



HAL
open science

Modélisation thermodynamique de la croissance microbienne

Cedric Dussat, Cristian Puentes, Ioan-Cristian Trelea, Fernanda Fonseca,
Stephanie Passot, Théodore Bouchez

► **To cite this version:**

Cedric Dussat, Cristian Puentes, Ioan-Cristian Trelea, Fernanda Fonseca, Stephanie Passot, et al..
Modélisation thermodynamique de la croissance microbienne. Microbes 2021 16ème congrès national
de la SFM, Sep 2021, Nantes, France. hal-04459518

HAL Id: hal-04459518

<https://hal.science/hal-04459518>

Submitted on 15 Feb 2024

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.

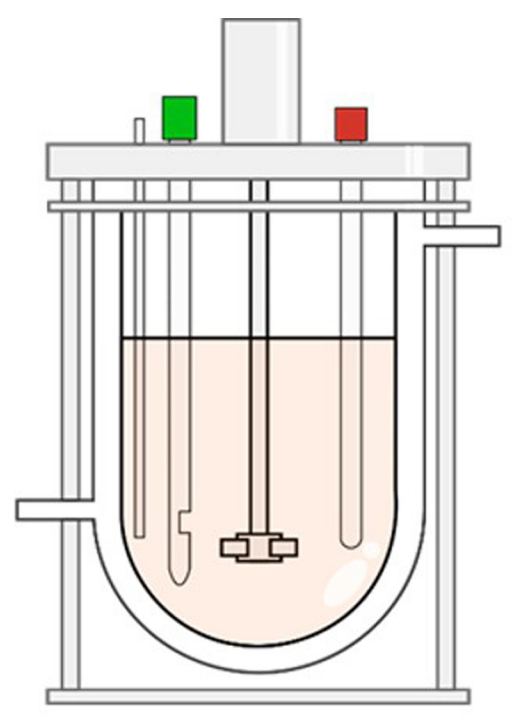


Cédric Dussaut^a, Cristian Puentes^a, Ioan-Cristian Trelea^b, Fernanda Fonseca^b, Stéphanie Passot^b, Théodore Bouchez^c

^aUniversité Paris-Saclay, CentraleSupélec, LGPM, F-91192, Gif-sur-Yvette, France
^bUniversité Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR SayFood, F-78850, Thiverval-Grignon, France
^cUniversité Paris-Saclay, INRAE, PROSE, 92160, Antony, France

Contexte

contacts : cristian.puentes@centralesupelec.fr
 theodore.bouchez@inrae.fr



Production de concentrés bactériens utilisés dans des étiquettes temps-température pour le suivi de conservation de produits alimentaires



Carnobacterium maltaromaticum

- Croissance anaérobie
- Source de carbone (limitante) : tréhalose (C₁₂H₂₂O₁₁)
- Source d'azote (en excès) : protéose peptone et extraits de levures
- Métabolites connus : acide formique (CH₂O₂), acide acétique (C₂H₄O₂), acide lactique (C₃H₆O₃) et éthanol (C₂H₆O)

