

Ecole chercheurs “Modélisation des écosystèmes et des procédés biologiques de dépollution”

UNIVERSITÉ ABOUBEKR
BELKAID TLEMCEM

B. Cherki, C. Lobry, T. Sari, J. Harmand (Univ. Tlemcen, LBE-INRA,
Narbonne et EPI MERE INRA-INRIA, UMR MISTEA, Montpellier)

CONTEXTE

- ❑ L'Afrique de l'ouest et du nord (Middle East and North Africa) est la région la plus sèche au monde avec 1,7 m³/habitant/an d'eau douce disponible (7 pour la moyenne mondiale, probablement moins dans un contexte de changement global);
- ❑ 60% de l'accès aux réserves de ces régions sont sujets à conflits (eau superficielle & aquifères transfrontaliers)...

CONTEXTE

- ❑ Les enjeux sont majeurs dans tous les domaines :
 - ❑ Gestion de l'eau - Dans les années qui viennent, plusieurs états africains devront dépenser 20% de leurs revenus s'ils veulent mettre les installations de gestion des ressources, d'approvisionnement et de traitement de l'eau aux normes internationales;
 - ❑ Irrigation - Les infrastructures actuels sont peu rentables, ne sont pas en conformité avec les normes internationales et ne sont pas intégrés aux systèmes de subvention de l'agriculture (qui, par exemple, maintiennent le prix du pompage de l'eau artificiellement bas);
 - ❑ Intégration des infrastructures de production d'énergie – La construction de nombreux bassins et barrages a certes amélioré le quotidien des populations mais l'entretien de ces grandes infrastructures est cher et n'a pas toujours été pris en compte au stade de la conception...

CONTEXTE

- ❑ En matière de crise de l'eau (accès à l'eau, traitement de l'eau, réserve), l'Afrique cumule malheureusement les superlatifs. Mais elle a également de nombreux atouts que nous devons fédérer pour contribuer à la résolution de ces problèmes. Toutefois, les problèmes sont très complexes... Un outil disponible et indispensable : la recherche.
- ❑ Le réseau **TREASURE** pour *Treatment and Sustainable Reuse of Effluents in semiarid climates* tente d'aborder ces difficultés dans toute leur complexité...

PLAN

- Le traitement des eaux usées – des verrous scientifiques aux enjeux socio-économiques
 - La dépollution biologique des eaux résiduaires;
 - Le traitement biologique de la pollution des eaux – enjeux scientifiques et technologiques;
 - La recherche en biotechnologies : une opportunité pour l’Afrique...
 - Enjeux socio-économiques.
- Cette école : fruit d’une collaboration originale entre l’INRIA, l’Université de Mulhouse et l’Université de TLEMCEN...
 - Historique et nouveau contexte politique euro-méditerranéen;
 - Le projet TREASURE : un réseau euro-méditerranéen de recherche sur la « production d’eau pour l’agriculture »;
 - Le projet AIRES-Sud et le projet européen COADVISE;
- Conclusions et perspectives : Les projets TREASURE-Euromed et SAWRA...

PLAN

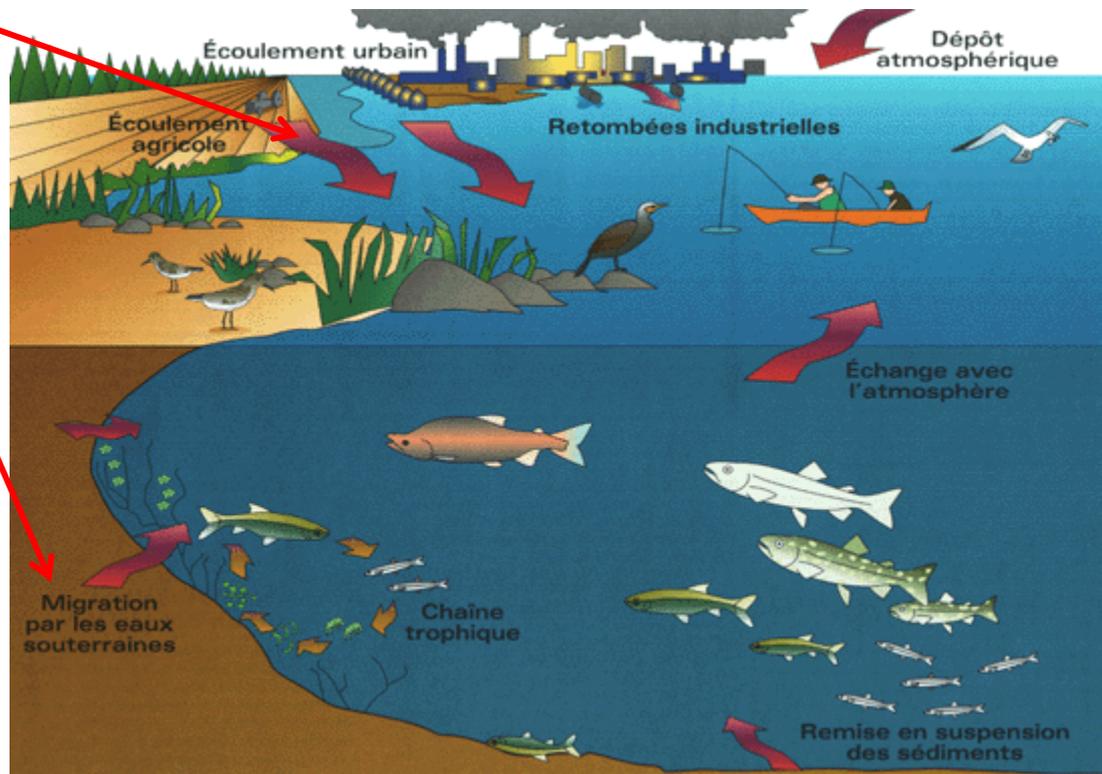
- ❑ Le traitement des eaux usées – des verrous scientifiques aux enjeux socio-économiques
 - ❑ ***La dépollution biologique des eaux résiduaires;***
 - ❑ Le traitement biologique de la pollution des eaux – enjeux scientifiques et technologiques;
 - ❑ Enjeux socio-économiques.
- ❑ Cette école : fruit d'une collaboration originale entre l'INRIA et l'Université de TLEMCEM...
 - ❑ Les protagonistes : l'INRIA, l'INRA et les projets 3+3;
 - ❑ Le projet TREASURE : un réseau euro-méditerranéen de recherche sur la « production d'eau pour l'agriculture »;
 - ❑ Le projet AIRE-Sud et le projet européen COADVISE;
- ❑ Conclusions et perspectives : Les projets TREASURE-Euromed et SAWRA...

