



HAL
open science

Apports de la modélisation pour l'exploitation des stations d'épuration - Exemple de Pierre-Bénite

Sylvie Gillot, Mathilde Lepage

► **To cite this version:**

Sylvie Gillot, Mathilde Lepage. Apports de la modélisation pour l'exploitation des stations d'épuration - Exemple de Pierre-Bénite. Conférence Exploitation des stations d'épuration, GRAIE, Feb 2023, Villeurbanne, France. hal-04221985

HAL Id: hal-04221985

<https://hal.inrae.fr/hal-04221985v1>

Submitted on 28 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Apports de la modélisation pour l'exploitation des stations d'épuration Exemple de Pierre-Bénite

Sylvie Gillot & Mathilde Lepage

INRAE – UR REVERSAAL

CONFÉRENCE

EXPLOITATION DES STATIONS D'ÉPURATION
2 février 2023 - Villeurbanne (69)

Soutenu
par



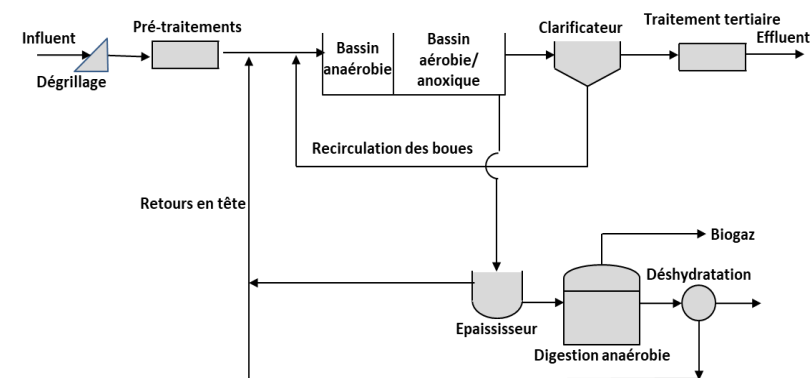


Enjeux pour le traitement et la valorisation des eaux résiduaires



Hier

- Diminuer les risques sanitaires
- Protéger les milieux récepteurs





Enjeux pour le traitement et la valorisation des eaux résiduaires



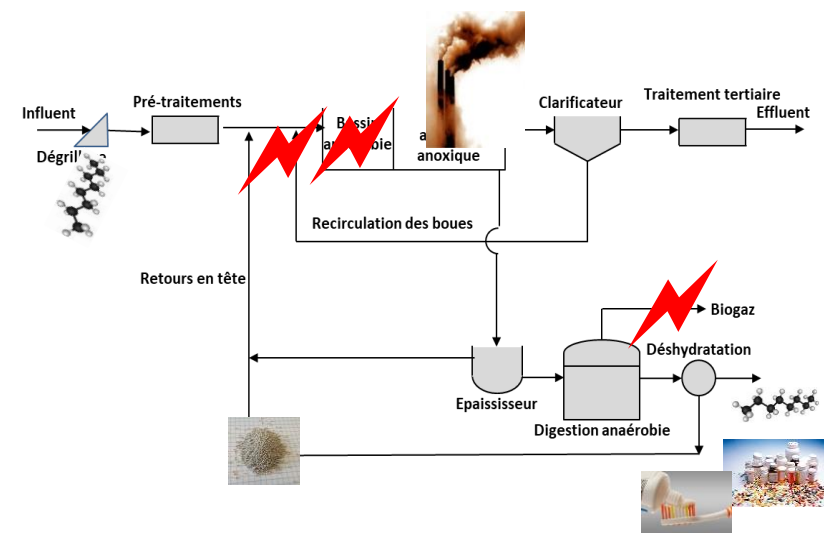
Hier

- Diminuer les risques sanitaires
- Protéger les milieux récepteurs



Aujourd'hui - Optimiser le traitement


- Respecter des niveaux de rejet plus stricts
- Maitriser les impacts environnementaux et les coûts (énergie, réactifs, gaz à effet de serre,...)
- Considérer de nouvelles espèces (micropolluants)



Enjeux pour le traitement et la valorisation des eaux résiduaires




Hier



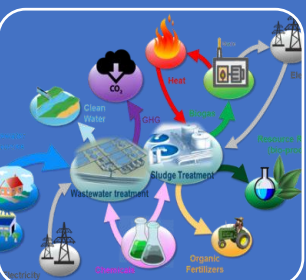
- Diminuer les risques sanitaires
- Protéger les milieux récepteurs

Aujourd'hui - Optimiser le traitement

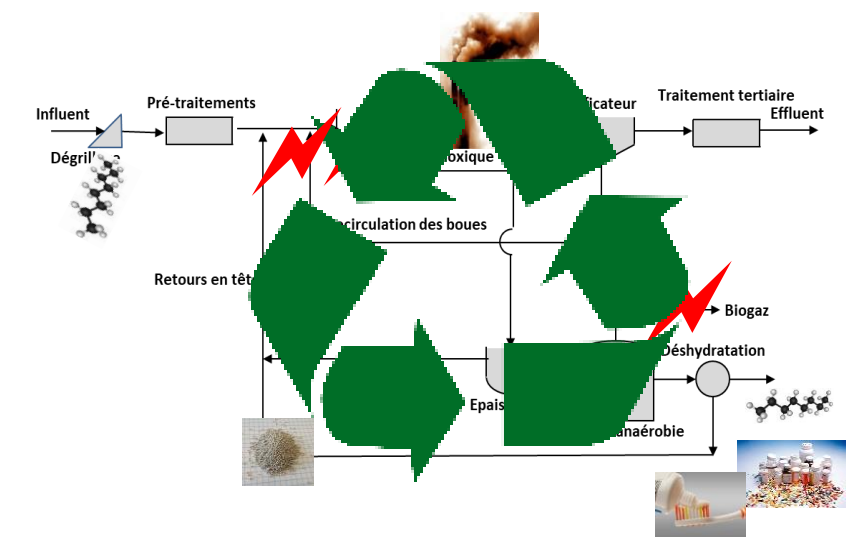


- Respecter des niveaux de rejet plus stricts
- Maitriser les impacts environnementaux et les coûts (énergie, réactifs, gaz à effet de serre,...)
- Considérer de nouvelles espèces (micropolluants)

Demain



- Economie circulaire de l'eau - Concept des 3R :
 - Réduire (consommation, production de boues, GES...)
 - Réutiliser (eau, nutriments)
 - Recycler (énergie, matières)



⇒ Système complexe
⇒ Optimisation avec des objectifs multiples



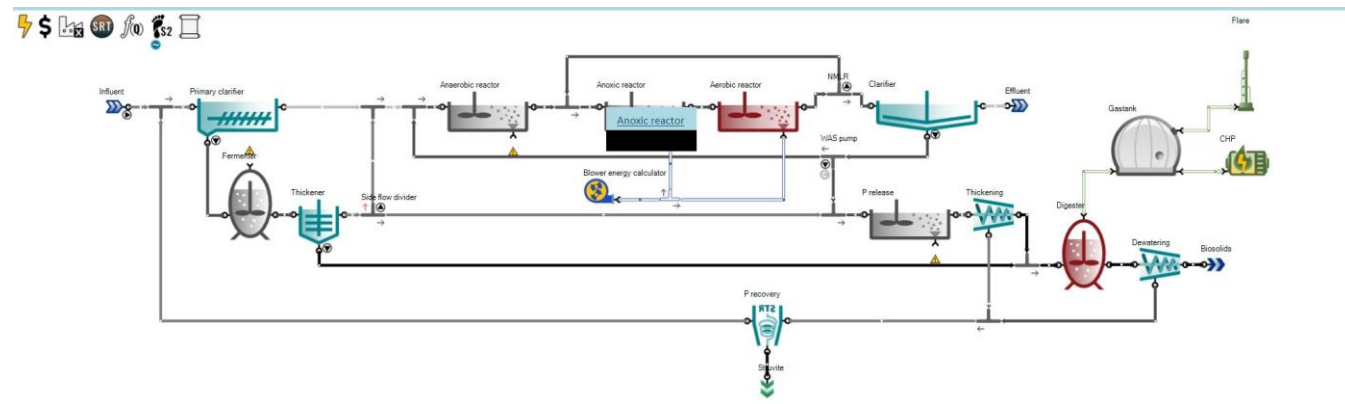
Développement des outils de modélisation depuis une trentaine d'année