Matériel et méthodes



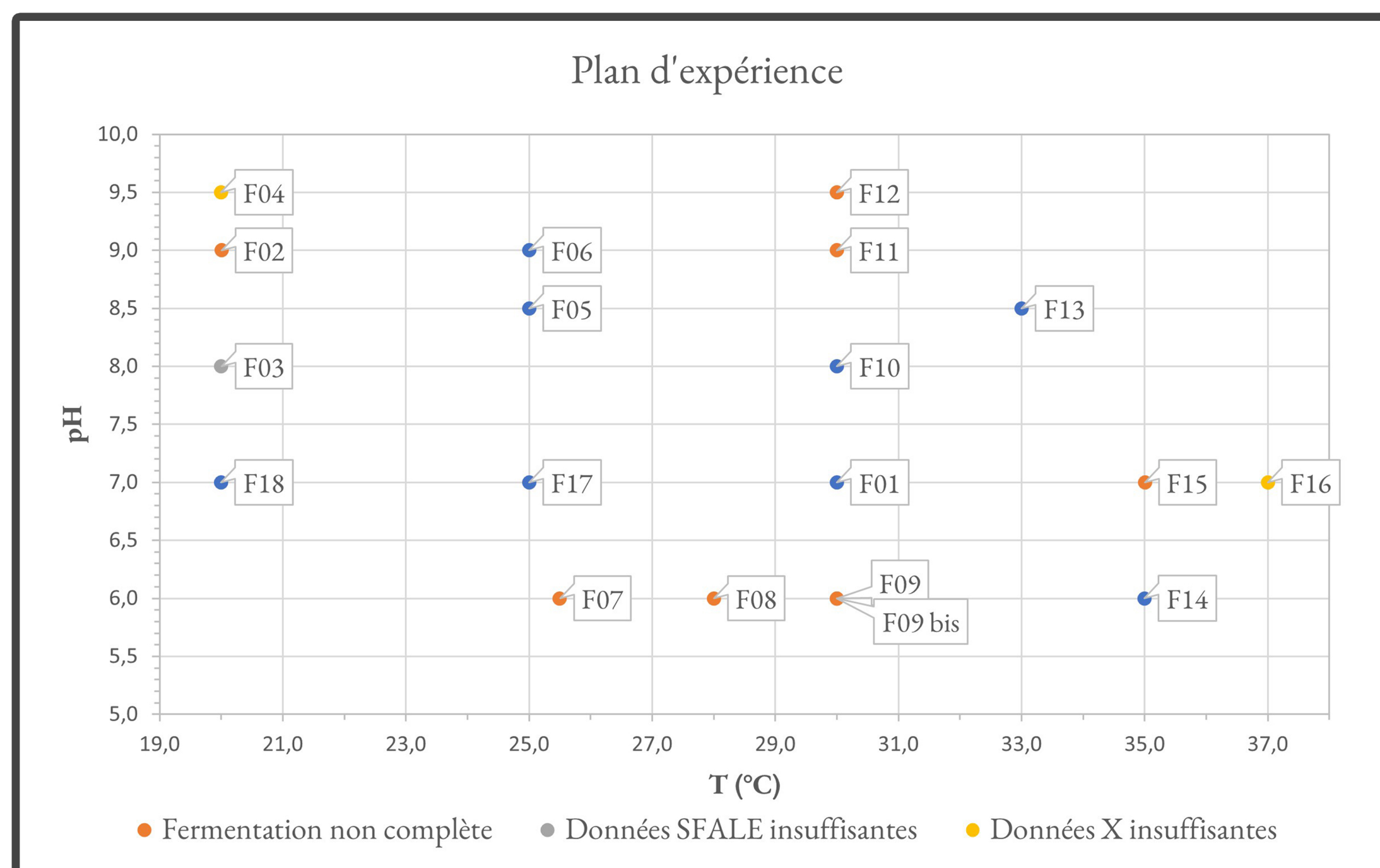
Données expérimentales¹

18 conditions de cultures (bioréacteur de 4,87 L) :