LA POLLUTION DES EAUX



LA POLLUTION DES EAUX

Pollution diffuse

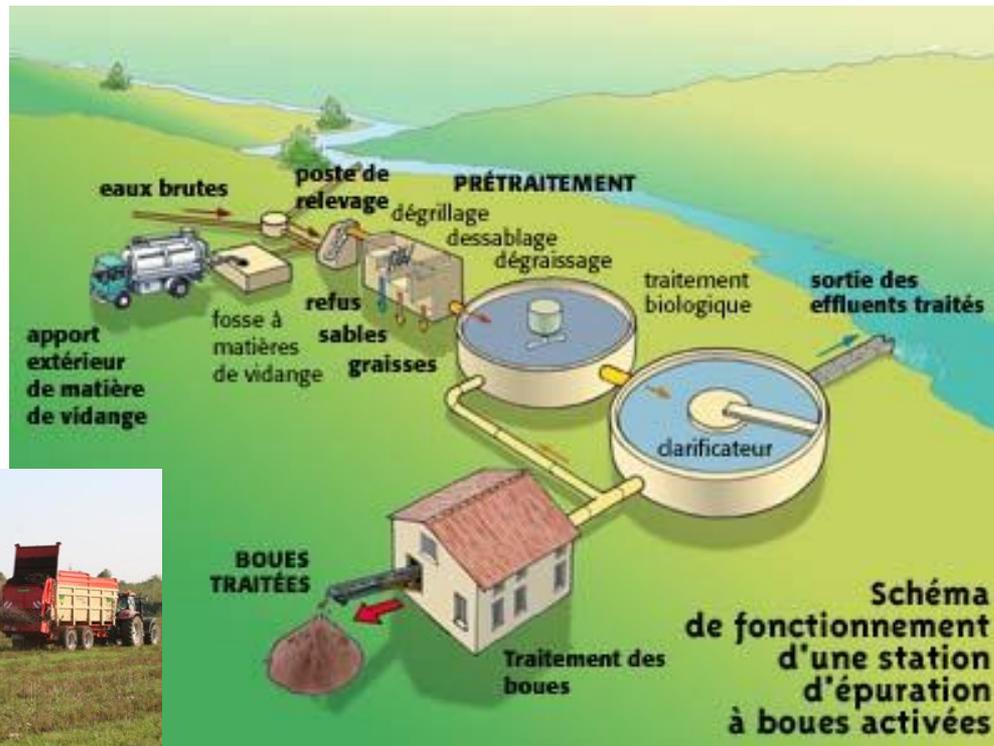


PLAN

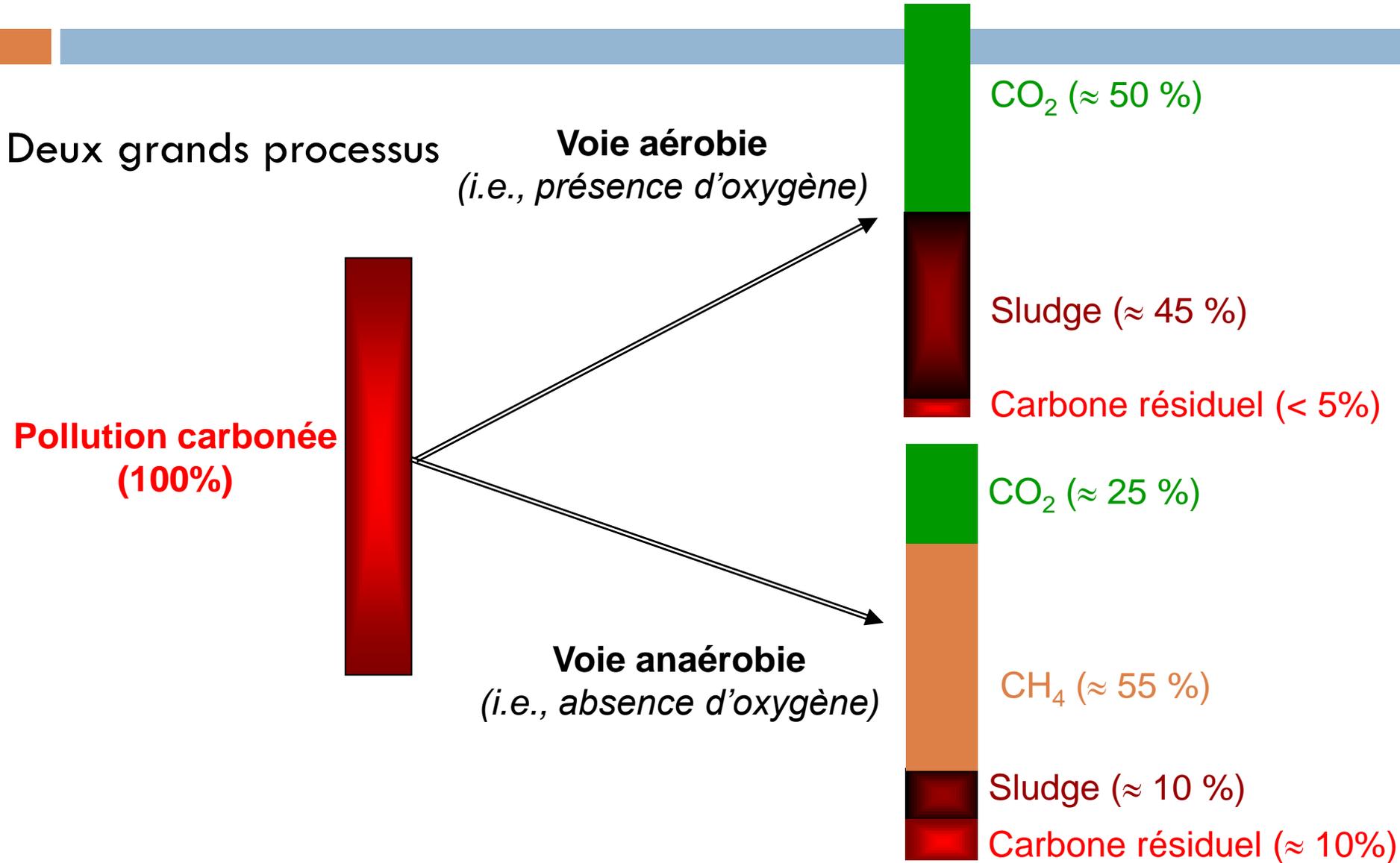
- Le traitement des eaux usées – des verrous scientifiques aux enjeux socio-économiques
 - La dépollution biologique des eaux résiduaires;
 - **Le traitement biologique de la pollution des eaux – enjeux scientifiques et technologiques;**
 - Enjeux socio-économiques.
- Cette école : fruit d'une collaboration originale entre l'INRIA et l'Université de TLEMCEN...
 - Les protagonistes : l'INRIA, l'INRA et les projets 3+3;
 - Le projet TREASURE : un réseau euro-méditerranéen de recherche sur la « production d'eau pour l'agriculture »;
 - Le projet AIRES-Sud et le projet européen COADVISE;
- Conclusions et perspectives : Les projets TREASURE-Euromed et SAWRA...

