

BIOMETHANE: OPTIMISATION PAR IA DU PLAN D'INCORPORATION DES INTRANTS

Guillaume ARBOD
guillaume.arbod@engie.com

Ahmed MABROUK
ahmed.mabrouk@engie.com

Sommaire

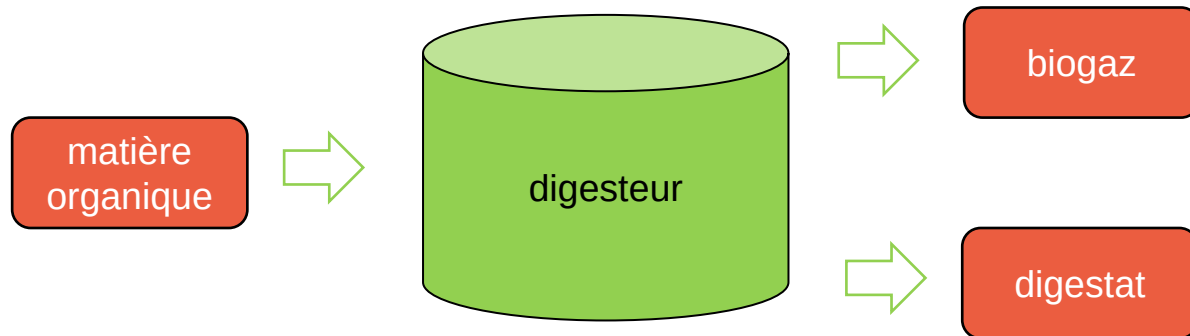
1. Contexte

2. Optimisation du plan d'incorporation

1. Optimisation linéaire
2. Approche hybride : approche bayésienne & algorithme génétique

3. Comparaison

La production de biométhane par digestion anaérobie (1)