Fonctionnement des installations

- Dimensionner
- Optimiser
- Mise à niveau
- Contrôler

Intégration de connaissance

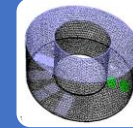
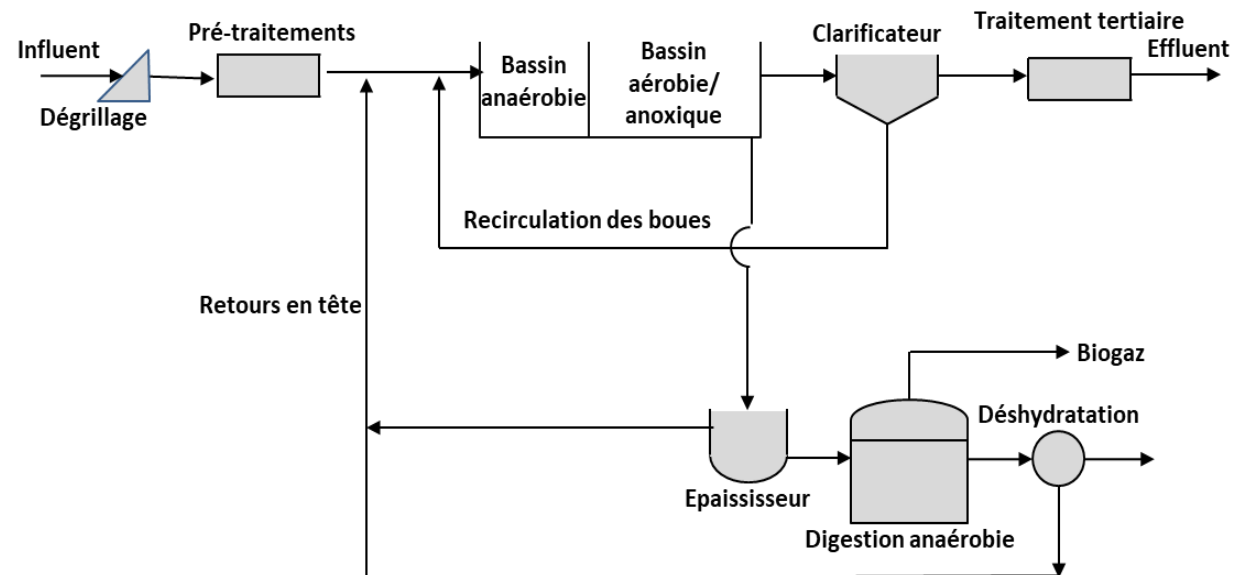
- Mieux comprendre les processus
- Enseigner
- Mener des travaux de recherche
- ...





La modélisation en pratique

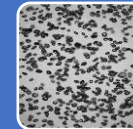
- Modéliser = représenter mathématiquement et de manière simplifiée les processus physiques, chimiques et biologiques qui ont lieu dans les ouvrages de la station



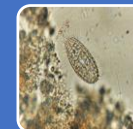
Ecoulements



Réactions physico-chimiques
(précipitation-dissolution, décantation,
filtration,...)



Transfert gaz – liquide (aération, émission
de gaz,...)



Réactions biologiques (conversion
biologique des substrats)



Fractionnement de la matière organique
en classes de biodégradabilité



La modélisation en pratique

- Modéliser = représenter mathématiquement et de manière simplifiée les processus physiques, chimiques et biologiques qui ont lieu dans les ouvrages de la station

Component	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Process rate
<i>f</i> Process	S_T	S_S	X_T	X_S	X_{RH}	X_{RA}	X_I	S_O	S_{NO}	S_{NH}	S_{ND}	X_{ND}	S_{ALK}	
1 Aerobic growth heterotrophs		$\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{NH}$				$\mu_{aerH} \left(\frac{S_S}{K_{S_1} + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) X_{RH,H}$
2 Anoxic growth heterotrophs		$\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{2.86 Y_H}$		$-i_{NH}$				$\mu_{aerH} \left(\frac{S_S}{K_{S_1} + S_S} \right) \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \eta_{i_2} X_{RH,H}$
3 Aerobic growth autotrophs						1		$\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{NH}$	$\frac{1}{Y_A}$			$\mu_{aut} \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O_2} + S_O} \right) X_{RA,A}$
4 Decay heterotrophs				$1 - f_p$	-1	f_p						$i_{NH} - f_p i_{NH}$		$b_H X_{RH,H}$
5 Decay autotrophs				$1 - f_p$	-1	f_p						$i_{NH} - f_p i_{NH}$		$b_A X_{RA,A}$
6 Ammonification										1	-1			$k_d S_{ND} X_{RH,H}$
7 Hydrolysis organic compounds			1											$k_H \frac{X_S / X_{RH,H}}{K_A + X_S / X_{RH,H}} \left[\left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) + \eta_A \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_{RH,H}$
8 Hydrolysis organic N											1	-1		$\rho_2 (X_{ND} / X_S)$
	Unbiodegradable soluble matter (g COD m ⁻³)	Readily biodegradable substrate (g COD m ⁻³)	Particulate unbiodegradable matter (g COD m ⁻³)	Unbiodegradable substrate (g COD m ⁻³)	Active heterotrophic biomass (g COD m ⁻³)	Inert heterotrophic biomass (g COD m ⁻³)	Active autotrophic biomass (g COD m ⁻³)	Unbiodegradable particulate from cell decay (g COD m ⁻³)	Oxygen (g (COD) m ⁻³)	Nitrate and Nitrite nitrogen (g N m ⁻³)	Ammonia nitrogen (g N m ⁻³)	Soluble biodegradable organic nitrogen (g N m ⁻³)	Particulate biodegradable organic nitrogen (g N m ⁻³)	Alkalinity (mole m ⁻³)

Influent
Dégrillage

aire
Effluent

Ecoulements

Réactions physico-chimiques (précipitation-dissolution, décantation, filtration,...)

Transfert gaz – liquide (aération, émission de gaz,...)

