

Contexte

- Méthanisation : dégradation biologique d'un ou plusieurs substrats de nature organique par des micro-organismes, permettant de produire un biogaz contenant du méthane (CH₄)
- En Europe (EBA, 2019) :
 - 18 200 unités recensées fin 2018
 - 63,5 TWh d'électricité produite par cogénération
 - 22,8 TWh de gaz naturel injecté dans les réseaux
- De nombreux verrous scientifiques à lever dont les phénomènes d'inhibition :
 - Besoin de méthodologies expérimentales plus efficaces conservant la robustesse des résultats obtenus
 - Besoin de matériel adapté aux expériences tout en minimisant les coûts de production

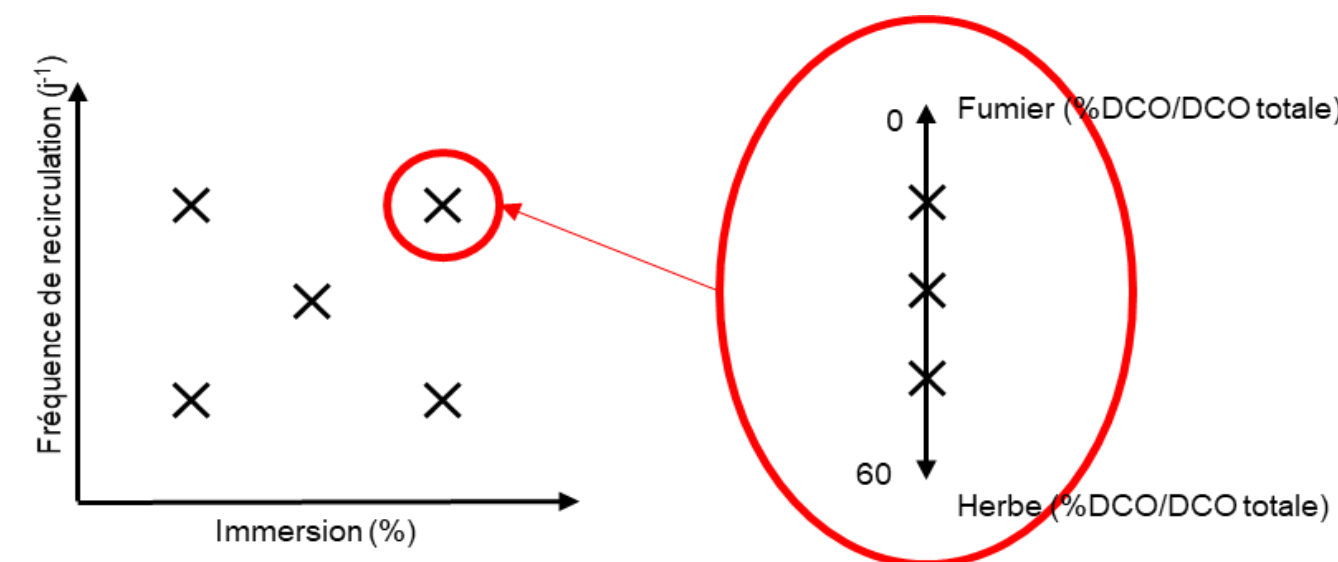
Objectif

- Concevoir un matériel adapté au budget et aux contraintes expérimentales
- Optimiser à la fois la composition en substrats et les valeurs des paramètres opératoires de la méthanisation en voie sèche en une seule expérience
- Valider l'incertitude des résultats expérimentaux sans expérience supplémentaire

