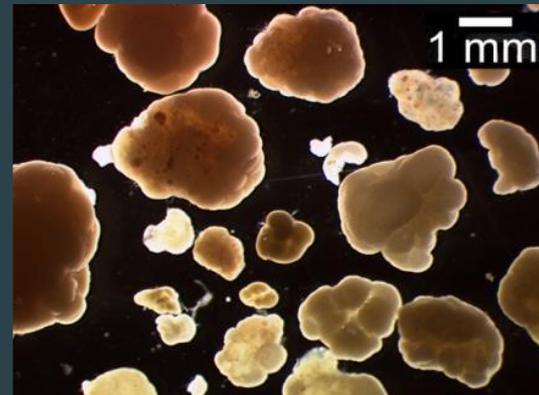


*Les biotechnologies
environnementales dans le
traitement des eaux ?*

Traiter les eaux usées
tout en produisant des
molécules d'intérêt

Mathieu Sperandio
Yolaine Bessière
Etienne Paul



Toulouse Biotechnology Institute
Bio & Chemical Engineering

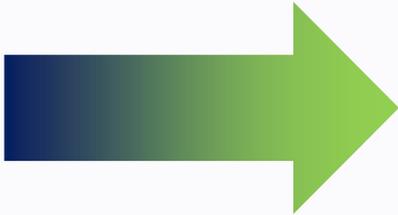
Gestion de l'eau plus durable ?

- De la réutilisation des eaux usées traitées

...

- Vers la valorisation des ressources de l'eau

- ✓ Eau (Reut.)
- ✓ Chaleur
- ✓ Nutriments minéraux -> fertilisant
- ✓ Matière organique -> polymère, énergie, biochar
- ✓ Diversité microbienne



L'eau après usage : une ressource multiple

eau, chaleur, carbone, azote, phosphore...

Ressources	Valeur potentielle (€/PE/an)	CO2 évitable si récupéré (kgCO2/PE/an)	Pression sur ressource
Eau substituant eau potable	65,4	28,2	++
Récupération Chaleur	6,9	55,2	+
Matière organique convertie en biogaz	2,4	16,2	+
Conversion boues en biochar	0,8		+
Azote total récupéré	2,7	34,5	+
Phosphore total récupéré	1,1	3,2	+++

Verstraete and Vlaeminck, 2011

Besson et Sperandio, 2021

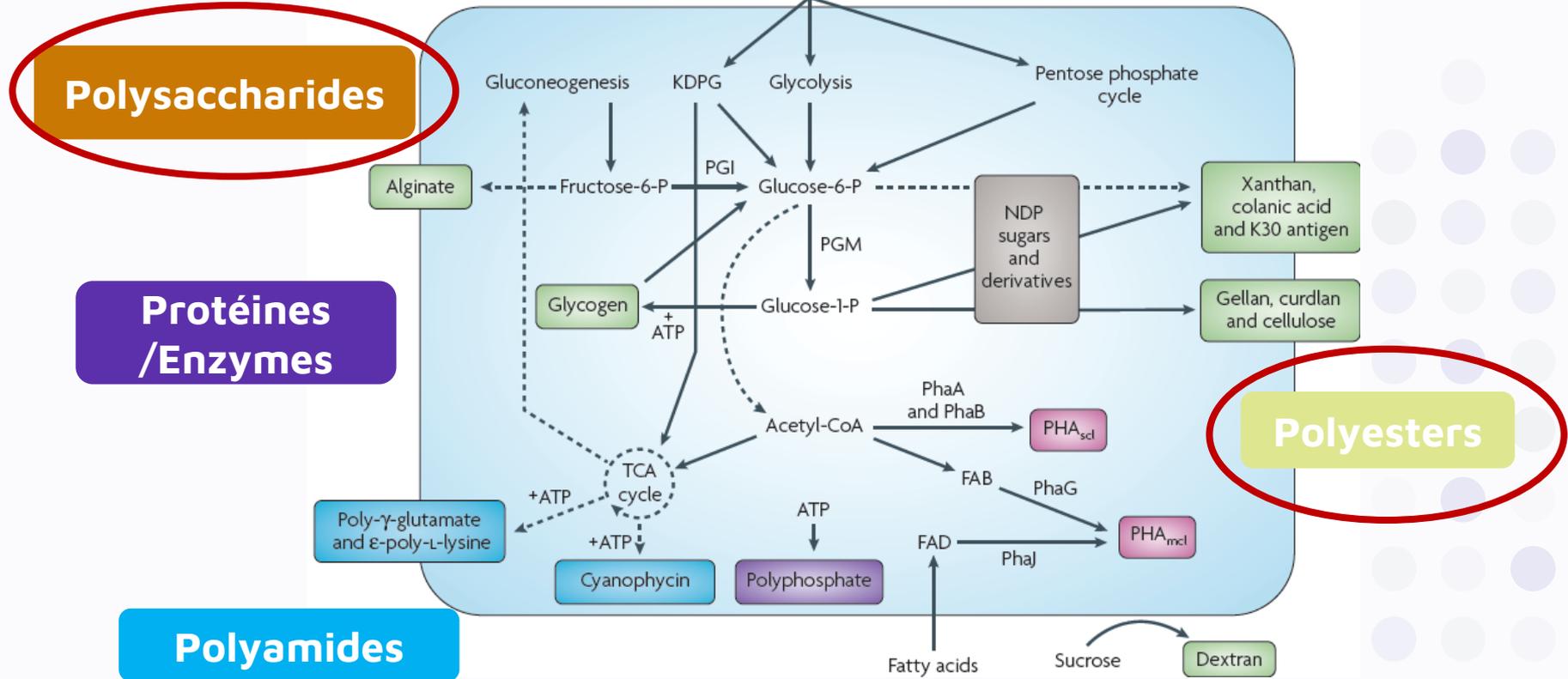
- **L'eau** recyclée: valeur économique et réduction du prélèvement dans la ressource
- Récupérer **la chaleur**, les matières organiques, **l'azote**: réduire les émissions de GES N₂O et CO₂
- Récupérer **le phosphore**: pour éviter de prélever dans une ressource minière épuisable