LE TRAITEMENT DES EAUX USEES

Confinement au sein de « réacteurs biologiques » des phénomènes physico-chimiques et biologiques qui conduisent à l'assimilation et/ou à la transformation de la matière organique – des substrats pour le vivant – et qui, par voie de conséquence, permettent de concentrer la pollution sous une forme solide – communément appelée « les boues ».

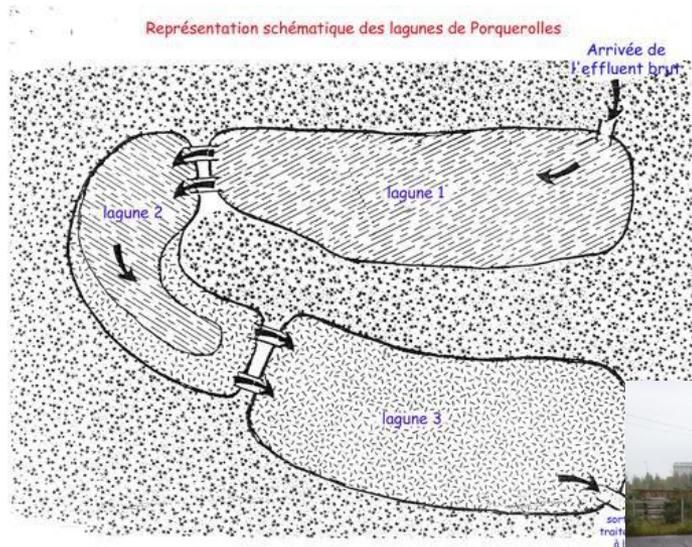


LE TRAITEMENT DES EAUX USEES



LE TRAITEMENT DES EAUX USEES

Mise en œuvre extensive



www.histoire-eau-hyeres.fr



LE TRAITEMENT DES EAUX USEES

Mise en œuvre intensive



LES ENJEUX DU TRAITEMENT

Ils sont multiples !!!

- Economiques
 - 50% du coût de fonctionnement d'une station d'épuration est consacrée à la filière boue...
 - Entre 30 et 40% sont « perdus » en énergie pour l'aération des bassins biologiques!
 - Une station d'épuration coûte entre 1 000 € et 5 000 €/habitant à la construction...
 - En France, environ 70% des eaux utilisées sont effectivement traitées!

***Nécessité d'optimiser !!!
Nécessité de mieux « contrôler »***

LES ENJEUX DU TRAITEMENT

Disproportion des décanteurs...



LES ENJEUX DU TRAITEMENT

- ❑ Technologiques
 - ❑ Quelles technologies pour quels effluents?
 - ❑ Comment assurer la minimisation des impacts (pathogènes, composés minoritaires, composés bioréfractaires...)?
 - ❑ Comment rendre les installations robustes vis-à-vis de surcharges hydrauliques/organiques;
 - ❑ ...

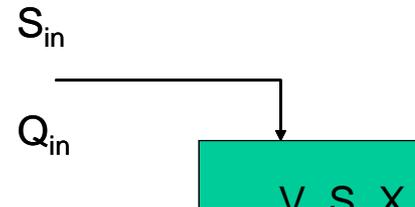
Nécessité d'optimiser !!!
Nécessité de mieux « contrôler »

LES ENJEUX DU TRAITEMENT

Qui traite la pollution?

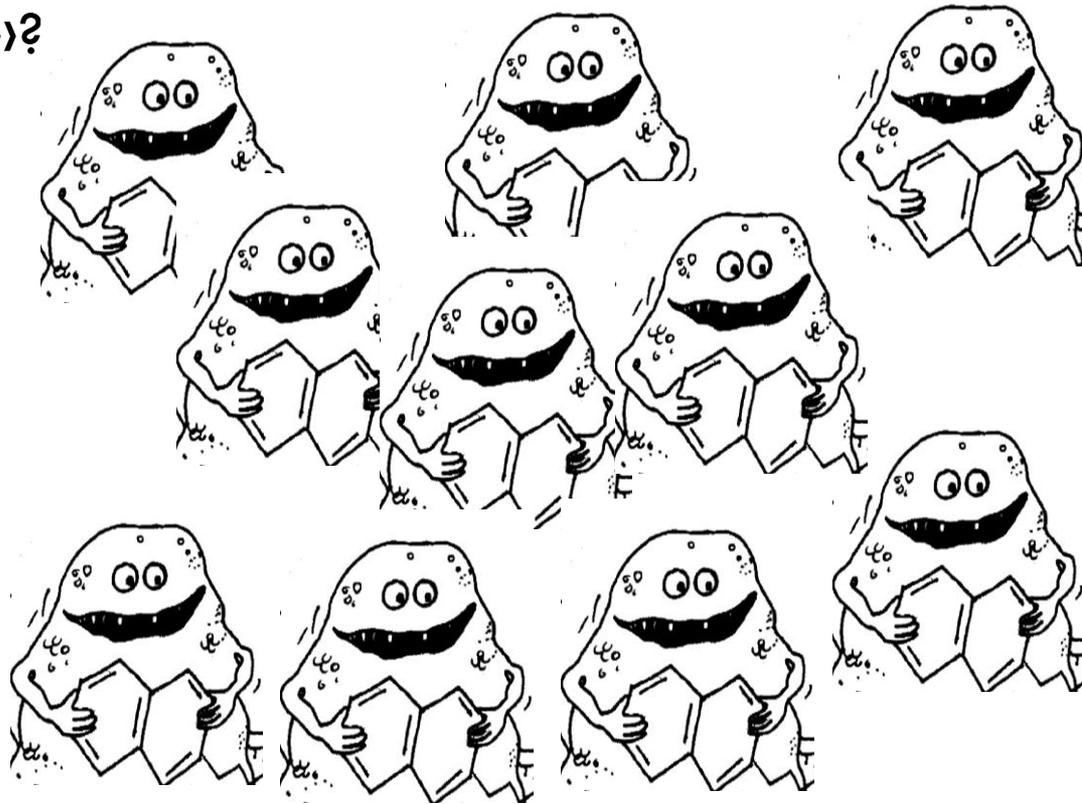


« Chemostat »



