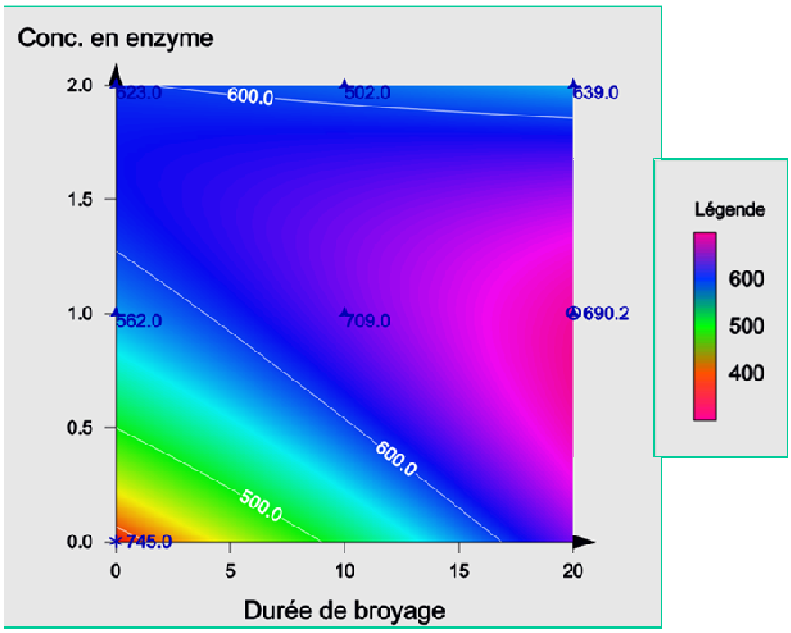
Biogaz : les statistiques au lieu de la loterie

Dans la production d'énergie alternative, le taux d'efficacité optimal n'est souvent pas encore atteint. Les plans d'expériences peuvent conduire à une amélioration significative des procédés dans cet environnement. Avec un logiciel approprié, cette méthode peut aussi être appliquée par des personnes sans formation statistique.

Dr Stefanie Feiler,
Dr Philippe Solot,
AICOS Technologies SA
Holger Schneider,
Fachhochschule Flensburg
& conviotec



Interaction : le rendement en gaz maximal (en violet) est atteint avec une durée de broyage élevée et une concentration en enzyme moyenne.

Les énergies renouvelables recèlent encore d'un fort potentiel de développement. La complexité de nombreux procédés est élevée et tous les mécanismes ne sont pas connus en détail. Par conséquent, outre de bonnes idées, des séries d'expériences parlantes sont indispensables au succès d'un développement ou d'une optimisation de procédé. Ici, l'utilisation des plans d'expériences (*Design of Experiments*, *DoE*) vaut la peine. Les expériences nécessaires peuvent ainsi être effectuées de manière structurée au lieu de devoir opter pour la loterie du tâtonnement.

Extraction de biogaz

Dans ce cadre, l'extraction de biogaz à partir de biomasse n'est pas une exception. Selon les matières de départ, le potentiel n'est ici de loin pas encore épuisé : dans de nombreux cas, les méthodes actuelles fournissent même moins d'un tiers du rendement en gaz théoriquement possible [1]. Pour obtenir un taux d'efficacité élevé, il est important d'extraire les macromolécules biologiques fermentables de la biomasse de manière aussi complète que possible. En tant que méthodes de prétraitement, une multitude de procédés mécaniques (divers procédés de broyage), thermochimiques (acides organiques ou inorganiques) ou enzymatiques (différents enzymes) peuvent être combinés.

Des applications multiples

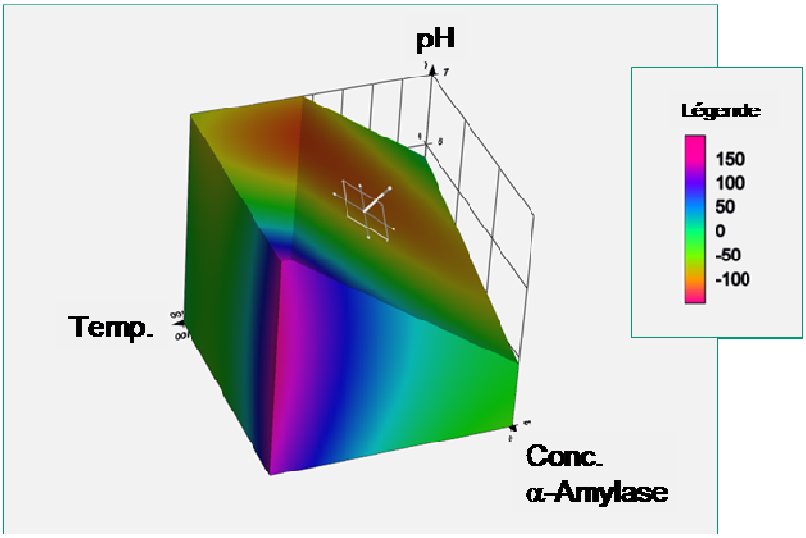
La valeur de la démarche planifiée au moyen des plans d'expériences apparaît par exemple dans les projets qui ont été exécutés à l'Université des Sciences Appliquées de Flensbourg (*FH Flensburg)* [3]. Par exemple, pour optimiser le rendement en biogaz sur la base de maïs ensilage, on a utilisé, outre d'autres facteurs d'influence, la concentration en enzyme, la durée de broyage ainsi que le moment de l'ajout d'enzyme (avant ou après le broyage).