Production de biopolymères avec les eaux usées

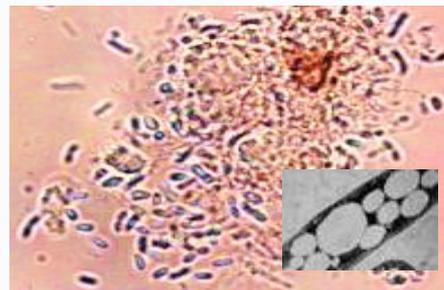
*D'UNE APPROCHE SÉLECTIVE VERS UNE
APPROCHE « BULK »*



Quels biopolymères produire par voie microbienne ?



L'approche sélective des poly-hydroxy-alkanoates (PHA)



Contents lists available at ScienceDirect

Bioresource Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech

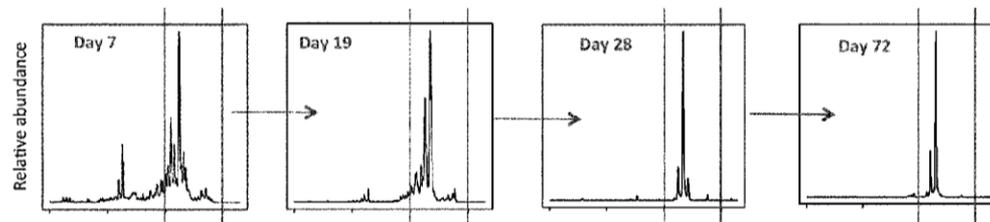


Understanding of polyhydroxybutyrate production under carbon and phosphorus-limited growth conditions in non-axenic continuous culture

Laëtitia Cavaillé^{a,b,c,d}, Maria Albuquerque^d, Estelle Grousseau^{a,b,c}, Anne-Sophie Lepeuple^d, Jean-Louis Uribebarrea^{a,b,c}, Guillermina Hernandez-Raquet^{a,b,c}, Etienne Paul^{a,b,c,*}

*Université de Toulouse, INSA, UPS, LISBP, 135 Avenue de Rangueil, F-31077 Toulouse Cedex 4, France

