



Journées ECOTECHNOLOGIES 2012

VALORIA

Développement d'une nouvelle filière de traitement et de valorisation des sous-produits organiques issus de l'assainissement



CONSORTIUM:

- VEOLIA ENVIRONNEMENT RECHERCHE ET INNOVATION (**VERI**)
- INSTITUT DE RECHERCHES SUR LA CATALYSE ET L'ENVIRONNEMENT – UNIVERSITE DE LYON (**IRCELYON**)
- LABORATOIRE D'INGENIERIE DES SYSTEMES BIOLOGIQUES ET DES PROCEDES – INSA DE TOULOUSE (**LISBP/INSA**)
- LABORATOIRE DE BIOLOGIE APPLIQUEE A L'AGROALIMENTAIRE ET A L'ENVIRONNEMENT - IUT TOULOUSE (**LBAE**)
- CREAGIF BIOPOLYMERES (**CREAGIF**)

Début/fin: 17/02/2009 – 17/08/2012



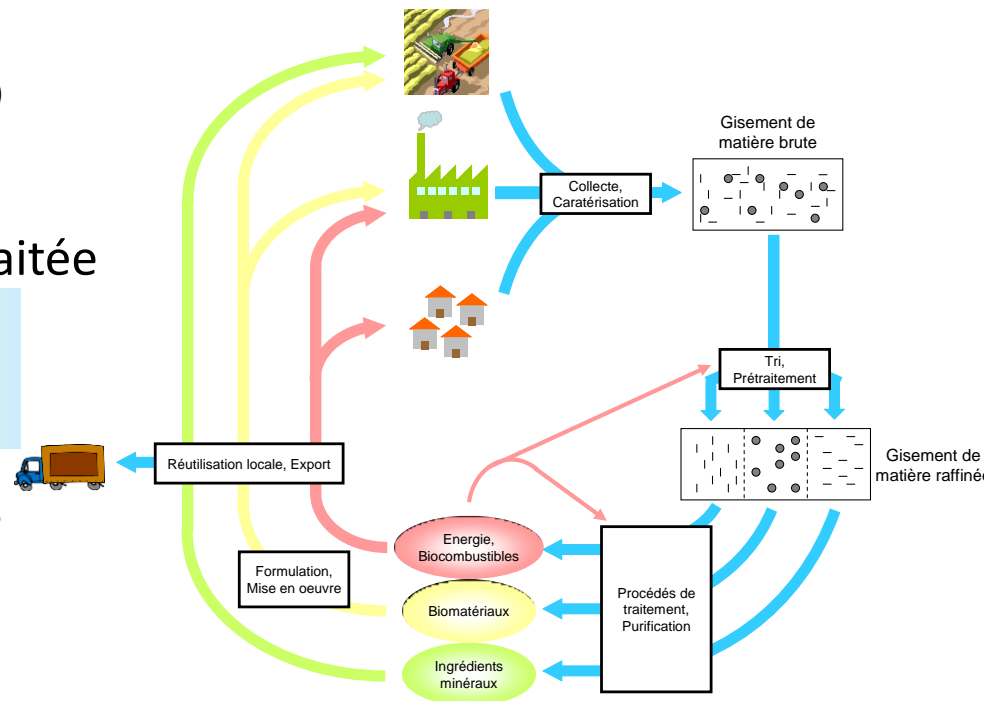
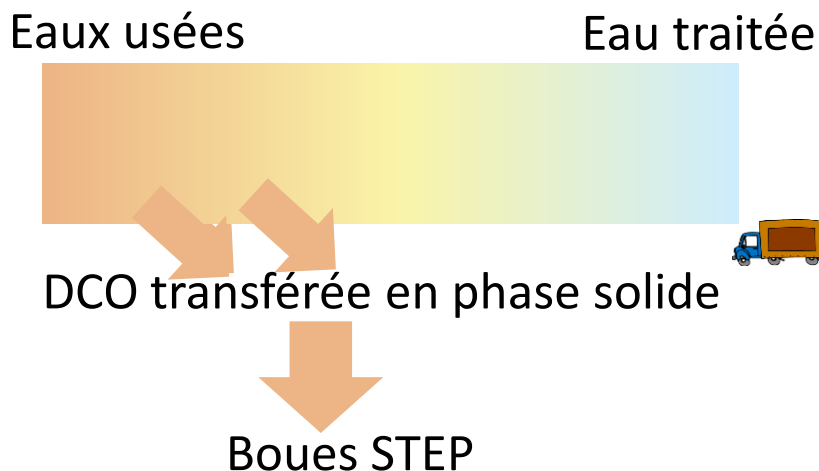
Objectifs et enjeux du projet

Le développement de nouvelles filières de valorisation de boues de STEP est un enjeu critique pour l'industrie de l'assainissement

du traitement vers la valorisation...

Production boues de STEP

- 10 Mtonnes/an (MS) dans la UE (EU report 2010)
- 1.5 Mtonnes/an (MS) en France (FNADE, 2006)



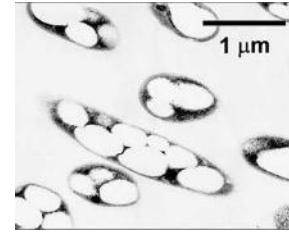
Production croissante de boues due à des critères de qualité de l'eau traitée plus strictes

- Augmentation de 50% de la production de boues de STEP (MS) en France entre 1991 et 2003
- Augmentation de 75% du volume de boues humides produit en France entre 2002 et 2011

Objectifs et enjeux du projet

PHA (polyhydroxyalcanoates)

Substances de réserve de certains microorganismes
(*Bacillus*, *pseudomonas*, *alcaligenes*, etc...)



- Polyesters linéaires à propriétés thermoplastiques
→ **ptés varient avec la composition monomérique** permettant de cibler ≠ applications

- Biodégradable

- Biocompatible

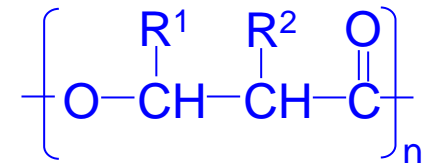
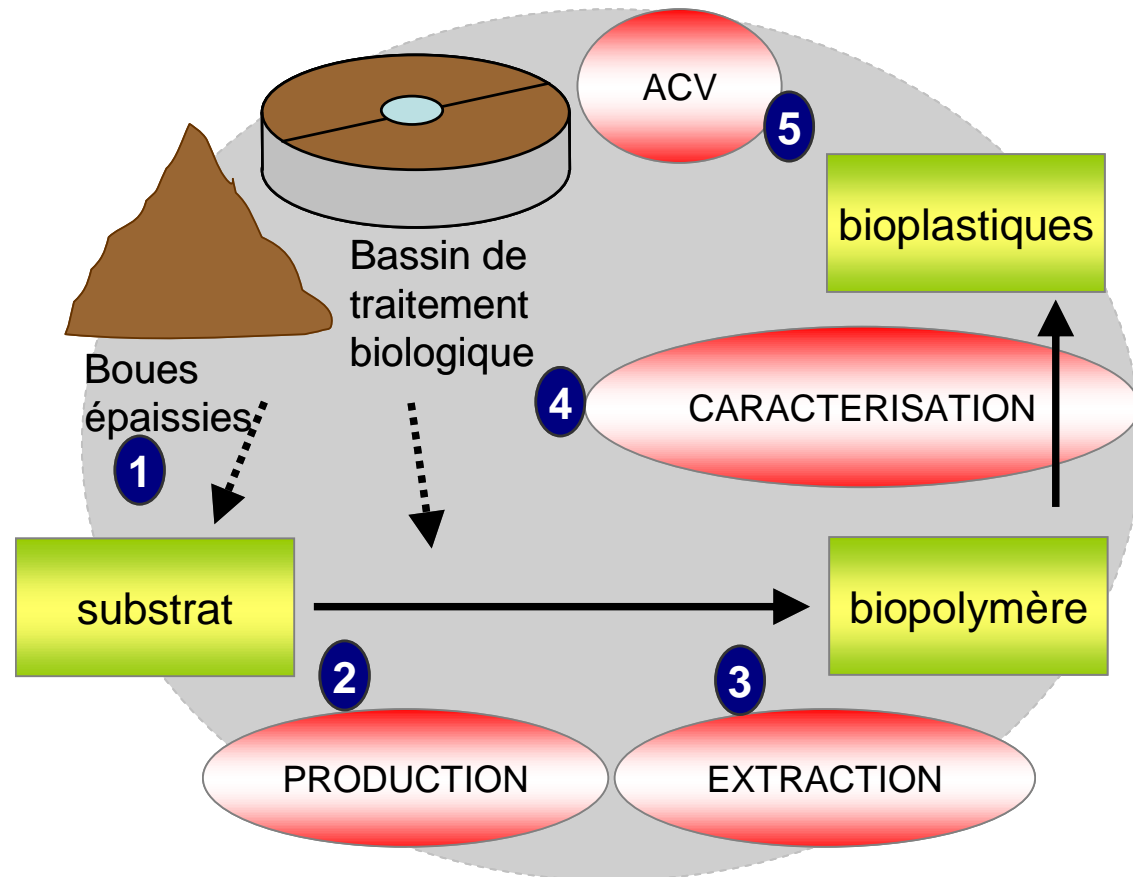