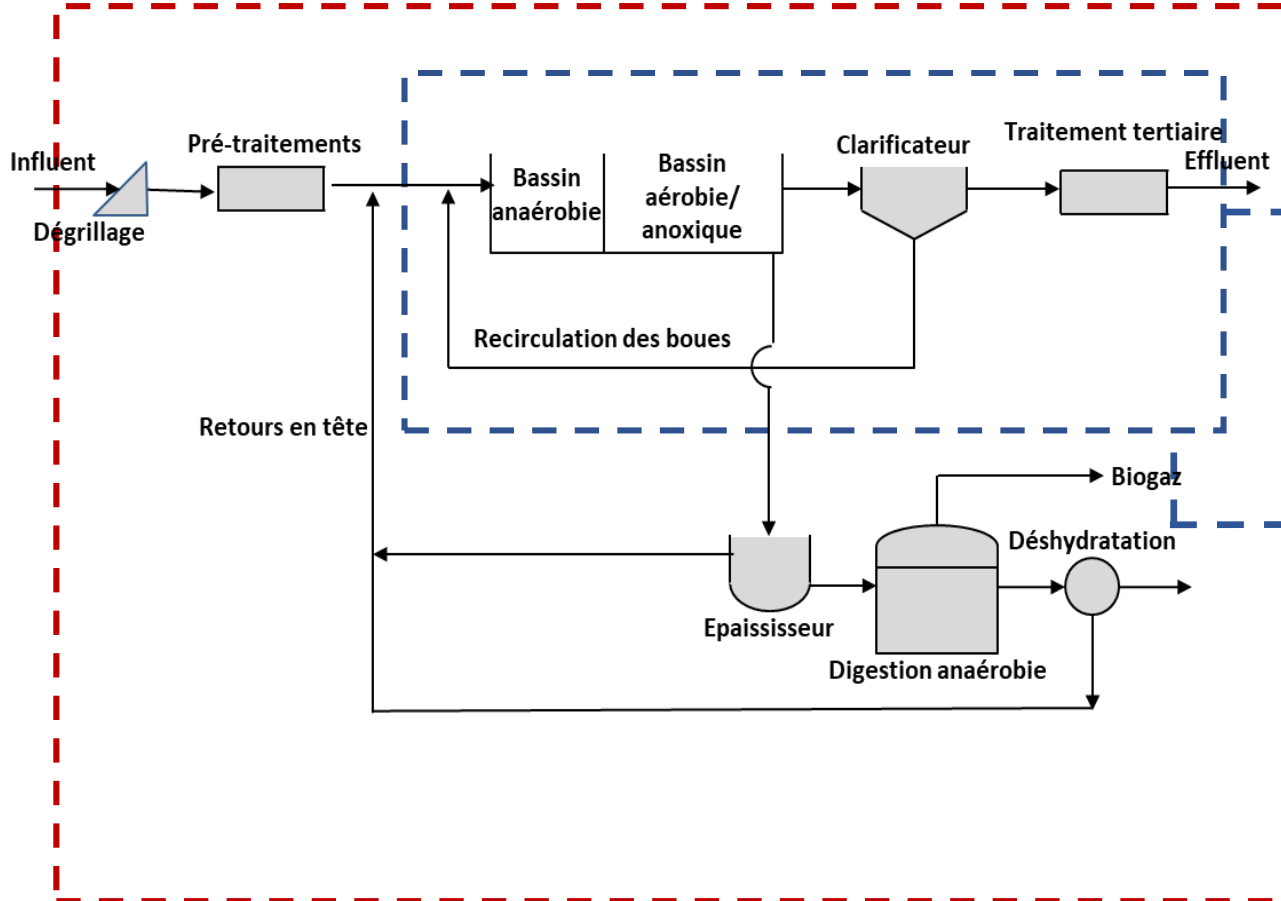
Réactions biologiques (conversion biologique des substrats)

Fractionnement de la matière organique en classes de biodégradabilité

Système d'équations différentielles de degré 1 à résoudre (logiciels dédiés)



Verrous passés et présents



Dans les années 90
Développement de modèles biocinétiques
pour le traitement du Carbone et de l'Azote ...
puis du Phosphore (1999)

Dans les années 2000
Nouvelles variables et nouveaux
processus- N₂O, micropolluants, énergie

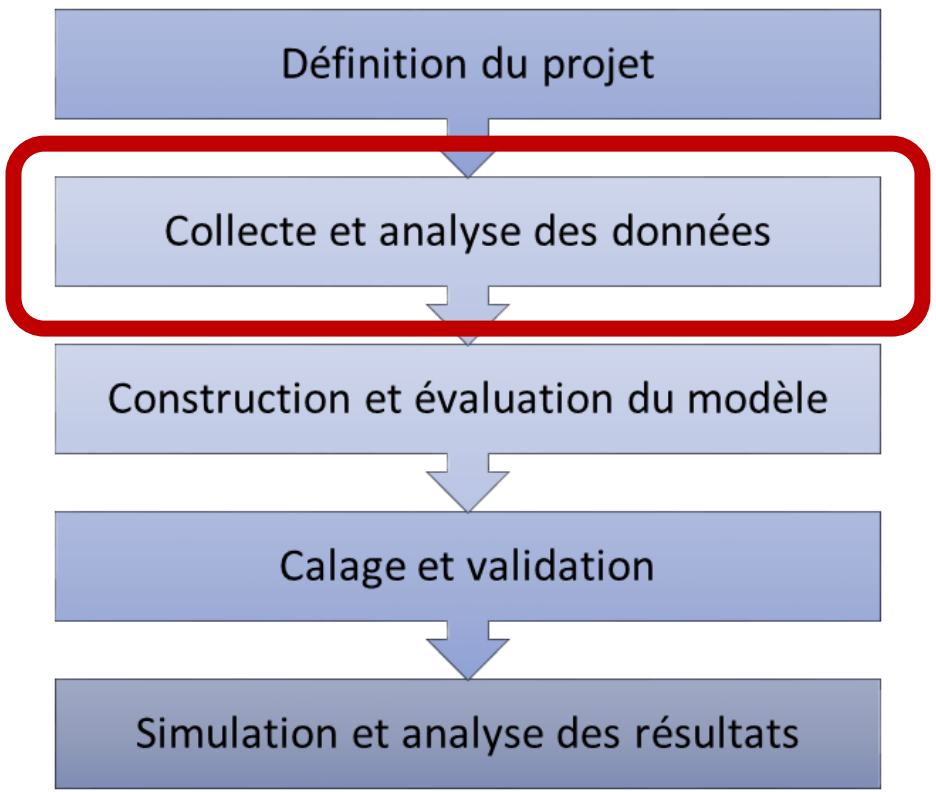
Aujourd'hui
Économie circulaire (nouveaux processus)
Modèles à l'échelle de l'usine
- Questions relatives aux données
- Transfert gaz/liquide (nouveaux procédés, nouvelles variables)
- Interaction ligne de boue / ligne d'eau



CONFÉRENCE
EXPLOITATION DES STATIONS D'ÉPURATION



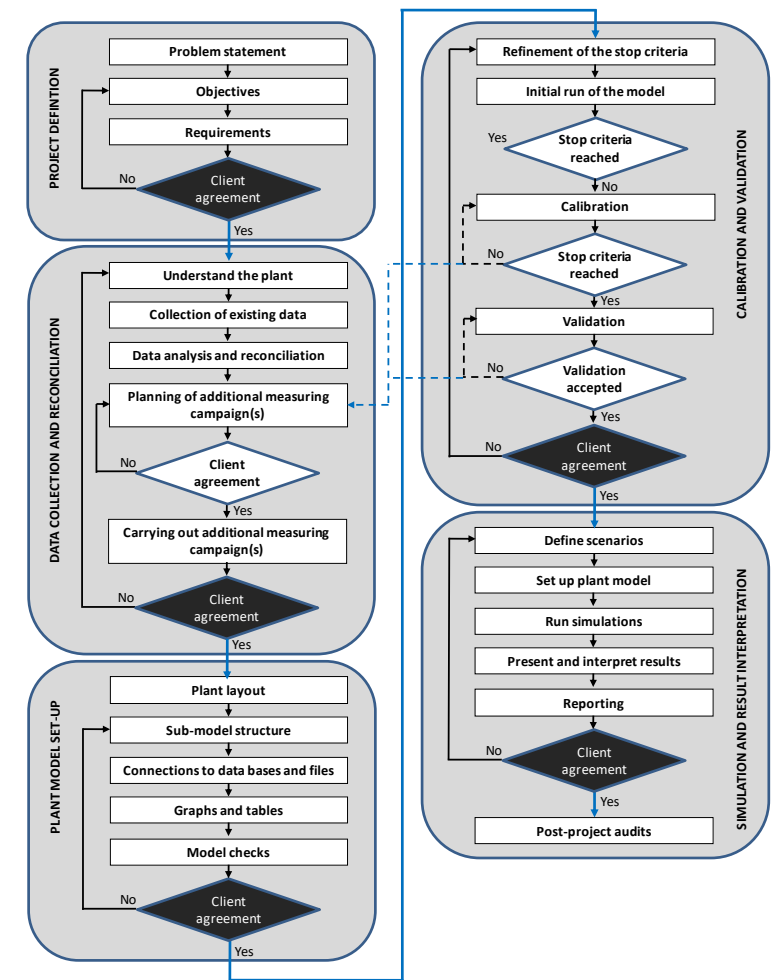
Une procédure en 5 étapes



Scientific and Technical Report No. 21

Guidelines for Using Activated Sludge Models

EWA Task Group on Good Modelling Practice
 - Leiv Rieger, Sylvie Gillot, Günter Langergraber,
 Takayuki Ohtsuki, Andrew Shaw, Imre Takács, Stefan Winkler