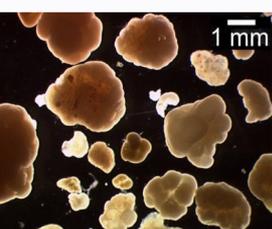
Brevet
EP20130814983



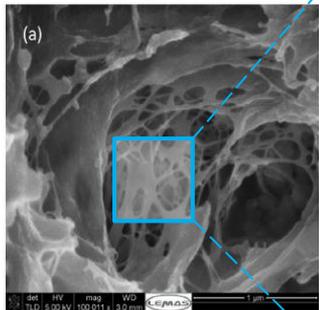
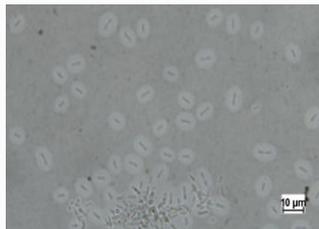
- Sélection drastique par limitations multiples (P, C)
- Obtention d'espèces microbiennes ultra-productrices

Vers une approche « bulk » de production d'exopolymères (ALE)

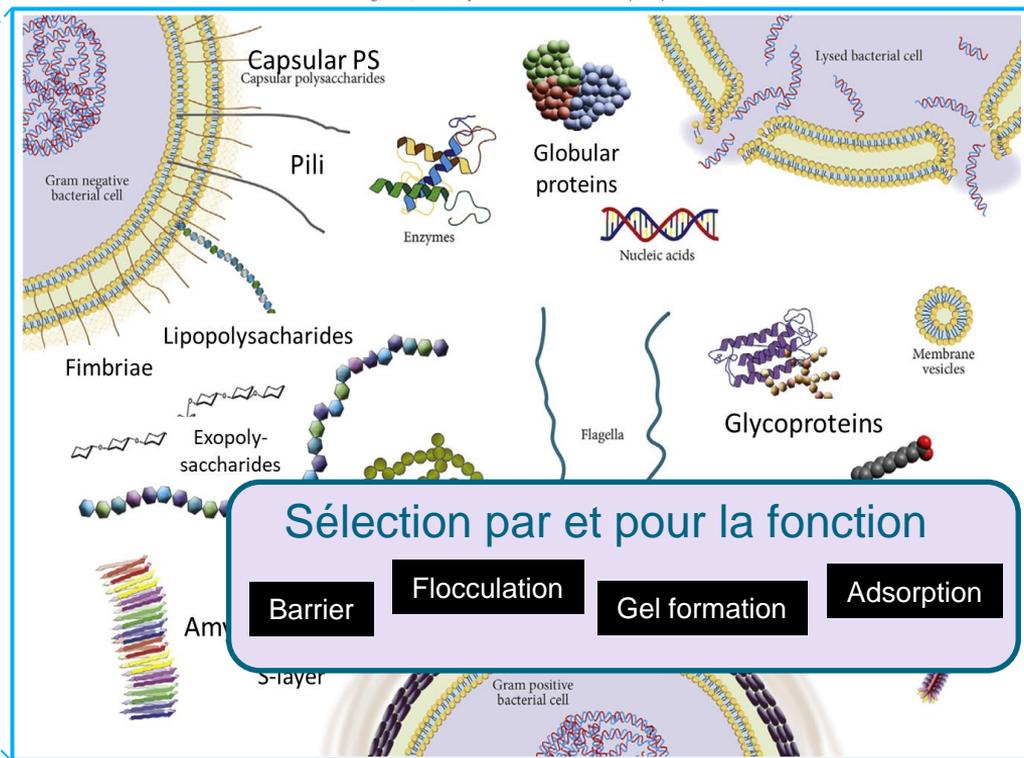
- double fonctionnalité : traiter les eaux usées tout en produisant des « Alginates like polymers »
- Privilégiant la diversité des producteurs et la fonctionnalité des molécules



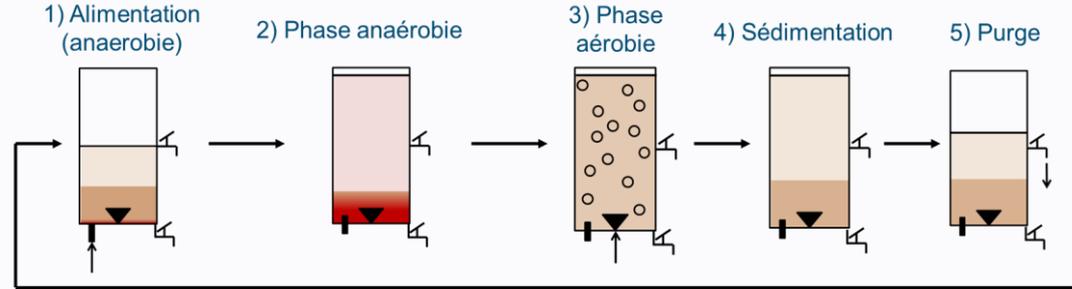
Aerobic Granular Sludge (AGS)



