

CYCLE DE GRANDES CONFÉRENCES
ULIÈGE À VERVIERS
ESPACE DUESBERG
VERVIERS
LUNDI 13 MARS 2023



La gouvernance de l'Eau : « Enjeux et perspectives »

Jf Deliège, Pr, Dr, Ir
Directeur Aqua pôle

Contact JfDeliège@uliege.be
Département BEE : Biologie,
Écologie et Évolution
Unité de Recherche FOCUS
Faculté des Sciences
Université de Liège

1



2

La Recherche

Aquapôle : Centre de R&D ULiège
PeGIRE : Laboratoire ULiège de Planification et de Gestion Intégrée des Eaux



3

3

Centre de Recherche Aquapôle



Aquapôle : *Pôle d'expertise / Réseau scientifique et technologique*
Rassembler / Intégrer / Développer les compétences, au service de la politique de l'Eau en Région wallonne, des **institutions publiques régionales et internationales, des entreprises publiques et privées**
Liaison entre les administrations (Ministères, Directions générales, Agences, ...) et les centres universitaires ou de R&D

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

Axes : Cycle de l'Eau / Mesures et Analyses / Valorisation

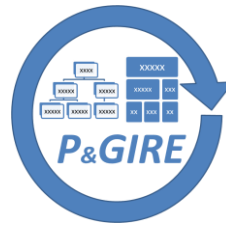


4

4

Laboratoire PeGIRE

Faculté des **Sciences** ULiège
Département **BEE**
Biologie, Écologie, Évolution
Unité de Recherche **FOCUS**
(**F**reshwater and **O**ceanic
sciences **U**nit of re**S**earch)



Spécialisé dans l'étude

- ✓ De la **gestion des ressources en eau**
- ✓ De la **Modélisation Environnementale** et de la **qualité des écosystèmes**
- ✓ De la **dynamique des relations Pressions-Impacts**



5

Section 1 : Échelles et Enjeux

- ✓ Problématique Mondiale
- ✓ Environnement Européen
- ✓ Échelles régionales
- ✓ Les bassins versants

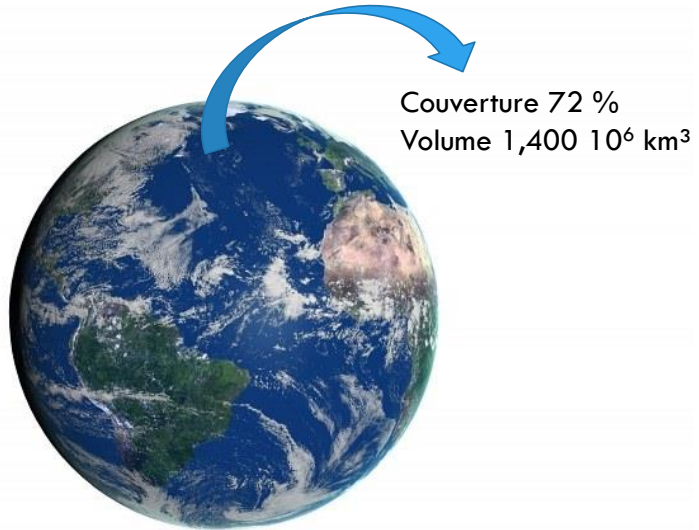


6

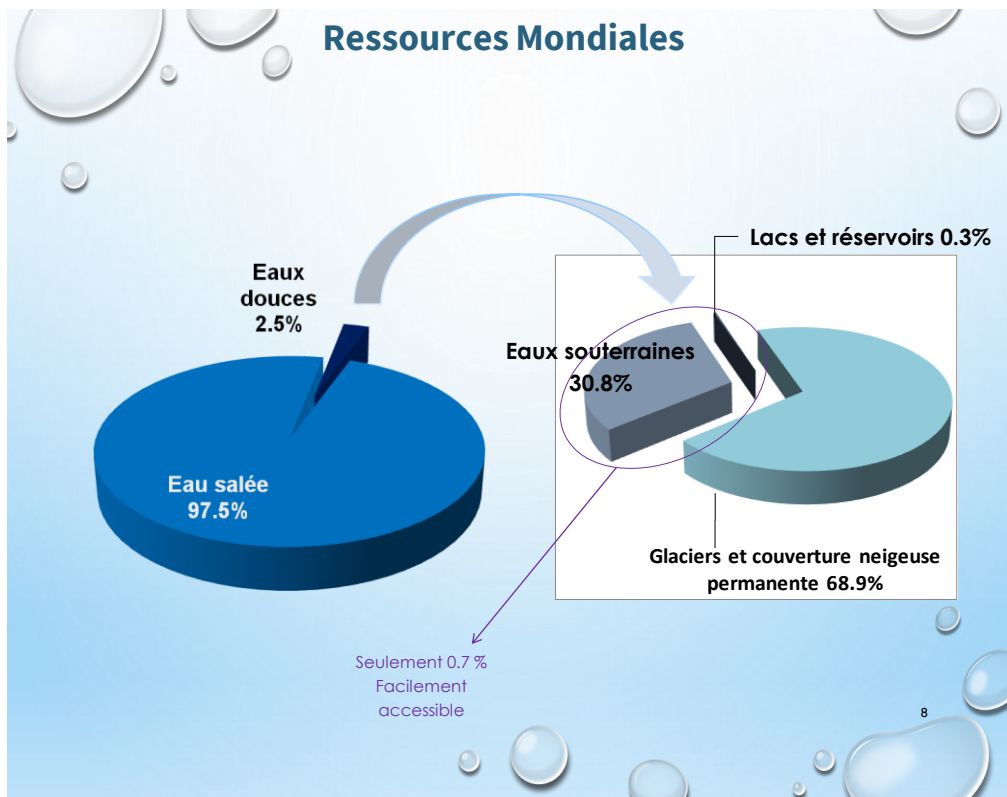
Ressources Mondiales

Enjeux Mondiaux :

- Quantité ?
- Qualité ?
- Accès ?
- Pollution ?
- Gestion ?




7



8

Ressources Mondiales

LA RESSOURCE ACCESSIBLE FACILEMENT NE REPRÉSENTE DONC QU'ENVIRON 0.7% DU STOCK D'EAU MONDIAL → 40.000 KM³ (10X10X400 KM³)



6500 m³/habitant/an
Soit une quantité suffisante pour couvrir les besoins humains et préserver les écosystèmes

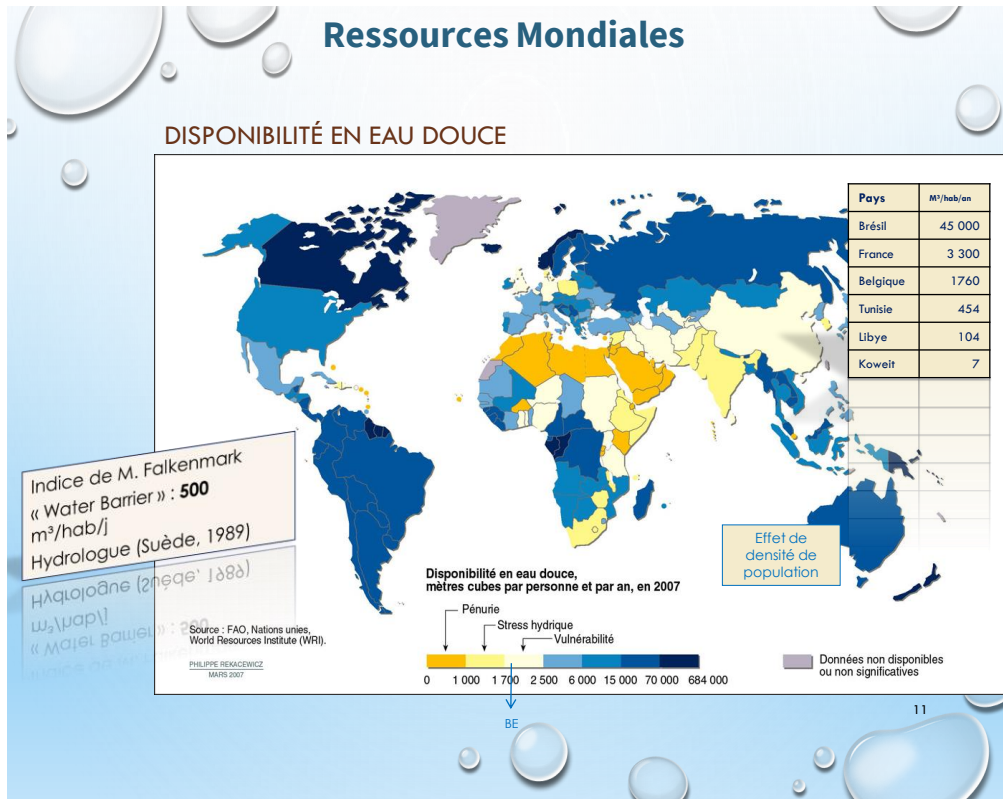
Besoin Personnel (Boisson) ~ 1 m³/hab/an (2,7 l/j/hab)
Besoin domestique ~ 45 m³/hab/an (125 l/j/hab)

9

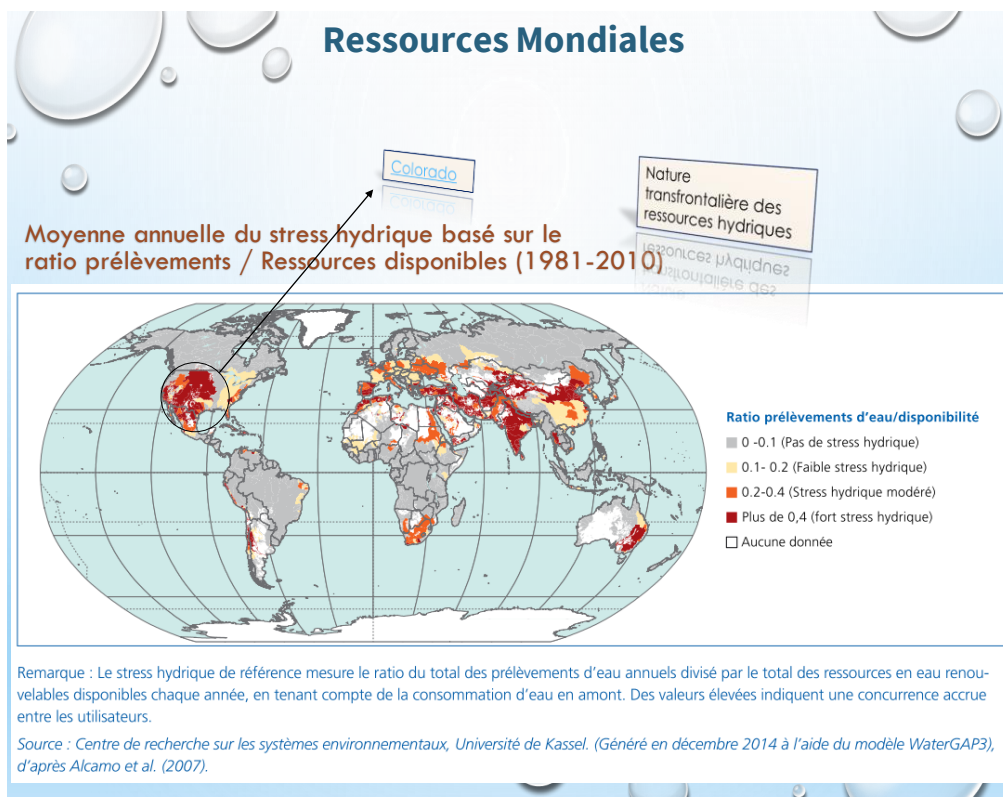
9



10



11



13

Ressources Mondiales

ACCÈS À L'EAU DE QUALITÉ

Tunisie : faible ressource / Très Bonne accessibilité > 99% ! (Gestion à l'échelle nationale)
 RDC : Ressource importante / mauvaise accessibilité (à l'échelle locale)

14

14

Ressources Mondiales

Eau non potable : **1^{ière} cause de mortalité** au monde !
 La moitié de la population mondiale n'a pas accès à une eau de qualité
 884 10⁶ personnes n'ont pas accès à l'eau

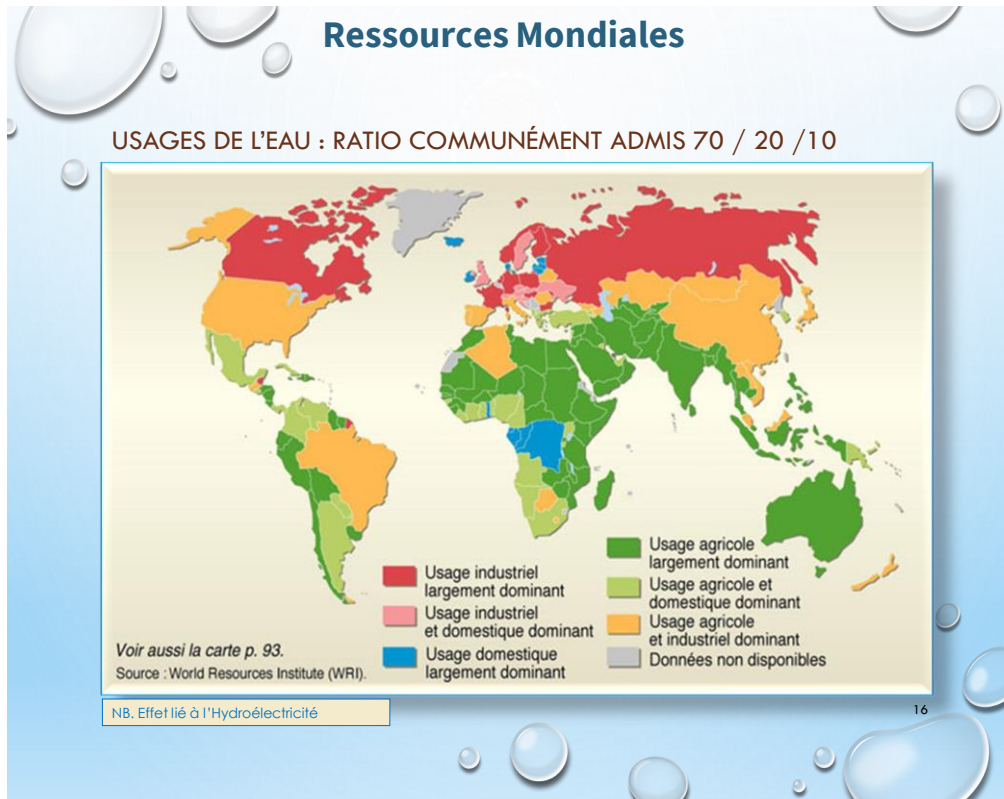
3,6 10⁶ morts/an ... Majorité d'enfants (3 10⁶ -15 ans)

- Diarrhées
- Choléra
- Paludisme
- Typhoïde
- Parasites
- ...

