



Optimisation des rations d'alimentation des digesteurs : recettes et cinétique

Session animée par

Romain Cresson et Armelle Damiano



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union



Méthanisation : biomasse et prétraitements – 4 octobre 2016

Co-digestion de résidus solides : Stratégies de mélange intégrant les caractéristiques spécifiques des substrats (BMP et cinétiques de dégradation).

Michel TORRIJOS, INRA-LBE, michel.torrijos@supagro.inra.fr

Des gisements très variés et hétérogènes



- Déchets agricoles
- Fumiers/ Lisiers
- Résidus de grandes cultures
- Déchets agro-industriels
- Déchets verts
- Déchets de restauration
- Déchets de supermarchés
- Biodéchets des ménages
- Etc



L'intérêt de la codigestion

- **Ajustement de la teneur en MS de l'alimentation** : dilution de substrats secs par des substrats plus liquides
- **Maîtrise des risques d'inhibitions** : par ex, diminution de la teneur en N de l'alimentation par ajout d'un substrat pauvre en N
- **Complémentations / levée de carences** : par ex, complémentation d'une alimentation carencée en N par ajout d'un substrat riche en N
- **Optimisation de la rentabilité économique des unités de méthanisation** : Ajout de co-substrats avec un BMP fort, économie d'échelle,
- Etc ...

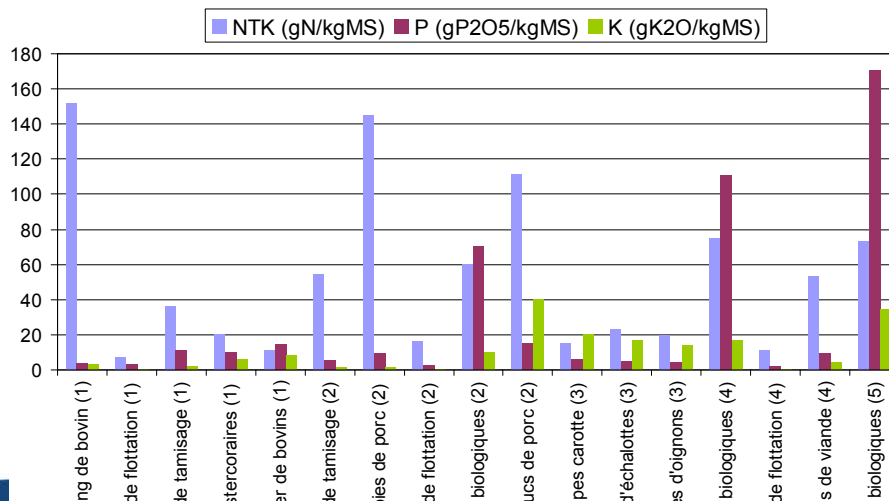
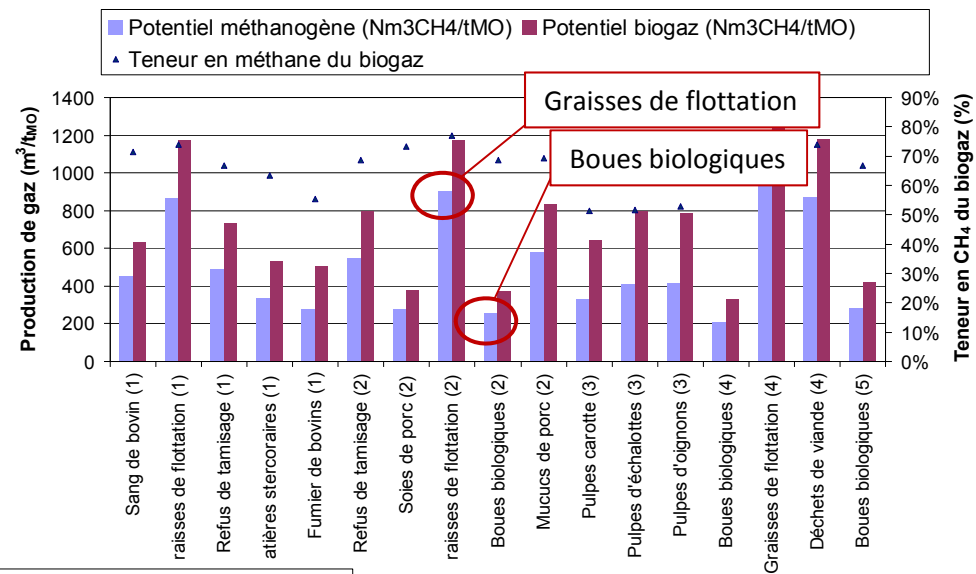
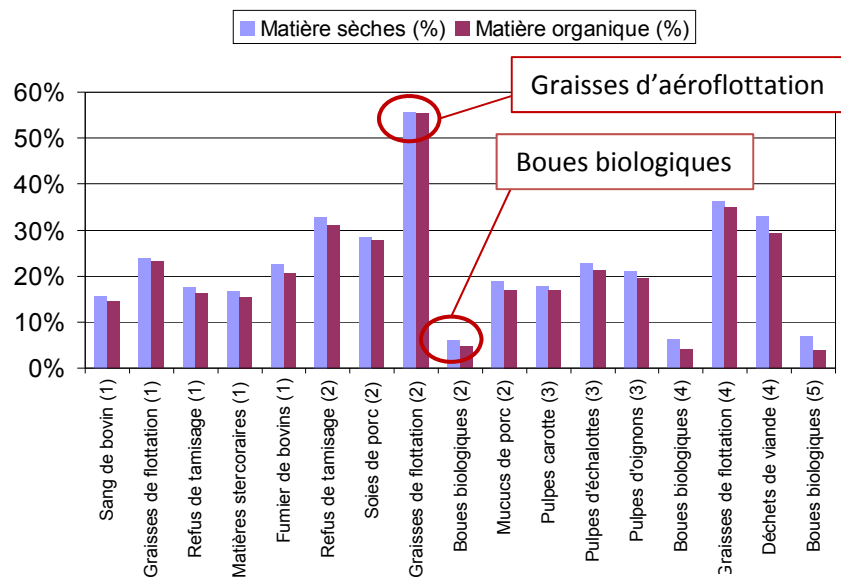
La codigestion soulève plusieurs problématiques