SEM (Kim et al., 2019)



Granulation microbienne? → il faut maîtriser les facteurs de sélection



Densification des agrégats au cours du temps en jours

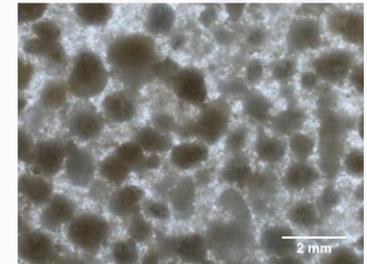
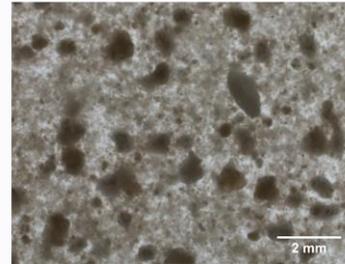
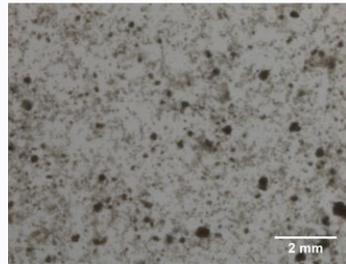
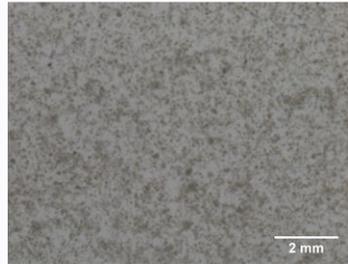
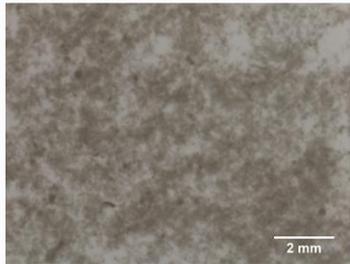
t8

t16

t34

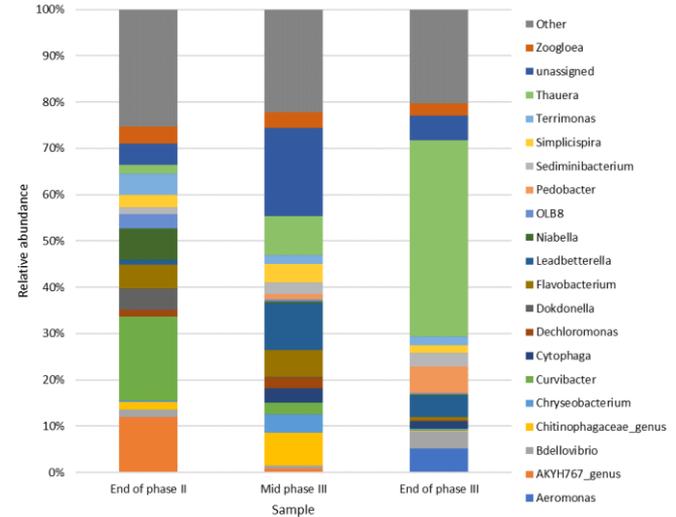
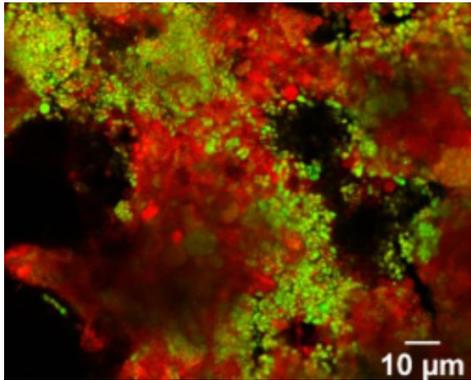
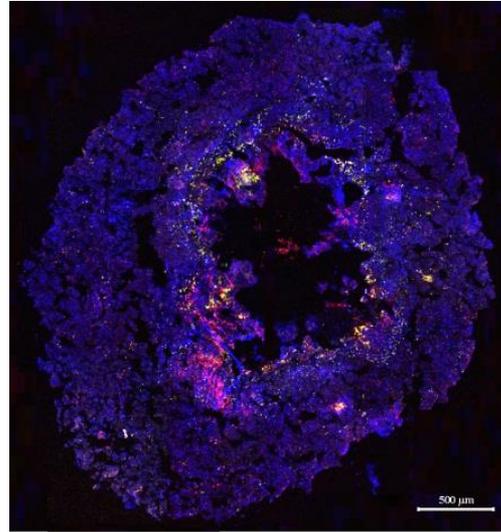
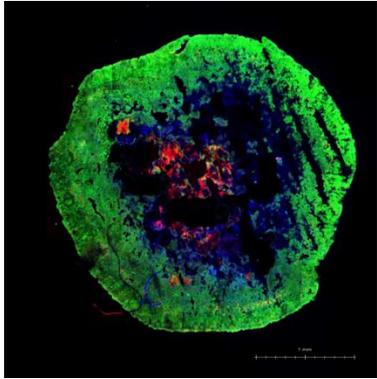
t44