► L'enjeu de la donnée

- Données de fonctionnement et d'exploitation
 - Bilan hydraulique / matière
 - Comparaison avec des données de référence
- Données de capteurs
 - Méthode statistique (filtres, détection de valeurs aberrantes / plage de mesure)
 - Méthode empirique (analyse de corrélations entre différentes variables)

⇒ Besoin de formation et de transfert des outils

⇒ Intégration probable à terme de ces outils
dans les logiciels de pilotage des stations (SCADA)

⇒ jumeau numérique



Aide à l'exploitation – Expériences numériques

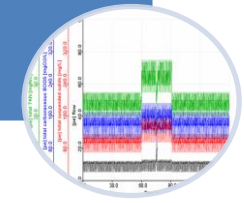
Optimiser l'aération



Maintenance (prévoir l'effet de mise hors service d'ouvrage)



Analyser l'impact d'une augmentation des charges reçues



Elaborer des stratégies de contrôle en temps de pluie



Etudier la possibilité d'ajout d'étapes de traitement





CONFÉRENCE
EXPLOITATION DES STATIONS D'ÉPURATION

graie
PÔLE
EAU & TERRITOIRES

INRAE

Etude de cas : optimisation du fonctionnement de la STEP de Pierre-Bénite à l'aide de la modélisation

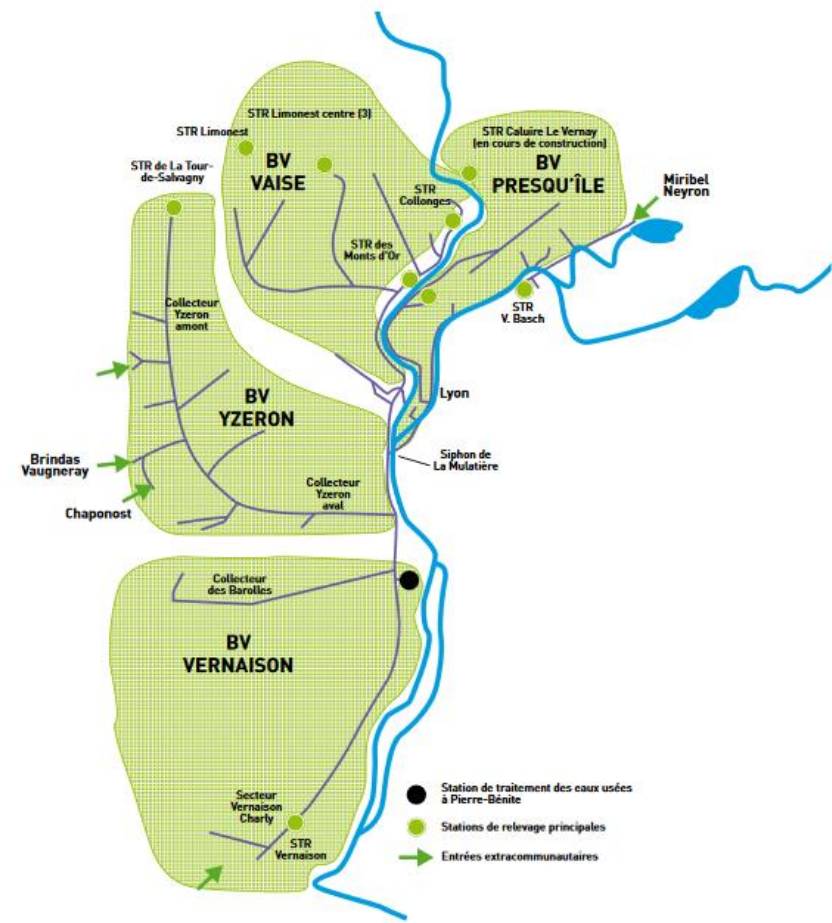


Projet collaboratif INRAE / Métropole de Lyon
(Marché de Recherche & Développement)



Contexte de l'étude

- Région lyonnaise
- Station mise en service en 1972, puis rénovée en 2006
- 4 sous-bassins versants
- Capacité = 950 000 EH
- Débit de référence = 300 000 m³/j
- Milieu récepteur des effluents traités : le Rhône



Bassin versant de la station de traitement des eaux usées à Pierre-Bénite [1]

[1] Grand-Lyon. Carte d'identité du bassin versant de la station de traitement des eaux usées à Pierre-Bénite.



CONFÉRENCE

EXPLOITATION DES STATIONS D'ÉPURATION

De nombreux enjeux stratégiques

Augmentation des charges entrantes à court, moyen et long terme

- Augmentation de la population
- Raccordement de la station d'épuration de Fontaine
- Apport de charges externes

Modifications structurelles de la station

- Mise en fonctionnement d'un by-pass de la décantation primaire
- Ajout d'une étape de digestion anaérobie

Optimisation de la gestion énergétique et environnementale

- Optimisation de l'aération
- Production de biogaz



CONFÉRENCE

EXPLOITATION DES STATIONS D'ÉPURATION



graie
PÔLE
EAU & TERRITOIRES

INRAE

De nombreux enjeux stratégiques

Augmentation des charges entrantes à court, moyen et long terme

- Augmentation de la population
- Raccordement de la station d'épuration de Fontaine
- Apport de charges externes

Modifications structurelles de la station

- Mise en fonctionnement d'un by-pass de la décantation primaire
- Ajout d'une étape de digestion anaérobie

Optimisation de la gestion énergétique et environnementale

- Optimisation de l'aération
- Production de biogaz

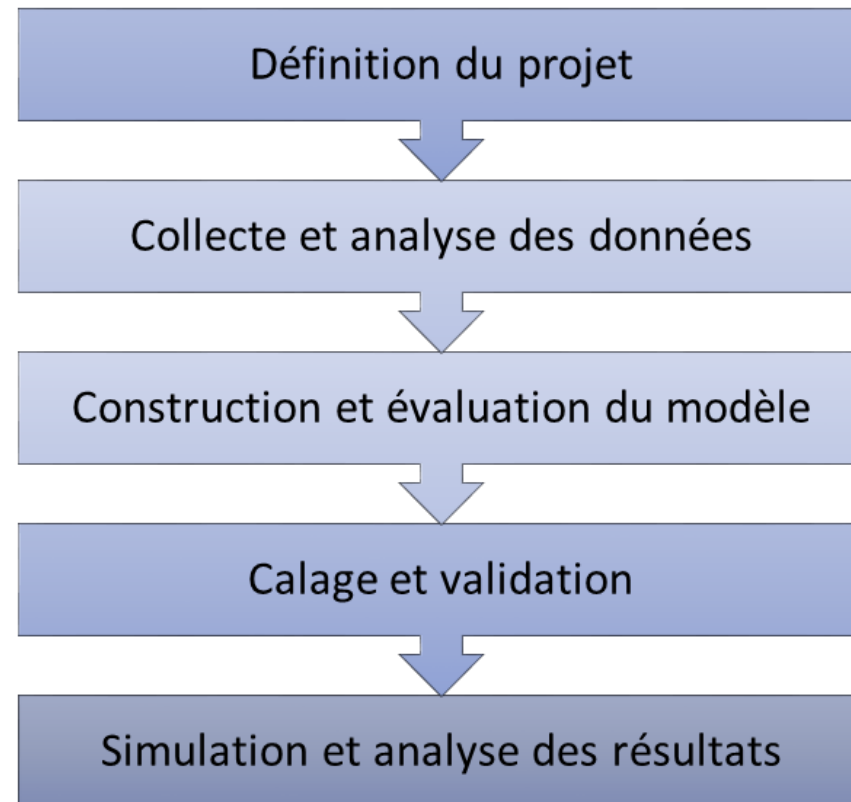
Nécessité d'estimer l'impact de ces évolutions et de prévoir des stratégies d'exploitation