- Températures : 20 °C à 37 °C
- pH : 6 à 9,5

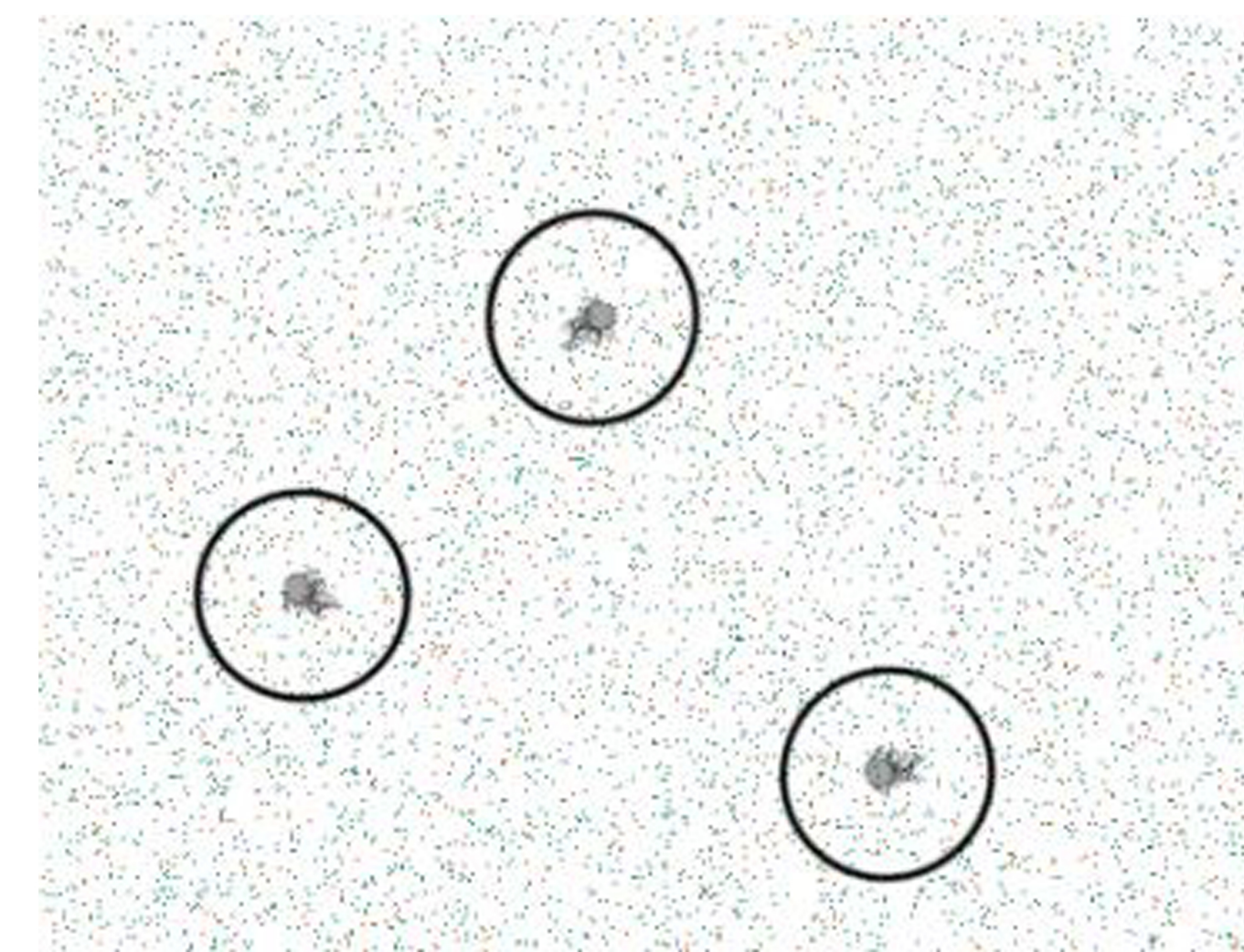
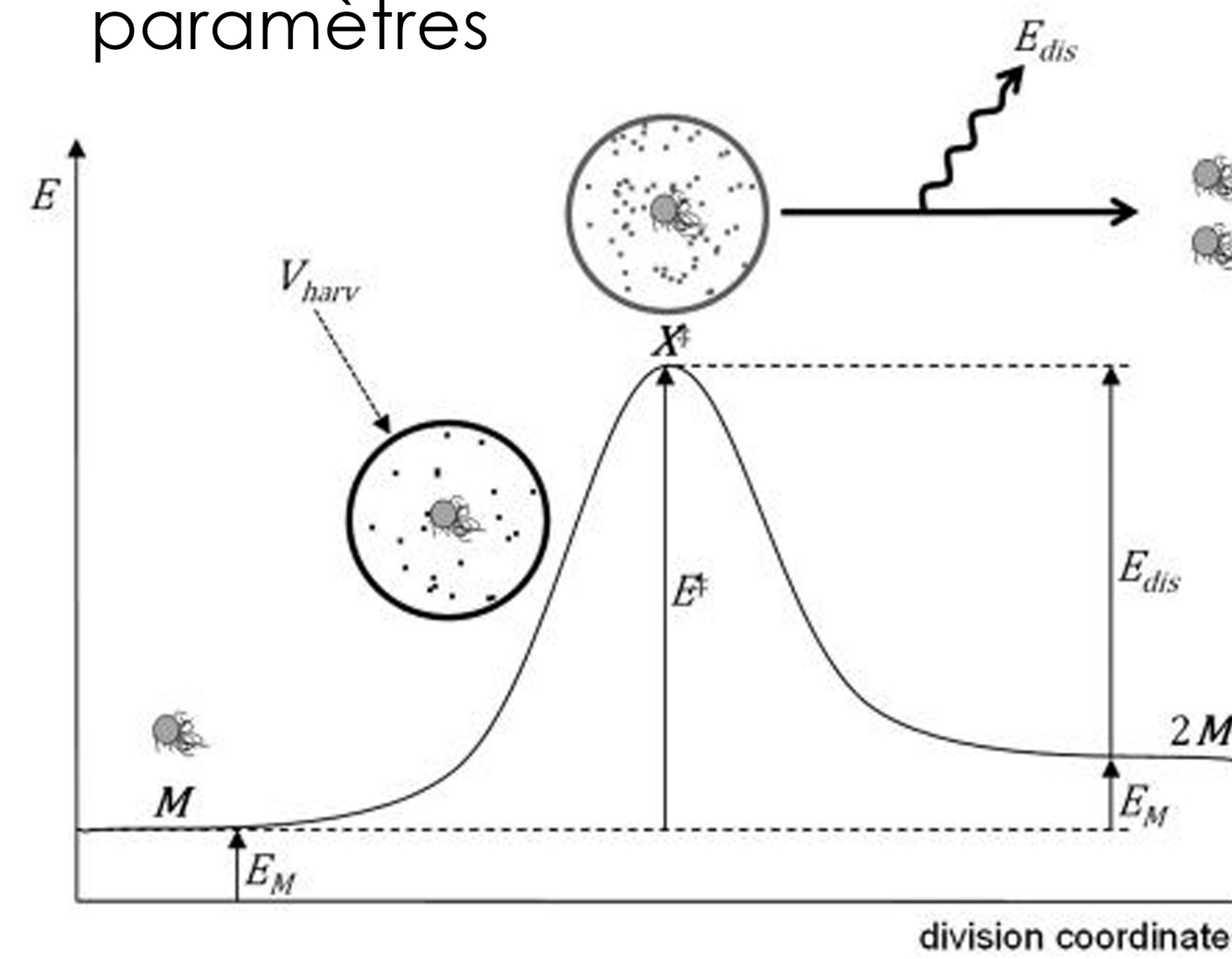
Suivis :