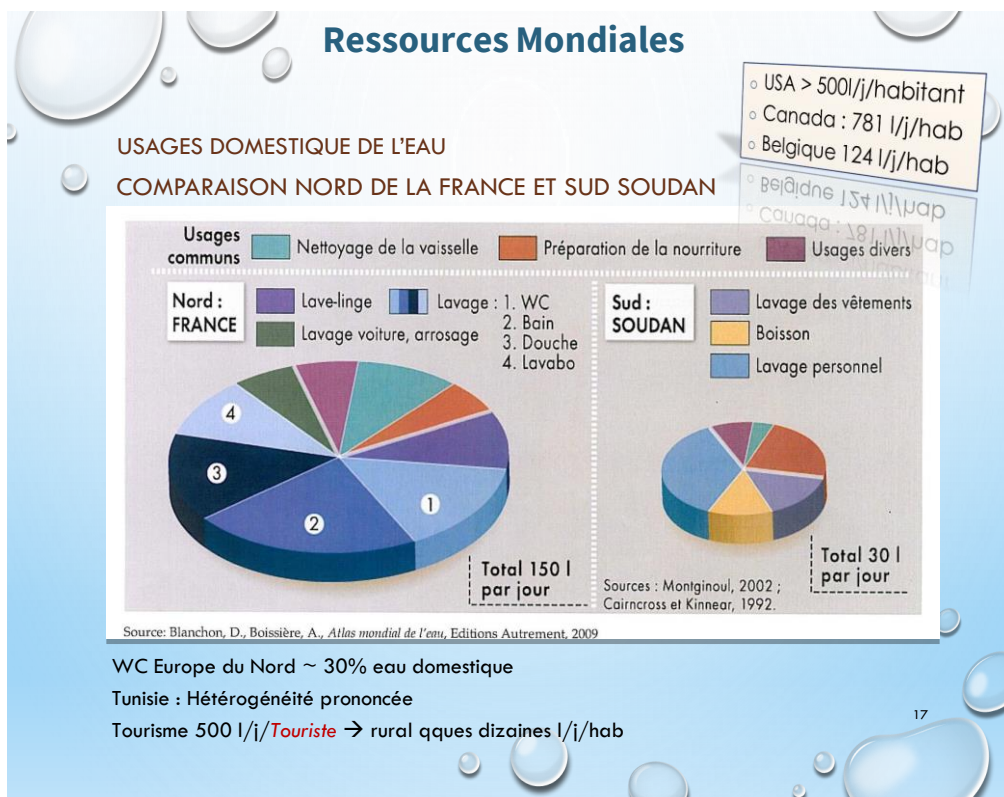
RDC : 15 % enfants n'atteignent pas l'âge de 1 an

M. Fontenoy
 2003 Atlantique (117j)
 St-P et M → Corogne (Es)
 2005 Pacifique (4-5 m)
 Pérou → Pol Fr.

15



16



WC Europe du Nord ~ 30% eau domestique

Tunisie : Hétérogénéité prononcée

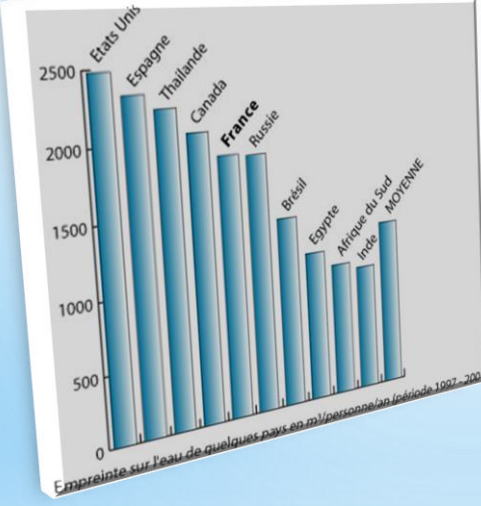
Tourisme 500 l/j/*Touriste* → rural quelques dizaines l/j/hab

17

Ressources Mondiales

EMPREINTE DE L'EAU

VOLUME D'EAU NÉCESSAIRE POUR COUVRIR LA PRODUCTION DES BIENS ET DES SERVICES (CONSOMMÉS PAR LES HABITANTS D'UN PAYS)



Empreinte sur l'eau de quelques pays en m³/personne/an (période 1997-2001)

+ importations d'eau virtuelle
- exportations d'eau virtuelle

NB. Difficile à évaluer (doit-on compter l'eau virtuelle contenue dans du maïs importé servant à nourrir des vaches dont la viande sera exportée ?)

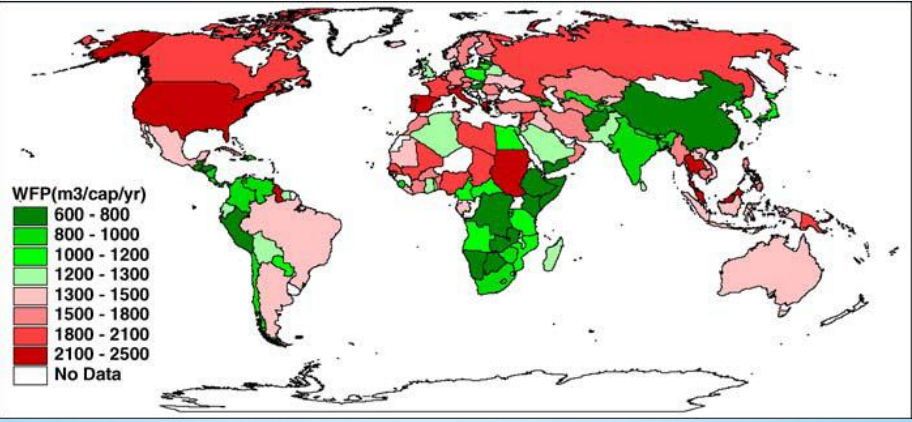
Produits	Eau Virtuelle
1 kg Viande Boeuf	15340 l
T-Shirt en coton	4100 l
1 l Lait	1000 l
1 tasse Café (125 ml)	140 l

Source : Water footprint of nations, A.K.Chapagain et A.Y. Hoekstra, Unesco, 2004

18

Ressources Mondiales

Empreinte de l'eau



WFP(m3/cap/yr)

- 600 - 800
- 800 - 1000
- 1000 - 1200
- 1200 - 1300
- 1300 - 1500
- 1500 - 1800
- 1800 - 2100
- 2100 - 2500
- No Data

EMPREINTE NATIONALE MOYENNE PAR HABITANT
VERT = EN DESSOUS DE LA VALEUR MOYENNE GLOBALE
ROUGE = AU DESSUS

19

Ressources Mondiales

Eaux Bleu / Verte / Grise

- L'eau **bleue** est l'eau captée pour les usages domestiques et agricoles. Elle est aussi définie comme l'eau douce de surface ou souterraine, autrement dit l'eau douce des lacs, des rivières et des aquifères
- L'eau **verte** est l'eau de pluie stockée dans le sol : elle est incorporée dans les végétaux, transpirée ou évaporée
- L'eau **grise** est l'eau polluée par les processus de production. Dans la terminologie émergente de l'empreinte eau, l'eau grise désigne aussi la quantité d'eau bleue nécessaire pour diluer suffisamment l'eau usée rejetée et rendre l'eau à nouveau disponible pour un autre usage

20

20

Ressources Mondiales

Empreintes Eau Bleu / Verte / Grise (Période 1996-2005)

Blue water footprint [m³/yr/cap]

5 - 50
50 - 100
100 - 153
153 - 250
250 - 350
350 - 600
> 600
No data

Green water footprint [m³/yr/cap]

290 - 500
500 - 1015
1015 - 1400
1400 - 2000
2000 - 2500
2500 - 3000
> 3000
No data

Grey water footprint [m³/yr/cap]

5 - 100
100 - 150
150 - 216
216 - 300
300 - 500
500 - 1000
> 1000
No data

21

21

Ressources Mondiales

**INDICE DE PAUVRETÉ EN EAU
(WATER POVERTY INDEX, LAWRENCE ET AL. 2002)**

Développé en collaboration avec plus de 100 experts en eau
Prend en compte **5** aspects (géophysiques, économiques et sociaux)

- ✓ **Les ressources** : quantité d'eau de surface et souterraine qu'on peut prélever par habitant
- ✓ **L'accès** : tient compte du temps et de la distance nécessaire pour pouvoir disposer d'une quantité suffisante d'eau salubre pour la consommation humaine, l'agriculture et l'industrie
- ✓ **Les capacités administratives** : examine avec quelle efficacité la communauté peut administrer l'eau. Cet aspect tient notamment compte des maladies hydriques et de la mortalité infantile
- ✓ **Les usages** : examine les quantités d'eau utilisées
Aux niveaux domestique, industriel et agricole
→ Cet aspect Pénalise les Gaspillages !
- ✓ **L'environnement**
 - Qualité de l'eau, Biodiversité, préservation de l'Environnement, ...
 - Stress sur la ressource (utilisation de pesticides, polluants industriels etc...)
 - Information (disponibilité de plans de gestion, stratégies nationales...)

22

22

Ressources Mondiales

**Indice de pauvreté en eau
(Water Poverty Index, Lawrence et al. 2002)**

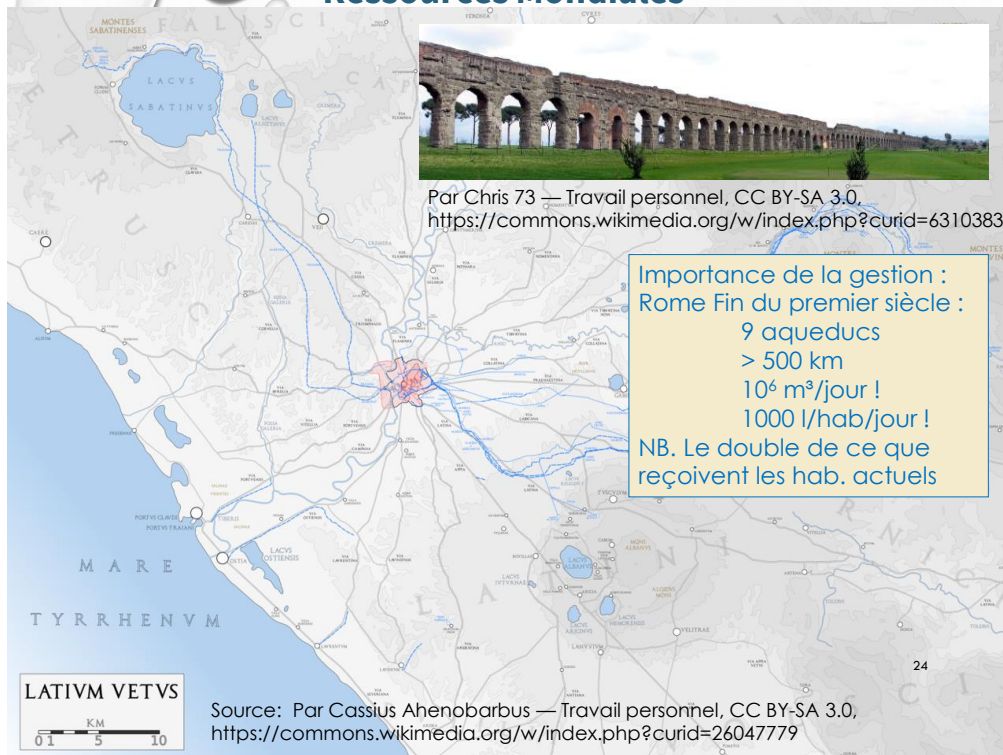
Pays	IPE
Finland	78
France	68
Haiti	35.1

Source: World Resources Institute 2006
 ○ IPE RDC (46) < IPE Tunisie (50)
 ○ Faibles tous les 2 mais pour des raisons différentes
 ○ IPE Belgique 60.8
 ○ USA 32^{ème} place (consommation)

23

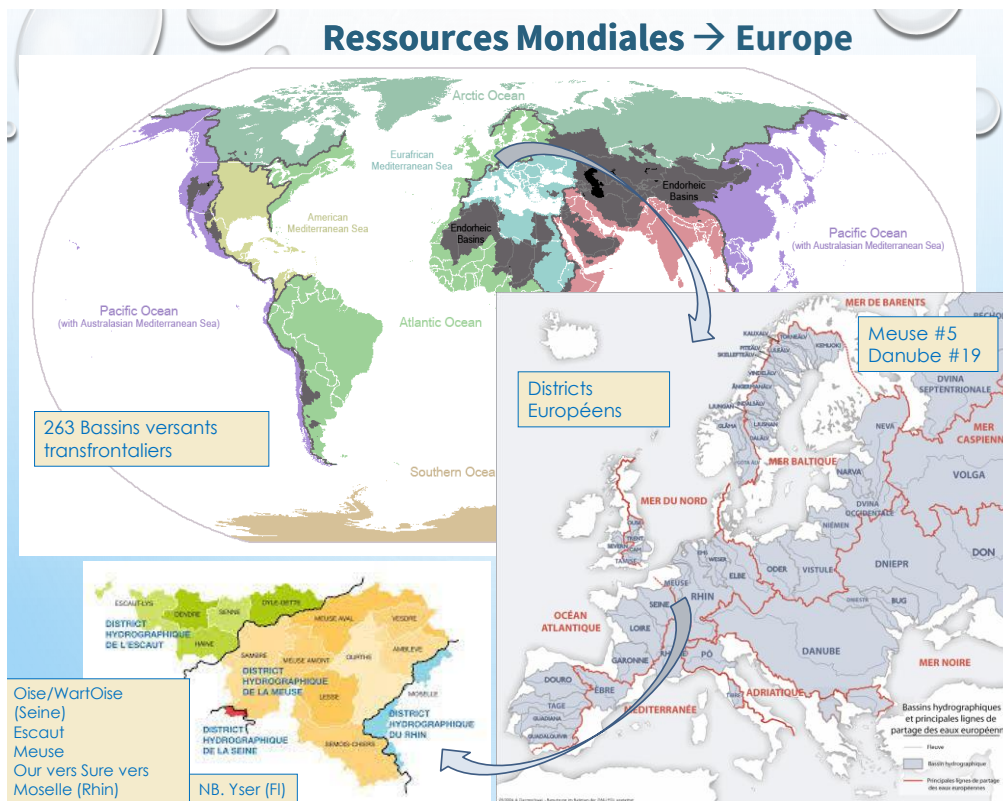
23

Ressources Mondiales

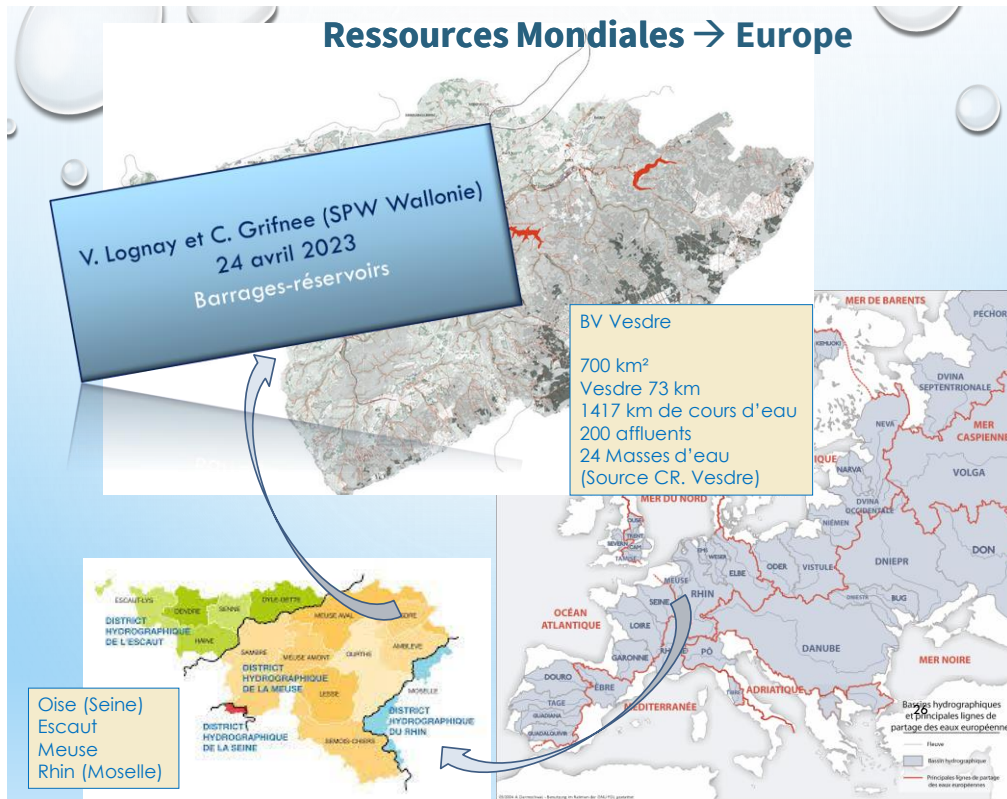


24

Ressources Mondiales → Europe



25



26

Section 1 : Échelles ... et Enjeux

Les Enjeux :

Différents à différentes échelles

- Global [CC / GIEC]
- EU [DCE]
- District [CIM, CIE, ...]
- BV [Villes et Communes, Contrats rivières, ...]