Utilisation de la modélisation comme outil d'aide à la décision



Les cinq étapes d'un projet de modélisation





Définition des objectifs

1. Modélisation de la station actuelle

2. Impact du by-pass sur les performances de traitement →
définition de règles d'exploitation / de contrôle du by-pass

3. Impact de l'augmentation de la charge à traiter

4. Ajout d'une étape de digestion anaérobie et impact sur
l'ensemble de l'installation

Définition du projet

Collecte et analyse des données

Construction et évaluation du modèle

Calage et validation

Simulation et analyse des résultats



CONFÉRENCE
EXPLOITATION DES STATIONS D'ÉPURATION



EPT : Entrée prétraitement

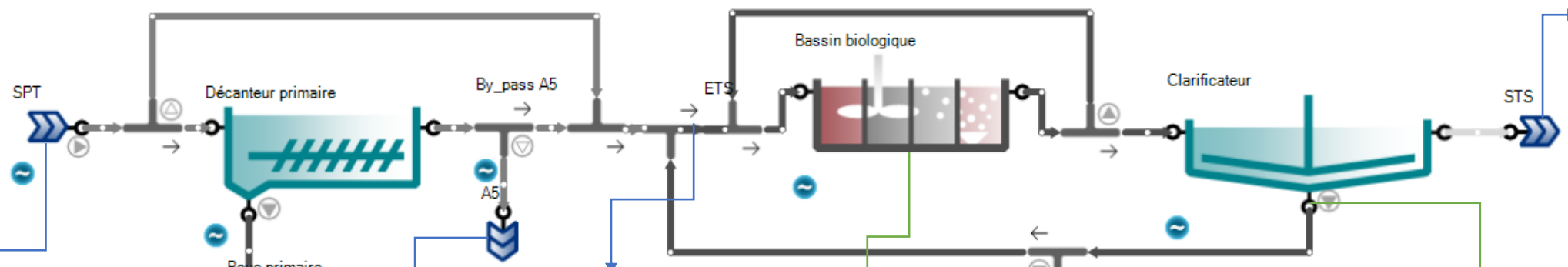
SPT : Sortie prétraitement

ETS : Entrée traitement secondaire



Collecte des données

- Eaux traitées**
Débit (journalier et continu)
Concentrations (EM-24h)
DCO
NK, NH₄, NO₃, NO₂
MES
DBO₅
P
pH
Température
1 éch/j sauf formes azotées (5j/7)



- Eaux résiduaires (ERU + MV + PC+RFB)**
Débit
Concentrations (EM-24h)
DCO
NK, NH₄, NO₃, NO₂
MES
DBO₅
P
pH
1 éch/j sauf formes azotées (5j/7)

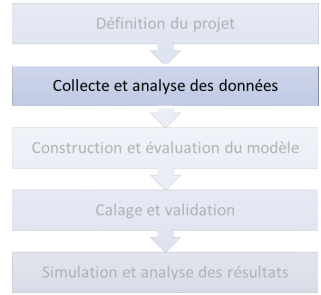
- Rejets point A5**
Débit (journalier et continu)
Concentrations (EM-24h)
DCO
NK, NH₄, NO₃, NO₂
MES
DBO₅
P
pH
1 éch/j lors des rejets

- Eaux ETS**
Débit (journalier et continu)
Concentrations (EM-24h)
DCO
NK, NH₄, NO₃, NO₂
MES
DBO₅
P
pH
1 éch/j sauf formes azotées (5j/7)

- Bassin d'aération**
Débit d'air (volume journalier et continu)
Oxygène dissous (continu)
Redox (continu)
Concentrations (EM-24h)
MES BA
%MVS/MES
1 éch/3j

- Clarificateur**
Débit de recirculation (journalier et continu)
Concentrations (EM-24h)
MES BA
%MVS/MES
1 éch/3j

- Boues**
Débit extraction (journalier et continu)
Concentrations (EM-24h)
MES
%MVS/MES
1 éch/3j



Analyse et traitement des données

Echantillonnage des débits d'entrée et de l'aération

Code python (avant échantillonnage)

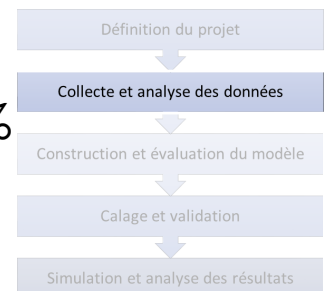
```
Débit en entrée de prétraitement brut
      Time      Q
0      2021-10-01 00:00:00  2840
1      2021-10-01 00:00:30  2830
2      2021-10-01 00:01:01  2835
3      2021-10-01 00:01:31  2894
4      2021-10-01 00:02:01  2878
...
428154 2022-03-02 23:57:32  2688
428155 2022-03-02 23:58:02  2645
428156 2022-03-02 23:58:32  2652
428157 2022-03-02 23:59:02  2667
428158 2022-03-02 23:59:32  2774

[428159 rows x 2 columns]
```

Code python (après échantillonnage)

```
Débits d'entrée après traitement des données
      Time
2021-10-01 00:00:00  2909.808333
2021-10-01 00:10:00  2656.511667
2021-10-01 00:20:00  2862.713333
2021-10-01 00:30:00  2751.916667
2021-10-01 00:40:00  2695.430000
...
2022-03-02 23:10:00  3413.585000
2022-03-02 23:20:00  3058.468333
2022-03-02 23:30:00  3164.330000
2022-03-02 23:40:00  3173.088333
2022-03-02 23:50:00  2914.568333
Freq: 10T, Name: Débit pondéré, Length: 22032
```

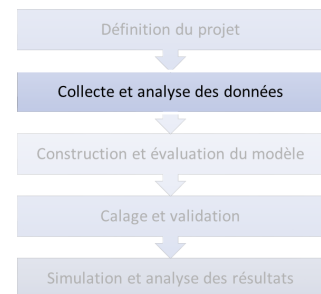
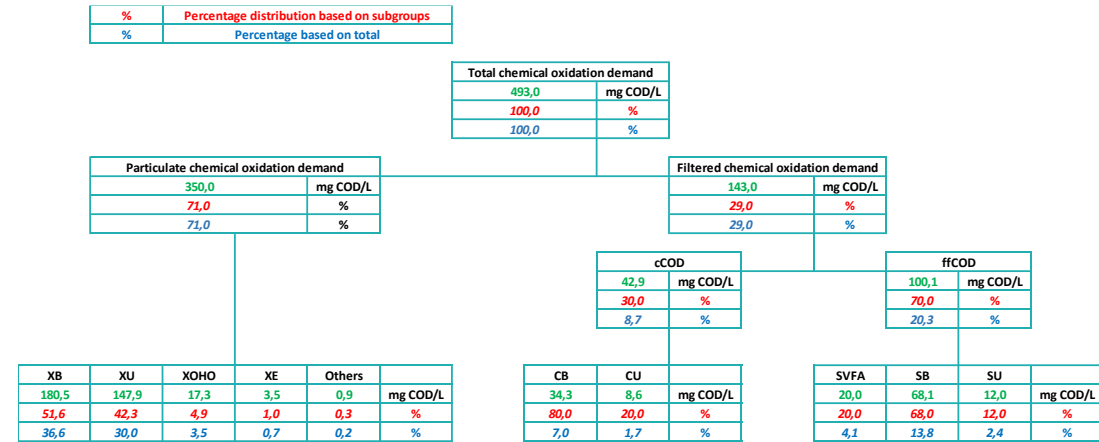
$$(428159-22032)/428159 = 95\%$$



Analyse et traitement des données

Echantillonnage des débits d'entrée et de l'aération

Fractionnement de la matière organique dans les eaux usées → campagnes d'analyses spécifiques