Table 1. Some of the most common poly(3-hydroxyalkanoates) (Bengtsson, 2009).

| R1 | R2 | Abbreviation | Name |
|---|-----------------|--------------|----------------------------------|
| H | H | P(3HP) | Poly(3-hydroxypropionate) |
| CH ₃ | H | P(3HB) | Poly(3-hydroxybutyrate) |
| CH ₂ CH ₃ | H | P(3HV) | Poly(3-hydroxyvalerate) |
| (CH ₂) ₂ CH ₃ | H | P(3HHx) | Poly(3-hydroxyhexanoate) |
| CH ₃ | CH ₃ | P(3H2MB) | Poly(3-hydroxy-2-methylbutyrate) |
| CH ₂ CH ₃ | CH ₃ | P(3H2MV) | Poly(3-hydroxy-2-methylvalerate) |

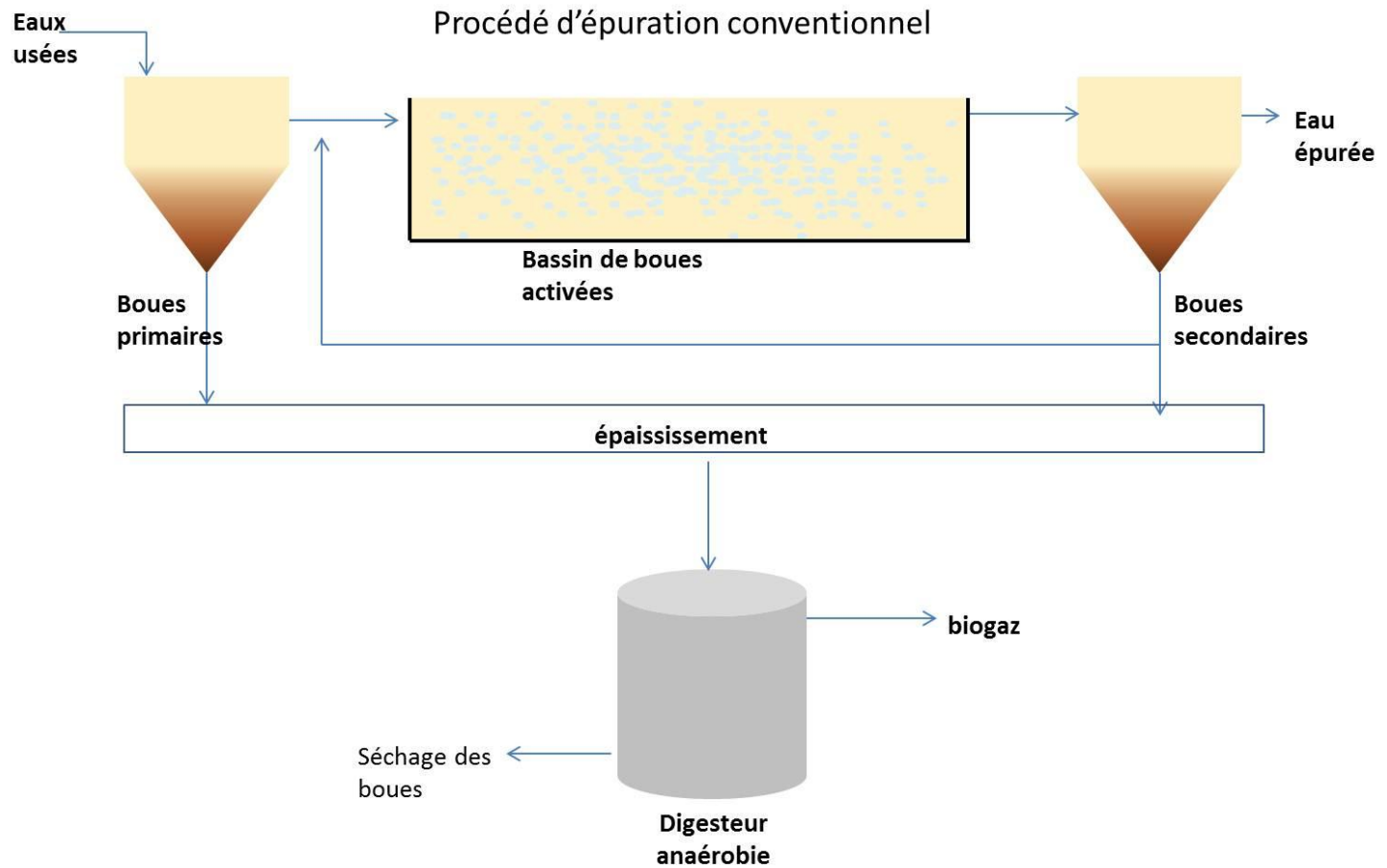
Objectifs et enjeux du projet

Projet VALORIA – développement d'une nouvelle filière

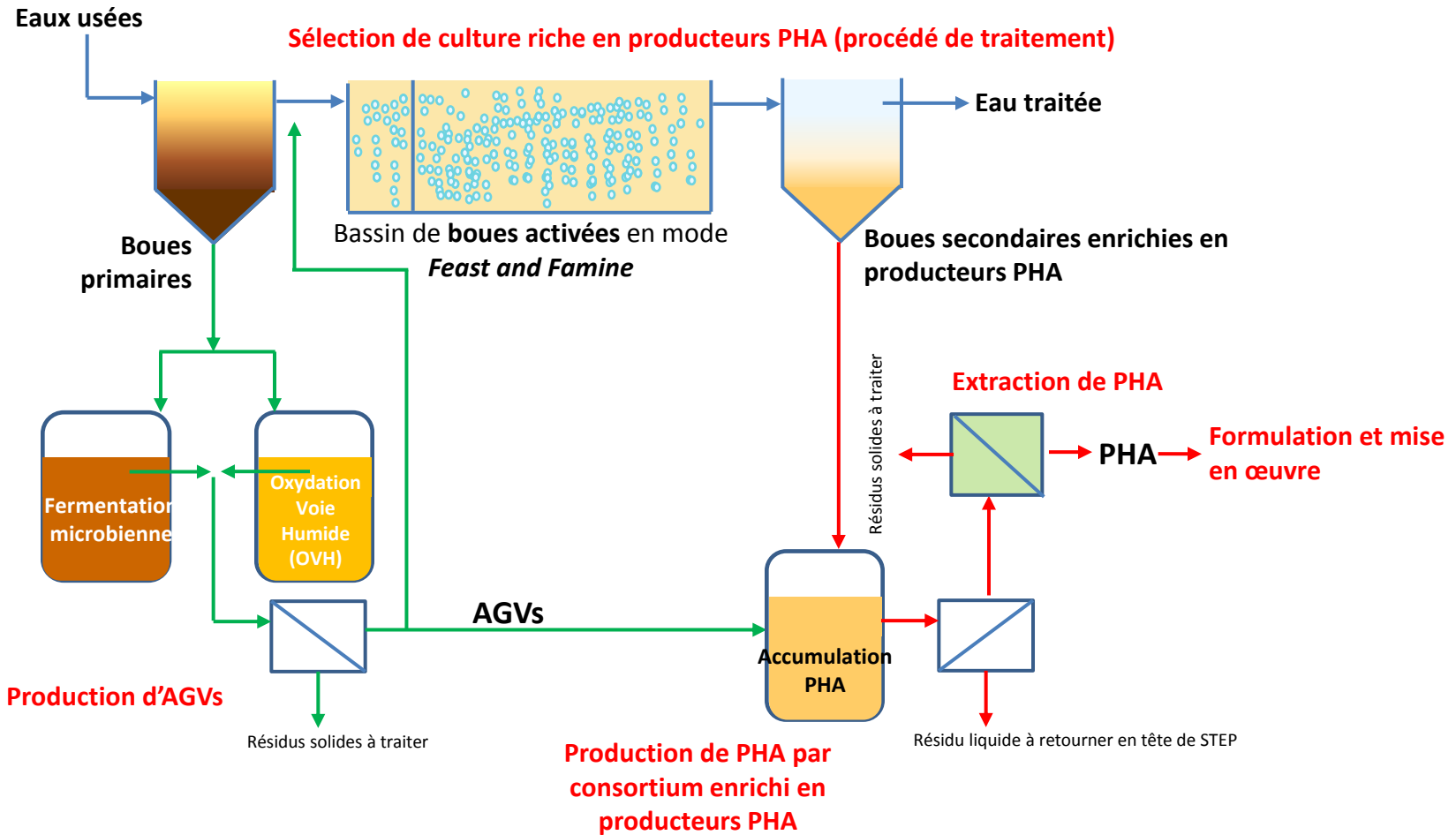


Objectifs et enjeux du projet

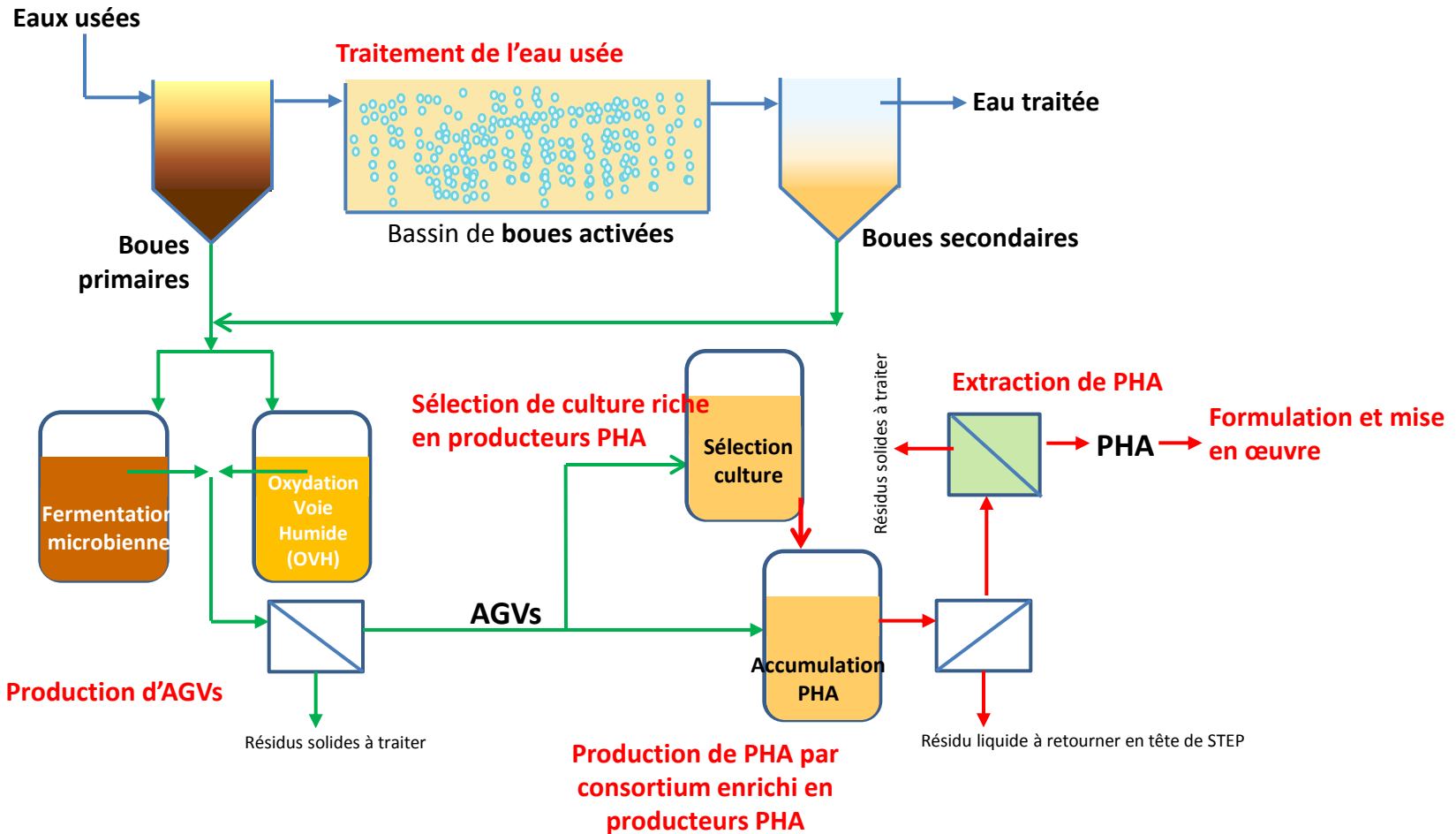
Adaptation de la filière de traitement conventionnel



Objectifs et enjeux du projet

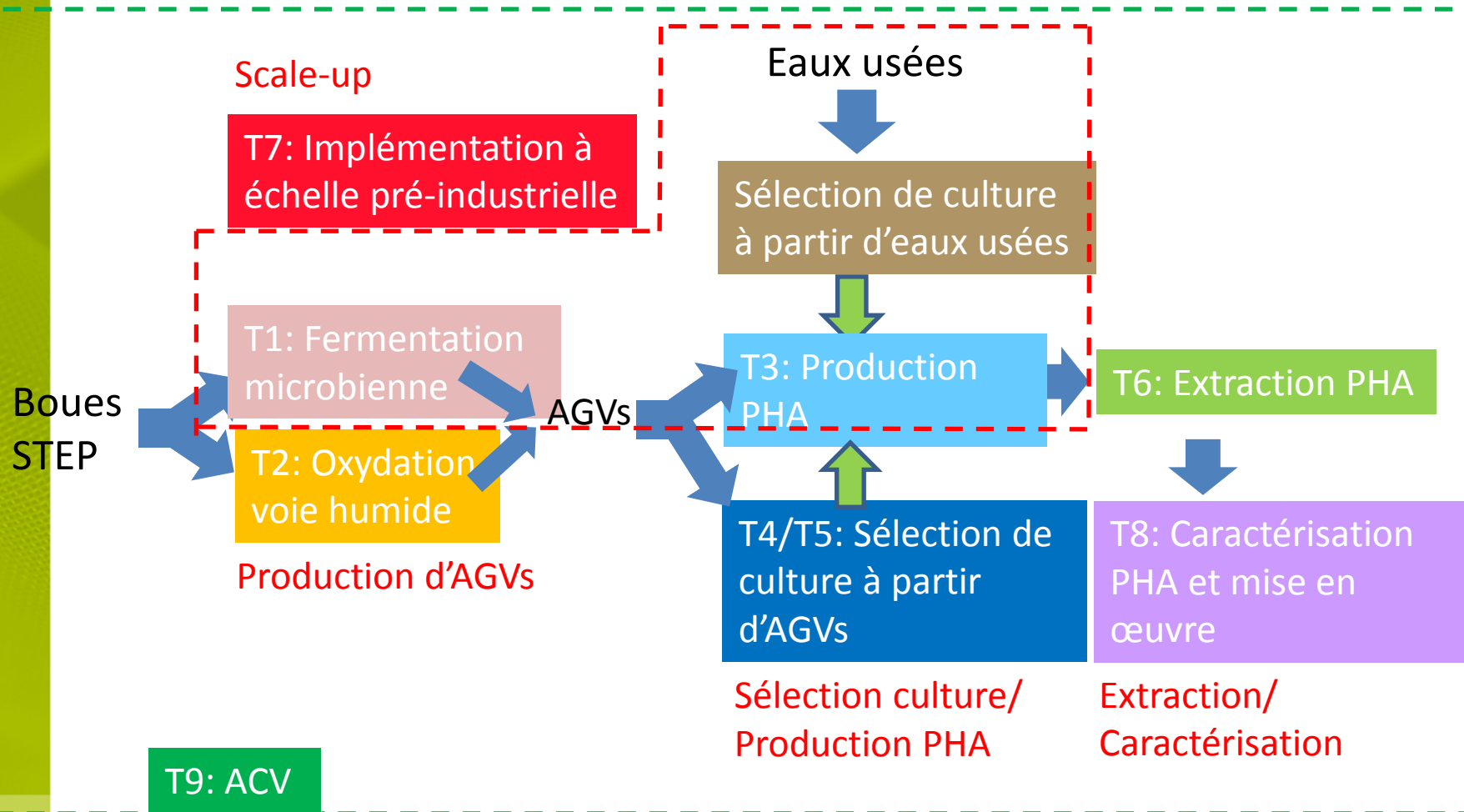


Objectifs et enjeux du projet



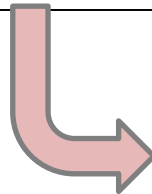
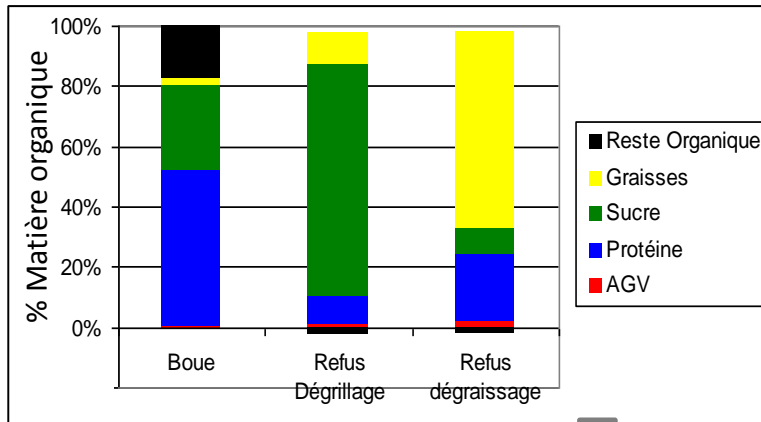
Objectifs et enjeux du projet

