapport « coût/efficacité » de chaque solution avant la réalisation effective d'une série d'actions

Une nouvelle manière opérationnelle d'évaluer l'impact des changements climatiques sur la qualité future des rivières, permettant la planification des mesures plusieurs années avant qu'elles soient nécessaires, et permettant ainsi une optimisation du coût de la réalisation de ces mesures

Une nouvelle manière d'assurer la cohérence des données au niveau international

Une nouvelle manière d'extrapoler des mesures discrètes (dans le temps et dans l'espace) pour chaque masse d'eau → structuration de la connaissance

Un outil informatique adapté aux nouvelles conditions imposées par le lancement de la WFD et de WISE, fournissant directement des résultats utilisables aux décideurs



Avec le soutien de la Région wallonne et du Fédér

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

Société Royale des Sciences de Liège, 3 décembre 2010

PEGASE

Modèle intégré (interne) BV/Rivière → + Externe + Via interface



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

• Potentialités PEGASE

- Améliorations de l'Outil
 - Plus grande opérationnalité
 - Par intégration directe ET via interface
-
- Apports diffus(semi-statistique)
 - Aérosols (dispersion atmosphérique)
 - Représentation explicite des STEP / Sewer
 - Module additionnel : coût-efficacité, sociologique, ...
 - Veille en temps réel & reporting
 - Données satellitaires
 - Métaux lourds
 - μ polluants (exemple Cocaïne → BZE)
 - ...

PEGASE : Autres couplages ...

AEAG – Apports Diffus (étude De faisabilité) → Interne + Externe + Via interface



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



● Exemple : 6 Modèles sols examinés

- **stics** (INRA Avignon) – orienté parcelle agricole
- TNT2 (INRA Rennes) – Hydrologie + azote pour petits bassins
- NOPOLU (PÖYRY) – surplus agricoles *
- SENTWA (CODA) – nutriments P+N, base annuelle *
- EPICgrid (FUSAG) – Eau-Sol-Plante sur bassin-versant **
- Soil & Water Assessment Tool **SWAT** (USDA) – Eau-sédiments-nutriments agricoles sur grand bassin

● Pertinence : EPICgrid et SWAT

● Sélection SWAT (car déjà opérationnel en Adour-Garonne)

● Couplage interne préconisé, en collaboration avec Ecolab-Toulouse

* Déjà couplé avec PEGASE (externe)