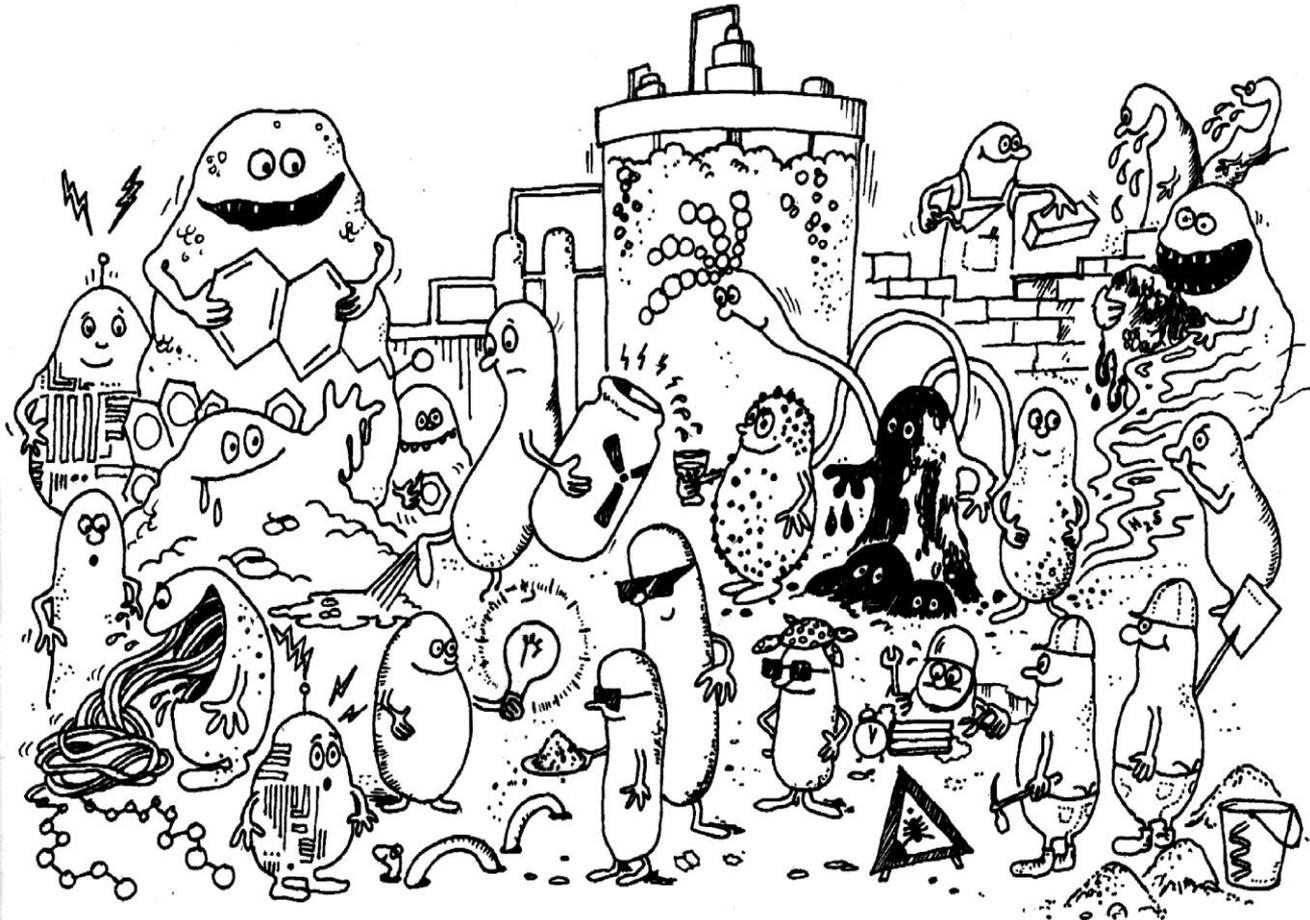
LES ENJEUX DU TRAITEMENT

Qui est « X »?



LES ENJEUX DU TRAITEMENT

Les outils récents de la biologie moléculaire suggèrent plutôt :