Plan d'action VALORIA: développer la filière par étapes

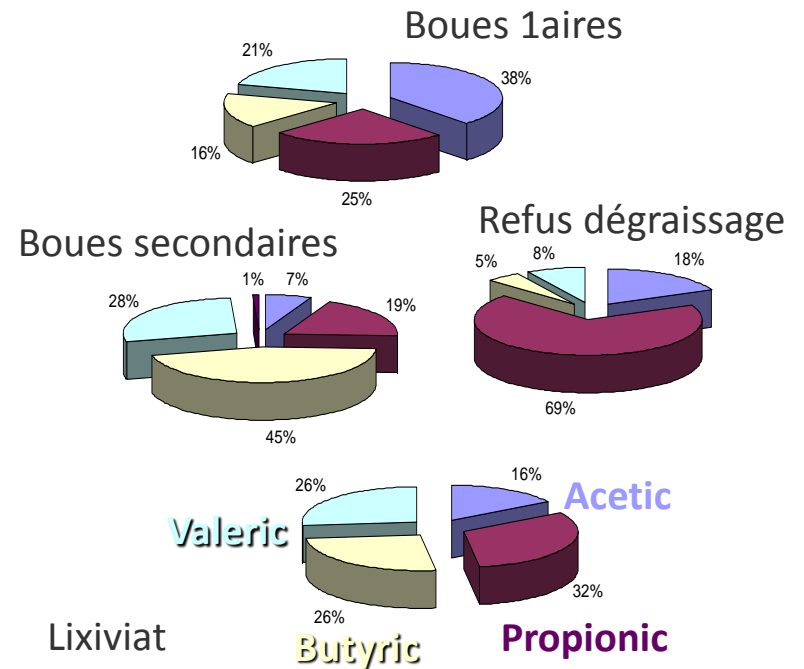


Principaux résultats

T1/T2 du gisement de carbone organique aux AGVs



T1: Fermentation microbienne

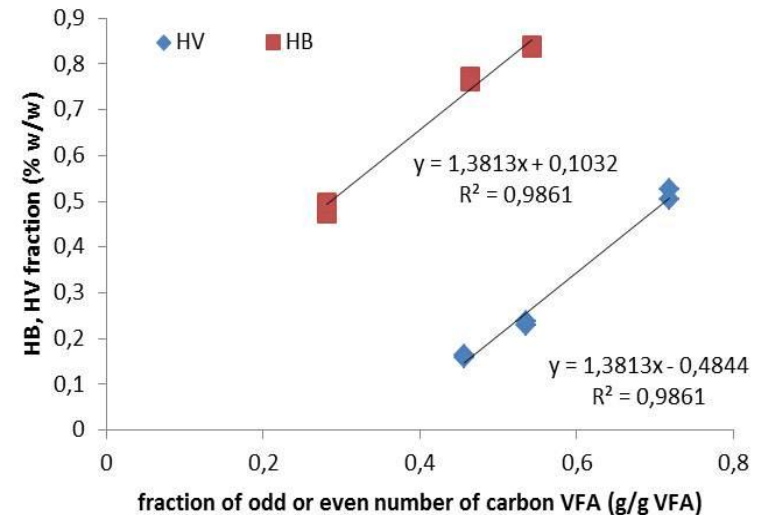
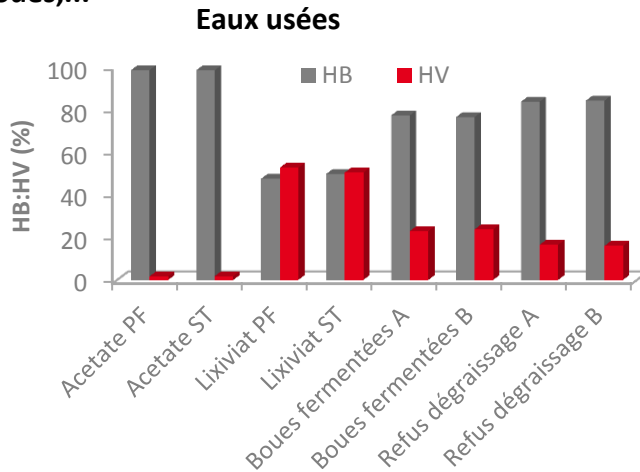
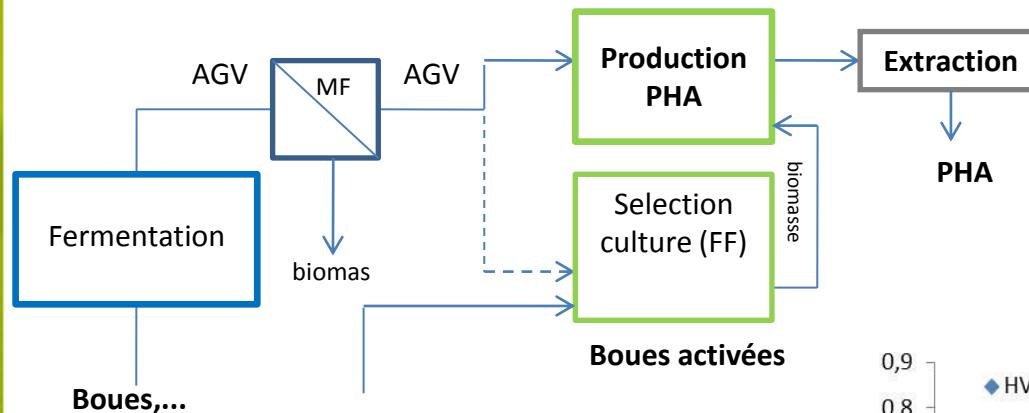


Rendement AGV : 0.15 à 0.35 g AGV-DCO/g MV

Principaux résultats

Manipulation profile AGV p/ contrôler la composition des PHA

T1: Fermentation microbienne



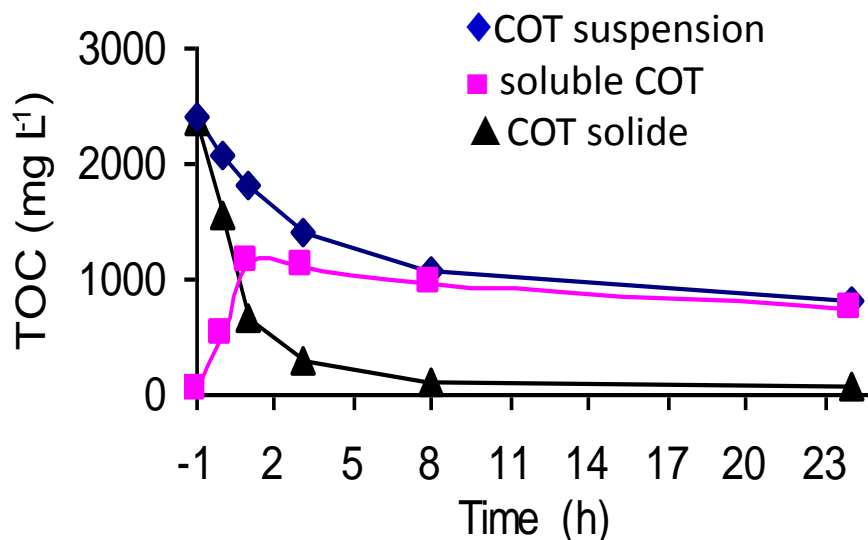
Principaux résultats

T1/T2 du gisement de carbone organique aux AGVs

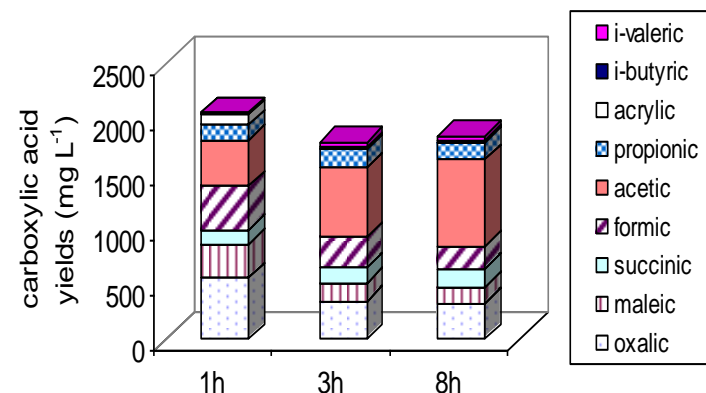


Deux réactions importantes en compétition:

- décomposition thermique → formation et accumulation de COT soluble
- oxydation des composés solubles en intermédiaires oxygénés et produits finaux inorganiques (CO_2 , H_2O)



T2: Oxydation voie humide



Après 8 h de réaction:

COT soluble = 967 mg L⁻¹

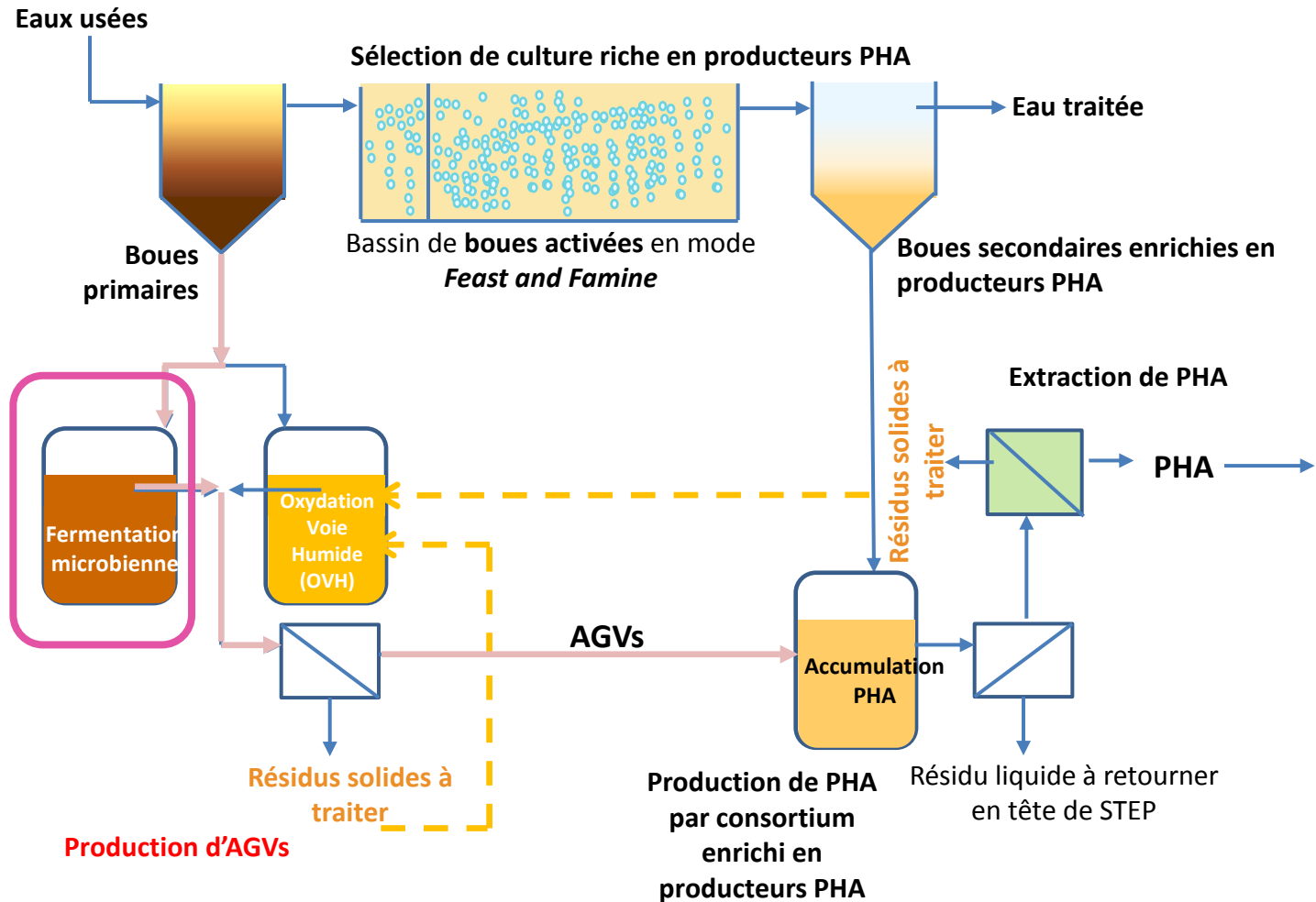
COT acides et diacides = 698 mg L⁻¹

72 % COT soluble

28% COT initial

sous la forme d'acides

T1/T2 - Sélection procédé p/ production AGV



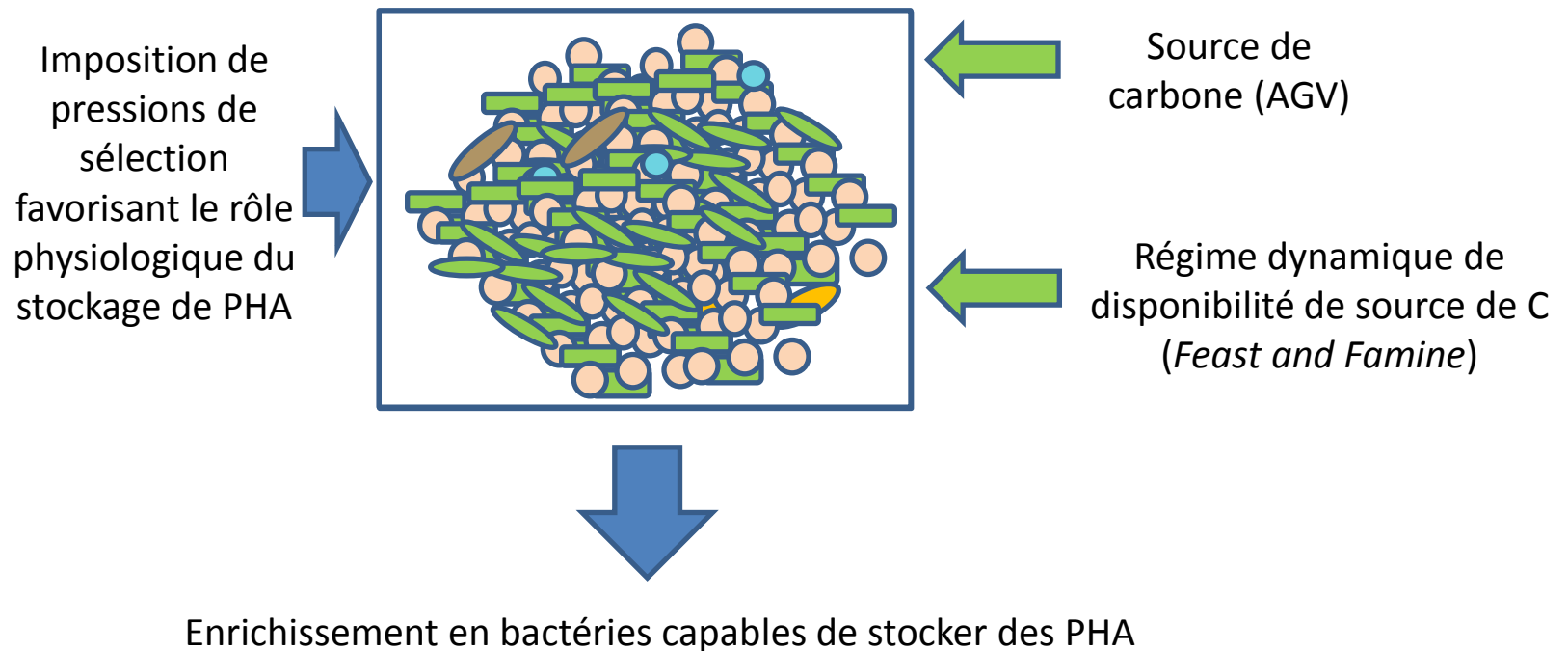
T1: Fermentation microbienne

T2: Oxydation voie humide

Principaux résultats

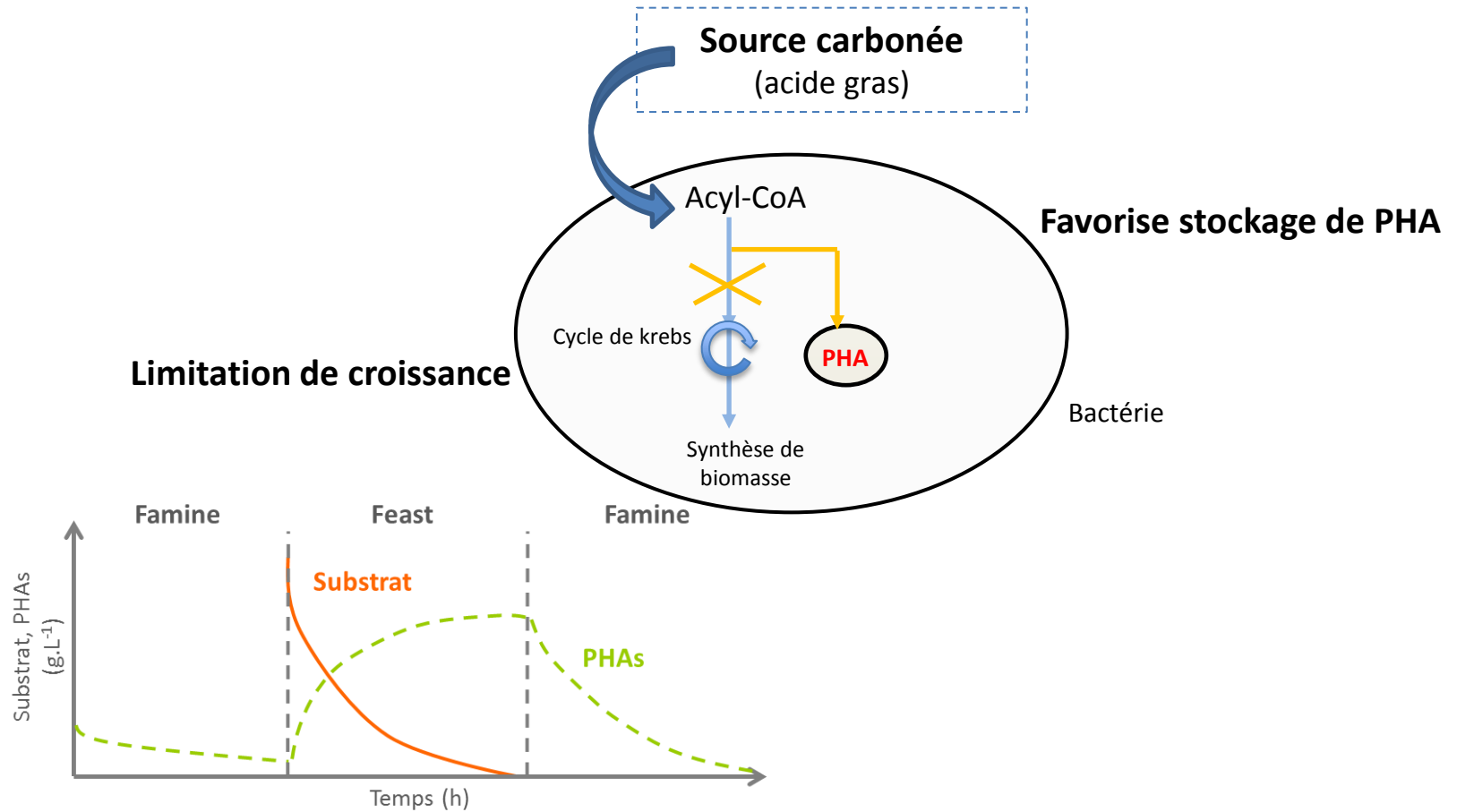
T3-T5 + T7 Selection de consortium microbien pour la production de PHA

Consortium microbien assurant le traitement biologique des eaux usées



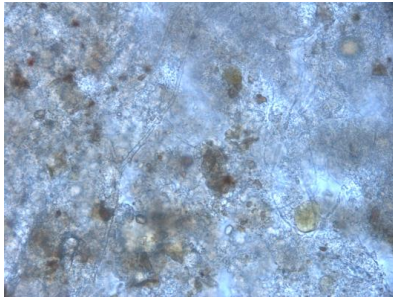
Principaux résultats

Pression de sélection: imposition de conditions « *Feast and Famine* »