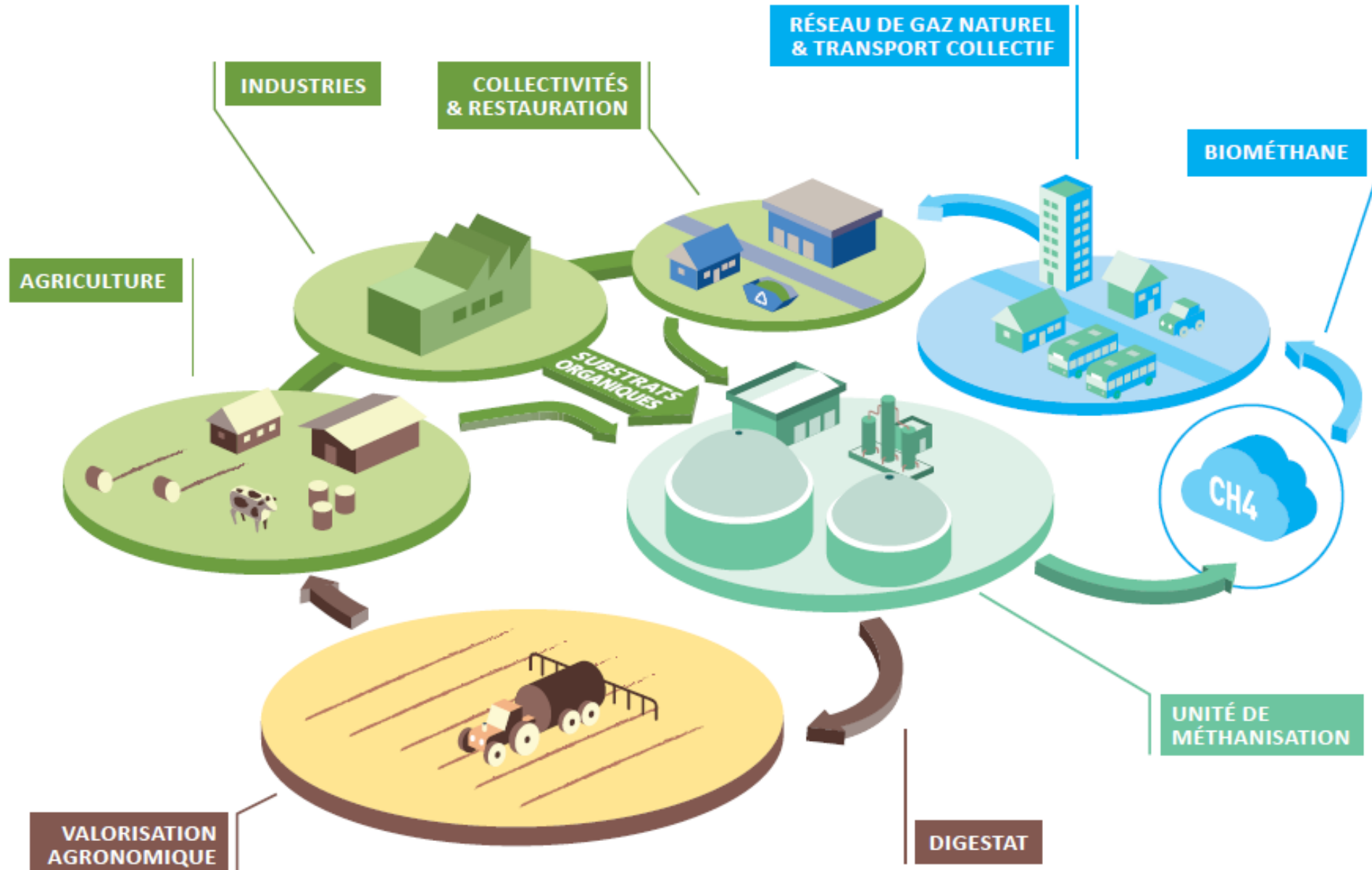


Digestion anaérobie



Un site de production de biométhane

La production de biométhane par digestion anaérobie (2)



Process de définition du plan d'incorporation



Acheteur



Chargé biologie



Opérateur

Sommaire

1. Contexte

2. Optimisation du plan d'incorporation

1. Optimisation linéaire
2. Approche hybride : approche bayésienne & algorithme génétique

3. Comparaison

Le modèle d'optimisation linéaire

Optimisation linéaire : la fonction objectif et les contraintes sont linéaires

Variables de decision : environ 10k

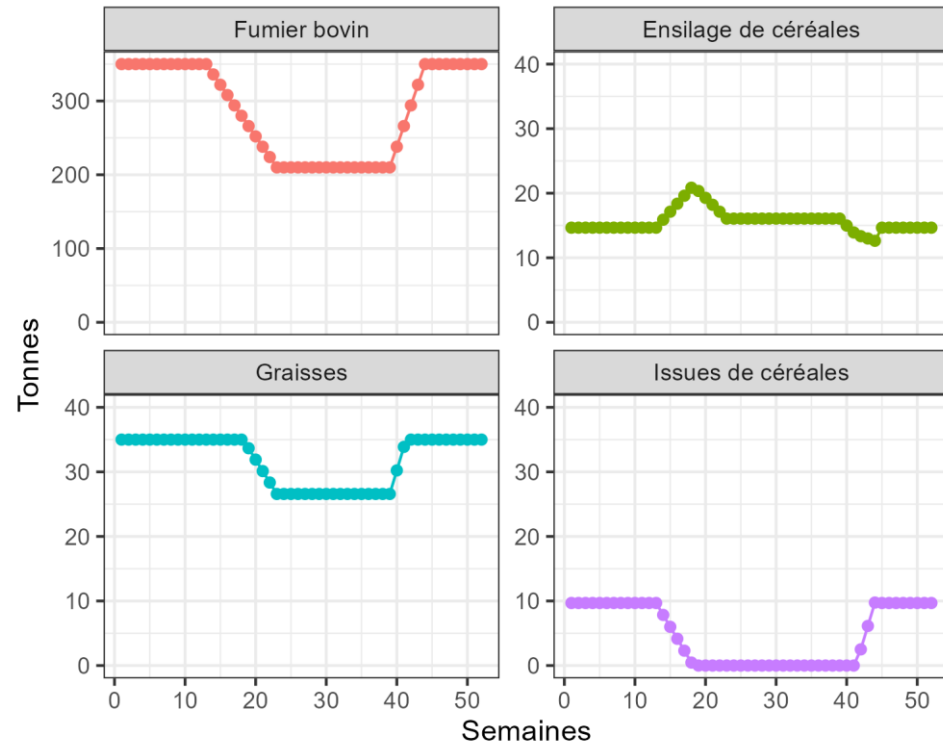
Fonction objectif : maximisation du profit

Contraintes : environ 10k
Différents types : réglementaires, biologiques et techniques
Différentes temporalités : annuelle, trimestrielle, ..., quotidienne