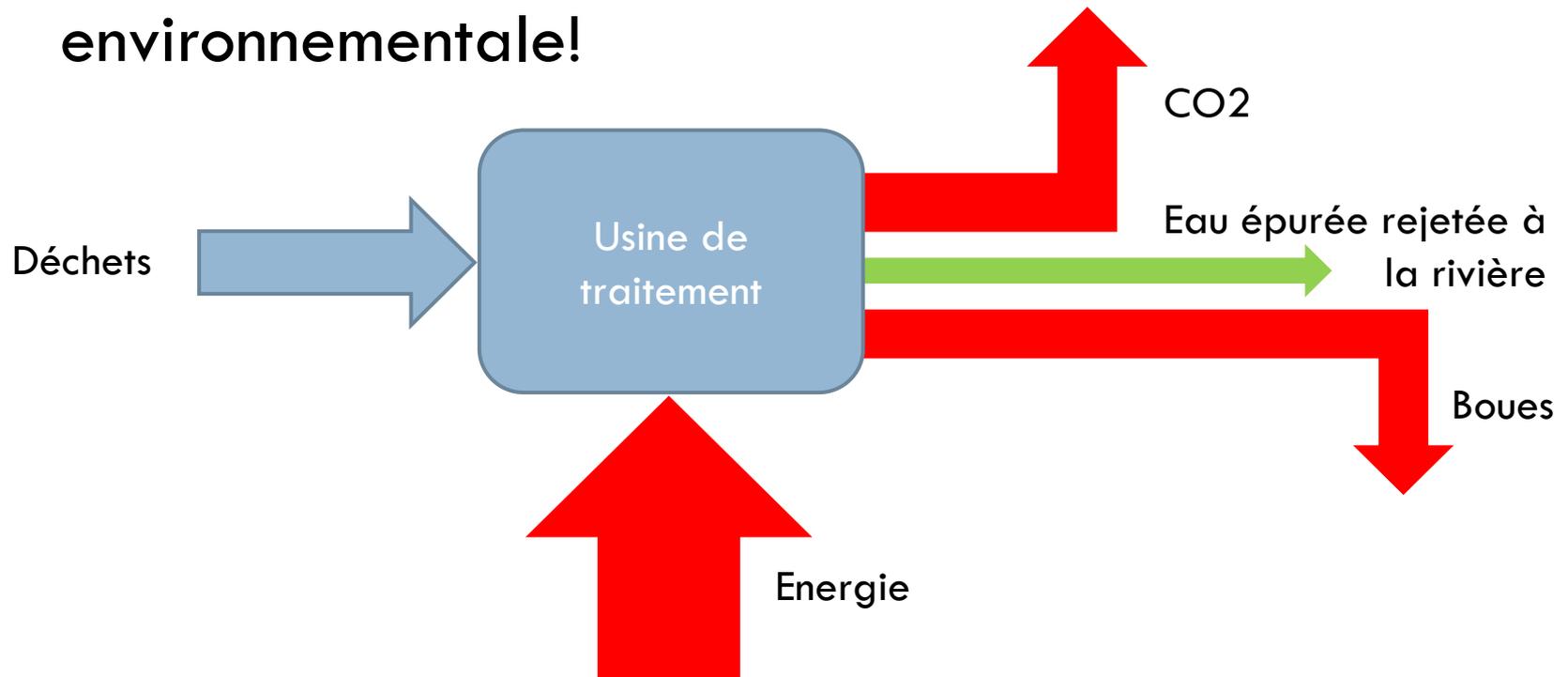


DU TRAITEMENT A LA VALORISATION

- ❑ Traiter, c'est bien. Valoriser c'est mieux!
- ❑ Un exemple : la raréfaction du phosphore...
 - ❑ Sous la forme de phosphates, le phosphore est nécessaire à la croissance des plantes. Mais le sol agit comme un puits... Il s'ensuit une raréfaction du phosphore...
 - ❑ Réutiliser ce dernier – soit par extraction-piégeage en station soit via la réutilisation de l'eau – est un exemple de valorisation d'une ressource non renouvelable...

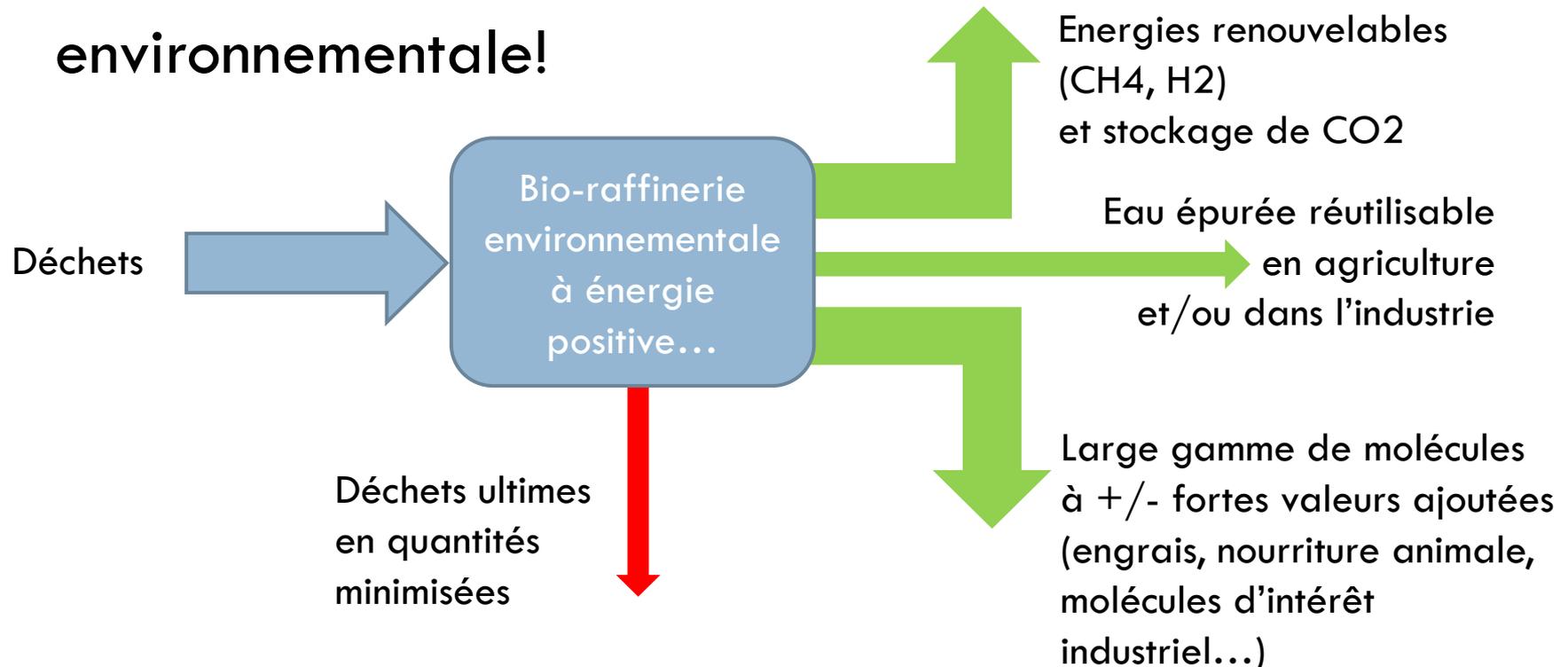
DU TRAITEMENT A LA VALORISATION

- On assiste à un réel changement de paradigme : dans quelques années, on ne concevra plus une station de traitement mais une bio-raffinerie environnementale!



DU TRAITEMENT A LA VALORISATION

- On assiste à un réel changement de paradigme : dans quelques années, on ne concevra plus une station de traitement mais une bio-raffinerie environnementale!



LES ENJEUX DU TRAITEMENT

- ❑ Scientifiques
 - ❑ Qui est là?
 - ❑ Pourquoi-comment une telle biodiversité?
 - ❑ Quelle description pour mieux contrôler (quelle échelle de représentation pour tel ou tel objectif)?
 - ❑ Quel est le rôle des espèces minoritaires?
 - ❑ Quelles lois de commande pour tel ou tel objectif?
 - ❑ Quels liens entre paramètres de conception et de contrôle?
 - ❑ ...

Nécessité de mieux comprendre !!!

Nécessité de formaliser la connaissance, de « modéliser »...mais

Peut-on/doit-on aller plus loin avant de parler projets de recherche???