Résultats de la variation des paramètres

Dans la figure de cette page, on voit nettement l'interaction entre la durée de broyage et la concentration en enzyme : tant que cette dernière est plutôt basse, une durée de broyage plus longue est nécessaire pour obtenir des rendements en gaz acceptables. Par contre, avec une concentration en enzyme plus élevée, cette durée ne joue presque plus de rôle. Le moment de l'ajout d'enzyme n'a par ailleurs pas d'influence importante sur le rendement en gaz.
De manière analogue, on obtient des résultats sur la dépendance du rendement en gaz de la température, du pH et de la concentration en enzyme (amylase) : des températures élevées, un pH plutôt faible et une forte concentration en enzyme fournissent le meilleur rendement (figure page suivante).
De telles relations peuvent être détectées et quantifiées de manière fiable avec les plans d'expériences. Le logiciel fournit alors non seulement des prédictions du rendement auquel on peut s'attendre selon le réglage des paramètres, mais aussi des intervalles de confiance pour estimer la fiabilité des prédictions.
Dans une autre application, l'effet de divers enzymes a été évalué en examinant le rendement en gaz en fonction de la température et de la durée de prétraitement, ceci pour différentes durées de fermentation. Les enzymes permettant une production rapide de gaz (après 2 jours) et ceux nécessitant une durée de fermentation moyenne (4 jours) ou longue (de 11 à 30 jours) sont alors apparues clairement. Quelques enzymes purent être exclues car elles étaient absolument sans effet.

Autres matières premières, autres défis

Lors de l'utilisation de betteraves sucrières, outre la durée de broyage, la température et les enzymes utilisées, le rapport massique entre betteraves et feuilles joue aussi un rôle. Les plans d'expériences montrent ici que le type des enzymes examinées et le prétraitement mécanique (durée de broyage) n'exercent pas d'influence statistiquement significative. Une température élevée a toutefois un effet positif ; par contre, une grande proportion de feuilles mène à une réduction du rendement en gaz.
Les réglages sont nettement différents pour des tourteaux issus de la



Visualisation interactive : à haute température, concentration en enzyme élevée et pH faible, le rendement en gaz est maximal.

production de biodiesel de colza : déjà après l'exécution de seulement huit expériences, il était clair que la concentration en enzyme est négligeable, qu'une température élevée est plutôt défavorable, mais qu'un prétraitement mécanique plus long (durée de broyage) a un effet positif.
Le traitement de mélanges d'algues et de zostères représente cependant toujours une grande difficulté [2] car la concentration élevée en sel gêne la fermentation. Quelque temps sera donc encore nécessaire jusqu'à ce que zostères et algues qui doivent être enlevées des plages touristiques puissent être employées de manière sensée.

Une démarche systématique apporte de l'efficacité

Le meilleur procédé de conversion de biomasse en biogaz est fortement dépendant des matières de départ utilisées. Pour trouver rapidement de bons réglages du procédé, une démarche systématique au moyen des plans d'expériences est très efficace. Comme la méthode ne dépend pas de la problématique examinée, elle peut aussi être utilisée dans beaucoup d'autres situations, typiquement pour le développement de procédés et de produits.

Références

[1] KTBL, *Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*; KTBL-Heft 88, 2e édition, 2010.
[2] H. Schneider, „Biogas aus Algen, Tang und Seegras?", FNR/KTBL-Kongress „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektive"; Göttingen, 2011.
[3] H. Schneider et J. Born, *Standardization of Pretreatment Methods for the Hydrolysis of Varying Biomasses to Accelerate Co-Fermentation Processes*, Proceedings of 16th European Biomass Conference & Exhibition; Valencia, 2008.
[4] STAVEX 5.1 : Système-expert pour les plans d'expériences et leur analyse statistique, AICOS Technologies SA, 2011.

Plans d'expériences

L'objectif des plans d'expériences (en anglais : *DoE – Design of Experiments*) est de déterminer rapidement des réglages stables avec un nombre d'expériences minimal. Avec les progiciels modernes, cette méthode est facile à utiliser. Des personnes sans connaissances poussées en statistique devraient toutefois prendre garde à utiliser un système convivial, comme par exemple STAVEX [4]. Il suffit alors d'introduire la variable de réponse – comme par exemple un rendement en gaz maximal – ainsi que les facteurs d'influence à examiner avec leur domaine de variation, suite à quoi le logiciel propose des plans d'expériences appropriés. De même, le progiciel assiste l'utilisateur pour l'analyse des résultats expérimentaux : par une interprétation aisément compréhensible de l'analyse statistique ainsi que par la mise à disposition de nombreux outils graphiques. Idéalement, le système guide même l'utilisateur pendant l'ensemble du projet, au cours duquel, en plusieurs cycles expérimentaux, les facteurs importants sont séparés de ceux qui ne le sont pas (planification d'expériences séquentielle).

Interessé ? Faxez cette page au +41 61 686 98 88 !

Je souhaiterais recevoir des informations détaillées sur :

- ❑ STAVEX
- ❑ les cours sur les plans d'expériences
- ❑ d'autres cours en statistique appliquée
- ❑ la simulation de flux pour dégoulottage
- ❑ le conseil en optimisation de procédés
- ❑ le conseil en maîtrise de la qualité
- ❑ les logiciels d'ordonnancement

Nom _____ Téléphone _____

Société _____ Fax _____

Adresse _____ E-mail _____

NPA, ville _____ Date / Sign. _____

AICOS Technologies SA Tél. : +41 61 686 98 77 Fax : +41 61 686 98 88 E-mail : info@aicos.com Internet : www.aicos.com