t57

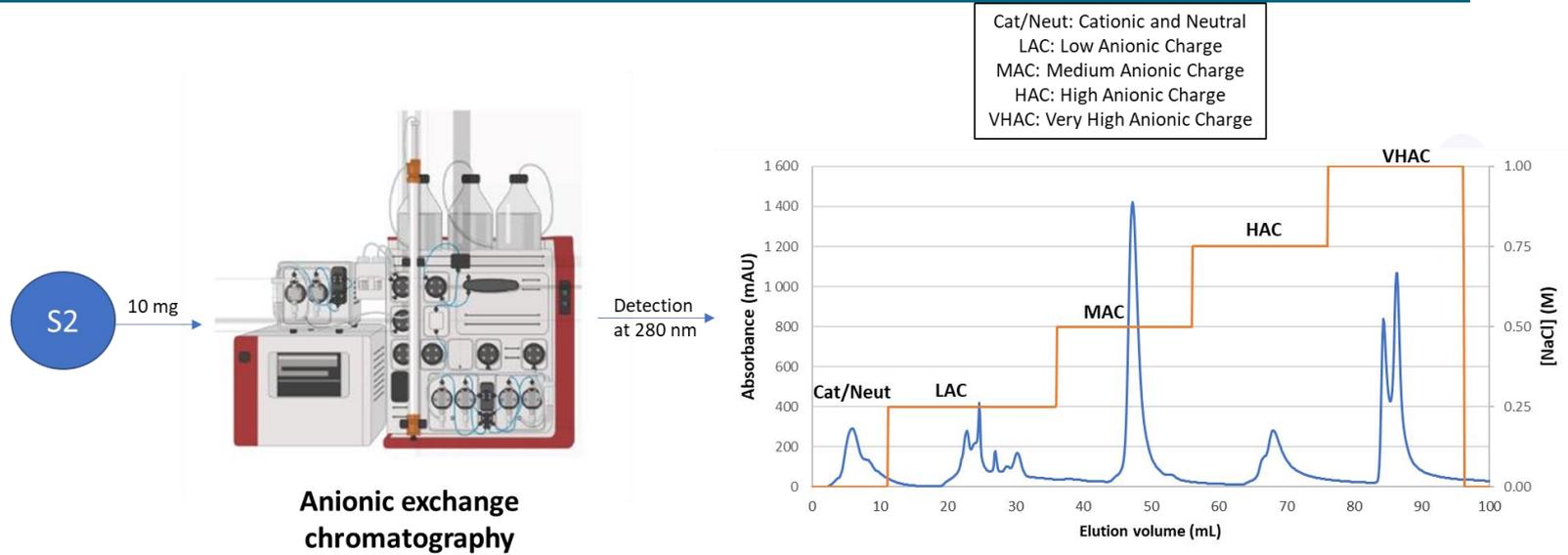


- Facteurs: alternances Feast/Famine favorisant les micro-organismes qui stockent le C, forts gradients de concentration, et vitesses de décantation...