** Déjà couplé avec PEGASE (intégré)

MOIRA

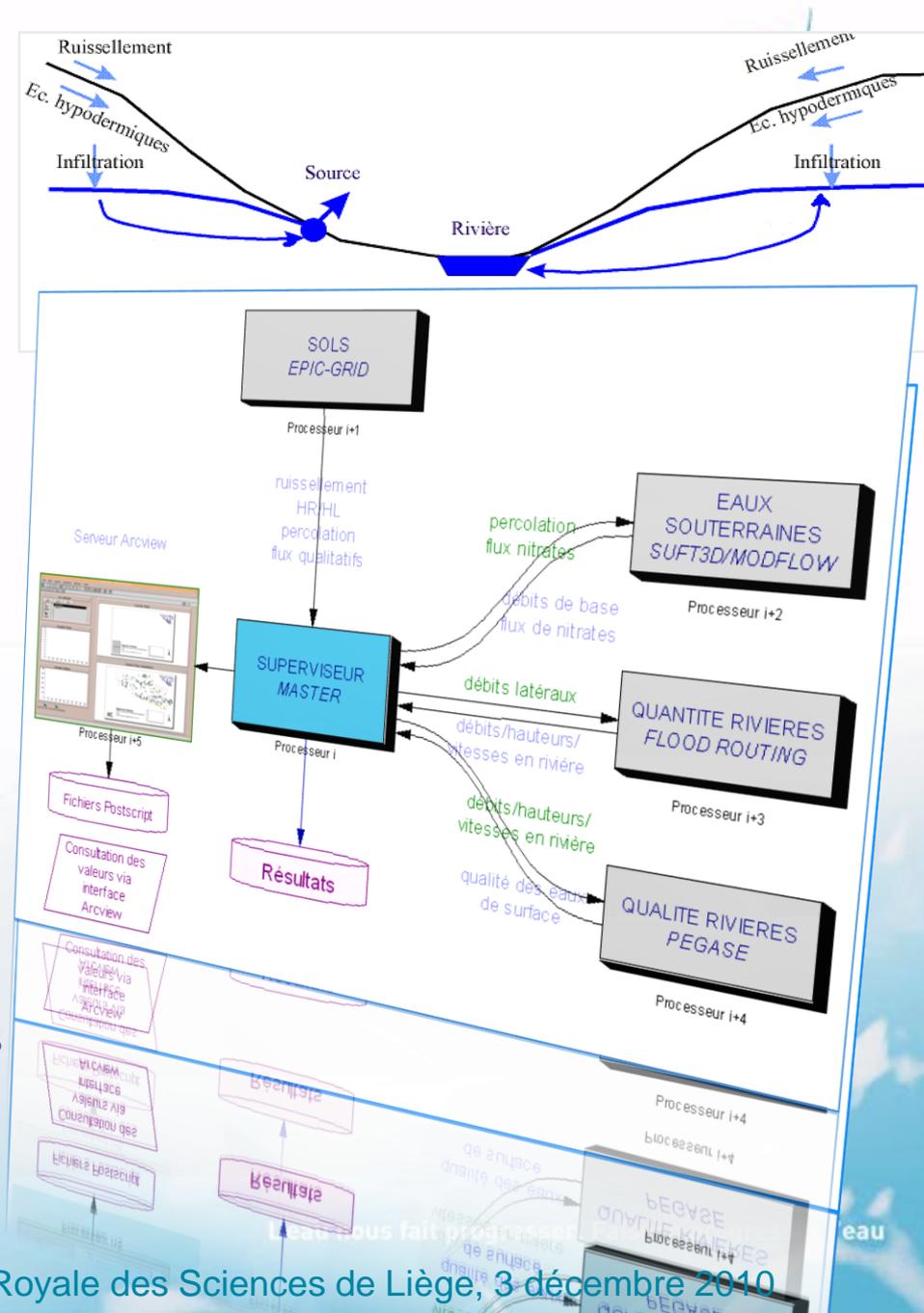
Modèle intégré (interne et par interface)
Quantité + Qualité

- N Sous Modèles:

- Sols → EPICGrid
- Eaux souterraines → SUFT3D et MODFLOW
- Rivières → Flood ROUTING
- Qualité de rivières → Pegase
- Visualisation (comp. ArcView)

- + 1 Superviseur:

- Couplage des modules
- Calcul des temps de transfert en surface du Bassin Versant
- Gestion de l'égouttage
- Gestion des zones imperméables
- Synchronisation



MOIRA

Modèle intégré (interne et par interface)

Quantité + Qualité

La Meuse en Région wallonne

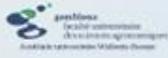


Echange Journalier

Sol ~ 36 000 mailles

Rivières ~ 23 600 noeuds

Sous-sol ~ 36 000 mailles



Avec le soutien de la Région wallonne et du Fédér

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

Société Royale des Sciences de Liège, 3 décembre 2010

MOIRA

Modèle intégré (interne et par interface)