Pressions Naturelles & Anthropiques :

- Quantité : Crues (e.g. 14-15 Juillet 2021), Inondations, Sécheresses, étiages, ...
- Qualité : Biologique, écologique, Physico-chimique, Morphologique ...
- Crises (« naturelles », rejets accidentels, ...)

→ Gestion & Planification

Zélande 31/1 → 1/2 1953
Marées, Tempêtes en Vives Eaux
160,000 ha terres inondées
> 2500 Morts (1835 aux PB)

Plan Delta → 1978 1986
Barrage anti-tempête → 1996 (+43 ans)

27

27

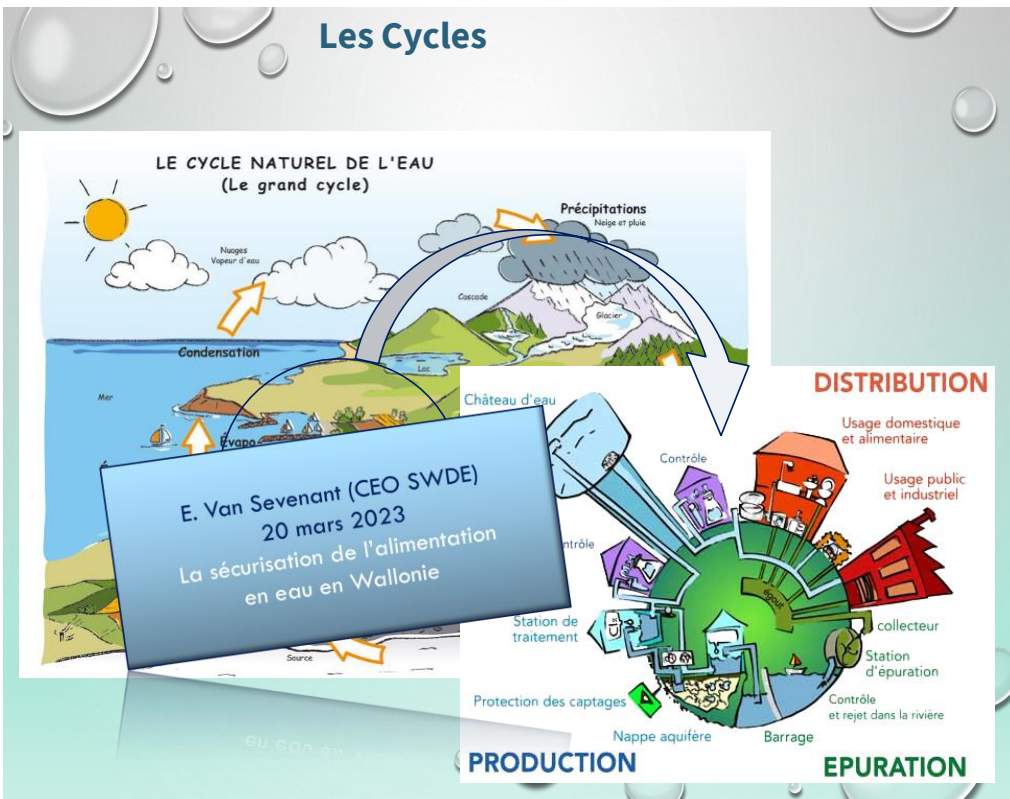
Section 2 : Intrication & Vision Holistique

Les compartiments et les (éco)systèmes
La nature des Pressions
Les intrications



28

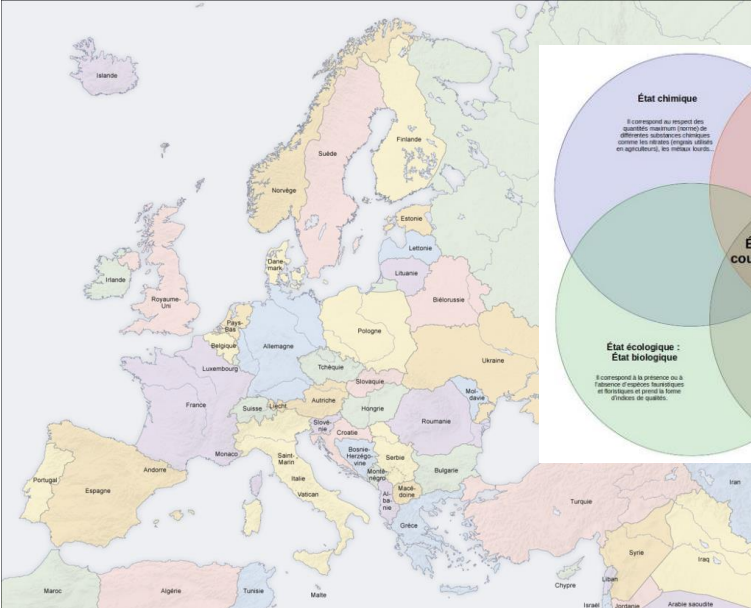
28

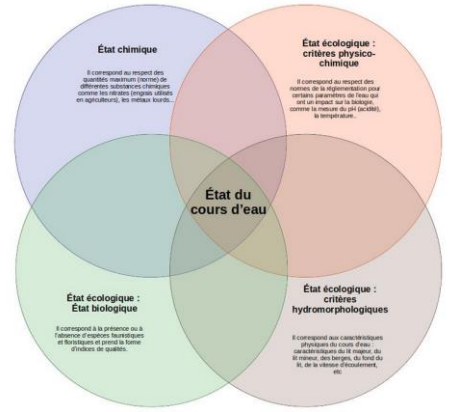


29

Europe : La DCE 2000/60/CE

23 octobre 2000 :
 Pour tous les 27 Pays membres (/48 Territoires)
 Pour toutes ME (Unité Homogène) Rwall : 365 MESU et 34 MESO
 Atteinte du Bon état écologique





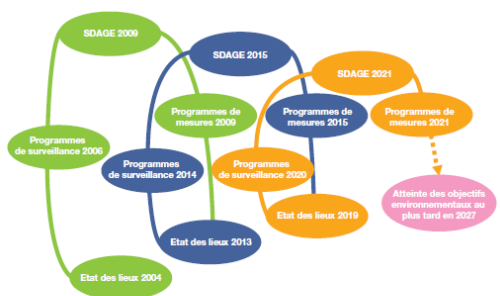
30

30

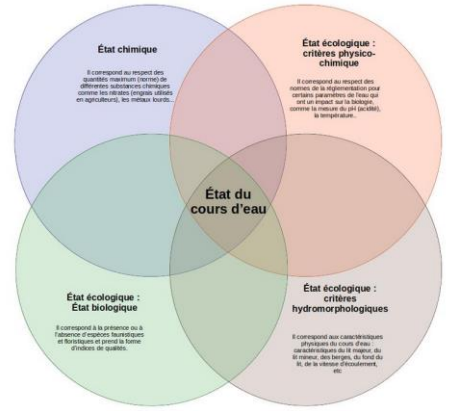
Europe : La DCE 2000/60/CE

23 octobre 2000 :
 Pour tous les 27 Pays membres (/48 Territoires)
 Pour toutes ME (Unité Homogène) Rwall : 365 MESU et 34 MESO
 Atteinte du Bon état écologique

Les **cycles** de gestion (6 années) :
 État des lieux – Plan de Gestion – Programme de mesure – Surveillance
 Situation actuelle : **3^{ème} cycle** (états des lieux à faire pour 2025, Plan de Gestion pour 2027)



Note bene : chaque couleur correspond à un cycle de gestion. Les dates mentionnées sont les dates d'adoption des documents par les autorités compétentes.



31

L'Intrication

Différents à différentes échelles

- Global [CC / GIEC]
- EU [DCE]
- District [CIM, CIE, ...]
- BV [Villes et Communes, Contrats rivières, ...]

Des Cycles (Naturels et Anthropiques)
Des Compartiments associés
ESU / ESO / Zones Côtières /
Zones humides / Lacs / Barrages / ...

Pressions Naturelles & Anthropiques :

- Quantité : Crues (e.g. 14-15 Juillet 2021), Inondations, Sécheresses, étiages, ...
- Qualité : Biologique, écologique, Physico-chimique, Morphologique ...
- Crises (« naturelles », rejets accidentels, ...)

→ **Gestion & Planification**

Une Vision Holistique pour la Gestion & Planification

32

32

Section 3 : Outils de Gestion et Planification

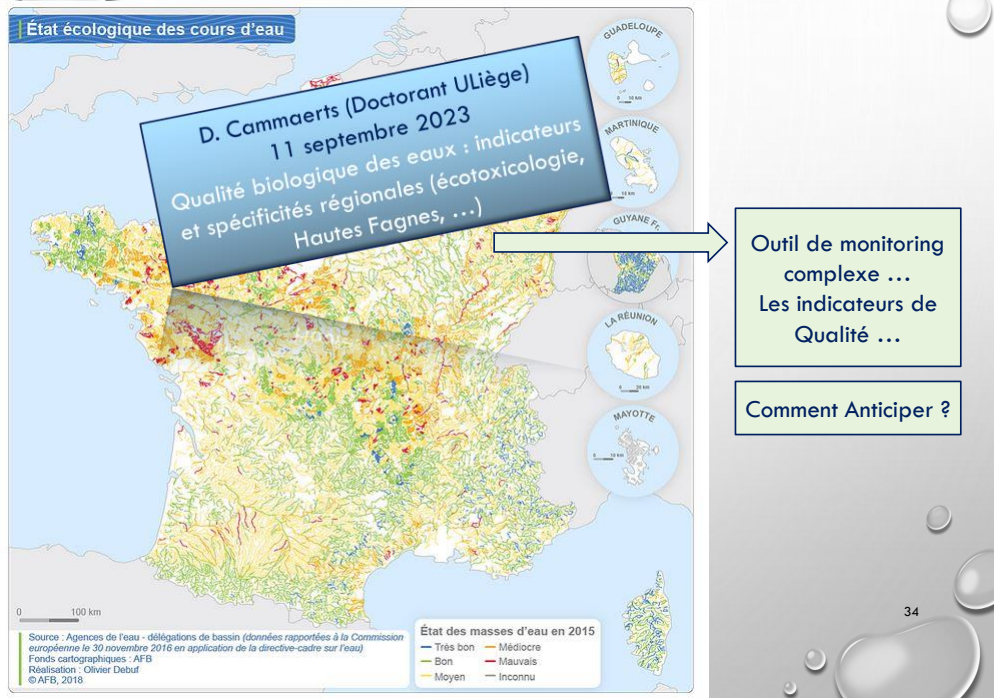
- Monitoring
- Modèles
- DSS
- ...



33

33

La qualité via des indicateurs ...



34

La Relation Pression – Impact ...



35

C'est quoi un Modèle ?

Méthodes

- ✓ Approche analytique (par fonction)
- ✓ Modélisation mathématique (Mécanistique, Statistique, ...)
- ✓ Modélisation intégrée

Capacité de PRÉDICTION et/ou d'OPTIMISATION des systèmes

36

36

Implémentation Numérique

Steps to build a Model

Step 1 : Identification

Step 2 : Conceptualization : objectives, system, processes, variables, scales, data, ...

Step 3 : Implementation
 Mathematical representation
 Numerical representation (discretization, scheme, methodology, ...)

Step 4 : Calibration / Validation

Step 5 : Analyze
 Numerical operability

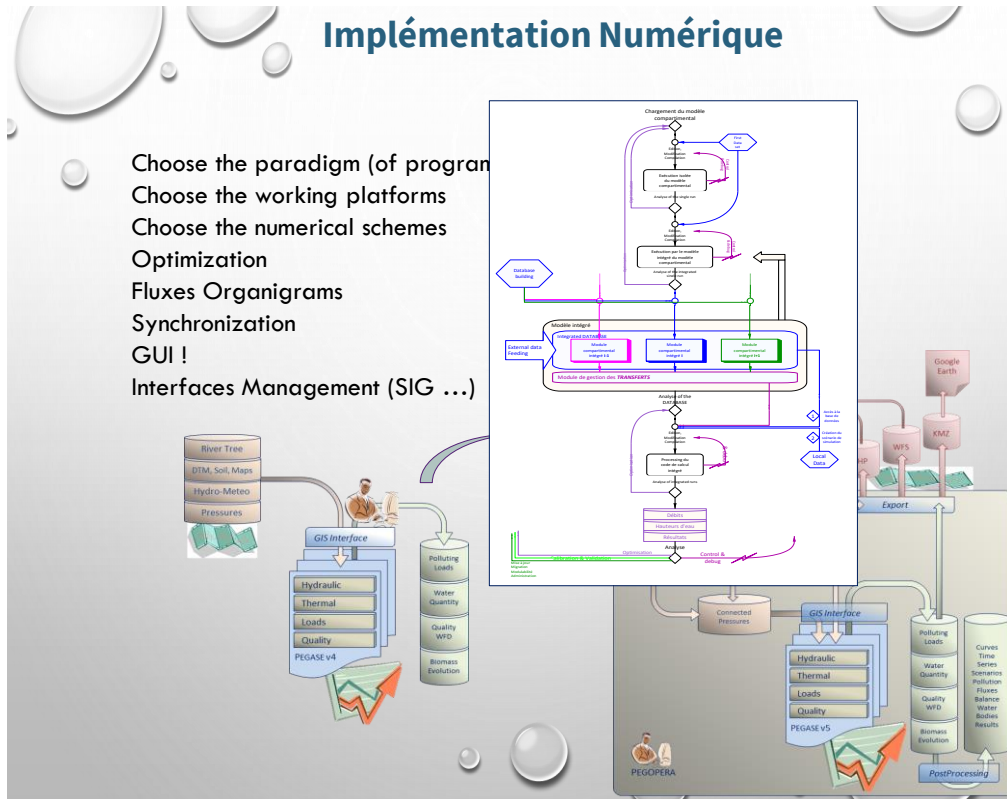
A model is then :

A simplified and Coherent representation of a system in order to answer to :

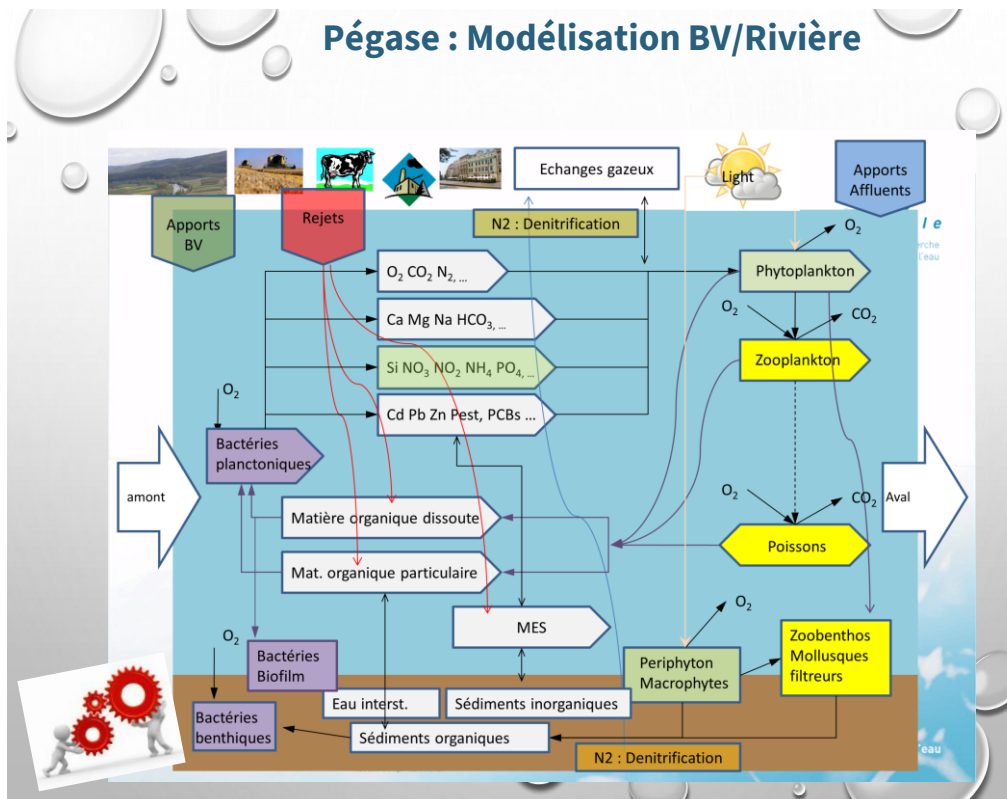
- Answer to A SPECIFIC GOAL
- Represent A SPATIAL GRIP
- Described at A TEMPORAL GRIP
- And describe PROCESSES ...