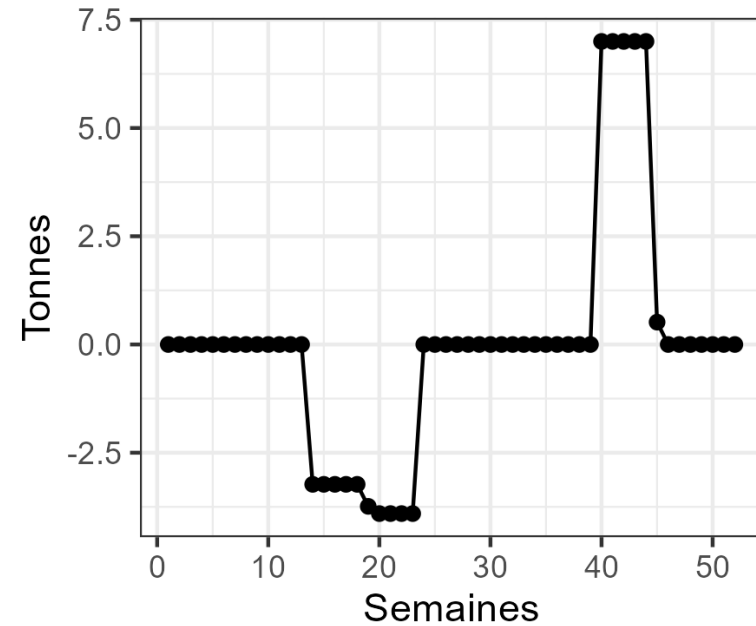
Modeleur : PuLP (python)

Solveur : PuLP (solveur par défaut)

Le plan d'incorporation optimal (exemple)



Plan d'incorporation optimal (exemple)



La variation de matière organique du plan d'incorporation optimal (exemple)

Sommaire

1. Contexte

2. Optimisation du plan d'incorporation

1. Optimisation linéaire
2. Approche hybride : approche bayésienne & algorithme génétique

3. Comparaison

Une approche hybride

Optimisation Bayésienne & algorithme génétique

Présentation du plan d'incorporation

- Le plan d'incorporation est une matrice :
 - $X \in \mathbb{R}^{(n * 52)}$
 - n : le nombre d'intrants
 - Chaque colonne représente une semaine d'incorporation
 - Chaque ligne représente un intrant

$$X = \begin{bmatrix} x_1^{(1)} & x_1^{(2)} & \dots & x_1^{(52)} \\ x_2^{(1)} & x_2^{(2)} & \dots & x_2^{(52)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^{(1)} & x_n^{(2)} & \dots & x_n^{(52)} \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{n \times 52}$$

Une approche hybride

Phase 1: Optimisation Bayésienne

Objectif

- Optimiser semaine par semaine :
 - Pour chaque semaine $t \in \{1, \dots, 52\}$, on optimise : $x^{(t)} = (x_1^{(t)}, x_2^{(t)}, \dots, x_n^{(t)})$
 - $x^{(t)}$: tonnage des intrants pour la semaine t

Approche Bayésienne

- Approximation de la fonction coût $f(x^{(t)})$ via un modèle probabiliste
- Utilisation d'une fonction d'acquisition pour choisir les tonnages hebdomadaires à évaluer

Contraintes

- Contrainte hebdomadaire sont satisfaites par défaut
- Contraintes annuelles transformées en contraintes hebdomadaires : $C_i^{\text{hebdo}} = C_i^{\text{annuelle}} / 52$
- On s'assure que $\sum_{t=1}^{52} x_i^{(t)} < C_i^{\text{annuelle}}$

Une approche hybride

Phase 2: Algorithme génétique



Initialisation de l'Algorithme Génétique

- **Objectif** : Utiliser l'optimisation bayésienne pour initialiser la population génétique.



Initialisation

- Création de (m) individus :
 - m/2 individus autour de x^* avec bruit gaussien :
$$x_i = x^* + \varepsilon_i, \quad \varepsilon_i \sim \mathcal{N}(0, \theta^2)$$
 - m/2 individus générés aléatoirement pour favoriser la diversité.



Avantage

- Combinaison de qualité initiale (via x^*) et diversité pour éviter les optima locaux.



Déroulement de l'Algorithme Génétique

 Cycle Génétique :

1. Initialisation (via Bayésienne + aléatoire)
2. Évaluation de la fitness : $f(x^{(1)}, \dots, x^{(52)})$
3. Sélection des meilleurs individus
4. Croisement (crossover)
5. Mutation (ajout de bruit)
6. Nouvelle génération
7. Arrêt si convergence ou nombre d'itérations atteint

Sommaire

1. Contexte

2. Optimisation du plan d'incorporation

1. Optimisation linéaire
2. Approche hybride : approche bayésienne & algorithme génétique

3. Comparaison

Comparaison des deux approches

Critère	Optimisation linéaire	Approche hybride
Solution optimale	exacte	approchée
Contraintes non linéaires	✗	✓
Absence de solution réalisable	✓ (mais avec variables d'écarts)	✓
Modularité	✗	✓
Temps de calcul	⌚	⌚⌚