PLAN

- ❑ Le traitement des eaux usées – des verrous scientifiques aux enjeux socio-économiques
 - ❑ La dépollution biologique des eaux résiduaires;
 - ❑ Le traitement biologique de la pollution des eaux – enjeux scientifiques et technologiques;
 - ❑ **La recherche en biotechnologies : une opportunité pour l'Afrique...**
- ❑ Cette école : fruit d'une collaboration originale entre l'INRIA et l'Université de TLEMCEN...
 - ❑ Les protagonistes : l'INRIA, l'INRA et les projets 3+3;
 - ❑ Le projet TREASURE : un réseau euro-méditerranéen de recherche sur la « production d'eau pour l'agriculture »;
 - ❑ Le projet AIRES-Sud et le projet européen COADVISE;
- ❑ Conclusions et perspectives : Les projets TREASURE-Euromed et SAWRA...

UNE OPPORTUNITE...



Mise à niveau de systèmes existants...



UNE OPPORTUNITE...



...versus l'installation de nouveau système avec, à la clés, un saut technologique.



UNE OPPORTUNITE...

- A l'heure des changements de paradigme annoncé, il y a, pour l'Afrique, vis-à-vis de ses voisins européens, une opportunité à ne pas rater :
 - Pour devenir leader dans un segment industriel à sa portée;
 - Pour développer des technologies d'avenir et d'intérêt majeur pour la planète;
 - Pour associer savoir-faire et recherche dans un secteur à haute valeur-ajoutée...

Nécessité de former par et pour la recherche !!!

Dans les projets actuels impliquant l'Afrique, cette dimension est importante :

« Involving and Training local skills »

PLAN

- ❑ Le traitement des eaux usées – des verrous scientifiques aux enjeux socio-économiques
 - ❑ La dépollution biologique des eaux résiduaires;
 - ❑ Le traitement biologique de la pollution des eaux – enjeux scientifiques et technologiques;
 - ❑ **Enjeux socio-économiques.**
- ❑ Cette école : fruit d'une collaboration originale entre l'INRIA et l'Université de TLEMCEN...
 - ❑ Les protagonistes : l'INRIA, l'INRA et les projets 3+3;
 - ❑ Le projet TREASURE : un réseau euro-méditerranéen de recherche sur la « production d'eau pour l'agriculture »;
 - ❑ Le projet AIRE-Sud et le projet européen COADVISE;
- ❑ Conclusions et perspectives : Les projets TREASURE-Euromed et SAWRA...

LES ENJEUX SOCIO-ECONOMIQUES

« L'une des raisons de cette sous-exploitation est que, depuis sept ou huit ans, les bailleurs de fonds sont réticents à investir dans les projets d'irrigation. Un retrait dû au fait que les Africains ne s'appuient pas en priorité sur les infrastructures modernes pour leurs activités agricoles [...]. Cet échec s'explique notamment par le fait que les systèmes d'irrigation impliquent une organisation, une collaboration et l'établissement d'un réseau de distribution de l'eau, dont les Africains n'ont pas encore l'habitude. Ils privilégient en priorité les cultures qui poussent très bien avec l'eau de pluie, comme les céréales et les tubercules. »

Jacques Diouf, Directeur Général de la FAO

LES ENJEUX SOCIO-ECONOMIQUES

- Les enjeux socio-économiques
 - Les stratégies d'investissement sont-elles en accord avec les solutions technologiques proposées?
 - Les solutions proposées améliorent-elles la gestion/qualité des cultures?
 - Les solutions proposées sont-elles acceptées par les populations?
 - ...

Peut-on/doit-on aller plus loin avant de parler recherche : OUI !!!

***Nécessité d'impliquer les acteurs locaux et d'insérer les solutions proposées dans les schémas institutionnels et culturels existants !!!
« Il est inutile de rendre une eau potable si personne ne veut la boire !!! »***

PLAN

- Le traitement des eaux usées – des verrous scientifiques aux enjeux socio-économiques
 - La dépollution biologique des eaux résiduaires;
 - Le traitement biologique de la pollution des eaux – enjeux scientifiques et technologiques;
 - Vers un changement de paradigme : du traitement à la valorisation;
 - Enjeux socio-économiques.
- Cette école : fruit d'une collaboration originale entre l'INRIA, l'Université de Mulhouse et l'Université de TLEMCEEN...
 - **Historique et nouveau contexte politique euro-méditerranéen;**
 - Le projet TREASURE : un réseau euro-méditerranéen de recherche sur la « production d'eau pour l'agriculture »;
 - Le projet AIRES-Sud et le projet européen COADVISE;
- Conclusions et perspectives : Les projets TREASURE-Euromed et SAWRA...

LES PROTAGONISTES

□ Perspective historique (1)

- En 2003, T. Sari et l'Univ. De Tlemcen co-organisent l'école du CIMPA "Contrôle non linéaire et applications" (CIMPA-UNESCO-TLEMCEN)
- En janvier 2006 se tient à TLEMCEN une autre école sur les systèmes dynamiques organisée par le CIMPA et le programme de collaboration franco-algérien TASSILI via T. Sari.
- ***Sous l'impulsion de C. Lobry et B. Cherki, un projet INRIA 3+3 est soumis et accepté;***
- Il regroupe alors des équipes/laboratoires de 3 pays européens et 2 pays du Maghreb;
- Les écoles du CIMPA organisées avec le concours de la chaire UNESCO sont des occasions pour les membres de se retrouver régulièrement (notamment lors d'une l'école CIMPA-INRIA-UNESCO-TLEMCEN de 2008)...



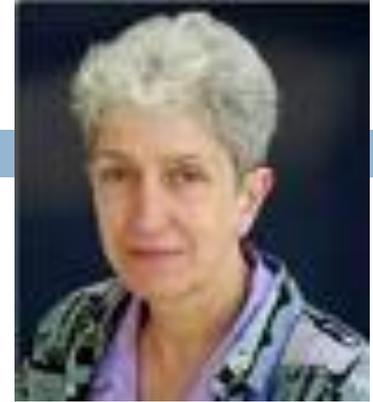
LES PROTAGONISTES

- Perspective historique (2)
 - Au cours des 3 années qui suivent, il se renforce avec de nouveaux membres belges et tunisiens;
 - Le projet adopte un fonctionnement de réseau dont les activités sont soutenues par les organismes participants et des projets bilatéraux dont le projet Aires-sud qui finance en partie cette école;
 - ***Alors que depuis l'origine du réseau, certains pays du sud sont déjà très impliqués financièrement (l'Algérie notamment), en 2008, B. Philippe parvient à obtenir l'investissement des institutions de la recherche et/ou de l'enseignement supérieur des pays participants et, parallèlement à fédérer l'ensemble des projets 3+3 au sein d'un projet européen d'échanges de personnels...***

Programme 3+3 Méditerranée



LES PROTAGONISTES



- Mais avant tout, un nouveau contexte européen et une approche fondée sur la collaboration scientifique!