- Biomasse (densité optique et masse sèche)
- Tréhalose (HPLC)
- Métabolites connus : acide formique, acide acétique, acide lactique et éthanol (HPLC)
- Débit d'hydroxyde de sodium (régulation du pH)
- Acide total
- Volume réactionnel



Le Microbial Transition State model²

- Lien entre le bilan énergétique de la cellule et ses dynamiques de croissance
- Considérations thermodynamiques et probabilistiques
- Modèle à vocation prédictive avec un faible nombre de paramètres



$$\frac{d[C]}{dt} = Y_{C/X}^{met} \mu_X [X] + concentration - dilution + transferts$$

$$Y_{C/X}^{met} = \lambda Y_{C/S}^{cat} + Y_{C/S}^{an}$$

$$\mu_X = \mu_{max} \prod_i \exp\left(\frac{Y_{S_i}^{met}}{V_h [S_i]}\right)$$

$$\lambda = \frac{-\Delta G_{ana}(T, [C], pH) + \Delta G_{dis}}{\Delta G_{cat}(T, [C], pH)}$$

3 paramètres :

- λ : Facteur de couplage
- μ_{max} : Taux de croissance maximum [h⁻¹]
- V_h : Volume de récolte [L.mol⁻¹]

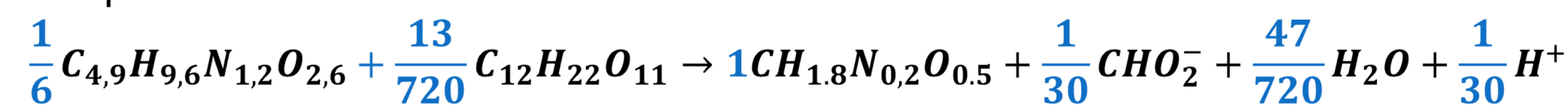
Résultats et discussions



Reformulation des équations

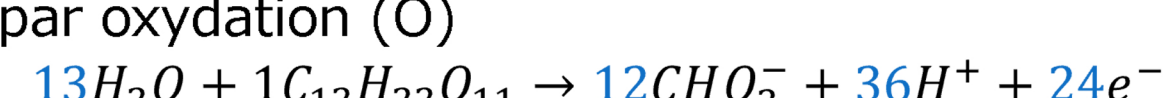
Réactions anaboliques

- Prise en compte de la source d'azote

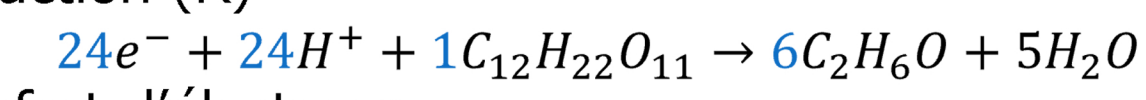


Réactions cataboliques³

- Oxydoréduction :