Principaux résultats

Consortium microbien mixte
(eg. Boues activées)



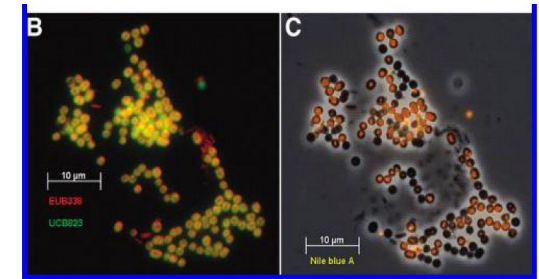
Conditions
*Feast and
Famine*



Cultures enrichies en organismes producteurs PHA



Albuquerque et al., 2011

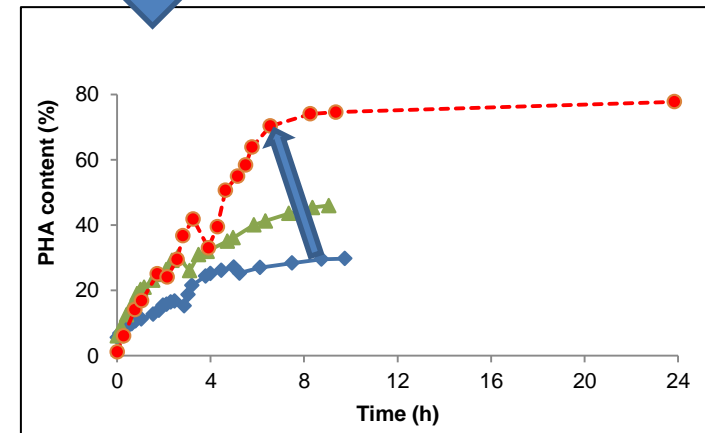


Jiang et al., 2011

Consortium engineering: application of a **selection pressure** through imposed operating conditions on an open biological system in order to purposely modify the microbial culture structure aiming **function specialization**.

Relative to metabolic engineering, consortium engineering aims to **modify an overall consortium rather than a specific microbial species**.

Furthermore it is **based on natural selection and knowledge of the mechanisms which regulate population dynamics in open culture systems**.

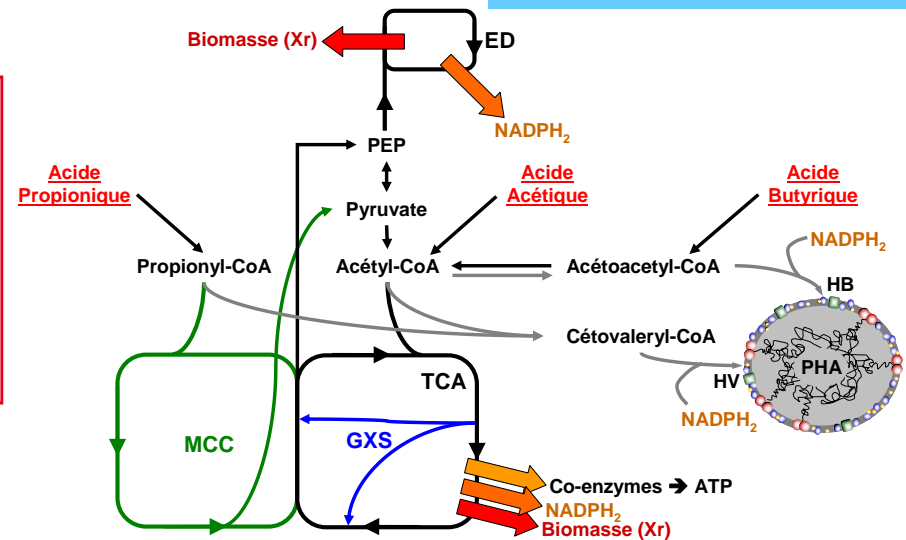
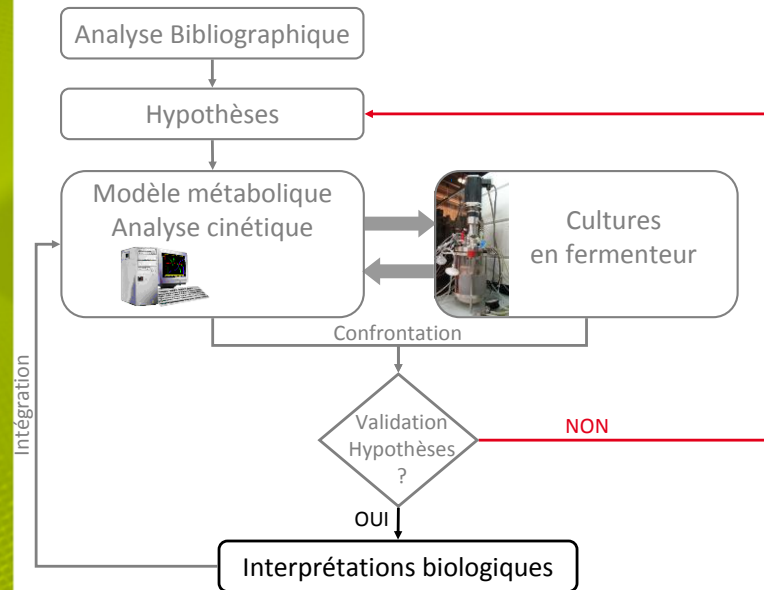