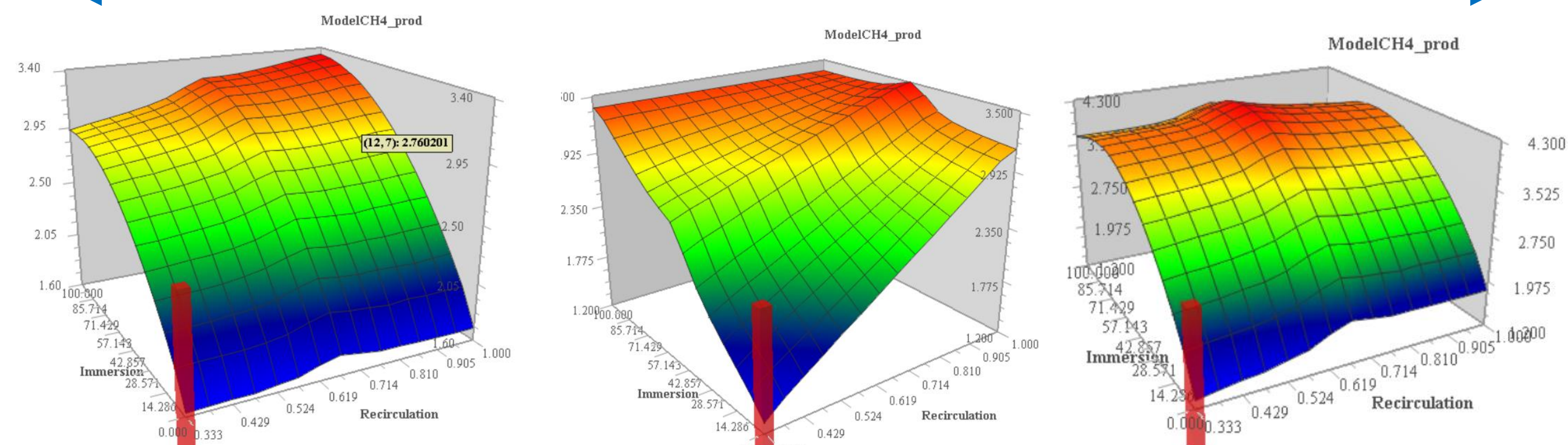
Méthode

Optimisation de la composition et des paramètres opératoires par utilisation de plans d'expériences multi-substrats

- Les expériences sont menées pour différentes compositions
- Chaque composition est étudiée selon différents niveaux de paramètre (facteur)
- Une surface de réponse relie les différents résultats qui sont ensuite comparés
- L'expérience a été menée pour un mélange de fumier bovin et de tonte d'herbe