Des fonctions microbiennes couplées



- Diversité de micro-organismes impliqués (aérobie/anoxie/anaérobie)
- quelques champions spécifiques ? de plus en plus identifiés: *Ca. Accumulibacter* (PAO – Polyphosphate Accumulating Organisms), *Ca. Competibacter* (GAO - Glycogen Accumulating Organism) dans la production d’N-acetylglucosamine par exemple



• Caractérisation (fonctionnelle):

- Capacité gélifiante
- Captation du calcium
- Propriétés rhéologiques
- Degré d'anionicité
- Masses moléculaires



— 280 nm — [NaCl] (M)

↓

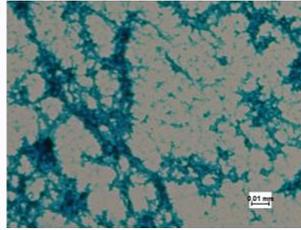
Collected fractions

Application pour ces EPS ?

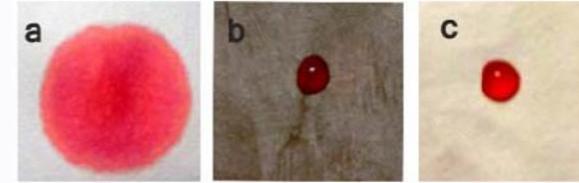
Adhésif



Adsorption métaux
et colorants

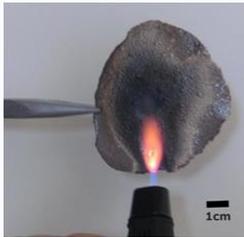


Formation de film



Revêtement hydrophobe

Matériel retardant
de flamm

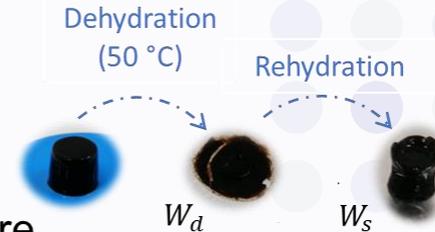


Liant pour ciment



Absorbant
pour agriculture

Thèse
B. Pagliaccia
2022



$$\text{Swelling ratio} = \frac{W_s(t) - W_d}{W_d}$$

11 gH₂O/g = super absorbants (SAP)
Relargage de nutriment pour plantes
dans les sols

Des gains simultanés pour le traitement des eaux

Granules
50 m/h



Revue ein, sources

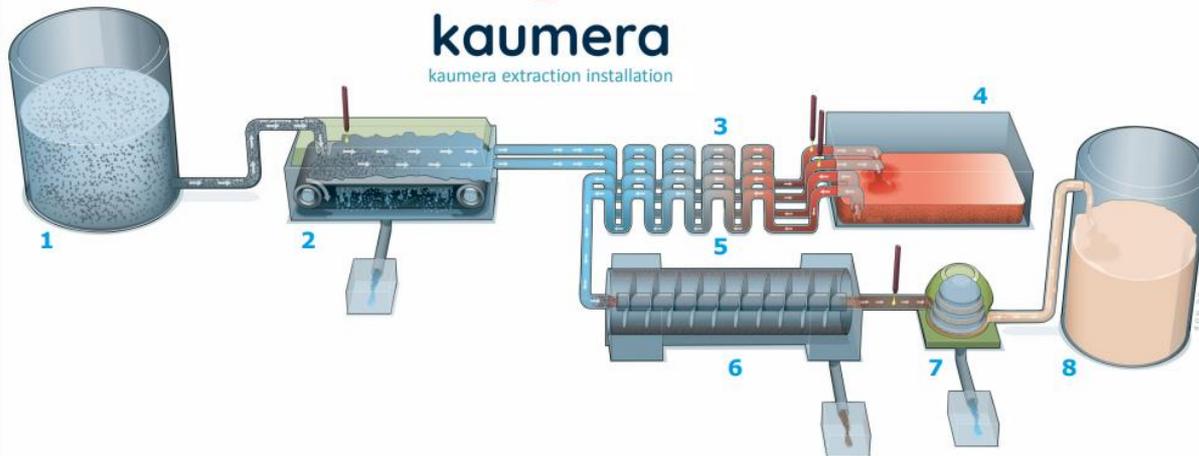
Flocs
2 m/h



Plus compact!

**Mais nécessitant une
très bonne maîtrise de
l'hydraulique**

Le « downstream »



1. Buffer

From the buffer there is a constant flow of Nereda® granular sludge to the Kaamera extraction installation.

2. Belt thickener

The sludge is deposited on a rotating belt. Part of the water falls through the belt. A polymer is added to ensure that the sludge clumps together and the belt does not clog.