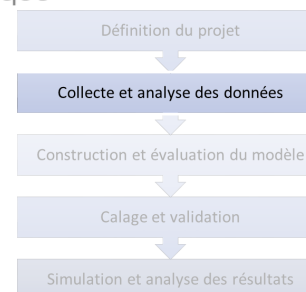
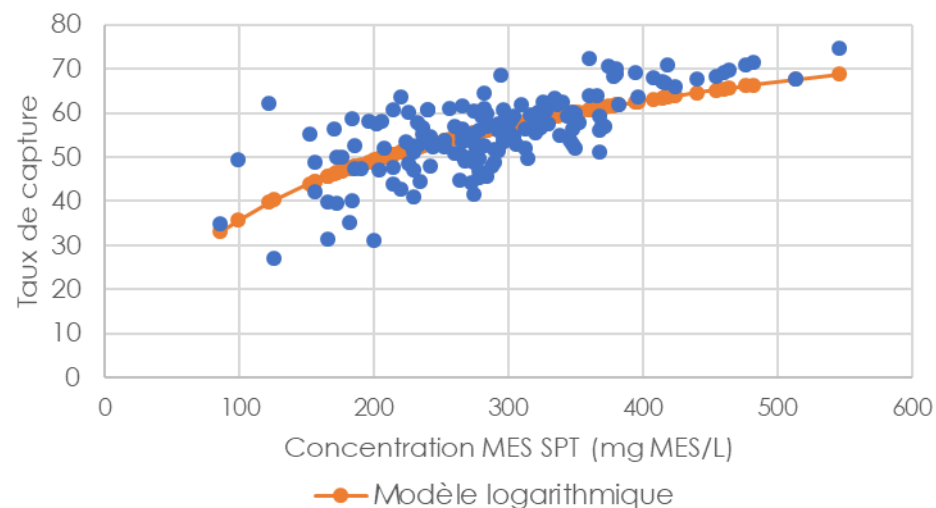
Analyse et traitement des données

Echantillonnage des débits d'entrée et de l'aération

Fractionnement de la matière organique dans les eaux usées → campagnes d'analyses spécifiques

Amélioration de la modélisation du décanteur primaire

Abattement des MES dans le décanteur primaire : modèle logarithmique





Analyse et traitement des données

Echantillonnage des débits d'entrée et de l'aération

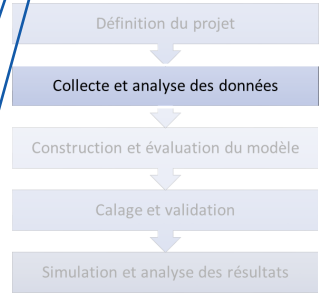
Fractionnement de la matière organique dans les eaux usées → campagnes d'analyses spécifiques

Amélioration de la modélisation du décanteur primaire

Reconstitution de l'aération globale à partir des volumes d'air journaliers

Mode	Période	Pourcentage temps_sec
Aération	1	0,10
Anoxie	2	0,14
Aération	3	0,11
Anoxie	4	0,16
Aération	5	0,15
Anoxie	6	0,16
Aération	7	0,16
Anoxie	8	0,15
Aération	9	0,17
Anoxie	10	0,14
Aération	11	0,17
Anoxie	12	0,13
Aération	13	0,14
Anoxie	14	0,13

Temps aération





Analyse et traitement des données

Echantillonnage des débits d'entrée et de l'aération

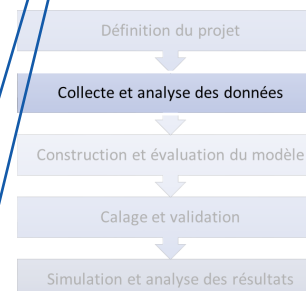
Fractionnement de la matière organique dans les eaux usées → campagnes d'analyses spécifiques

Amélioration de la modélisation du décanteur primaire

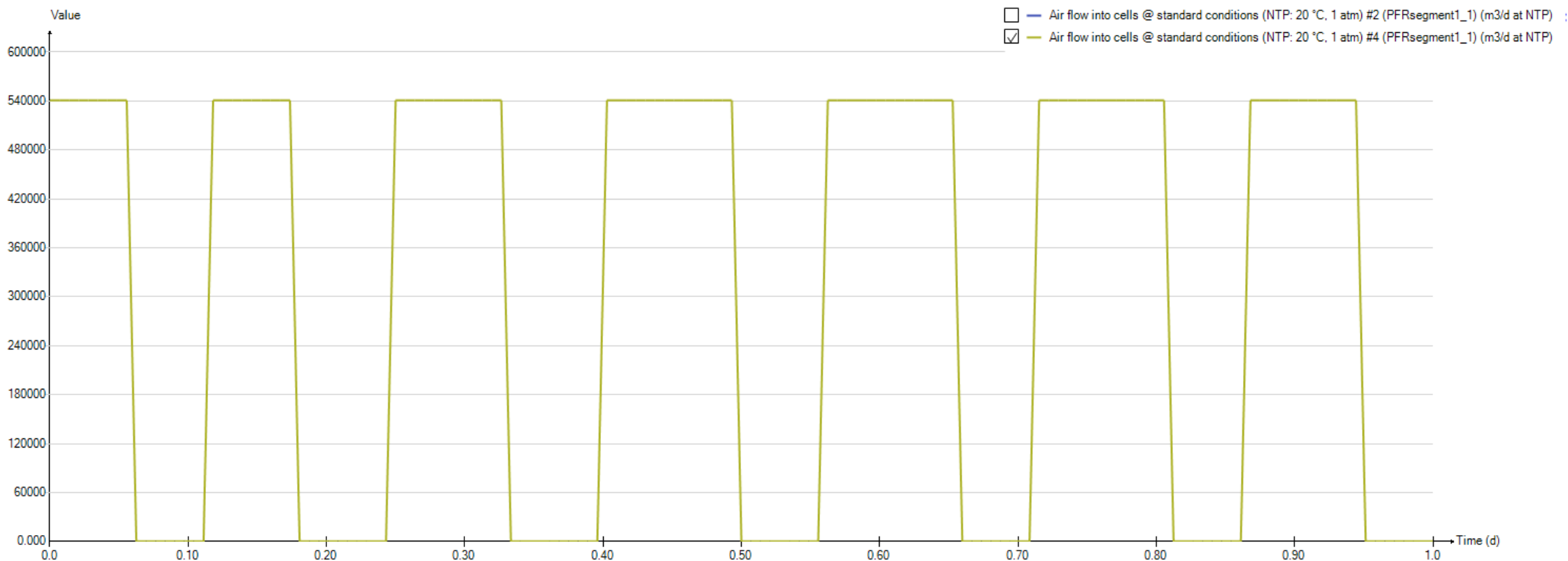
Reconstitution de l'aération globale à partir des volumes d'air journaliers

Mode	Période	Pourcentage temps_sec
Aération	1	0,10
Anoxie	2	0,14
Aération	3	0,11
Anoxie	4	0,16
Aération	5	0,15
Anoxie	6	0,16
Aération	7	0,16
Anoxie	8	0,15
Aération	9	0,17
Anoxie	10	0,14
Aération	11	0,17
Anoxie	12	0,13
Aération	13	0,14
Anoxie	14	0,13

Temps anoxie



► Analyse et traitement des données



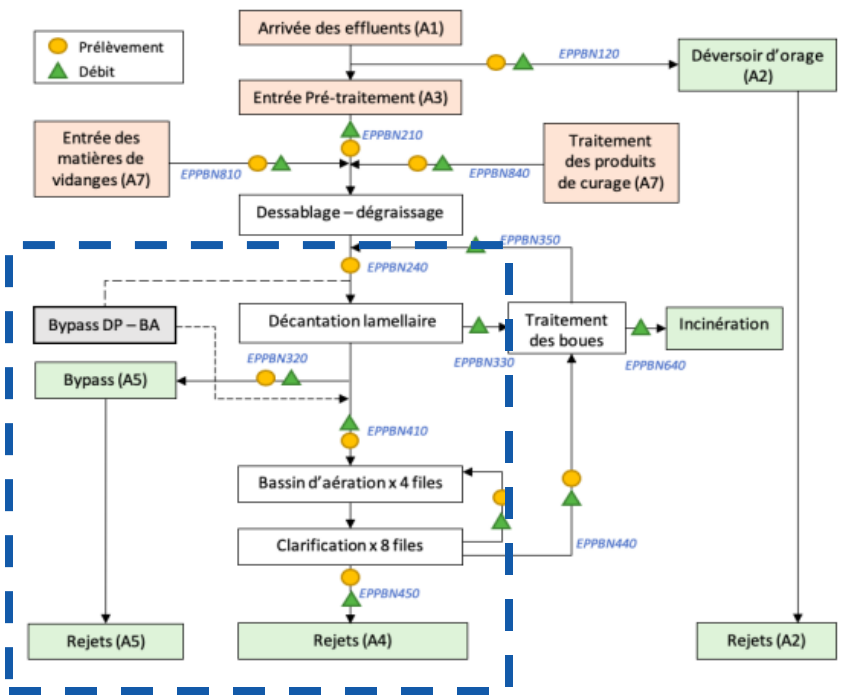
Evolution de l'aération au sein d'une journée par temps sec