37

37



38



39

Pégase : Modélisation BV/Rivière



Les processus

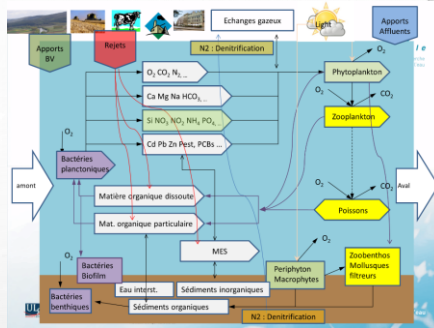
- production primaire
- mortalité, respiration biomasses
- dégradation matière organique
- nitrification, dénitrification
- réaération

Les variables

- débits, vitesses, temps de transferts dans le réseau hydrographique
- températures de l'eau
- concentrations : MO, COD, COP, DCO, DBO, NH₄, NO₂, NO₃, NK₁, P_{totr}, PO₄, O₂ dissous (horaire), biomasses micropolluants (en développement)

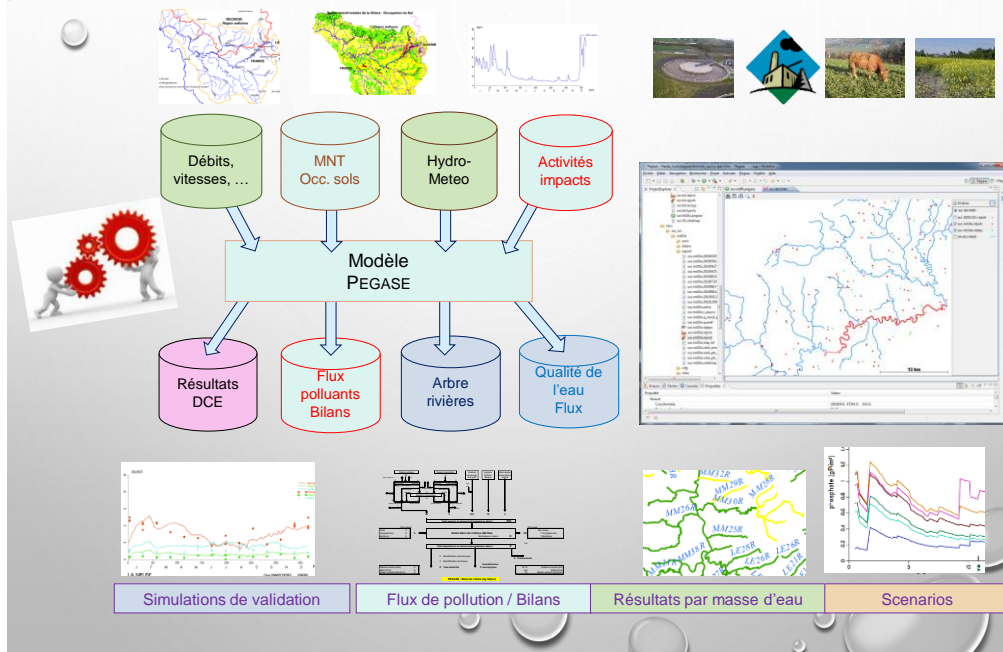
Les résultats

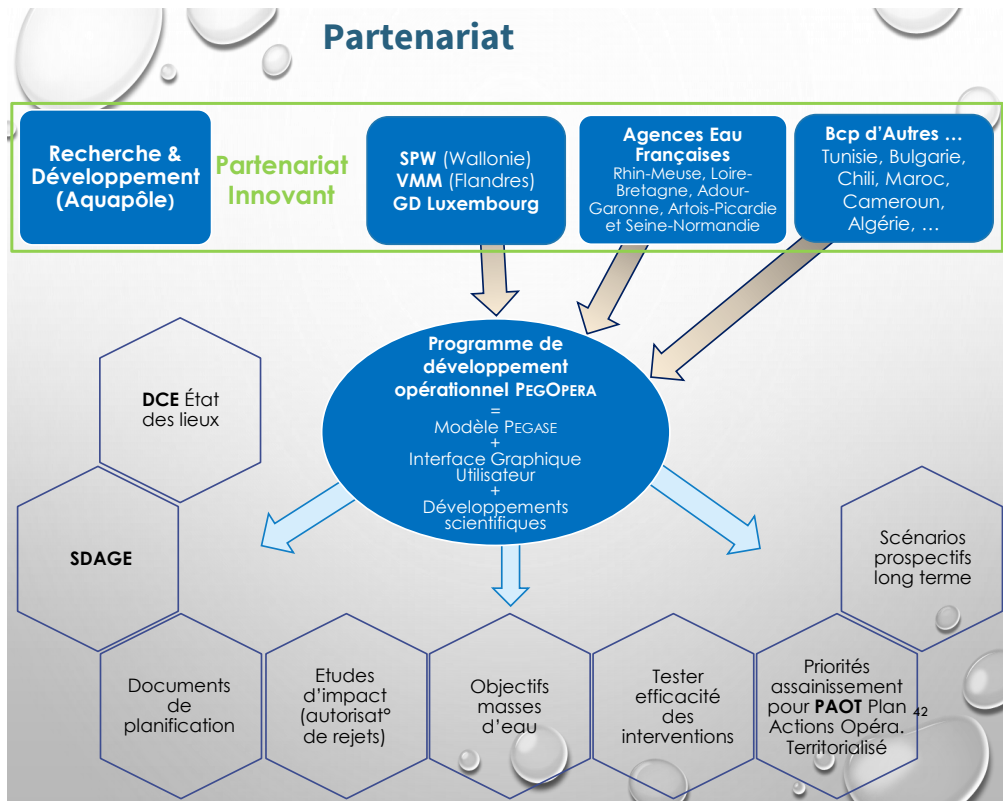
- globalisation des résultats par rivière, par masse d'eau, par sous-bassin, ... : flux, bilans
- résultats longitudinaux, évolutions temporelles, cartes : calcul de valeurs statistiques (p90, ...) indices de qualité SEQ Eau