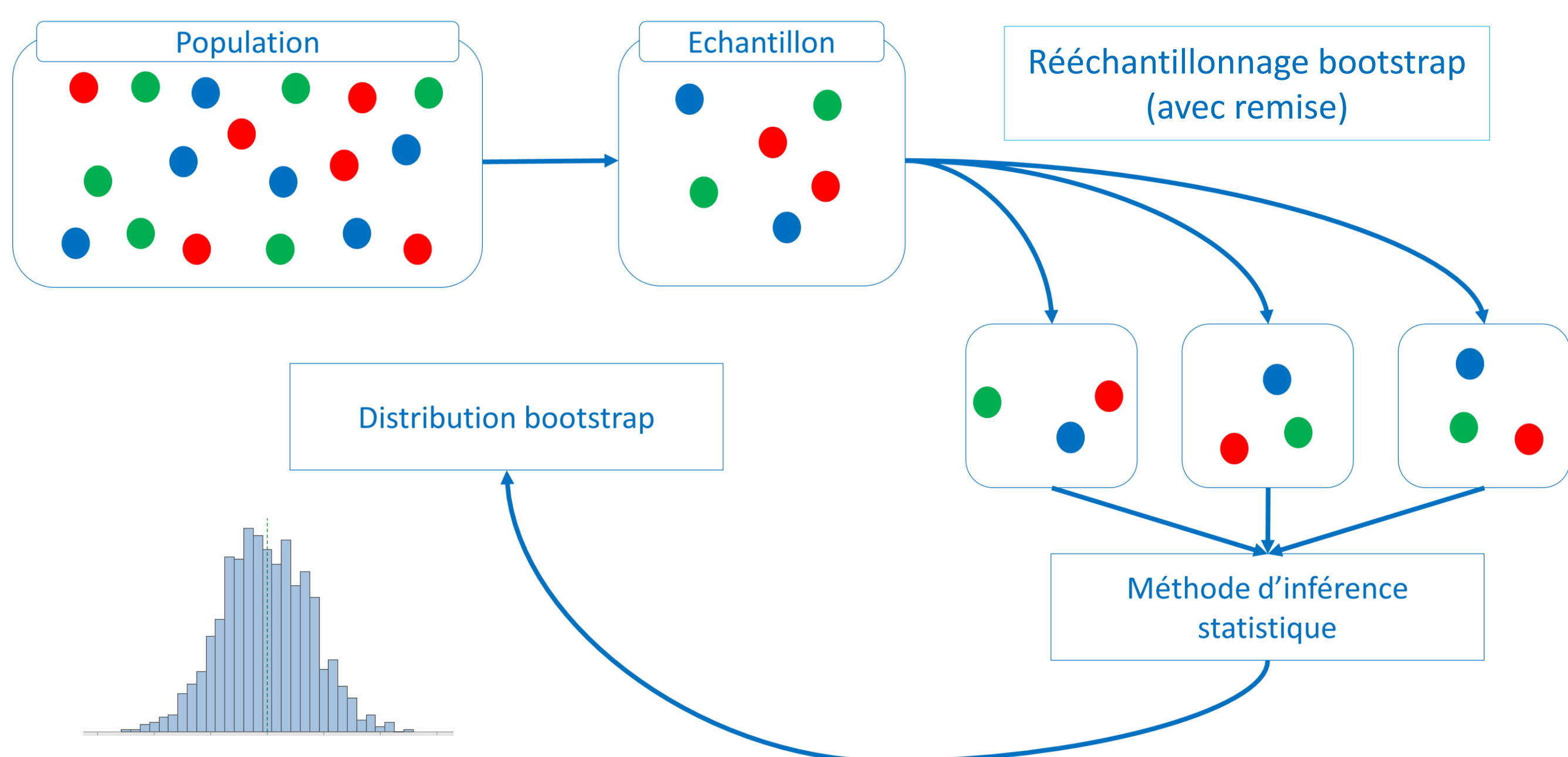


Fumier (%Masse organique) ← → Herbe (%Masse organique)



Validation des résultats et calcul d'incertitudes par bootstrapping

- Méthode d'inférence statistique, réplication des données par rééchantillonnage
- Approche stochastique : aucune approximation liée aux lois de probabilités
- Permet le calcul des incertitudes sans passer par une expérience de validation