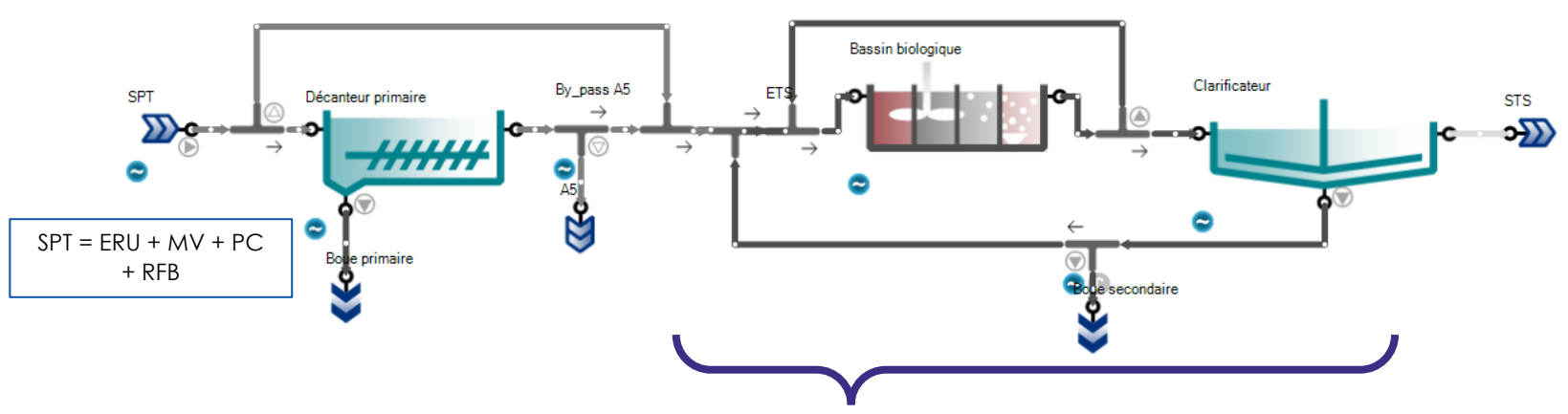
CONFÉRENCE EXPLOITATION DES STATIONS D'ÉPURATION

De la station au modèle : File eau (SUMO22)

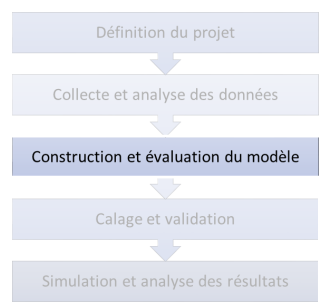
Schéma de la file eau de la STEP de Pierre-Bénite



Modèle de la STEP de Pierre-Bénite



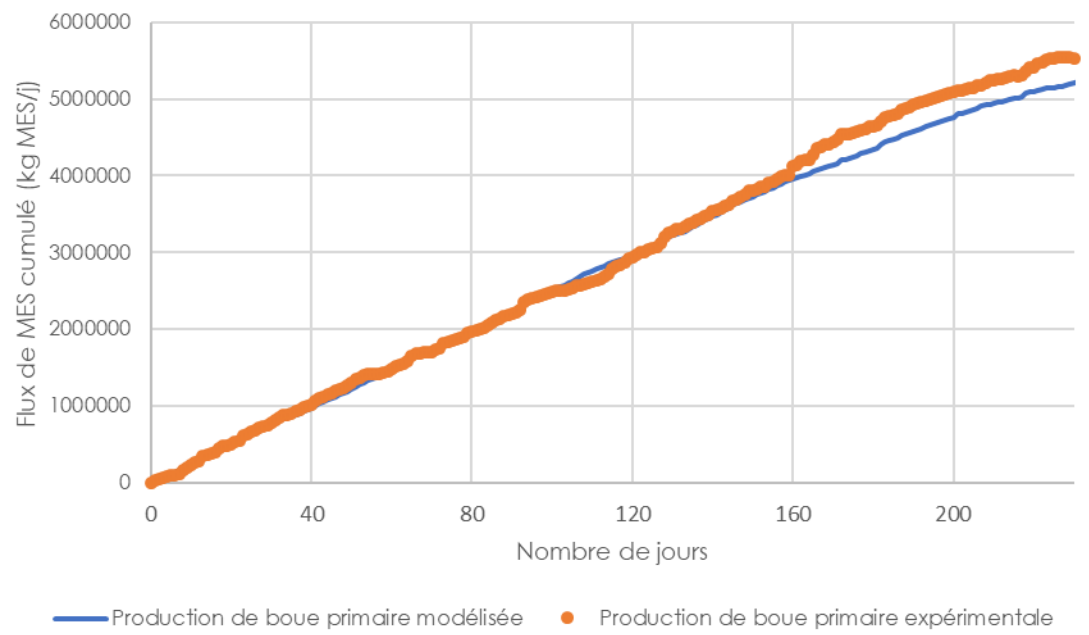
Les trois files biologiques sont modélisées en une seule



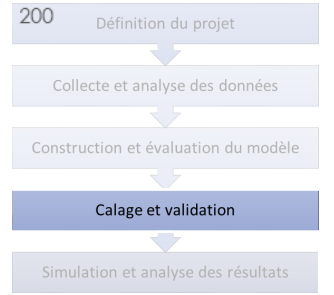
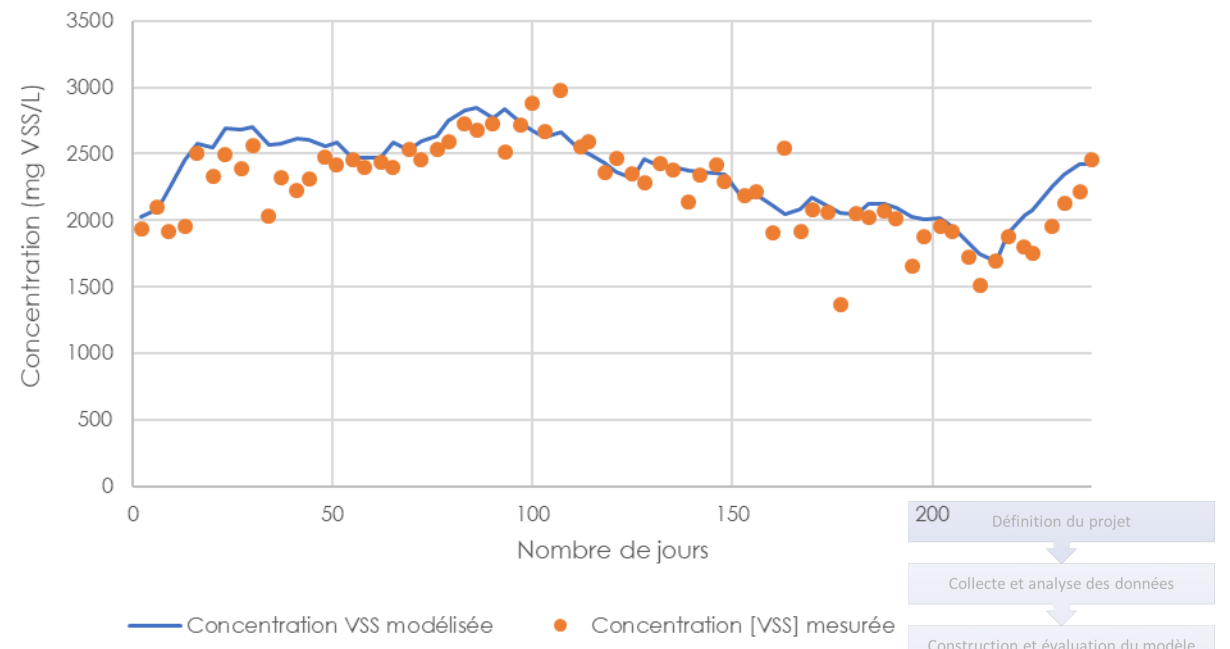