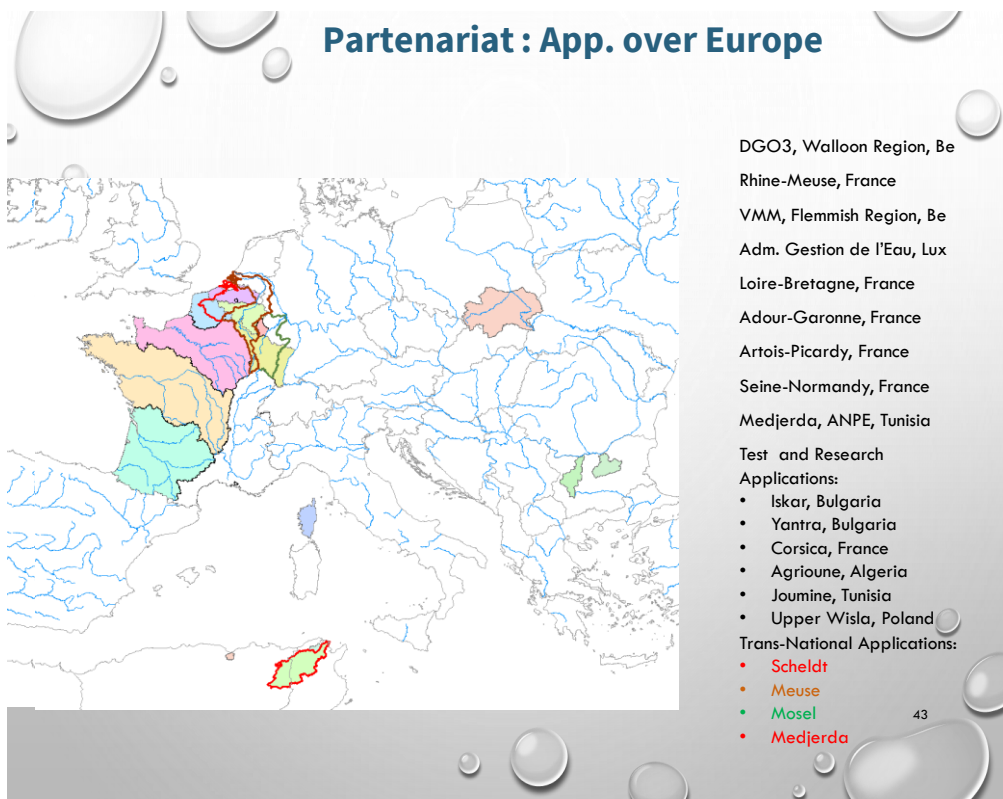
Pégase : Modélisation BV/Rivière

Données d'Entrée et Résultats

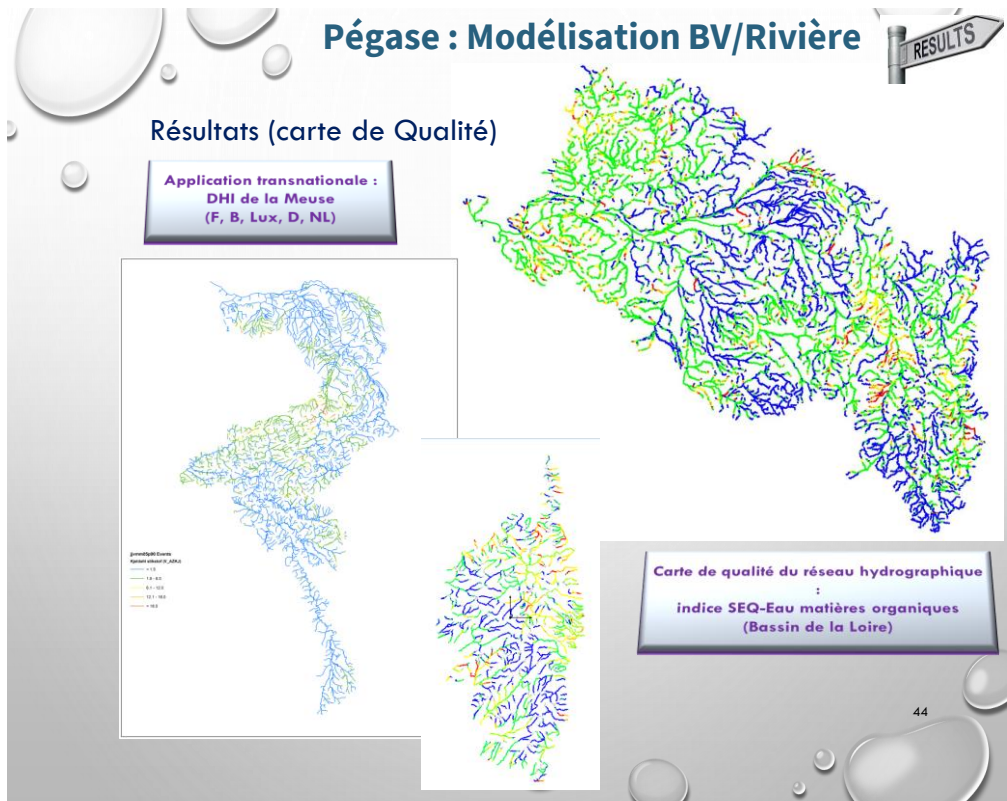




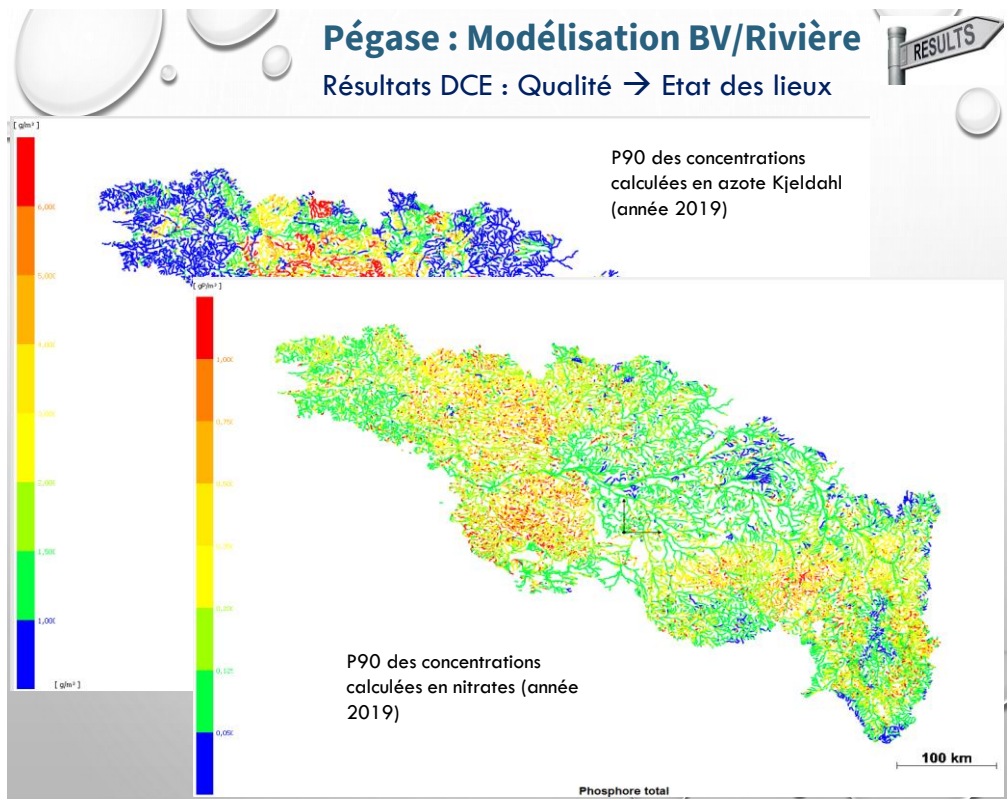
42



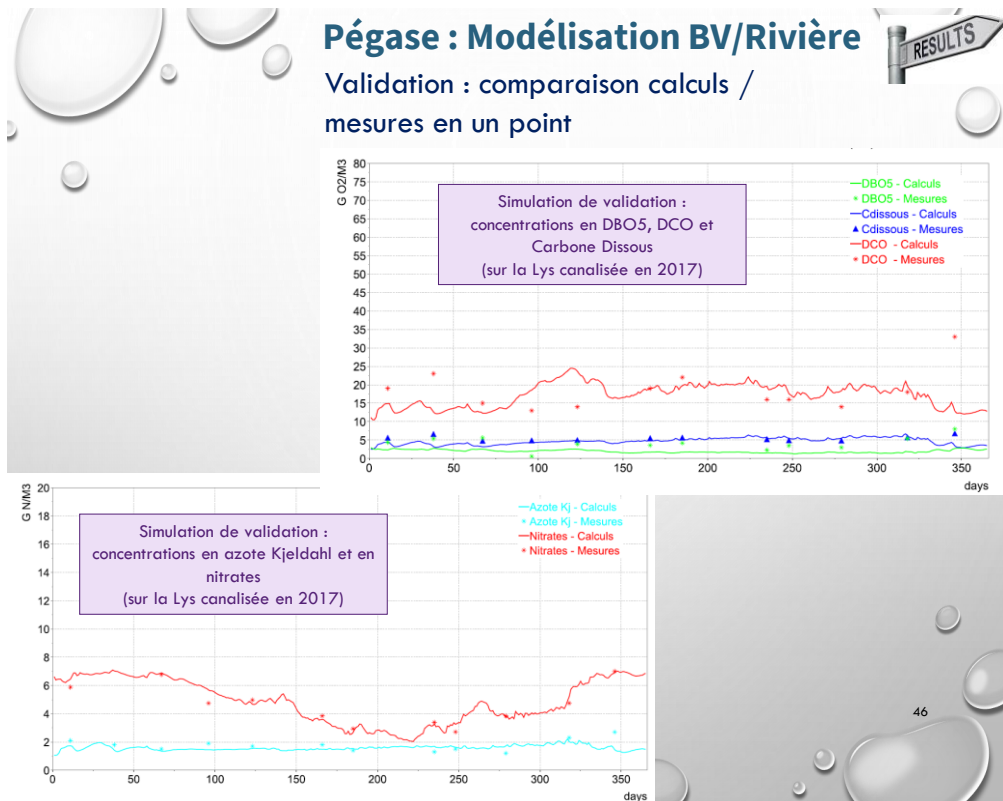
43



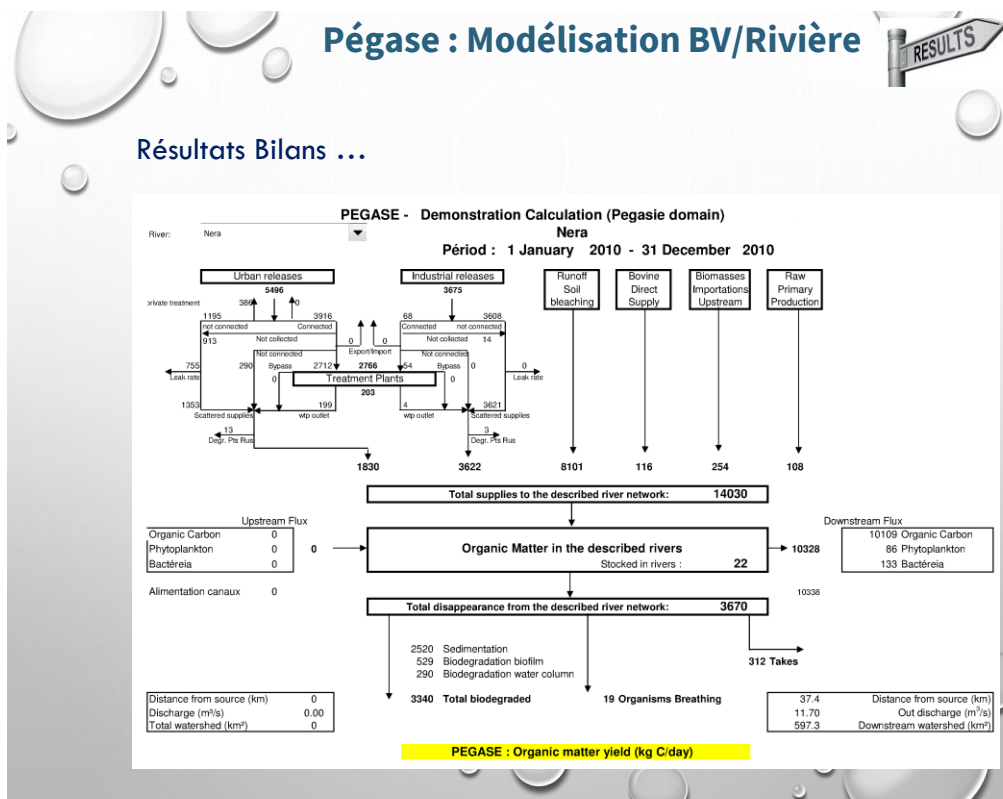
44



45



46





47

Application PegOpéra

Agence de l'Eau Loire-Bretagne

Élaboration du SDAGE (2010-2015) : (Seuils / Rivière Mayenne)
 Programme de réduction de l'eutrophisation
 Déphosphatation dans les stations d'épuration < 2 000 EH
 Enlèvement des seuils (qui contribuent à l'eutrophisation)

Profil Long. de la Mayenne
 Max des CC Chlorophylle A en 2002
 Indicateur Biom. Phytoplanktonique et Eutrophisation

PEGASE : Application bassin de la LOIRE Agence de l'eau Loire-Bretagne
 PHYTOPLANKTON

TEST NST021 SCENARIO AVEC SUPPRESSION SEUILS <= 4 Metres

TEST NST02 SIMULATION DE REFERENCE

CC CHLA

Eutrophisation faible : < 8 µgr/l
 Eutrophisation élevée : 8-25 µgr/l
 Hyper-Eutrophisation : 25-75 µgr/l
 > 75 µgr/l

mg Chl a/m³

0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 250 km

Année 2002 - Maximum

r la mayenne

48

48

Application PegOpéra

Agence de l'Eau Loire-Bretagne

Utilisation de PegOpera à Loire-Bretagne (Seuils / rivière l'Oudon)
 Conclusions

- Les simulations montrent que l'enlèvement des seuils peut être efficace
- Pas de changement imposé aux stations d'épuration < 2000 EH (en matière d'obligation de déphosphatation)
- Le débat est ouvert pour choisir la meilleure solution concernant les caractéristiques locales complètes du système « rivières »




PEGASE : Application bassin de la LOIRE Agence de l'eau Loire-Bretagne
 PHYTOPLANKTON

TEST NST021 SCENARIO AVEC SUPPRESSION SEUILS <= 4 Metres

TEST NST02 SIMULATION DE REFERENCE

CC CHLA

Eutrophisation faible : < 8 µgr/l
 Eutrophisation élevée : 8-25 µgr/l
 Hyper-Eutrophisation : 25-75 µgr/l
 > 75 µgr/l

mg Chl a/m³

0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 250 km

Année 2002 - Maximum

r l'oudon

Profil Long. de l'Oudon
 Max des CC Chlorophylle A pour l'année 2002

49

49

Applications : TEREOS

A transborder Industrial Accident

Nuit du 9 → 10 April 2020

Accident dû à la rupture de la digue d'un bassin de décantation de la sucrerie TEREOS

Rejet Massif de matière organique → pollution à grande échelle

- Chute de l'oxygène dissous (dans la colonne d'eau)
- Mortalité de poissons (100 tonnes sur l'Escaut)

Une pollution à grande échelle

Infographie Laurent Breye

50

Applications : TEREOS

Rejet dans l'Erclin (petit affluent de l'Escaut)

- **108 000 m³** d'Eau usée
- 88 000 m³ eau de lavage de betteraves (**24 ha inondés**)
- **564 T** de DCO (en 30 h)

Mesures :

- La CC en DCO a atteint **~7300 mg O₂/l** (en T₀)
- Équivalence **~ 7 millions EHab**
- Oxygène dissous est descendu à **1.23 mg/l** (le 10 avril)
- Azote : **~ 45 gN/m³ → ~ 400 000 EH**
- Phosphore : **~ 3 gO₂/m³ → ~ 250 000 EH**

51

Applications : TEREOS

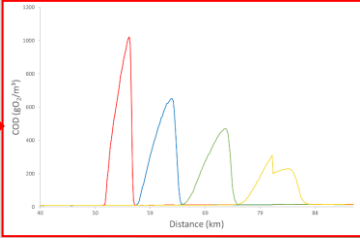
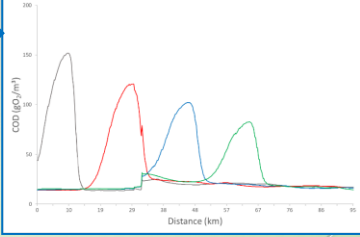
Matière organique dans l'Escaut

Superposition des concentrations en DCO calculées en France les 12, 14, 16 et 18 Avril 2020 à 11:30 AM
 DCO Max calculée le 12 Avril ~ 1000 gO₂/m³ (validé par une mesure)
 Progression régulière de la plume de dispersion ~ 5 km/j

Superposition des concentrations en DCO calculées en Belgique les 20, 22, 24 et 26 Avril 2020 à 11:30 AM
 Progression régulière de la plume de dispersion ~ 10 km/j

Diminution graduelle de la demande chimique en Oxygène grâce à :

- ✓ La dégradation de la matière organique
- ✓ La dilution par les effluent
- ✓ La dispersion longitudinale
- ✓ Les débits amonts

52

52

Applications : TEREOS

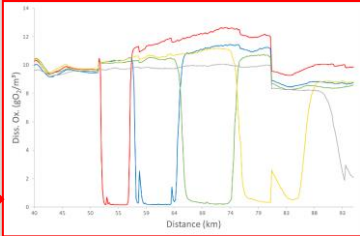
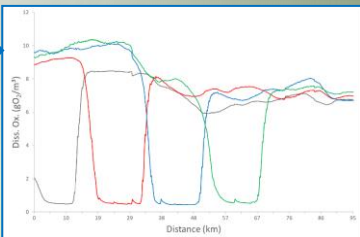
Oxygène Dissous

Consommation de l'oxygène dissous pour la dégradation de la matière organique → river anoxia for many hours

Superposition des concentrations en Oxygène dissous calculés en France les 12, 14, 16 et 18 Avril 2020 à 11:30 AM
 L'Oxygène dessous s'effondre le 10 Avril jusqu'à 1.23 mg/l

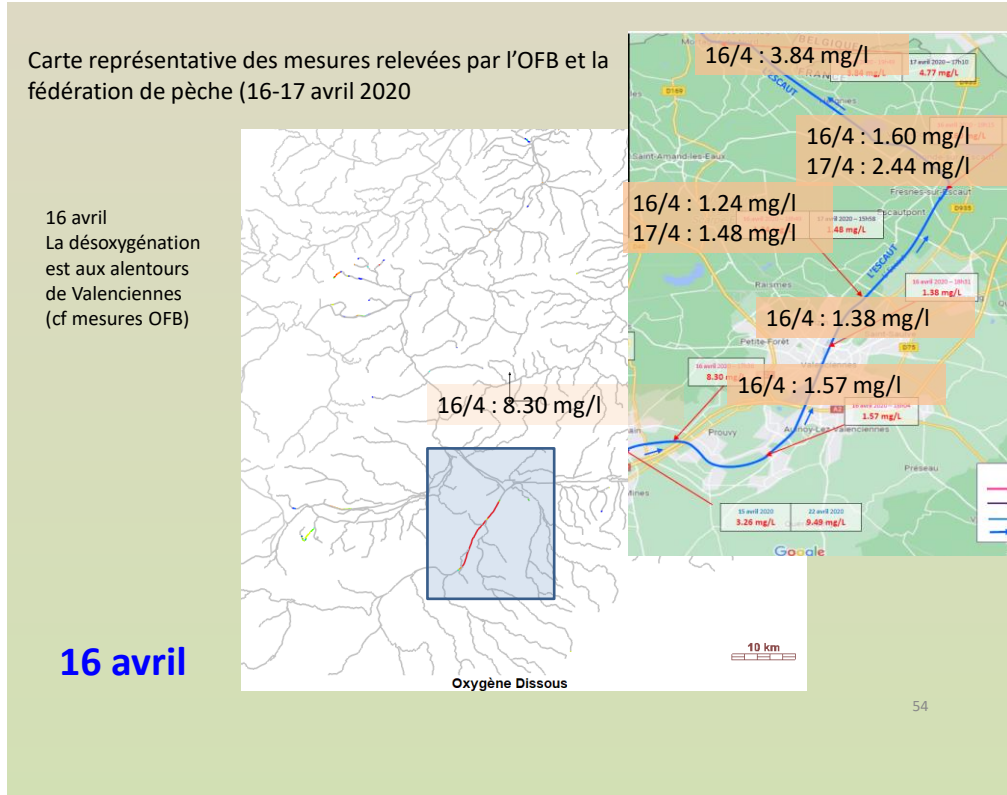
Superposition des concentrations en Oxygène dissous calculés en Belgique les 20, 22, 24 et 26 Avril 2020 à 11:30 AM

Représentation des processus aérobiques et anaérobiques considérant le cycle de la matière organique dans la colonne d'eau