3. Heat exchangers

The sludge passes through heat exchangers. The sludge temperature is increased to 80 degrees Celsius.

4. Extraction reactor

When the sludge is at 80 degrees Celsius, it enters the reactor. A base is added to increase the pH value. The sludge remains in the reactor for a few hours. Here, the Kaamera is extracted from the sludge and dissolves in the water phase.

5. Heat exchangers

The sludge passes through the heat exchangers again, but is now cooled down.

Unique in this process is the heat cycle. A heat pump extracts the heat from the sludge and this heat is reused at the beginning of the process to heat up the sludge (step 3).

6. Decanter centrifuge

In the decanter, the sludge is separated from the water. The water phase contains the dissolved Kaamera. The residue sludge will be removed and processed externally.

7. Disc centrifuge

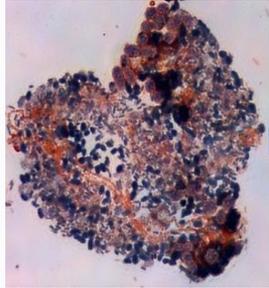
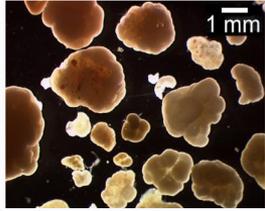
The water travels through a pipe where an acid is added that lowers the pH value. The Kaamera precipitates as a gel like material. In the disc centrifuge, the Kaamera gel is separated from the water phase for the last time. The centrate goes to the Nereda® wastewater treatment plant, where we use it again.

8. Storage silo

The gelatinous Kaamera is stored in a silo.



Produire un biopolymère : les conditions du succès ?!



- **Substrats bon marchés : co-produits, déchets, effluent**
- **Culture microbienne à faible coût et impacts environnementaux**

Culture microbienne continue, ouverte avec consortia microbiens sélectionnés, pas de stérilisation

- **Extraction de biopolymères par des moyens peu coûteux et respectueux de l'environnement sans altérer le produit**
- **Ajuster la composition du biopolymère pendant la production**
- **Mise en forme des matériaux pertinents ciblant différents marchés**

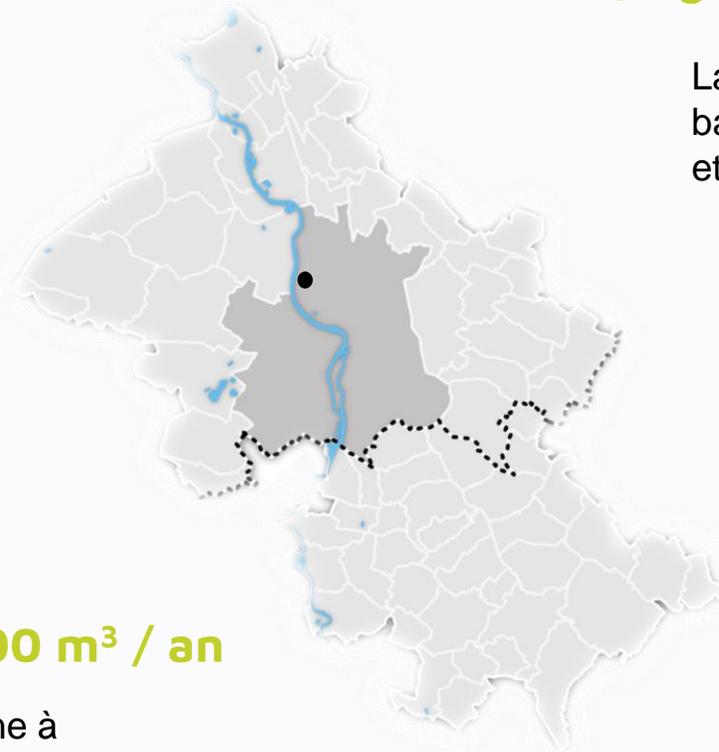
En conclusion: le potentiel ? Ex. de Toulouse-Ginestous

- **25 000 t / an de polymères**

Quand la production mondiale d'alginate est de 40 000 t / an

- **Eau usée : 50 000 000 m³ / an**

3.5% du débit de la Garonne à l'étiage



- **3 845 t / an d'azote**

La consommation en fertilisant du bassin de la métropole Toulousaine et du Sicoval (3107 t / an)