Calage et validation

Comparaison des productions de boues primaires expérimentales et modélisées sur 236 jours



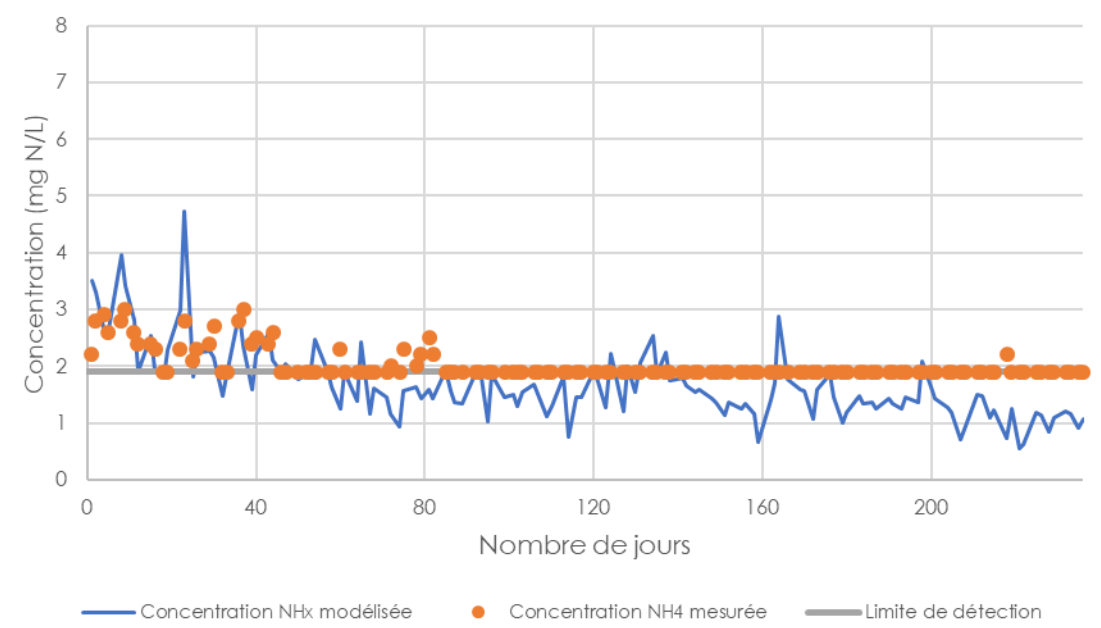
Evolution de la concentration en VSS dans le bassin biologique durant 236 jours



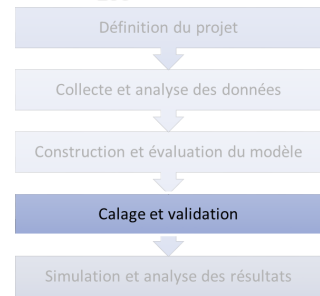
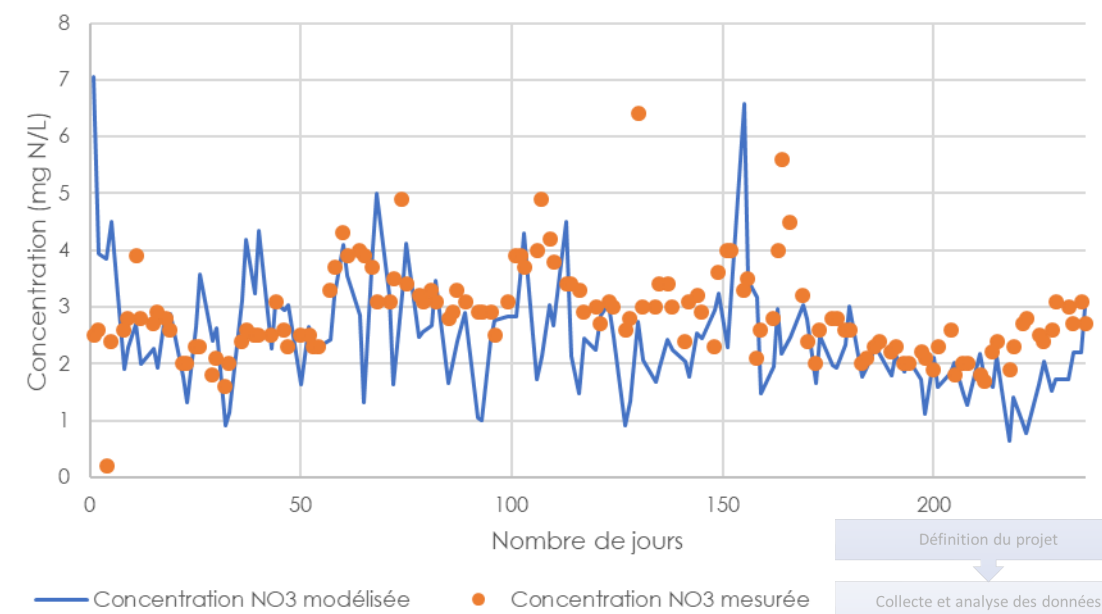


► Calage et validation

Evolution de la concentration en ammonium en sortie de traitement secondaire sur 236 jours



Evolution de la concentration en nitrate en sortie de traitement secondaire sur 236 jours





Scénarios

Impact du by-pass de la décantation primaire

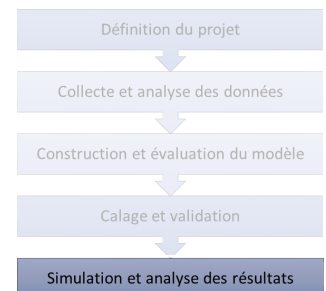
- Maintien d'un charge massique constante sur l'étage biologique
- Qualité des effluents de sortie
- Limite de l'installation (aération, hydraulique...)

Evolution des charges en entrée de station à court, moyen et long terme

- Qualité des effluents de sortie
- Limite de l'installation (aération, hydraulique...)

Ajout d'une étape de digestion anaérobie

- Impact des retours en tête de digestion sur le traitement biologique
- Qualité des effluents de sortie
- Limite de l'installation (aération, hydraulique...)





Scénarios

Impact du by-pass de la décantation primaire

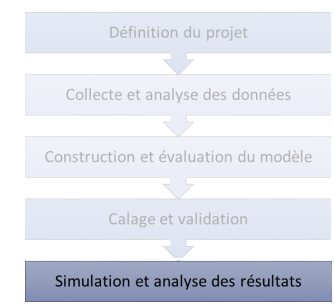
- Maintien d'un charge massique constante sur l'état biologique
- Qualité des effluents de sortie
- Limite de l'installation (aération, hydraulique...)

Evolution des charges en entrée de station par un moyen...

⇒ Les résultats seront présentés au congrès de l'ASTEE 2023

Ajout d'un digesteur...

- Impact des retours en tête de digestion sur le traitement biologique
- Qualité des effluents de sortie
- Limite de l'installation (aération, hydraulique...)





CONFÉRENCE
EXPLOITATION DES STATIONS D'ÉPURATION

Merci pour votre attention

Sylvie.gillot@inrae.fr

Mathilde.lepage@inrae.fr