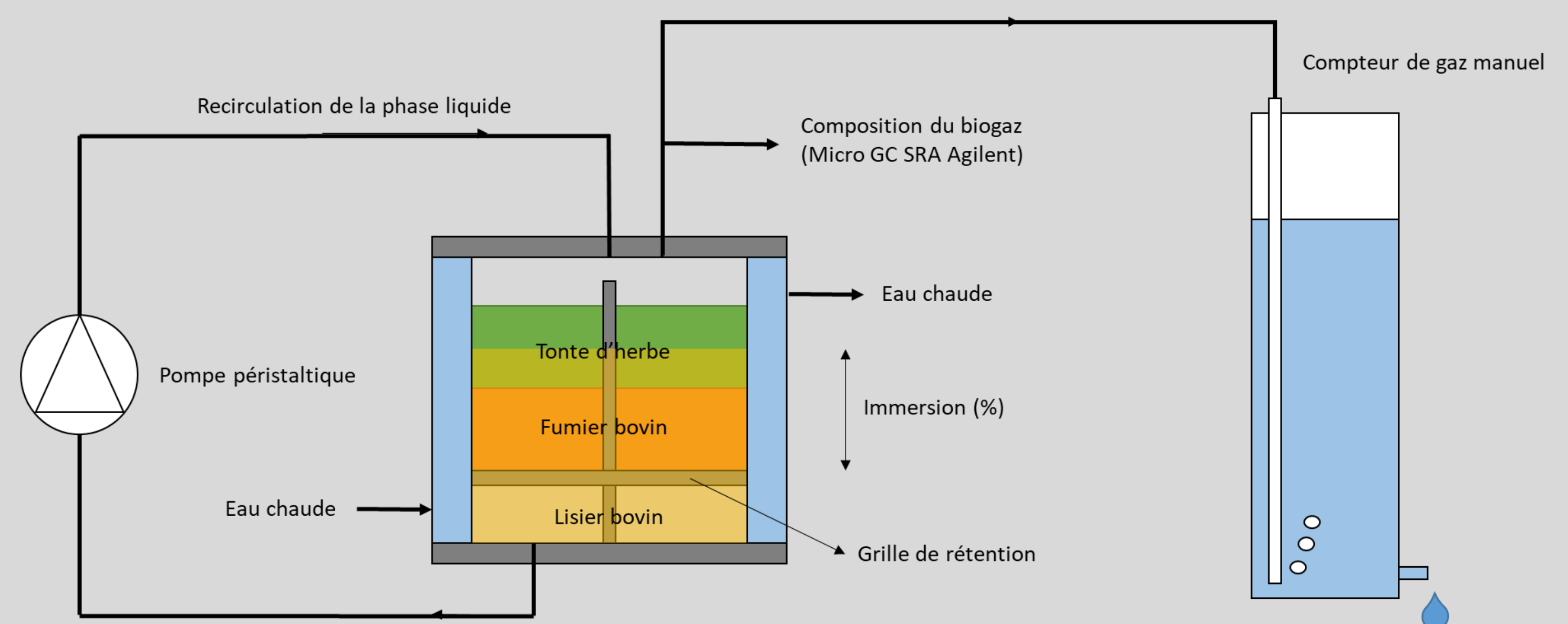


Références

- [1] Degueurce, A., 2016. La méthanisation par voie sèche agricole appliquée aux fumiers de bovins: optimisation de la recirculation des lixiviats (PhD Thesis). Rennes 1.
- [2] Bassard, D., 2015. Méthodologie de prédiction et d'optimisation du potentiel méthane de mélanges complexes en co-digestion (PhD Thesis). UTC.
- [3] Goupy, J., Creighton, L., 2006. Introduction aux plans d'expériences. Dunod : L'Usine nouvelle, Paris.
- [4] Goupy, J., 1999. Plans d'expériences pour surfaces de réponse. Dunod : Industries techniques, Paris.
- [5] Palm, R., 2002. Utilisation du bootstrap pour les problèmes statistiques liés à l'estimation des paramètres. Biotechnologie, agronomie, société et environnement 6, 143–153.

Matériel

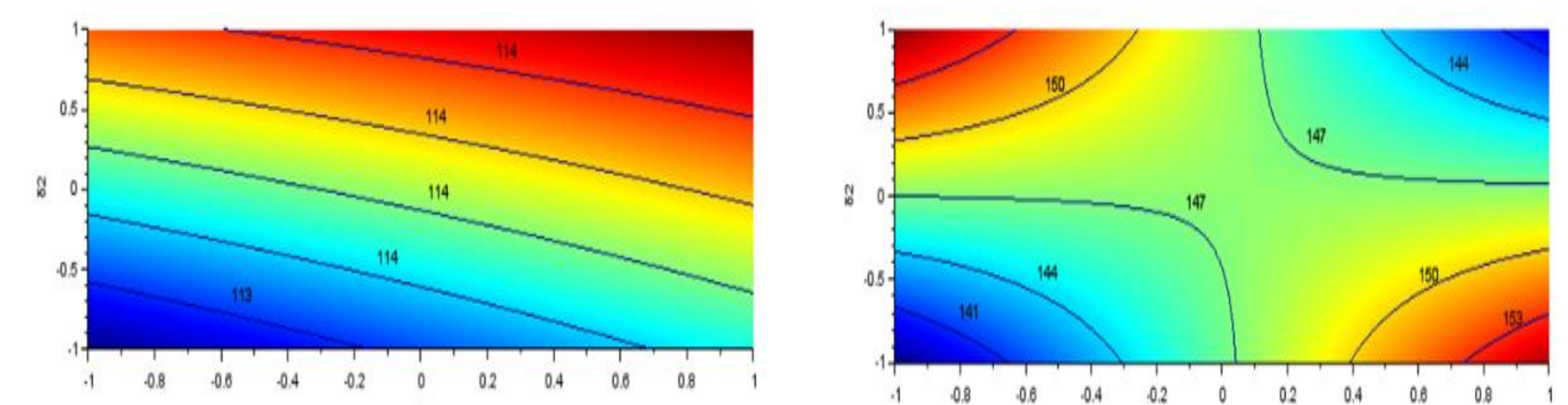
- Réacteurs batch de 2,5 L conçus avec immersion ajustable à l'aide d'un système de grilles amovibles, double-enveloppe, recirculation externe par une pompe péristaltique
- Comptage de gaz par des bouteilles conçues d'après le principe du vase de Mariotte et analyse par chromatographie en phase gaz