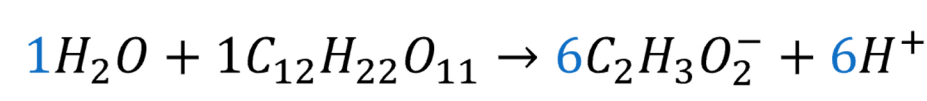


Production d'éthanol par réduction (R)

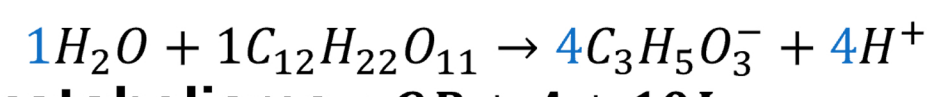


- Semi-réactions sans transfert d'électrons

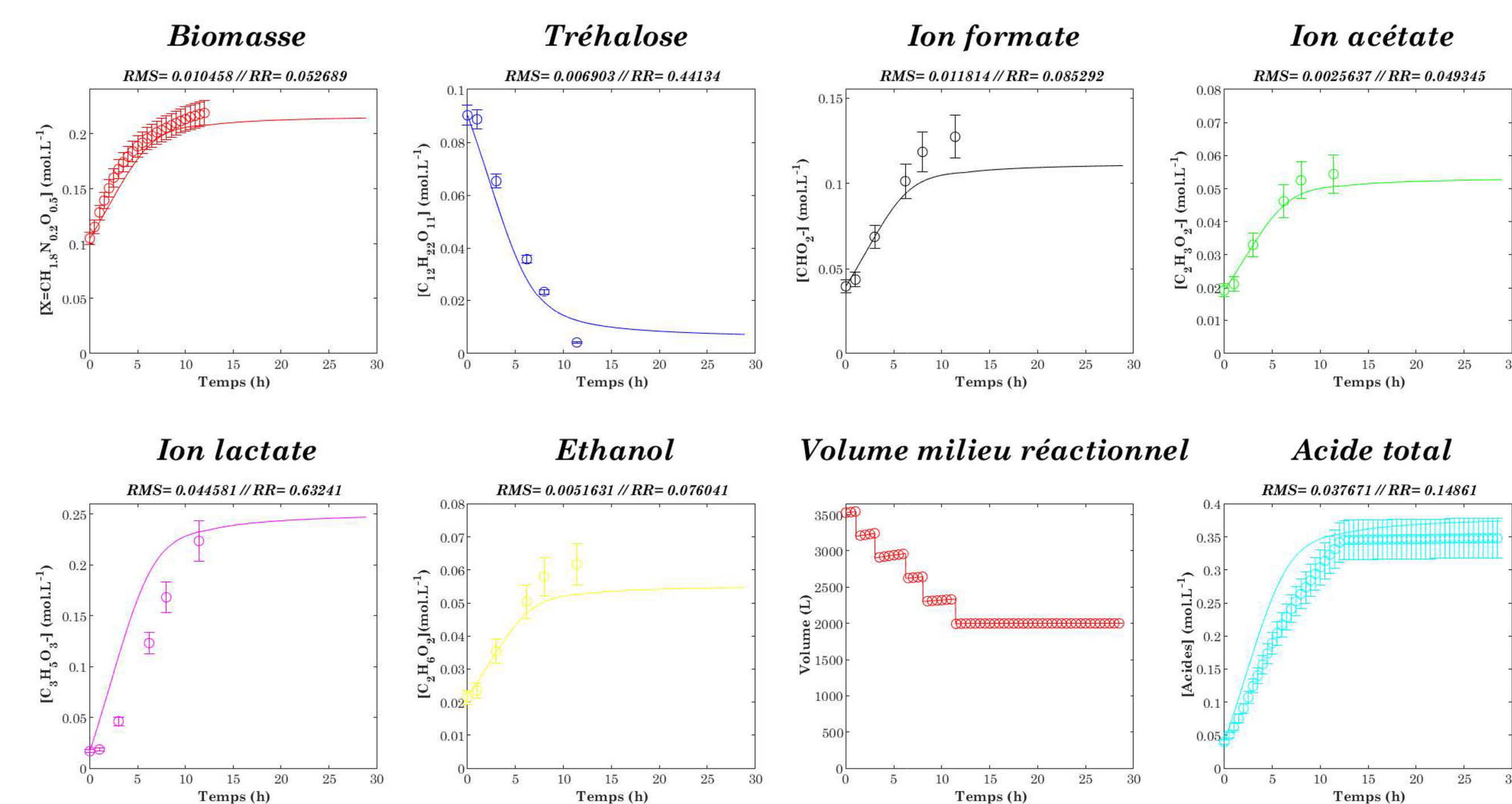
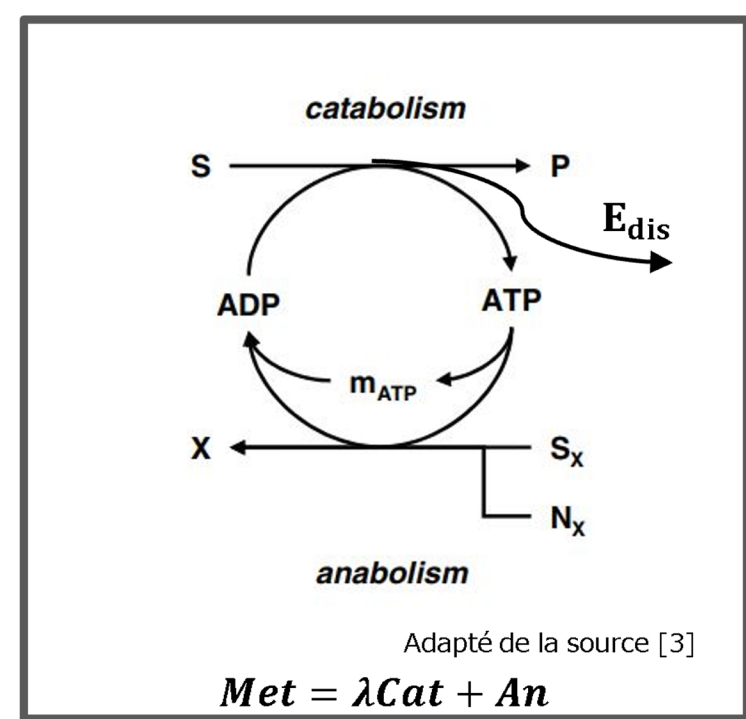
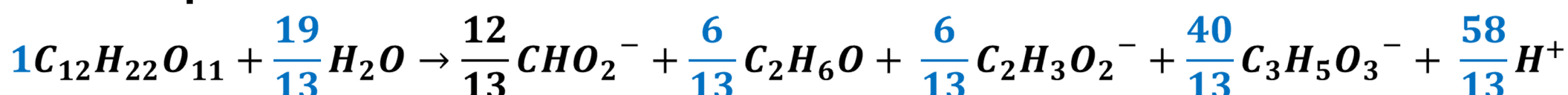
Production d'acide acétique (A)