53

53



54

Applications : TEREOS

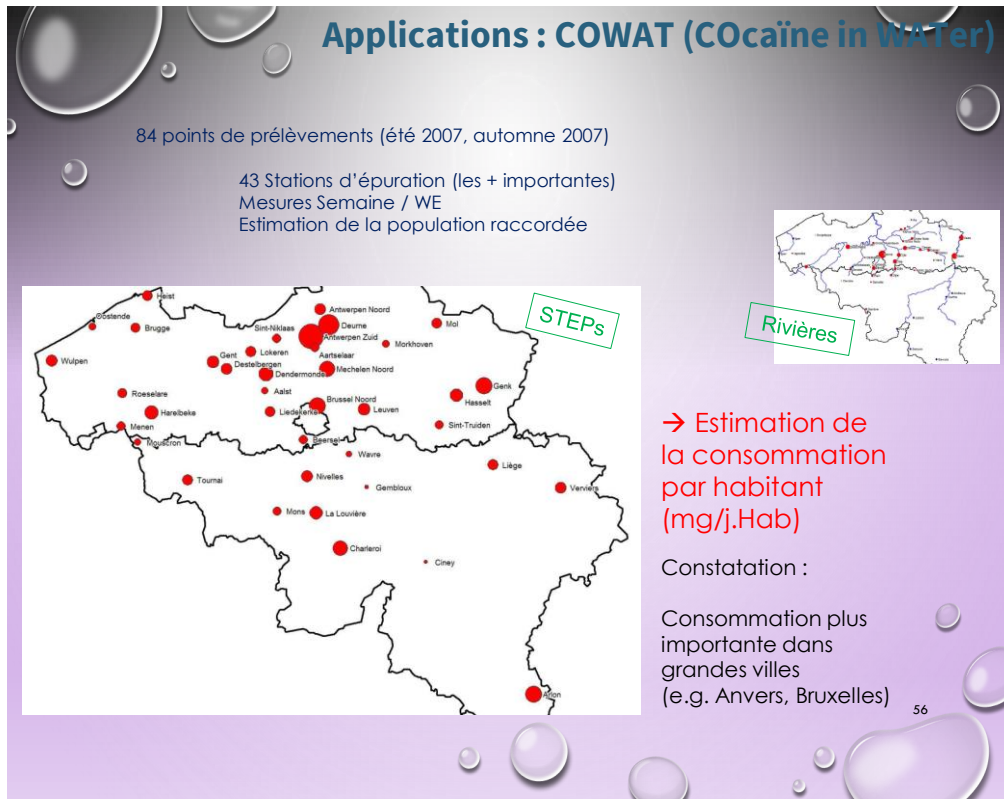
- Accident Malheureux mais bien **instrumenté** !
- Opportunité scientifique de **valider les processus** de modélisation et de développer les calculs dynamiques à l'échelle **horaire** des rejets
- **Reproduction numérique** de l'accident et calcul des impacts sur l'environnement par une méthode physiquement-basée
 - ✓ Validation des processus de la dégradation de la matière organique dans les écosystèmes rivières
 - ✓ L'anoxie n'est ni homogène ni simultanée dans les zones de la pollution (le transport vers l'aval génère l'effondrement des écosystèmes)

Compréhension des **dynamiques** (transport et dilution) de la pollution
Description - validée - de sa **propagation** le long du réseau hydrographique transfrontalier de l'Escaut

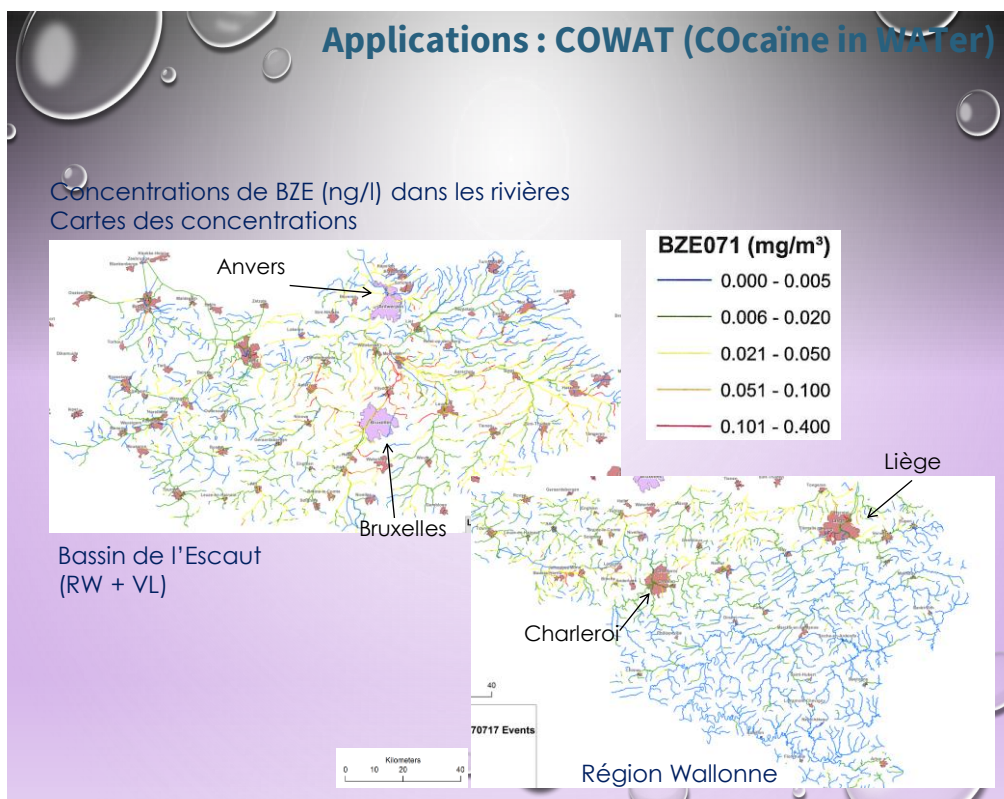
[Modélisation d'une anoxie transitoire sévère résultant d'un rejet accidentel sur l'Escaut \(industrie sucrière\)](#)
 Provided by: [Open Repository and Bibliography - Liège](#) | Publisher: 'MDPI AG' | Year: 2021
 by [Grard Aline](#), [Everbecq Etienne](#), [Magermans POL](#), [Delière Jean-François](#)

55

55



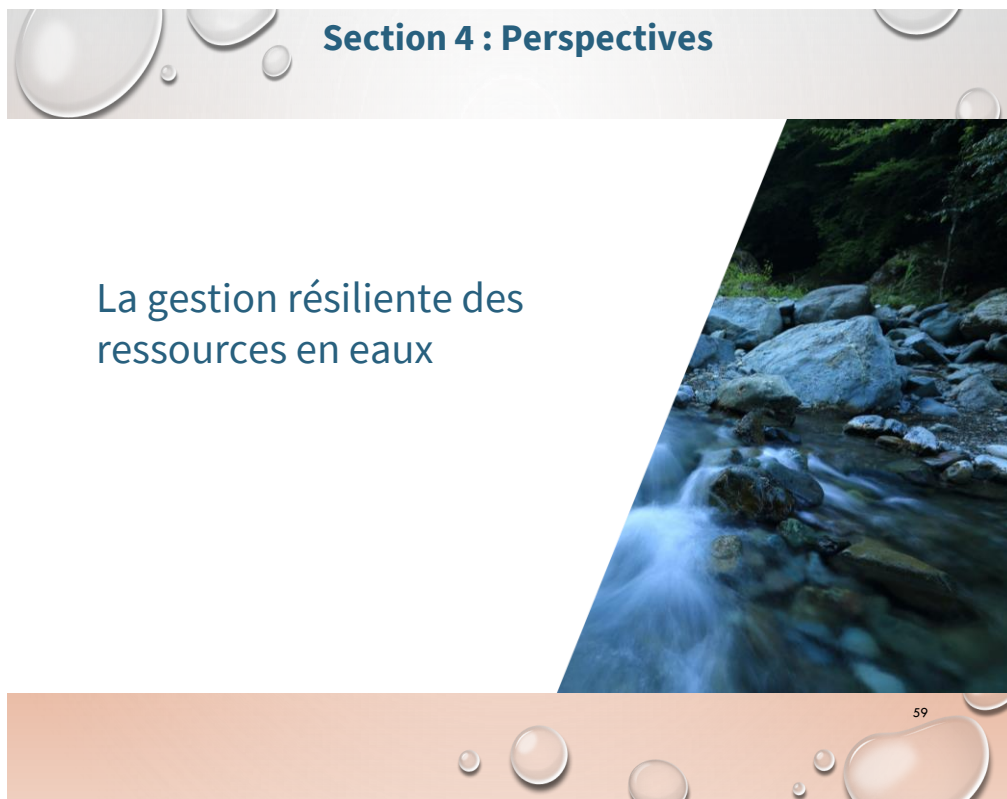
56



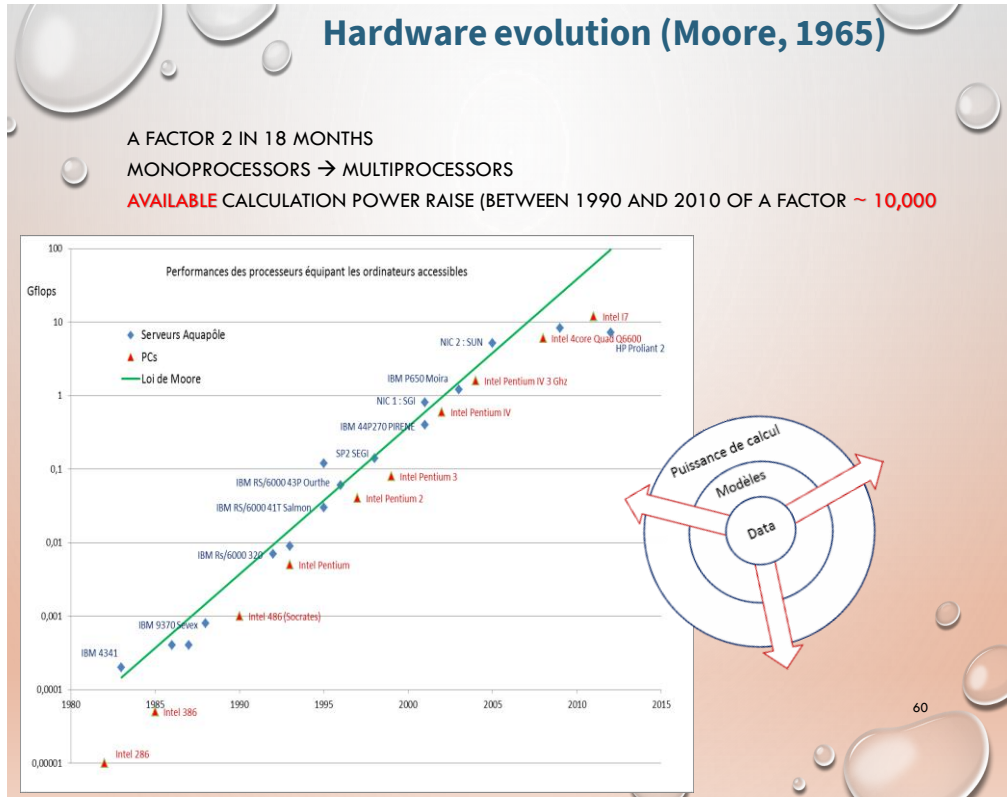
57



58



59



60

Les Enjeux Économiques

Eau essentielle pour l'économie au niveau National / Local
Elle est Nécessaire dans tous les secteurs au maintien et à la création d'économie

1/2 Main d'œuvre mondiale travaille dans 8 industries tributaires de l'Eau et des ressources naturelles

- Agriculture
- Sylviculture
- Pêche énergie
- Exploitation des ressources naturelles
- Recyclage
- Construction
- Transport

- Institutions de régulation
- Administrations publiques
- Industries
- Énergie
- Commerce
- ...

61

Rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2016 : L'Eau et l'Emploi

61

Les Enjeux Économiques

La gestion durable de l'Eau (→ Moteur pour la croissance verte et le DD)
(NB. Remind Indice de Falkenmark)

L'infrastructure de l'Eau
L'accès sûr, fiable et abordable à l'Eau ET aux services d'assainissement

Améliorent les **conditions de vie**
Développent l'économie locale
Mènent à la création d'un plus grand nombre
d'emplois décents et à une meilleure inclusion sociale

Négliger les questions liées à l'Eau → effets préjudiciables sur

L'économie
Les moyens de subsistances et les populations
Conséquences potentielles catastrophiques et couteuses

**Perte des acquis en matière de réduction de la pauvreté,
création d'emplois et développement**

62

Rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2016 : L'Eau et l'Emploi

62

Les Enjeux Économiques

Emplois dans le secteur de l'Eau

- La gestion des ressources en eau (y compris la GIRE et la remise en état et/ou l'assainissement des eaux usées)
- La construction, l'entretien et la modernisation de l'infrastructure en eau
- La production et la distribution de l'eau pour l'approvisionnement en eau potable et les usages domestiques

1,35 M emplois (42% pop active mondiale, 2014) dépend lourdement de l'eau
1,15 M emplois (36% pop active mondiale, 2014) dépend modérément de l'eau

78% emplois (main d'œuvre mondiale) dépendent dir ou indir de l'Eau

- Quantité significative d'eau INDISPENSABLE à l'Activité/production
- Risque de PERTE d'Emplois si accès incertain (quantité et qualité)
- 95% du secteur agricole, 30% du secteur industriel et 10% du secteur des services

J.-F. Deliège (Prof. Associé, Dir. Aquapôle)
2 octobre 2023
L'eau dans le développement économique

63

63

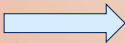
Les Enjeux Économiques

... Secteurs par secteurs / Région par Région / Perspectives / ...

NB. Agriculture : premier secteur d'emploi en Afrique (> 60%) dont 50% de femmes

« L'eau et les emplois sont inextricablement liés, que cela soit au niveau économique, environnemental ou social », 2016, Irina Bokova, DIRECTRICE GÉNÉRALE DE L'UNESCO

- ✓ Investissement dans l'innocuité de l'eau → **effets positifs sur la croissance économique**
- ✓ Accès fiable à l'eau (et à l'assainissement) au domicile et au travail + un niveau d'hygiène approprié → **Main d'œuvre en bonne santé, éduquée et productive**



Transposabilité des modèles de gestions (Paradigmes) ?

64

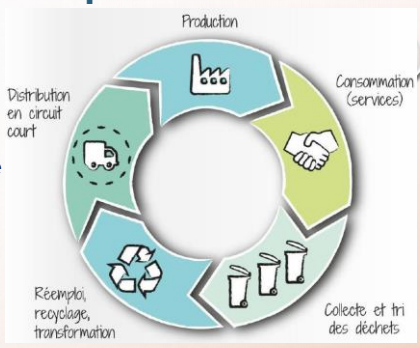
Rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2016 : L'Eau et l'Emploi

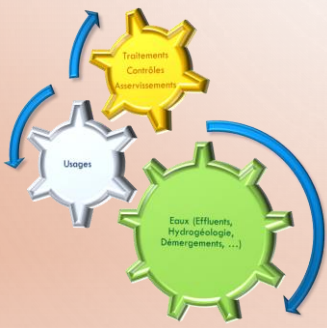
64

Les Enjeux Économiques

Innovation et ...
Recherche / Partenariats (approche pluridisciplinaire) / Réseaux / ...

→ **Développements économiques**

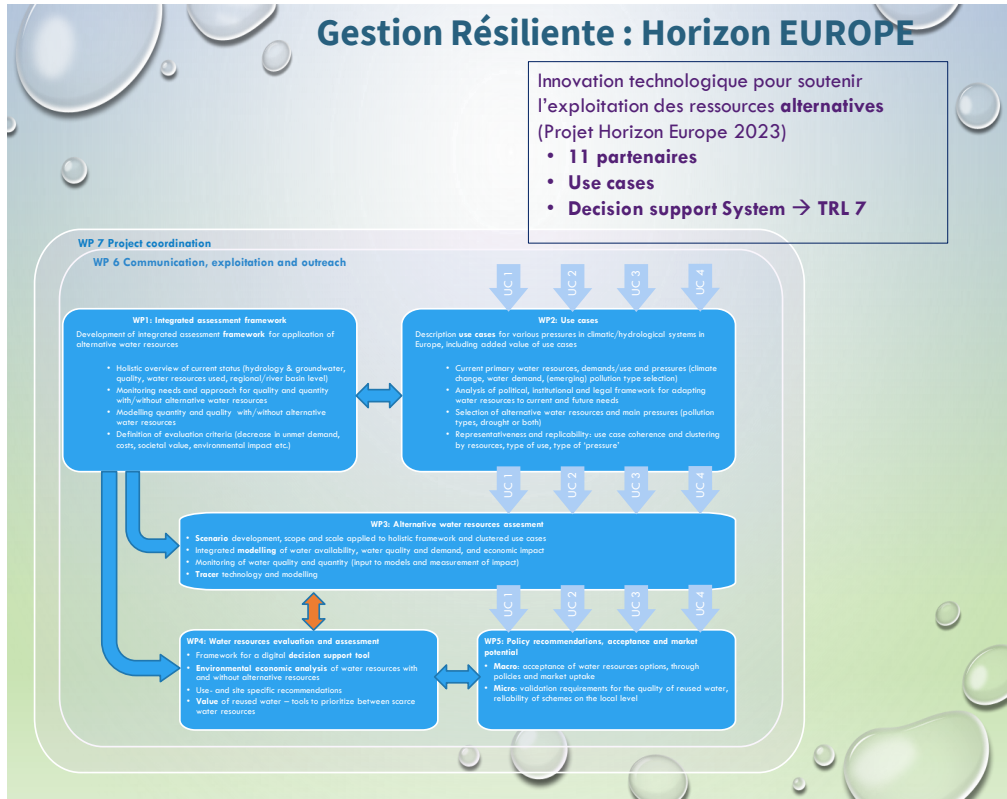




Vision stratégique d'avenir :
 Valorisation des Eaux, Économie circulaire, ressources alternatives, assainissement, gestion des flux, résilience, services écosystémiques, expertise, contrôle, sécurité, nouveaux usages, ...