Albuquerque et al., 2010

Principaux résultats

T3 Etude de la production de PHA sur organisme référence

T3: Production PHA



- Meilleure compréhension des stœchiométries et des cinétiques
- Définition des limites de la production de PHA
 - Rendements maximaux
 - Vitesses spécifiques de production optimales
 - Capacités d'assimilation des substrats en mélange

Un outil pour quantifier production selon des compositions variables de substrat et selon les objectifs visés (rendement, productivité, qualité produit...), adaptable à divers micro-organismes

Principaux résultats

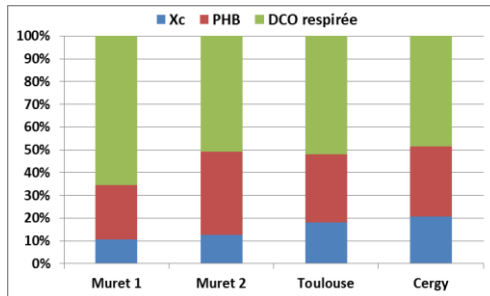
T4/T5 Production de PHB en culture mixte : potentialités et étude des compétitions microbiennes

Cultures fed-batch

T4/T5: Sélection de culture à partir d'AGVs

Détermination des potentialités de production

- 3 boues activées
- source de carbone acétate



Performances élevées pour des boues activées

- Jusqu'à 60-70% g PHA-DCO/g DCO
- Rendement entre 0,2 et 0,4 g PHA/g AGV



Cultures en mode continu

Etude des effets de pressions de sélection en réacteur simple étage

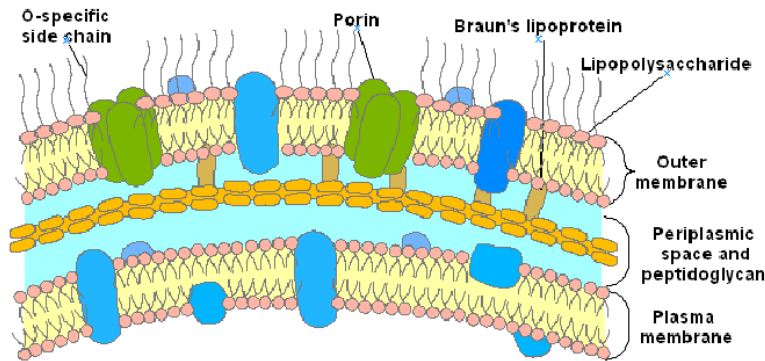
- boues activées de Toulouse
- source de carbone acétate

Principaux résultats

T6 Développement d'une méthode propre d'extraction

Producteurs de PHA : bactéries Gram négatif

- *Cupriavidus necator*
- Cultures multi-espèces de producteurs de PHA

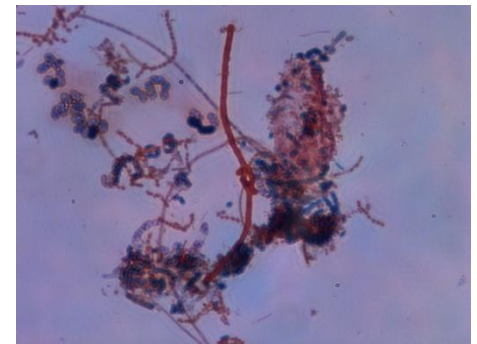


Structure de la paroi de membranes des bactérie Gram négatif

Lipopolysaccharides (membrane externe)
Phospholipides (membrane externe et plasmique)
Peptidoglycane (paroi cellulaire)
Lipoprotéines, protéines

Lyse enzymatique

T6: Extraction PHA



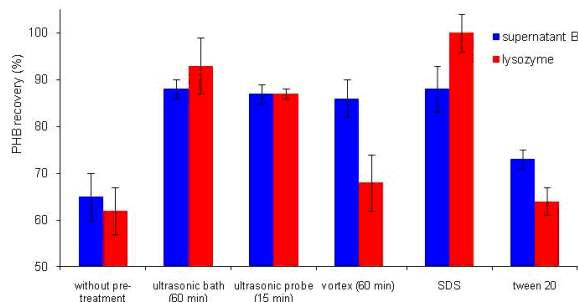
Principaux résultats

Enzymes commerciales :

- ✓ Coût de production ☹️
- ✓ Activité spécifique
- ✓ Sensibilité, possible inhibition/dénaturation dans un milieu complexe

Exoenzymes biosynthétisées par des souches thermophiles isolées de boue de compost:

- ✓ Coût de production 😊
- ✓ Variétés des activités lytiques
- ✓ Haute stabilité dans un milieu complexe
- ✓ Valorisation des boues de compost



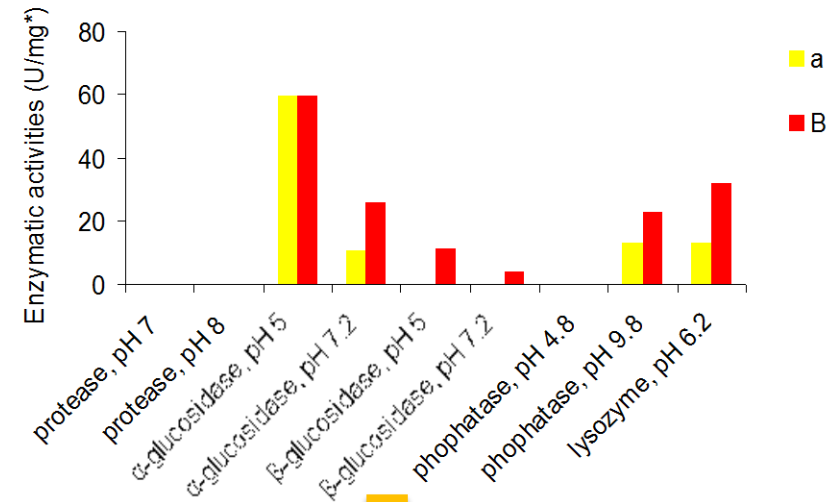
Avec pré-traitement SDS + exoenzymes → 90%



T6: Extraction PHA

Compost : écorce 50% et boue 50%
Aération : 4 semaines 60°C + 8 semaines à T ambiante

2 souches isolées: caractérisation de l'activité lytique des souches A et B



Digestion *C. necator* avec B à 37°C

→ 99% de PHA extraits

Digestion consortium mixte

→ 65-68% de PHA extraits

Principaux résultats

T7: Implémentation à échelle pré-industrielle



Implantation pilotes

Traitement de l'eau:

- 1 Prétraitement
- 2 Actiflo
- 3 Traitement biologique
- 7 Rejet de l'eau traitée dans la senne.

Traitement des boues

- 4 Hydrolyse/ Oxydation par voie humide.
- 5 Epaisseur
- 6 Digesteur

Traitement des gaz:

- 8 Biogaz
- 9 Espace naturel



CELLA™ technology

Implantation pilotes préindustrielles à la Station d'Épuration de Bruxelles-Nord (Aquiris)

Principaux résultats

Boues épaissies



Pilote de production d'AGV



Unité de séparation L/S

Capacité de production
1 à 5 Kg PHA/semaine

T7: Implémentation à échelle pré-industrielle



Pilote de production biomasse

Biomasse enrichie en producteurs PHA

Effluent fermenté clarifié (riche en AGV)



Pilote de production de PHA

Principaux résultats

T8: Caractérisation et mise en œuvre

- Caractérisation thermique des PHAs biosynthétisés
- Influence des conditions d'extraction et mise en œuvre sur la masse molaire et les propriétés thermiques et mécaniques des PHAs
- Influence du taux de monomère HV sur les propriétés thermiques, rhéologiques et propriétés barrière des PHAs
- Amélioration des propriétés barrières des films en PHA (Formulation)
- Production d'objets de démonstration