La Recherche, février 2010

« Par le passé, les jeunes Africains venaient se former chez nous, notamment à l'Inria. Mais la situation se modifie du fait de l'existence ou la création de nouvelles formations doctorales, au Maghreb et dans les pays sub-sahariens. **Une politique de partenariat doit donc se substituer à l'ancienne politique d'aide au développement.** L'action menée par l'INRIA a certes encore une dimension volontariste, mais nous n'avons pas le choix : si l'Europe veut compter à l'échelle du monde, en particulier au travers de ses valeurs, cela doit aussi se concrétiser en Afrique. »

Dominique Sotteau
DRI - INRIA

PLAN

- Le traitement des eaux usées – des verrous scientifiques aux enjeux socio-économiques
 - La dépollution biologique des eaux résiduaires;
 - Le traitement biologique de la pollution des eaux – enjeux scientifiques et technologiques;
 - Vers un changement de paradigme : du traitement à la valorisation;
 - Enjeux socio-économiques.
- Cette école : fruit d'une collaboration originale entre l'INRIA, l'Université de Mulhouse et l'Université de TLEMCEM...
 - Les protagonistes : l'INRIA, l'INRA et les projets 3+3;
 - **Le projet TREASURE : un réseau euro-méditerranéen de recherche sur la « production d'eau pour l'agriculture »;**
 - Le projet AIRES-SUD et le projet européen COADVISE;
- Conclusions et perspectives : Les projets TREASURE-Euromed et SAWRA...

LE RESEAU TREASURE

- Les partenaires de TREASURE (Treatment and Sustainable Reuse of Effluents in semiarid climates)
 - L'UCL, USC, INRA, INRIA, IRD, POLIMI, ENIT-LAMSIN, CBS, Tlemcen, Saint Louis, Ouagadougou...



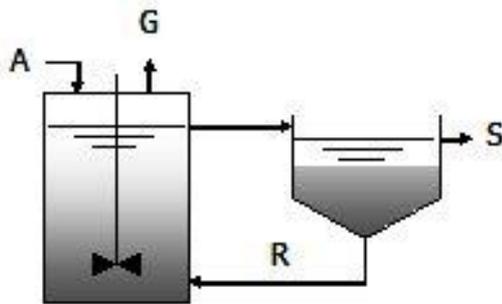
LE RESEAU TREASURE

- ❑ Le financement et les objectifs
 - ❑ Soutien de base d'environ 15 Keuros/an
 - ❑ Implication croissante des institutions partenaires;
 - ❑ Les objectifs du réseau
 - développer des collaborations entre des laboratoires d'Europe du sud et d'Afrique du nord,
 - favoriser le co-encadrement d'étudiants,
 - soumettre des projets dans le domaine de la réutilisation des eaux usées en agriculture;
 - A terme, permettre l'émergence d'un pôle de compétence international sur le traitement de l'eau utilisant les technologies membranaires.

LE RESEAU TREASURE

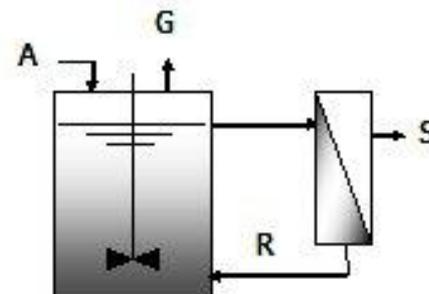
□ La problématique

- Manque d'eau dans les pays du Maghreb
- Gros besoins de l'agriculture
- Nécessité de respecter des normes de plus en plus strictes à un coût acceptable
- Les BRM anaérobies présentent de nombreux avantages :
 - Energie positive;
 - Pas de traitement de l'azote et du phosphore;
 - Permettent une séparation optimale des boues et de l'eau traitée.



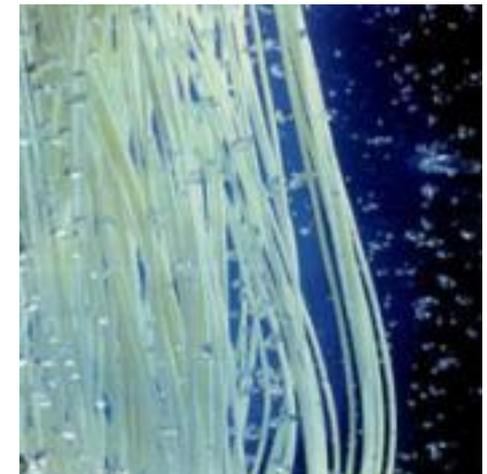
Contact anaérobie

A: Alimentation substrat, R: Recirculation digestat,
S: Sortie digestat, G: Sortie biogaz



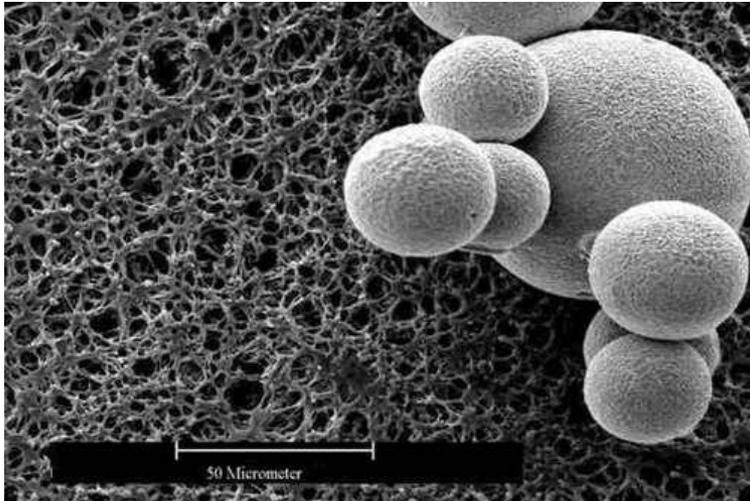
Bioréacteur anaérobie à membrane

A: Alimentation substrat, R: Recirculation digestat,
S: Sortie digestat, G: Sortie biogaz



LE RESEAU TREASURE

- ❑ Enjeux scientifiques et technologiques
 - ❑ Déterminer les conditions de fonctionnement des systèmes membranaires pour minimiser les colmatages;
 - ❑ Evaluer le couplage des réacteurs de digestion anaérobie et des systèmes BRM;
 - ❑ Modéliser, contrôler et optimiser des systèmes de traitement de l'eau...