Résultats

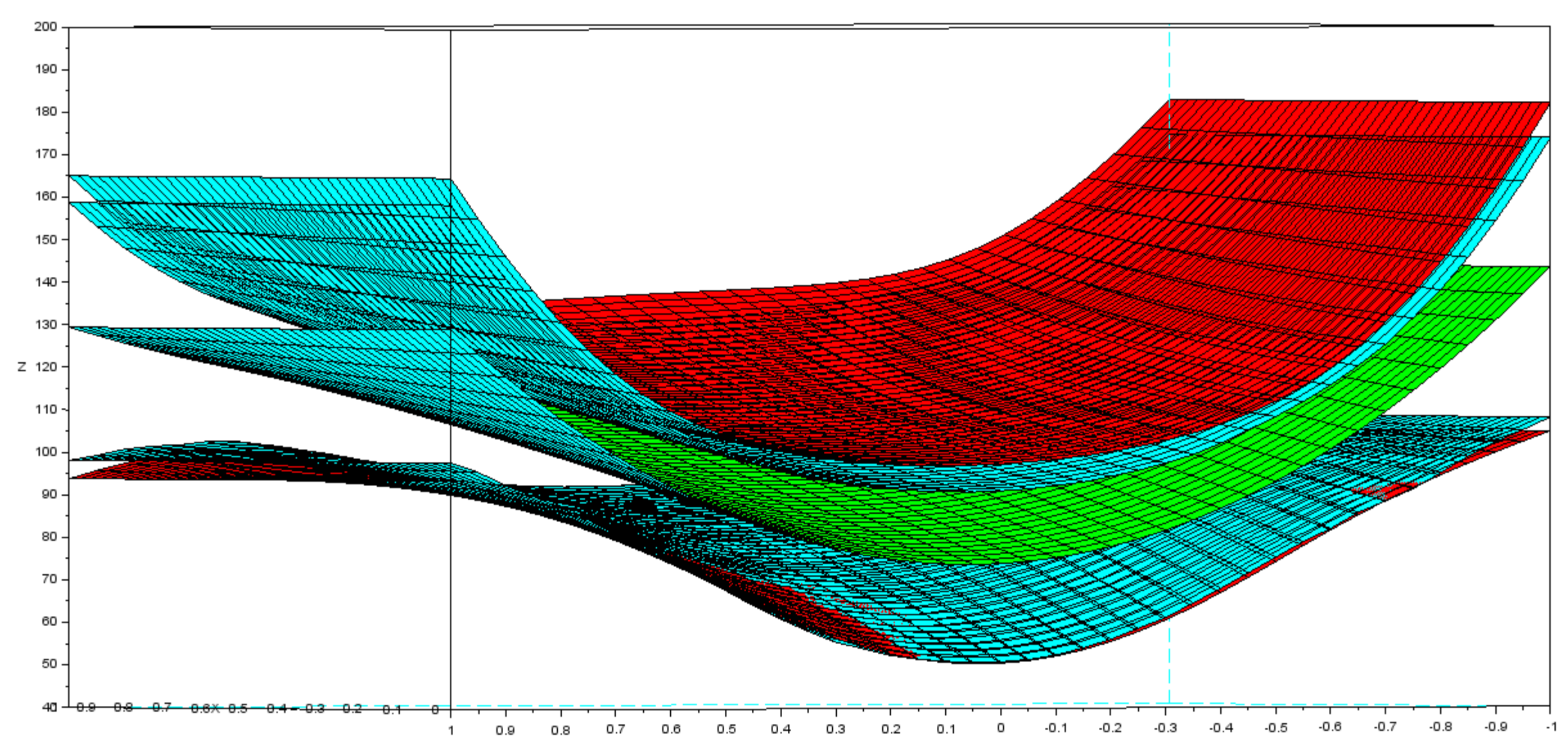
- L'immersion et la fréquence de recirculation de la phase liquide permettent de limiter les phénomènes d'acidification due à la composition du massif de substrats

Fumier (%Masse organique) ← → Herbe (%Masse organique)



en abscisse le taux d'immersion et en ordonnée la fréquence normalisée de recirculation

- Lorsque la composition en herbe devient supérieure à 50% en matière volatile, les conditions optimales de production de méthane sont obtenues pour une recirculation faible et une forte immersion ou une forte recirculation et une faible immersion
- Lorsque la composition en herbe est inférieure à 50% en matière volatile, les conditions optimales de production de méthane sont obtenues pour une recirculation forte et une forte immersion



- Le bootstrapping a permis de représenter les intervalles de confiance de la production de méthane avec un écart inférieur à 5 % par rapport à une méthode ANOVA classique avec répétitions sans expérience supplémentaire
- La fusion des plans factoriels et des plans de mélanges en un seul plan d'expériences permet un gain de temps considérable et une comparaison des résultats sans biais. L'outil de bootstrapping fournit une fiabilité supplémentaire aux résultats et permet de se passer d'une expérience de validation