65

65



66

Gestion Résiliente : Application FEDER

PORTEFEUILLE : WAMISC (WATER MANAGEMENT IN SMART CITIES) ULIÈGE – CEBEDEAU

CONSTAT DE DÉPART (LE VERRE À MOITIÉ VIDE)

F Rittweger (Dir. Dep' Technique Verviers)
 2 octobre 2023
 Projet de reconstruction résiliente de Verviers à la suite des inondations

... CADRE RÉGLEMENTAIRE DE PLUS EN PLUS FORT (EN PARTICULIER DES DIRECTIVES EUROPÉENNES DANS LE CADRE RÉGLEMENTAIRE WALLON), LE CYCLE NATUREL DE L'EAU EST DE PLUS EN PLUS AFFECTÉ PAR LES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, AVEC DES CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES SÉVÈRES (INONDATIONS, SÉCHERESSES, IMPERMÉABILISATION ET/OU ÉROSION DE LA TERRE, ...). LE PLAN QUALITATIF (ALTÉRATION DE L'EAU ET DES ÉCOSYSTÈMES ASSOCIÉS).

... ET GOUVERNANCE HOLISTIQUE DES RESSOURCES EN EAU (ÉCHELLES, ENJEUX, ...)

- MAÎTRISE TECHNOLOGIQUE PORTANT SUR DES OUTILS DE (1) **MONITORING** DES CYCLES NATURELS ET ANTHROPIQUES DE L'EAU, (2) **QUANTIFICATION** DES FLUX D'EAU ET DE MATIÈRES AU SEIN ET ENTRE CES DEUX COMPARTIMENTS TENANT COMPTE DES SPÉCIFICITÉS DE CES INTERACTIONS DANS UN CONTEXTE DE **CHANGEMENT GLOBAL ET CLIMATIQUE**, (3) DÉVELOPPEMENT DE **SOLUTIONS INNOVANTES** VISANT D'ABORD À S'ADAPTER (RÉSILIENCE) AUX CONSÉQUENCES, ENSUITE À **RÉDUIRE L'EMPREINTE ANTHROPIQUE** SUR CE CYCLE.

OPPORTUNITÉS (LE VERRE À MOITIÉ PLEIN)

- NOMBREUX DÉRIS SCIENTIFIQUES, TECHNOLOGIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES À RELEVER PAR LES ENTREPRISES WALLONNES ET LES ACTEURS DU SECTEUR DE L'EAU EN GÉNÉRAL EN VUE DE RÉPONDRE À CES BESOINS, AVEC À LA CLÉ LE DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX SECTEURS D'ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES (ET EMPLOIS ASSOCIÉS) ET DE SAVOIR-FAIRE DE POINTE AU BÉNÉFICE DE LA RÉGION D'ABORD, DE L'EUROPE ET À L'INTERNATIONAL ENSUITE.

→ 6 projets :
monitorer/maîtriser/optimiser/exploiter
la gestion (durabilité, environnement, flux...

67

Gestion Résiliente : App. FEDER

Portefeuille WaMiSC
Projet water smart cities

Objectifs principaux :

- Gestion des Flux de ruissellement en zone (péri-)urbaine
- Restauration d'un cycle hydrologique subnaturel

Objectifs secondaires :

- Offre de services complémentaires

Objectifs transversaux visés :

- Résilience
- Multidisciplinarité
- Formation
- Démonstrateur (Jardin de pluie)

Méthodologie / Moyens

- Mise en place d'une boîte à outil de dimensionnement hydrologique
- Outil de quantification des services écosystémiques
- Outil de planification de la maintenance

Délivrables (vers Dashboard)

- Boîte à outils
- Logiciel

Bénéficiaires:

- Auteurs de projets urbanistiques
- Gestionnaire des réseaux « eau pluviale »
- Villes et communes
- Opérateurs de maintenance

Prof. J. Teller et Prof. A. Degré (ULiège)
4 septembre 2023
La gestion des eaux urbaines.
Territoire et solutions durables.

68

68

Gestion Résiliente : App. FEDER

Portefeuille WaMiSC
Projet Gestion innovante et résiliente des gisements d'eaux de surface en Région wallonne

Objectifs principaux :

- Amélioration de la résilience du territoire par rapport aux sécheresses, grâce à une meilleure gestion de la ressource en eau en zone péri-urbaine (et urbaine)
- Réduction du risque d'inondation

Objectifs secondaires :

- Recharge de nappe, écosystèmes ...

Objectifs transversaux visés :

- Résilience
- Vue holistique crues-sécheresses
- Formation
- Simulateur

Méthodologie / Moyens

- Mise au point d'outils de dimensionnement rapide zones de stockage (temporaire) d'eau de surface, pour des usages agricoles, industriels ou en tant que mesure de réduction du risque d'inondation
- Documentation, transfert de connaissances, et simulateur de gestion des ouvrages de retenue

Délivrables (vers Dashboard)

- Recommandations techniques
- Boîte à outils / Logiciel
- Simulateur

Bénéficiaires:

- PME fournisseurs capteurs, bureaux d'études, agriculteur
- Entreprises consommatrices d'eau
- Administration/ citoyen

S. Erpicum (HECE)
3 avril 2023
Inondations et cartographie du risque

Echelles multiples

Barrages-réservoirs

Zones de ralentissement dynamique

Retenues collinaires ...

69

69

Gestion Résiliente : App. FEDER

Portefeuille WaMiSC
Projet REPAIRS (RisquE de Pollution de l'eAu souterraine par une approche centRée sur les flux massiqueS)

Objectifs principaux :

- Mesures des flux massiques de polluants dans le continuum sol – nappe d'eau souterraine – rivière
- Évaluation du risque de pollution des eaux souterraine (lessivage – dispersion)

Objectifs secondaires :

- Solutions avancées de surveillance / early-warning d'installations à risque de pollution de l'eau souterraine (sites pollués, systèmes de recharge artificielle des nappes, surveillance des captages...)

Objectifs transversaux visés :

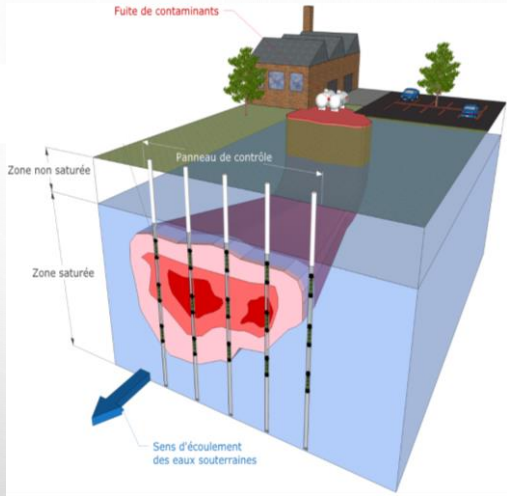
- Gestion durable des ressources en eau
- Résilience
- Formation
- Démonstrateur (pilote expérimental)

Méthodologie / Moyens

- Approche de mesure, en forage, des flux de polluants en milieu hétérogène par couplage d'essais de traçage, mesures thermiques de type active-DTS et géophysique
- Toolbox pour calcul du risque de dispersion des polluants vers et à travers l'eau souterraine

Délivrables (vers Dashboard)

- Nouveau service (mesure de flux massique)
- Logiciel



Bénéficiaires:

- Zoning Industriels
- Bureaux d'études
- SPI, SPAQUE, ...
- Administration/citoyens

70

70

Gestion Résiliente : App. FEDER

Portefeuille WaMiSC
Projet Circularité pour PME et petites collectivités (acronyme ??)

Objectifs principaux :

- Filière Circulaire eau – énergie – matière , adaptée aux PME agroalimentaires et petites collectivités.
- Organisation d'une gestion collective

Objectifs secondaires :

- Procédés traitements robustes et fiables.
- Sécurisation gestion eau des PME et petites collectivités.
- Monitoring et contrôle (SCADA)

Objectifs transversaux visés :

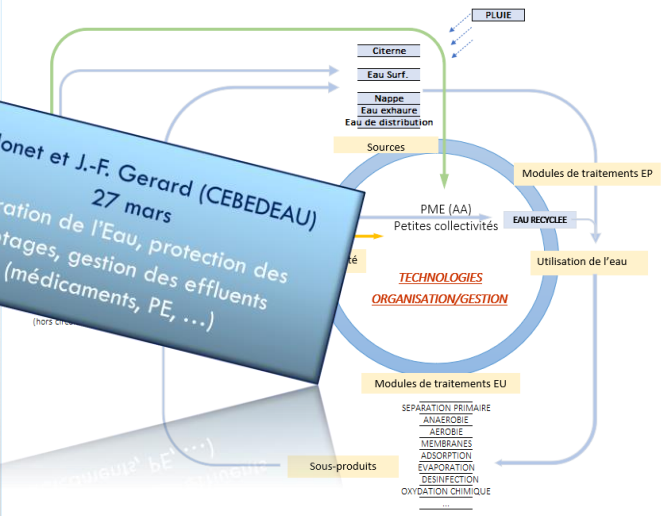
- Résilience des PME
- Qualité des masses d'eau
- Sites de démonstration
- Réduction empreinte environnementale

Méthodologie / Moyens

- Procédés de traitement
- Arbre décisionnel de circularité
- Cadre législatif

Délivrables (vers Dashboard)

- Démonstrateurs
- Filière intégrée
- Modèle organisationnel
- Flux industriels (vers Dashboard)



S. Nonet et J.-F. Gerard (CEBEDEAU) 27 mars
Épuration de l'Eau, protection des captages, gestion des effluents (médicaments, PE, ...)

Bénéficiaires:

- PMEs agro-alimentaire et autres
- Sociétés traiteurs d'eaux
- Services publics
- Secteur agricole

71

71

Gestion Résiliente : App. FEDER

Portfeuille WaMiSC
Projet AquaBioSens (Monitoring de Terrain de la Biodiversité présente dans les écosystèmes aquatique)

Objectifs principaux :

- Kit de biosurveillance aquatique
- Kit de tracking des contaminations bactériologiques (eaux potabilisables et de baignade)

Objectifs secondaires :

- Evaluation de la biodiversité
- Biostatistique et banques de données ADN environnementale
- Early-warning des sites à risque

Objectifs transversaux visés :

- Compréhension des dynamiques d'évolution de la biodiversité
- Outil d'aide à la décision pour la conservation – restauration de la biodiversité
- Etat de la biodiversité (vers Dashboard)

Méthodologie / Moyens

- Séquençage haut débit de nouvelle génération
- Protocoles standardisés
- Sites de démonstration

Délivrables

- Kits de terrain et SOP
- Méthodologie de mesure de la biodiversité aquatique

Bénéficiaires:

- Entreprises biotechnologie (kits de mesure)
- Bureaux études aménagements cours d'eau
- Producteurs eau potable
- Pouvoir public, gestion milieu naturel
- Activités touristiques et loisir / Citoyens

72

Gestion Résiliente : App. FEDER

Portfeuille WaMiSC
Dashboard

Objectifs principaux :

- Récolter / Traiter / Distribuer les données « eau » disponibles au niveau d'un territoire
- Gérer non seulement les « concentrations », mais surtout les Flux d'eau et de pollution (Bilans)

Objectifs secondaires :

- Mettre ces flux à disposition à différentes échelles (locales, urbaines, territoriale)
- Intégrer les résultats des autres projets Feder du portefeuille et de modèles existants (Pegase, ...)

Objectifs transversaux visés :

- Outil intrinsèquement transversal par la globalisation et mise en relations de données d'origine différente

Méthodologie / Moyens

- Base de données
- Géolocalisation des flux
- Outil évolutif

Délivrables

- Plateforme (services web)

Résultats études, pilotes
Données géographiques
Données / flux échelles locales

Bénéficiaires

- Echelle locale: commune, citoyens, entreprises
- Echelle urbaine: promoteurs, parcs d'activité, ...
- Entreprises/bureaux de consultance 73
- Pouvoir public gestionnaire: SPW, SPGE, ...

