



Modélisation et contrôle numérique de systèmes dynamiques en agronomie

Partie 0: Introduction

**Module de Formation Continue Supagro Montpellier -
Cursus Data Science -
16-19 Janvier 2018, Montpellier, France**

Céline Casenave¹, Fabien Campillo²

¹INRA UMR INRA-SupAgro MISTEA, Montpellier, France

²INRIA, Centre Sophia-Antipolis, Montpellier, France

16-19/01/2018

Mon unité de recherche

Département de Mathématiques et Informatique Appliquées
(MIA)

Mon unité de recherche

Département de Mathématiques et Informatique Appliquées
(MIA)



Unité MISTEA: Mathématiques, Informatique and STatistiques
pour l'Environnement et l'Agronomie

Mon unité de recherche

Département de Mathématiques et Informatique Appliquées
(MIA)



Unité MISTEA: Mathématiques, Informatique and Statistiques
pour l'Environnement et l'Agronomie



Equipe GAMA

statistiques - informatique



Equipe MOCAS

systèmes dynamiques - contrôle

Mon unité de recherche

Département de Mathématiques et Informatique Appliquées
(MIA)



Unité MISTEA: Mathématiques, Informatique and Statistiques
pour l'Environnement et l'Agronomie



Equipe GAMA

statistiques - informatique



Equipe MOCAS

systèmes dynamiques - contrôle

Agro-écosystèmes

La formation

Objectif

Modélisation et contrôle numérique de systèmes dynamiques en agronomie

Objectif: introduire quelques **notions et outils mathématiques** pour:

- la **modélisation**
- la **simulation**
- l'**identification**
- et le **contrôle**

de systèmes dynamiques apparaissant dans le domaine de l'agronomie.

La formation

Contenu

- Partie 1: Modélisation
schéma réactionnel, écosystème, bioréacteur
- Partie 2: Analyse et simulation numérique d'équations différentielles ordinaires.
points d'équilibre, stabilité, schémas numériques, simulation sous Python
- Partie 3: Identification de modèles
moindres carrés et filtre de Kalman. Implementation en Python.
- Partie 4: Contrôle
définition d'une loi de commande, boucle ouverte/boucle fermée, PID, observateur, saturation, implémentation en Python

La formation

Planning

	Jour 1 mardi 16/01/2018	Jour 2 mercredi 17/01/2018	Jour 3 jeudi 18/01/2018	Jour 4 vendredi 19/01/2018
9h-12h		Analyse et Simulation points d'équilibre, schémas numériques Fabien Campillo	Identification de modèles filtre de Kalman Fabien Campillo	Contrôle de systèmes dynamiques observateur et saturation Céline Casenave
12h-13h		Repas	Repas	Repas
13h-17h	Modélisation <i>schéma réactionnel, écosystème, bioréacteur</i> Fabien Campillo	Identification de modèles méthode de moindres carrés Céline Casenave	Contrôle de système dynamiques définitions, boucle ouverte/fermée, PID Céline Casenave	

La formation

Organisation des séances

Les séances seront basées sur l'alternance entre:

1. **une séquence de cours**,
présentations orales avec comme support des diapositives classiques et/ou des notebooks python accessibles sur un dépôt Github:

https://github.com/fabiencampillo/systemes_dynamiques_agronomie

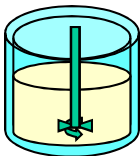
Site du cours:

<http://www-sop.inria.fr/members/Fabien.Campillo/teaching/modelisation-en-agronomie/>

2. **une séquence d'application pratique:**
 - en python
 - sur un cas d'étude réel:
→ Contrôle d'un fermeteur continu multi-étagé

Cas d'étude: la fermentation alcoolique

La fermentation batch



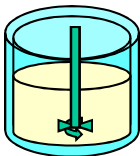
levure X
azote N
sucre S
alcool E

Croissance des levures: $N \xrightarrow{X} k_1 X$

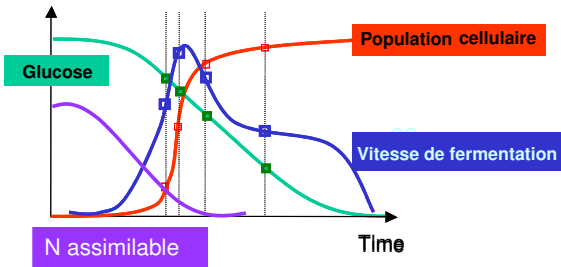
Dégradation du sucre en alcool: $S \xrightarrow{X} k_2 E + k_2 CO_2$

Cas d'étude: la fermentation alcoolique

La fermentation batch



levure X
azote N
sucre S
alcool E



⇒ Etude des levures difficile en batch
car le processus de fermentation
est dynamique