Quantité + Qualité

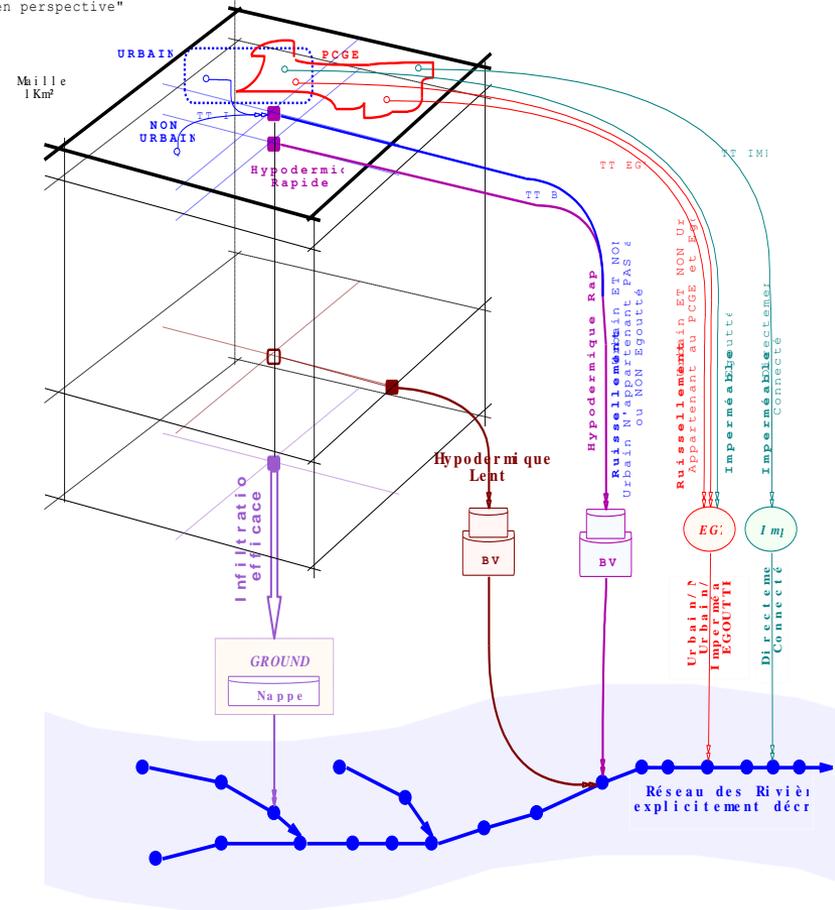
La Meuse en Région wallonne

Couplage bi-directionnel BV - Eaux de Surface



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

Gestion des FLUX de MOHICAN
Version Simplifiée "en perspective"
2 Février 2001



<Flux_01L.ch

Discrétisations spatiale et temporelle

Δx BV 1 km² → Rivière 200 m
BV 1 km² → Hydrogéologie variable
Hydrogéologie variable → Riv 200m

Δt « SOLS » : 24h
« Eaux Souterraines » : 1j ou 10j
« RIVER » : 1h

→ Mise en Régime

→ Mise en Régime

« RIVER » : 1h

« Eaux Souterraines » : 1j ou 10j



Avec le soutien de la Région wallonne et du Fédér

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

MOIRA

Modèle intégré (interne et par interface)