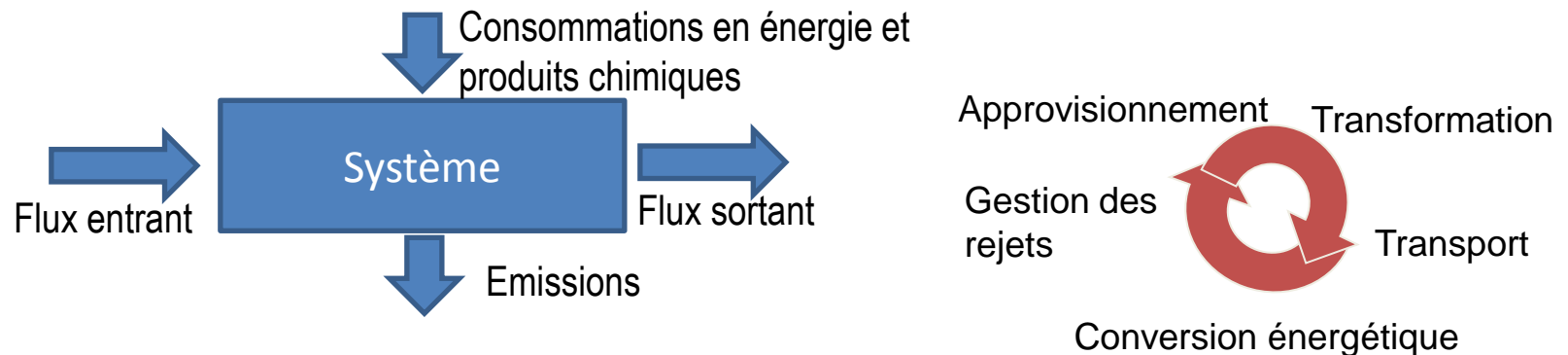


Principaux résultats

T9 Analyse du cycle de vie (ACV)

T9: ACV

- Méthode standardisée ISO 14040 et 14044 d'évaluation des impacts sur l'environnement
 - D'un produit, d'un procédé, d'une **filière** ou d'un service
 - Prenant en compte différents **dommages à l'environnement**
 - » Changement climatique, Épuisement des ressources, Santé humaine et Ecosystèmes
 - Sur **tout le cycle de vie** : de l'extraction des ressources naturelles jusqu'à la fin de vie
- Étude basée sur un inventaire exhaustif des flux d'**énergie** et des **produits chimiques** entrant et sortant dans le système, et des **émissions** dans l'environnement générées par le système



Principaux résultats

T9 Analyse du cycle de vie (ACV)

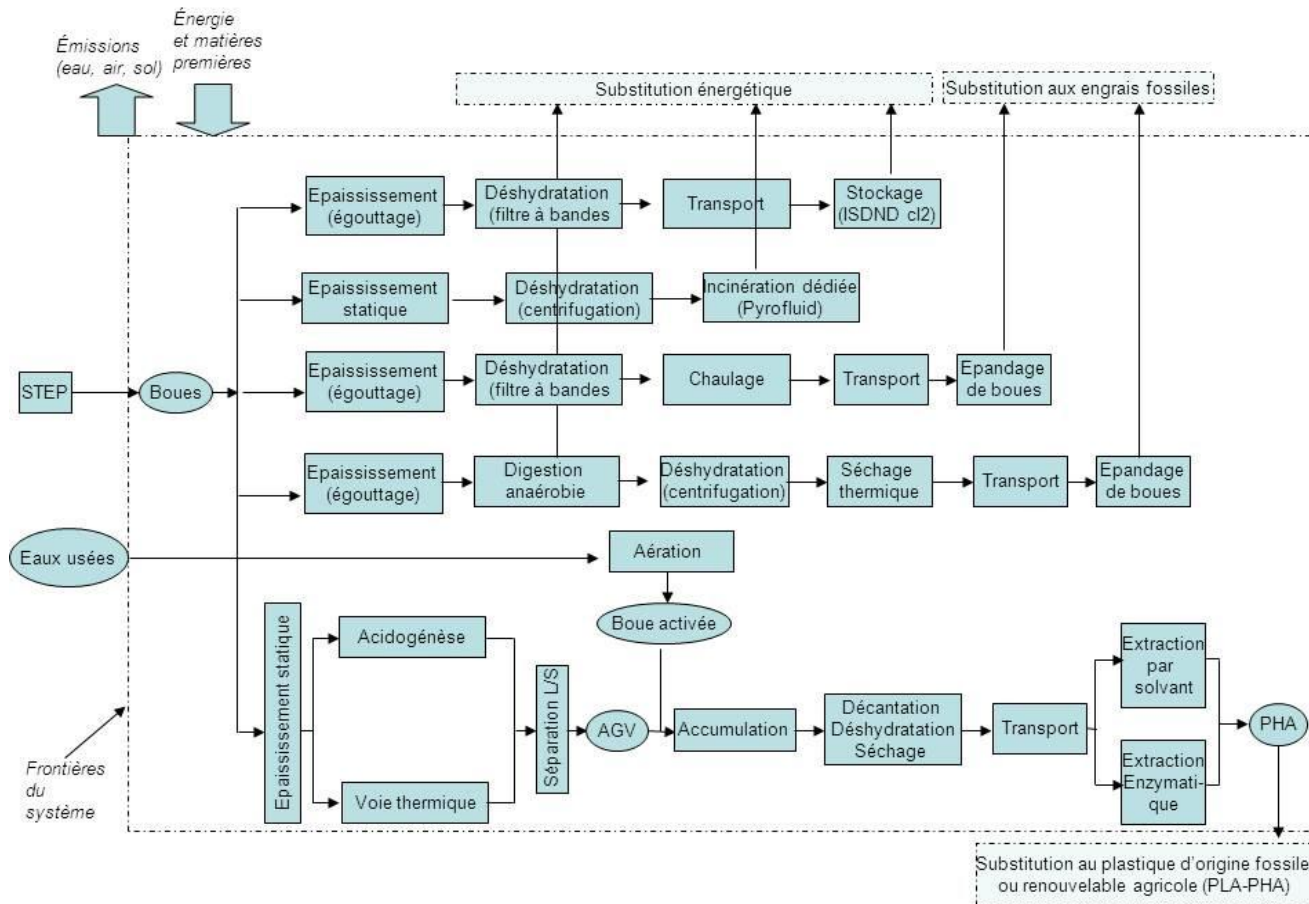
T9: ACV

- Fonction étudiée : gestion des SPA issus du traitement des eaux usées
 - UF = traiter **1 tonne de MS de boues** en sortie de traitement primaire, ayant reçu un traitement physico-chimique et non digérées
- Scénarios de gestion des boues : 5 filières analysées
 - Stockage
 - Incinération dédiée
 - Epandage
 - Digestion anaérobie
 - Production de bioplastiques, selon deux voies possibles : **acidogénèse** et voie **thermochimique**, et deux types d'extraction possible : par **solvants** ou par voie **enzymatique**
- Périmètre
 - Tous les procédés et seulement les procédés nécessaires pour la gestion de 1 tonne de boues
 - Impacts liés à la production des boues primaires non pris en compte (boues sont **fatales**)

Principaux résultats

T9 Analyse du cycle de vie (ACV)

T9: ACV



Perspectives et valorisation

- T1/T2 ont permis d'identifier le procédé de production d'AGV à implémenter à échelle pilote : la fermentation
- La voie OVH est une option intéressante pour la valorisation des résidus solides du procès
- De nouvelles phases catalytiques sont envisagées → deux nouvelles thèses MENSUR (2010-2013) et Région Rhône-Alpes (2011-2014) sur la recherche de catalyseurs pour la dégradation de composés organiques azotés.
- Les résultats de la tâche T3 ont été consolidés sous la forme de la thèse intitulée « **Etudes des potentialités de production de PHA sur des substrats de type acides gras volatils** »
- L'application de la stratégie identifiée en T3 à des consortiums microbiens mixtes cultivés en conditions non-axéniques (T4/T5), a permis d'imposer une pression de sélection conduisant à une spécialisation fonctionnelle de la culture pour le stockage de PHA.
- Les pistes amenées par les tâches T3, T4 et T5 pourront aboutir à une **nouvelle génération de la filière de valorisation des sous-produits de l'assainissement sous la forme de PHA** suite à la continuation des travaux de R&D sur cette nouvelle voie (en cours chez **Veolia** et à travers une **thèse INSA/VERI**).
- Le **protocole d'extraction développé** a permis de réduire le temps de contact ainsi que la température pendant l'étape d'extraction solvant – **minimisant ainsi la dégradation du polymère**.
- **Pilote préindustriel permet production routinière de quantités significatives de PHA (kg) →** essais de formulation et mise en œuvre.

Conclusions

T1: Fermentation microbienne

T2: Oxydation voie humide

T3: Production PHA

T4/T5: Sélection de culture

T6: Extraction PHA

T7: Implémentation à échelle pré-industrielle

T8: Caractérisation PHA et mise en œuvre

T9: ACV

- Nouvelles pistes sur sélection de cultures mixtes
- Implémentation à échelle préindustrielle → nourrie essais de formulation et mise en œuvre; les échanges avec plasturgie
- L'outil ACV permet de aider au choix des procédés plus intéressants pour chaque poste → écoconception de la filière

Merci de votre attention