Production d'acide lactique (L)



Pondération des équations du catabolisme : OR + A + 10L



Ajustement des paramètres

Paramètre stoechiométrique Y_{X/S}^{met}

- Estimation expérimentale

Paramètres cinétiques V_h et μ_{max}

- Estimations de la littérature⁴

Capacités et limites du modèle MTS :

- Représentation satisfaisante des tendances avec 3 paramètres ajustables
- Absence de paramètre traduisant la distribution d'un substrat impliqué dans plusieurs bioconversions
- Pas de prise en compte des phénomènes biologiques ou chimiques modifiant les dynamiques de croissance

1. Girardeau, A., C. Puentes, S. Keravec, P. Peteuil, I.C. Trelea et F. Fonseca (2019). « Influence of culture conditions on the technological properties of *Carnobacterium maltaromaticum* CNCM I-3298 starters ». In : Journal of Applied Microbiology 126, p. 1468-1479.
 2. Desmond-Le Quémener, E. D. et T. Bouchez (2014). « A thermodynamic theory of microbial growth ». In : The ISME Journal 8, p. 1747-1751.
 3. Kleerebezem, R. et M. C. M. van Loosdrecht (2010). « A Generalized Method for Thermodynamic State Analysis of Environmental Systems ». In : Critical Reviews in Environmental Science and Technology 40.1, p. 1-54.
 4. Puentes, C., A. Girardeau, S. Passot, F. Fonseca et I. C. Trelea (2021). « Dynamic modeling of *Carnobacterium maltaromaticum* CNCM I-3298 growth and metabolite production, and model-based process optimization. » In : Foods 10.8.