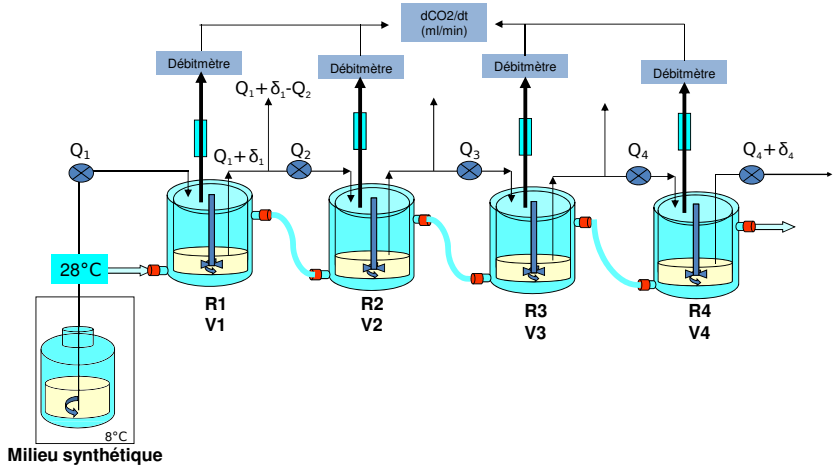
Croissance des levures: $N \xrightarrow{X} k_1 X$

Dégradation du sucre en alcool: $S \xrightarrow{X} k_2 E + k_2 CO_2$

Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Fermenteur Continu Multi-Etagé (FCME)

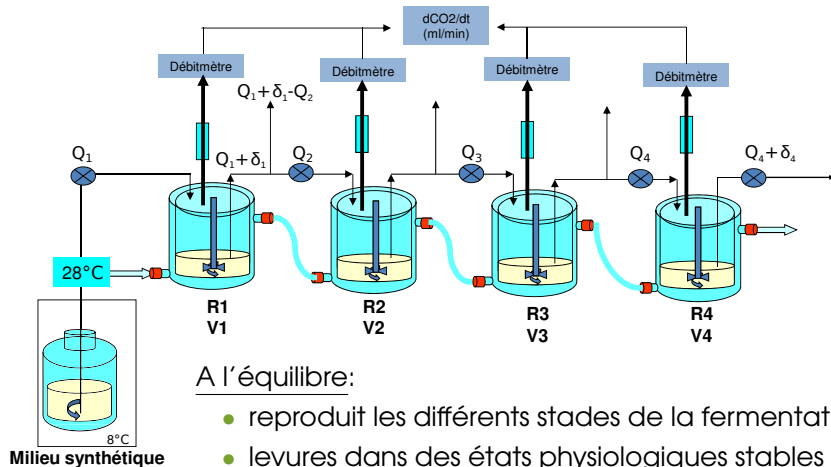
⇒ Un outil d'étude en continu



Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Fermenteur Continu Multi-Etagé (FCME)

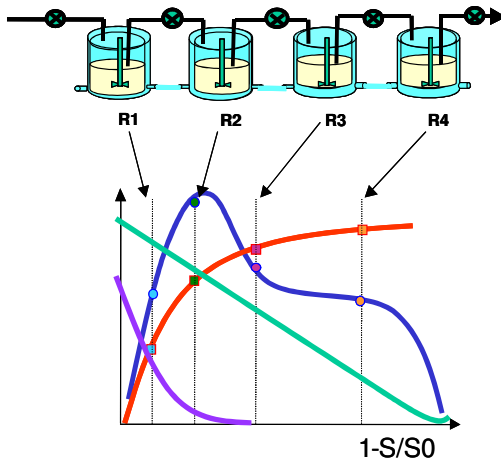
⇒ Un outil d'étude en continu



Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Fermenteur Continu Multi-Etagé (FCME)

⇒ Un outil d'étude en continu



Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Comparaison entre batch et FCME

International Journal of Food Microbiology 150 (2011) 42–49



Contents lists available at [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

International Journal of Food Microbiology

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



Use of a continuous multistage bioreactor to mimic winemaking fermentation

T. Clement ^{*}, M. Perez, J.R. Mouret, J.M. Sablayrolles, C. Camarasa

INRA, UMR Sciences pour l'œnologie, 2 Place Viala, 34060 Montpellier cedex 1, France

Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Comparaison entre batch et FCME

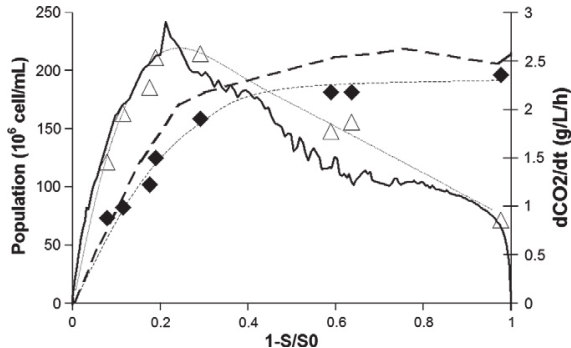


Fig. 4. Fermentation performances and growth of the strains EC118 during batch fermentation and FSCF. Fermentation rate in batch fermentation (—) and in FSCF (—Δ—); yeast population, in batch fermentation (---) and FSCF (—◆—) obtained with the strains EC1118 on SM430 synthetic medium. X axis: fermentation progress (S is the residual glucose concentration in the fermentation medium and S₀ is the initial content of glucose in the must).

Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Comparaison entre batch et FCME

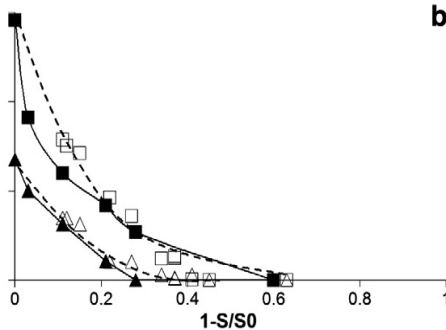


Fig. 5. Nitrogen assimilation of the strains EC118 during batch fermentation and FSCF. Total residual assimilable nitrogen (r.a.N) (■, □) and ammonium (▲, △) as a function of fermentation progress, in batch (closed symbols) and four-stage continuous fermentation (open symbols), with EC1118 (b). The data are plotted versus the fermentation progress $(1 - S/S_0)$ where S is the residual glucose concentration in the fermentation medium and S_0 is the initial content of glucose in the must.

Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Problème de contrôle du FCME



Dans chaque réacteur:

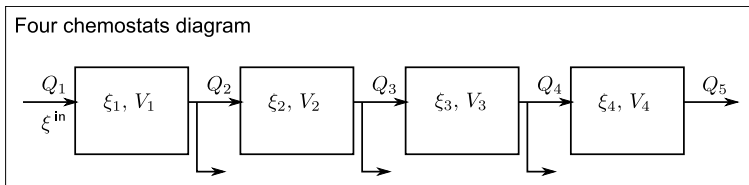
Variable à contrôler: la concentration en sucre

Variable de contrôle: débit d'entrée

Mesure en ligne: vitesse de dégagement en CO_2

Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Problème de contrôle du FCME



Dans chaque réacteur:

Variable à contrôler: la concentration en sucre

Variable de contrôle: débit d'entrée

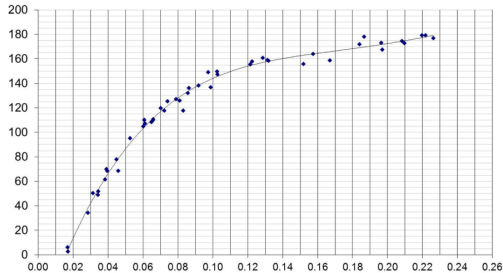
Mesure en ligne: vitesse de dégagement en CO_2

Contrainte $Q_{\max} > Q_1 > Q_2 > Q_3 > Q_4 > 0$

Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Problème de contrôle du FCME

Contrôle manuel:

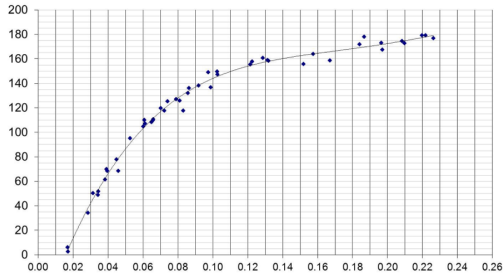


⇒ pour une souche et des conditions données ($T^{\circ}C$, milieu)

Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Problème de contrôle du FCME

Contrôle manuel:



⇒ pour une souche et des conditions données ($T^{\circ}C$, milieu)

Objectifs:

- **Contrôle automatique** de la concentration en sucre
- **Réduction du temps de réponse**
(par rapport au contrôle manuel)

Cas d'étude: la fermentation alcoolique

Problème de contrôle du FCME

Application des concepts vu dans le cours au cas d'étude:

- un seul réacteur au lieu de 4
- plusieurs étapes:
 1. **Modélisation** du processus de fermentation alcoolique
 2. **Analyse et simulation** du modèle
 3. **Identification des paramètres** du modèle à partir de données réelles
 4. **Design d'une loi de commande** et validation en simulation numérique

Références

- (1) Bastin G., Course “**Modelling and analysis of dynamical systems**” (in French), UCL (Catholic University of Louvain), Belgium
- (2) Bastin G., Dochain D., “**On line estimation and adaptive control of bioreactors**” (<http://perso.uclouvain.be/georges.bastin/>)
- (3) Coriou J.-P., “**Process Control: theory and applications**”, Springer