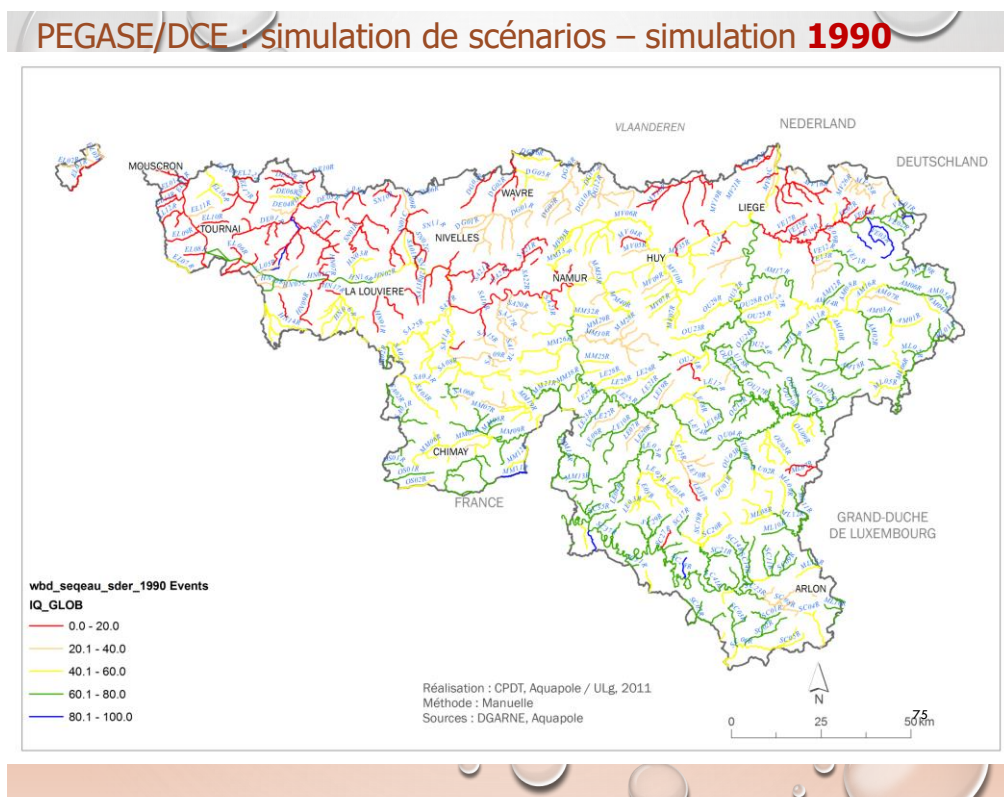
73

Gestion Résiliente : Qualité des ME

PEGASE/DCE : simulation de scénarios
Simulation **1990 → 20xx ?**

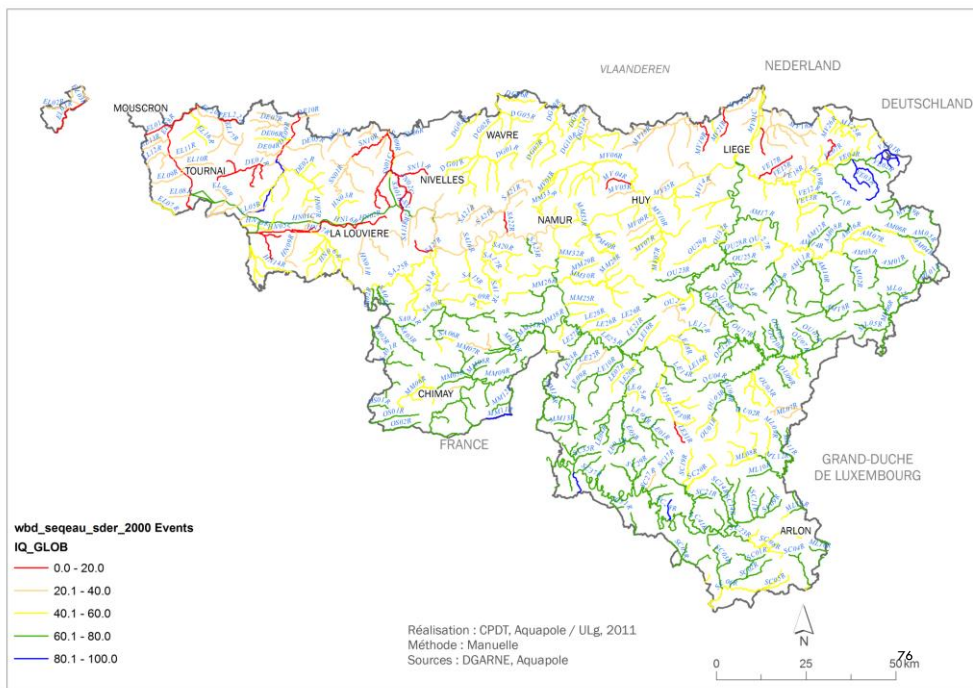
74

74



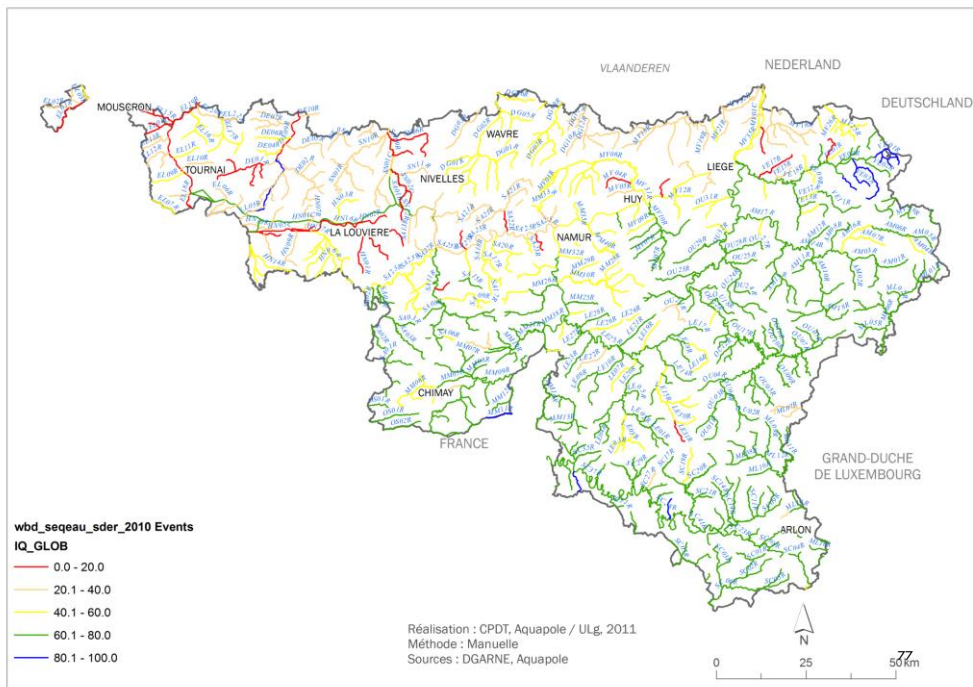
75

PEGASE/DCE : simulation de scénarios – simulation 2000



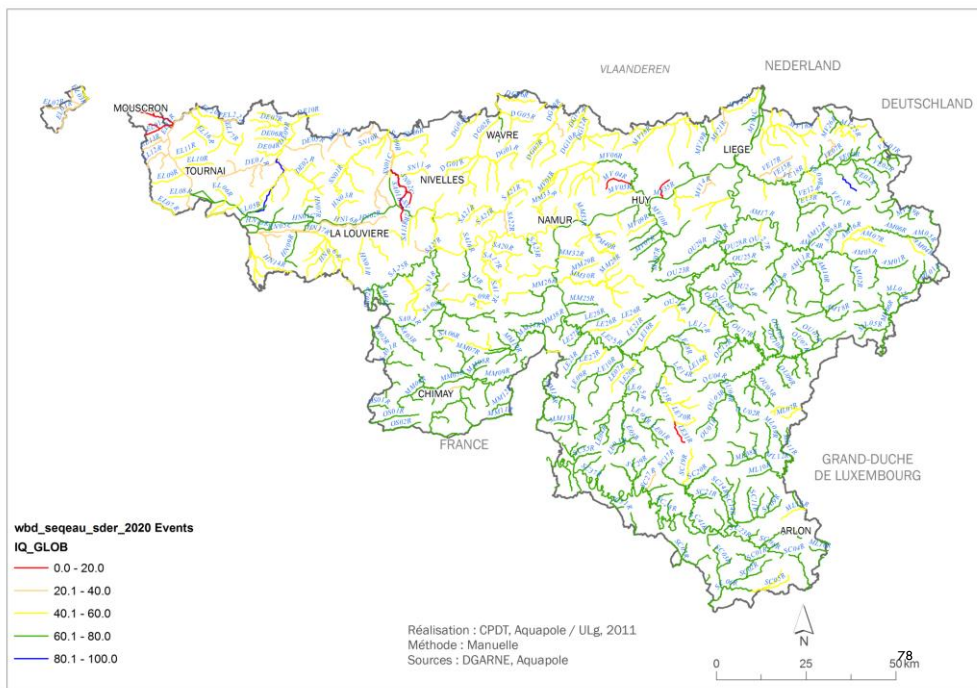
76

PEGASE/DCE : simulation de scénarios – simulation 2010



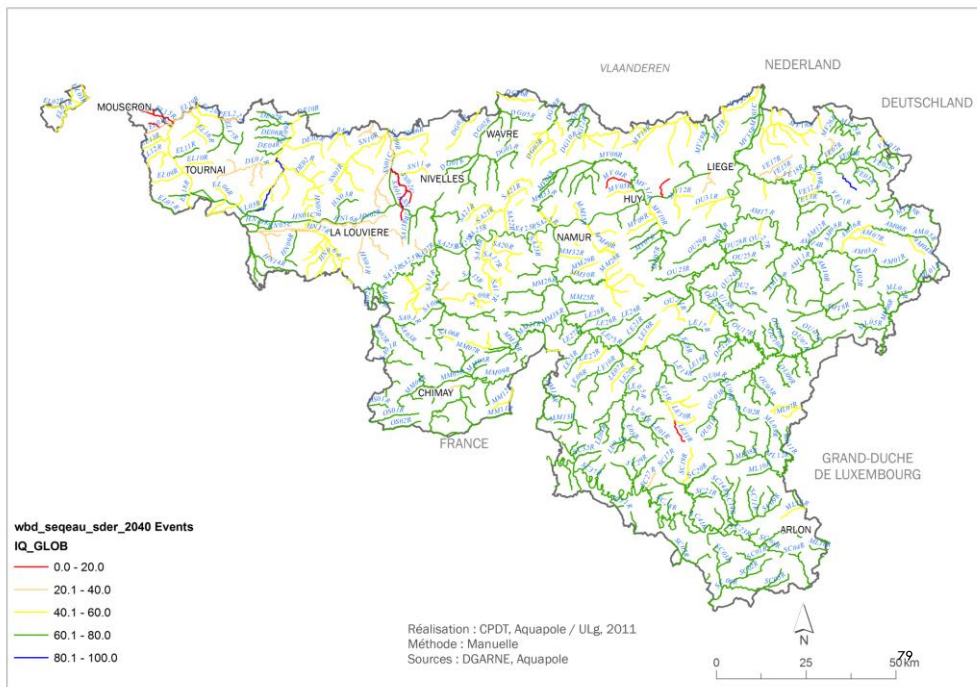
77

PEGASE/DCE : simulation de scénarios – simulation 2020



78

PEGASE/DCE : simulation de scénarios – simulation 2040



79

Améliorations futures Doctorats et Post-doctorats

Advection **Dispersion** **Apports/Rejets** **Production/Disparition**

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial C}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) = \sum \frac{1}{A_i} Ri \delta (x - xi) + \text{Prod} - \text{Disp}$$

Équation unidimensionnelle d'advection / dispersion d'un polluant dans les rivières (Fischer et al. 1979; D. Jabbour, 2007)

Mercure et ses métabolites

Conservation eau

$$\frac{\partial}{\partial t} (Cw) + \frac{\partial}{\partial x} (u \cdot Cw) = \frac{1}{A} \sum_i Ri \cdot PCiw \cdot \delta (x - xi) + \sum_j \frac{SSj}{1 + Ksss,j \cdot SSj} \cdot \frac{1}{\tau_j} \cdot (Ccs,j - Kdss,j \cdot Cw) + \sum_j \frac{BSj}{1 + Ksbs,j \cdot BSj} \cdot Vads,j \cdot (Cbs,j - Kdbs,j \cdot Cw) - Tdeg \cdot Cw - Vdf \cdot Cw / h - fmp \cdot kr \cdot Cw^i - \lambda_{100} \cdot Imoy \cdot Cw$$

Conservation MES

$$\frac{\partial}{\partial t} (SSj \cdot Ccs,j) + \frac{\partial}{\partial x} (u \cdot SSj \cdot Ccs,j) = \frac{1}{A} \sum_i Ri \cdot PCI,j \delta (x - xi) - \sum_j \frac{SSj}{1 + Ksss,j \cdot SSj} \cdot \frac{1}{\tau_j} \cdot (Ccs,j - Kd,j \cdot Cw) - (SEDj \cdot Ccs,j + RSj \cdot Cbs,j) / h - Tdeg \cdot SS,j \cdot Ccs,j - Vdf \cdot SS,j \cdot Ccs,j / h - \lambda_{100} \cdot Imoy \cdot SS,j \cdot Ccs,j - \lambda \cdot SS,j \cdot Ccs,j$$

Cons° sédiments

$$\frac{\partial}{\partial t} (BSj \cdot Cbs,j) = SEDj \cdot Ccs,j - RSj \cdot Cbs,j - Tdeg \cdot BS,j \cdot Cbs,j - \lambda \cdot BS,j \cdot Cbs,j - \sum_j \frac{BSj}{1 + Ksbs,j \cdot BSj} \cdot Vads,j \cdot (Cbs,j - Kdbs,j \cdot Cw)$$

80

Perspectives Internationales

Cooperation Treaty and conflicts related to hydrographic resources

263 International Basins
During the last 50 years
507 misunderstandings and 37 violent conflicts
1228 cooperation cases including 200 treaties
Wolf, UNDP 2006

<http://www.worldwater.org/conflict/map/>

P. Ozer (Chargé de cours ULiège)
22 mai 2023
Trop peu d'eau sur Terre et les inégalités et tensions géopolitiques qui en résultent

Nombre de traités de coopération par bassin versant

- De 16 à 20
- De 11 à 15
- De 6 à 10
- De 3 à 5
- 1 à 2
- Aucun

★ Principaux conflits liés aux ressources hydrographiques

Sources : Wolf, 2002 - Lasterre et Descloux, 2002.

Source: Blanchon, D., Boissière, A., Atlas mondial de l'eau, Editions Autrement, 2009

- < 10%
- de 10 à 25%
- de 25 à 50%
- de 50 à 75%
- > 75%
- pas de données

Cartographie : Jean-Pierre Kiemer Source: FAO

- ★ Tensions et troubles politiques (dégradation des relations bilatérales, émeutes...)
- ★ Tensions avec menaces de guerre
- ★ Tensions et affrontements avec victimes

Source : F. Lasserre et E. Conon, Manuel de géopolitique, ed. Armand Colin, 2008

81

E. Van Sevenant (CEO SWDE)
20 mars 2023
La sécurisation de l'alimentation en eau en Wallonie

S. Nonet et J.-F. Gerard (CEBEDEAU)
27 mars
Épuration de l'Eau, protection des captages, gestion (médicaments, ...)

S. Erpicum (H...)
3 avril 2023
Inondations et cartographie

V. Lognay et C. Grifnee (SPW Wallonie)
24 avril 2023
Barrages-réservoirs

P. Ozer (Chargé de cours ULiège)
22 mai 2023
Trop peu d'eau sur Terre et les inégalités et tensions géopolitiques qui en résultent

Prof. J. Teller et Prof. A. Degré (ULiège)
4 septembre 2023
La gestion des eaux urbaines. Territoires et solutions durables.

Doctorant ULiège)
... 2023
... les eaux : indicateurs ... ales (écotoxicologie, ... gnes, ...)

J.-F. Deliège (Prof. Associé, Dir. Aquapôle)
2 octobre 2023
L'eau dans le développement économique

F Rittweger (Dir. Dep' Technique Verviers)
2 octobre 2023
Projet de reconstruction résiliente de Verviers à la suite des inondations

Modules de cours de l'Espace Universitaire
Les lundis de 14h à 16h
Salle Hugues Deschamps (conservatoire de Verviers)
Rue Chapuis, 4

83

Conclusions

« Parmi tout ce que j'ai appris en tant que dirigeant politique, il y a le rôle central de l'eau dans les domaines sociaux politiques et économiques de notre pays, de ce continent et du monde », N. Mandela 2002

le terme **rival** vient du latin **rivalis** qui signifie
« qui tire son eau du même cours d'eau qu'un autre »

L'eau partagée recèle toujours un certain potentiel de concurrence

« Managing this interdependence is one of the major human development challenges facing the international community »

Rapport sur le développement humain,
Programme des Nations Unies pour le Développement 2006

84

A few Partners



Et une aventure humaine !


85

85

Et pendant ce temps ...

Pour mesurer la durée d'un discours
(d'une garde ou pendant la nuit)

- Égypte 1 600 ACN (Précision de 10 min)
- Amélioration en Grèce 270 ACN
- **La Clepsydre de la STEP d'Oupeye (Bernard Gitton)**
5m / 200 kg / 2 minutes



86

86



Thank you for your attention

Contact Pr. Jf Delière, Dr, Ir
JfDeliege@uliege.be
Département BEE
Unité de Recherche FOCUS
Faculté des Sciences
Université de Liège

Source : Erik Johansson, 2017

87