LE RESEAU TREASURE

❑ Les thèses en cours

- ❑ Modélisation et contrôle des procédés biologiques anaérobies à membranes (A. Charfi/ENIT-LAMSIN-LBE-MERE et B. Benyahia/Tlemcen-LBE-EPI-MERE)
- ❑ Modélisation et analyse d'écosystèmes microbiens complexes (R. Fekih Salem/ENIT-LAMSIN-MERE)
- ❑ Modélisation et contrôle de bioprocédés de traitement de l'eau (S. Hassam et A. Zegnoui/Tlemcen-POLIMI)

❑ Faits marquants

- ❑ Réalisation d'une équipe de taille critique à Tlemcen impliquant des personnels présentant des profils de double compétence « Automatique/Biotechnologie »
- ❑ Mise en place d'une thématique spécifique « modélisation des écosystèmes microbiens » à l'ENIT-LAMSIN
- ❑ Recherche de financements visant à créer des conditions permettant l'installation de pilotes instrumentés en Tunisie et à Tlemcen (coût global estimé à 1 million d'euros) – (il n'existe 3 lieux au monde pour la DA!!!)

PLAN

- Le traitement des eaux usées – des verrous scientifiques aux enjeux socio-économiques
 - La dépollution biologique des eaux résiduaires;
 - Le traitement biologique de la pollution des eaux – enjeux scientifiques et technologiques;
 - Vers un changement de paradigme : du traitement à la valorisation;
 - Enjeux socio-économiques.
- Cette école : fruit d'une collaboration originale entre l'INRIA, l'Université de Mulhouse et l'Université de TLEMCEM...
 - Les protagonistes : l'INRIA, l'INRA et les projets 3+3;
 - Le projet TREASURE : un réseau euro-méditerranéen de recherche sur la « production d'eau pour l'agriculture »;
 - **Les projets AIRES-Sud et COADVISE;**
- Conclusions et perspectives : Les projets TREASURE-Euromed et SAWRA...

LE PROJET AIRES-Sud

- ❑ Le projet AIRES-Sud « Epuración des eaux par procédés membranaires : Modélisation et Commande »
 - ❑ Projet financé initialement par le ministère des affaires étrangères, l'IRD et l'Univ. de Tlemcen + ministère algérien de la recherche;
 - ❑ Partenaires : Univ. de Tlemcen (Dépt. Automatique, Hydraulique et mathématiques) et Univ. Gaston Berger, Saint Louis, Sénégal (Dépt. Mathématiques);
 - ❑ Un financement à hauteur de 55 Keuros pour (i) 1 pilote, (ii) des missions et (iii) du personnel (*complément pour le pilote obtenu auprès de la direction de la recherche algérienne*)
 - ❑ Objectifs
 - Développer des modèles et des lois de commande robustes pour l'optimisation des réacteurs à membranes,
 - Développer et démarrer une unité pilote de traitement des eaux;
 - Mener des études mathématiques sur les écosystèmes microbiens.

LE PROJET COADVISE

- ❑ Le projet européen IRSES COADVISE
 - ❑ Projet entièrement financé par l'Europe
 - ❑ Partenaires : 13 des partenaires des projets 3+3 de l'INRIA
 - ❑ Un financement à hauteur de 288 homme-mois d'échange entre les laboratoires partenaires (dont 48 pour les membres de TREASURE);
 - ❑ Un véritable partenariat Europe-Afrique : équilibrage des flux d'étudiants et d'encadrants/dédié au renforcement des capacités de recherche et d'enseignement des pays africains impliqués.
 - ❑ En pratique, permet de financer les séjours en Europe et en Afrique de 3 des 5 doctorants travaillant dans le cadre de TREASURE.



PLAN

- Le traitement des eaux usées – des verrous scientifiques aux enjeux socio-économiques
 - La dépollution biologique des eaux résiduaires;
 - Le traitement biologique de la pollution des eaux – enjeux scientifiques et technologiques;
 - Vers un changement de paradigme : du traitement à la valorisation;
 - Enjeux socio-économiques.
- Cette école : fruit d'une collaboration originale entre l'INRIA, l'Université de Mulhouse et l'Université de TLEMCEM...
 - Les protagonistes : l'INRIA, l'INRA et les projets 3+3;
 - Le projet TREASURE : un réseau euro-méditerranéen de recherche sur la « production d'eau pour l'agriculture »;
 - Les projets Aires-sud et COADVISE;
- **Conclusions et perspectives : Les projets TREASURE-Euromed et SAWRA...**

CONCLUSIONS...

- ❑ TREASURE : un réseau de recherche euro-méditerranéen mûre;
- ❑ Grâce à une approche intégrée, et notamment par la prise en compte des aspects socio-économiques des problèmes, des opportunités à ne pas laisser passer;
- ❑ Souhait de faire glisser et d'étendre, à moyens termes, les actions de recherche vers l'Afrique subsaharienne...

...ET PERSPECTIVES (1)

- Le projet TREASURE-Euromed
 - Un programme de collaboration régionale non dédié à la recherche
 - Un projet à « dimension humaine » (4 partenaires)
 - Un budget de 1,3 Millions d'Euros
 - L'Algérie n'a pas signé d'accord cadre avec l'Europe
 - Objectifs
 - Limiter le temps nécessaire à la diffusion du savoir entre le moment où il est disponible et le moment où il est effectivement utilisé par l'industrie;
 - Installation de deux pilotes de deux BRM de DA en Tunisie et en Algérie;
 - Important volet de formation, conférences et échanges d'étudiants.

...ET PERSPECTIVES (2)

□ Le projet SAWRA

- Un programme du 7eme PCRDT
- Un « large scale project » (12 partenaires)
- Un budget de 4,5 Millions d'Euros (2,7 demandés)
- Objectifs
 - Etudier et développer des systèmes de réutilisation d'eaux usées pour l'agriculture à la fois sur les plans scientifiques et techniques mais également en tenant compte des aspects socio-économiques;
 - Accroître les capacités d'enseignement et de recherche en Afrique;
 - Développer la coopération entre l'Europe et l'Afrique « sans risque »...

...ET PERSPECTIVES (3)

- ...et ce, dans par une approche fondamentalement inter et pluri-disciplinaire



Merci de votre attention...