Quantité + Qualité

La Meuse en Région wallonne



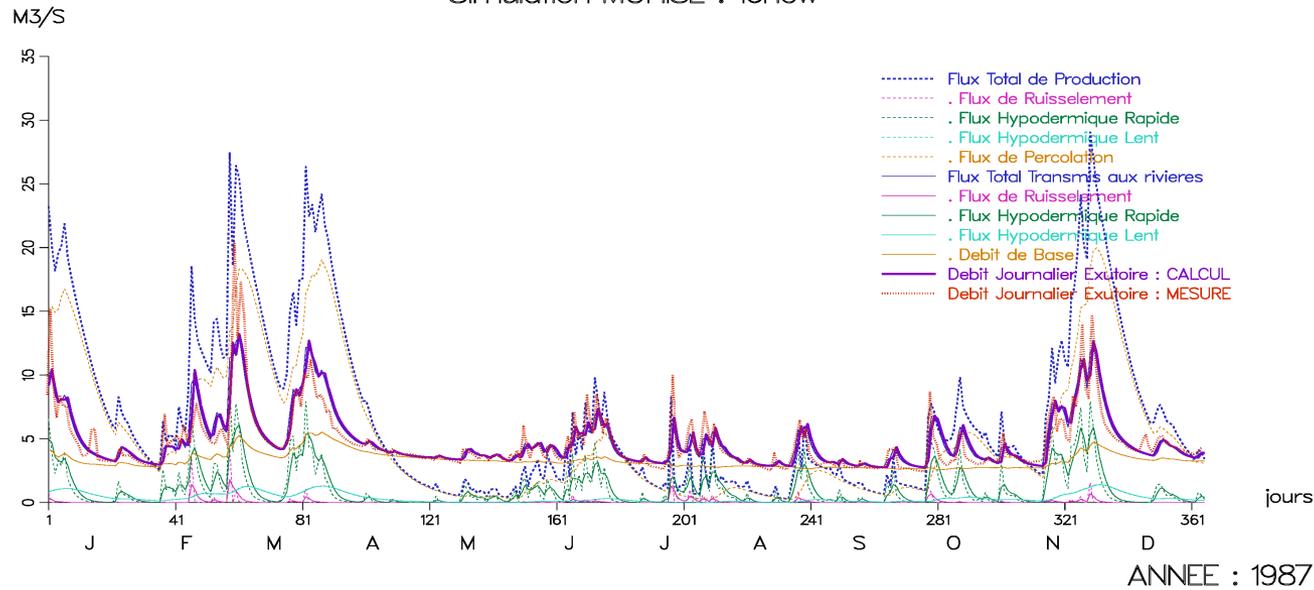
Pôle de recherche
en sciences de l'eau

Coupe

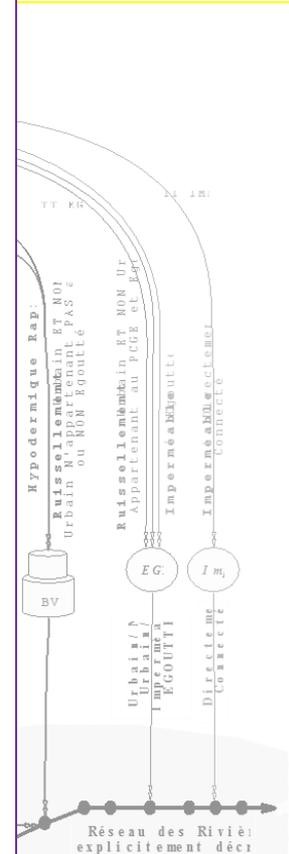
Résultat type
Calibration/Validation
BV de la Gette)

RESULTATS MOHISE: BASSIN DE LA GETTE

Debits totaux transférés par le Master
Simulation MOHISE : 16new



Get 16 ans : $A1=1/A2=.5/Tr=12h$
Mon Sep 4 16:01:38 CET 2000



<Flux_01L.ch



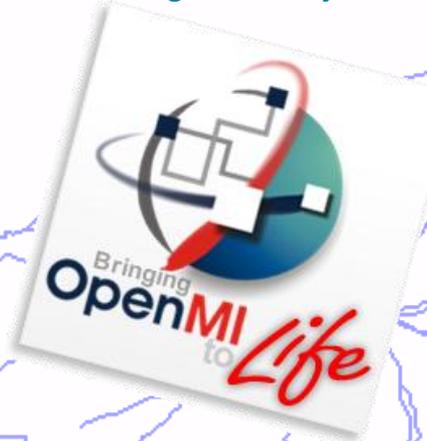
Avec le soutien de la Région wallonne et du Fédér

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

Société Royale des Sciences de Liège, 3 décembre 2010

Autre exemple OpenMI (interne via interface)

- Projet Européen LIFE
- Use-case C



Couplage de PEGASE avec des modèles hydrauliques sur le bassin de la Dyle au profit de la VMM (Vlaamse MilieuMaatschappij)

- MIKE-11 → Basse Dyle (entre Werchter et Malines)
- Infoworks-RS → Haute Dyle (entre Wavre et Heverlee)
- Couplage interne à travers une interface générique paramétrable
- Echange en certains noeuds de Débit (Infoworks)
- Envoi des rejets vers MIKE-11
- Echange en tous les noeuds hydrauliques de Débit, Hauteur et vitesse (M11)

Comparaison des technologies intégratrices par interface de type

Aquapôle

- Avantages:
 - Opérationnelle
 - Supporte plusieurs milliers de noeuds de couplage
 - Multithreading
 - Bidirectionnel vrai
 - Windows & Unix
- Inconvénients:
 - Nécessite une recompilation/link

OpenMI

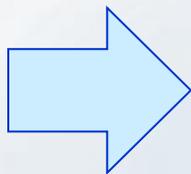
- Avantages:
 - Interface graphique pour définir les échanges
 - Pas de recompilation nécessaire (bibliothèques dynamiques)
- Inconvénients:
 - Pas de multithreading
 - Faux bidirectionnel
 - Définition des échanges fastidieuse (au delà de quelques nœuds)
 - En développement

Champs de perspectives



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

- Développement des outils de modélisation par des méthodes intégratrices
 - à des nouvelles échelles de temps (down vs upscaling) et d'espace (modèles gigognes, domaines TRN District)
 - à des problématiques intégratrices par essence (CC, pollution accidentelle [risk, Alert, Diffusion, ...], gestion en temps réel, ...)
 - à des compartiments/modules socio-économiques
- Opérationnalité : utile & pragmatique



Amélioration GIRE
& pays du Sud



Merci pour votre attention