- La caractérisation des co-substrats disponibles
- Quel est l'impact des mélanges sur le fonctionnement du digesteur : synergies entre substrats ou au contraire inhibitions ?
- Le recettage ou comment optimiser les mélanges de co-substrats pour maximiser les performances du digesteur
- Quel est l'impact des mélanges sur la qualité du digestat produit ?
- Quelle est la production réelle de méthane sur site industriel ?

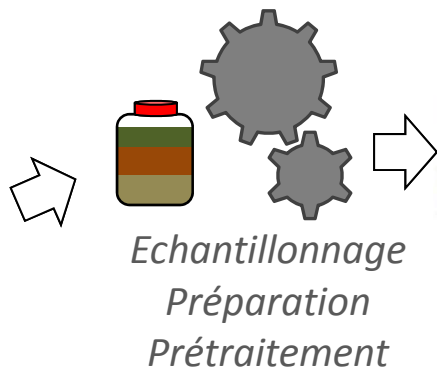
Analyses physico-chimiques et biochimiques des substrats

Analyses
Matières sèches
Matières Volatiles (organiques)
Demande Chimique en Oxygène (DCO)
Analyse élémentaire (C, H, N, O, S)
Carbone total et organique
Azote total et minéral
Anions/cations
Acides gras volatils
pH
Protéines Glucides Lipides Fibres
Potentiel méthane ou BMP

Des compositions très différentes ...



La mesure du BMP....

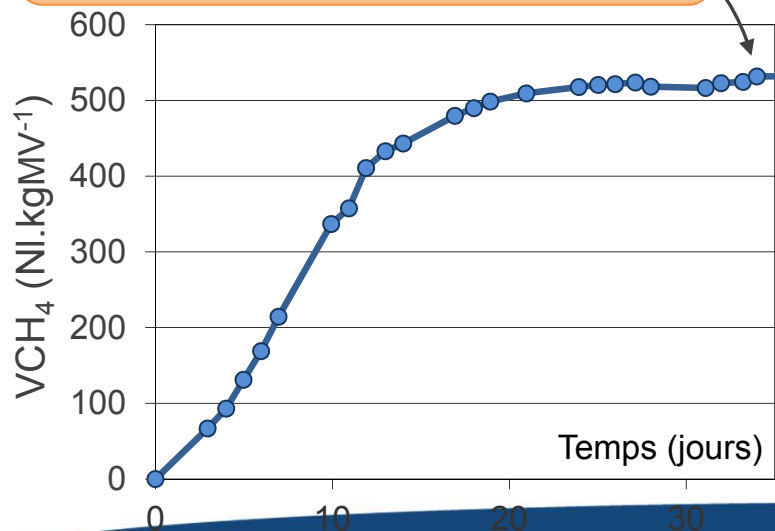


Inoculum, milieu

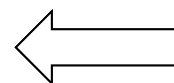


Incubation

- Potentiel méthanogène
- Problème du temps d'analyse



Volume et composition biogaz



Environnement (T°, agitation)

Pression, CPG

Les résultats de l'étude inter-laboratoires ADEME / 11 partenaires....

Ecart-types de répétabilité et reproductibilité :

Campagne 1 (protocoles propres à chaque partenaire))	Pdt-Maïs-Steak hâché-Paille (Lyophilisé)	Paille	Pdt-Maïs- Steak hâché- Paille (brut)
Répétabilité intra-labo (CVr)	4%	6%	7%
Reproductibilité intra-labo (CVRi)	6%	8%	9%
Reproductibilité inter-labos (CVR)	17%	20%	20%

... même ordre de grandeur avant et après harmonisation des protocoles!

Campagne 2 (protocole unifié sauf inoculum))	Pdt-Maïs-Steak hâché-Paille (Lyophilisé)	Paille	Mayonnaise
Répétabilité intra-labo (CVr)	4%	4%	4%
Reproductibilité intra-labo (CVRi)	5%	7%	5%
Reproductibilité inter-labos (CVR)	19%	21%	13%

Le BMP permet:

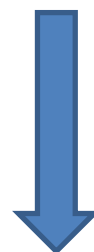
⇒ **D'évaluer le potentiel « économique » d'un gisement**

⇒ **De suivre et d'optimiser les performances du digesteur**

- **BMP des intrants** vs Rendement méthane du digesteur

- **BMP résiduel du digestat** pour ajuster les paramètres opératoires

(TSS, post-digestion, prétraitement,...)



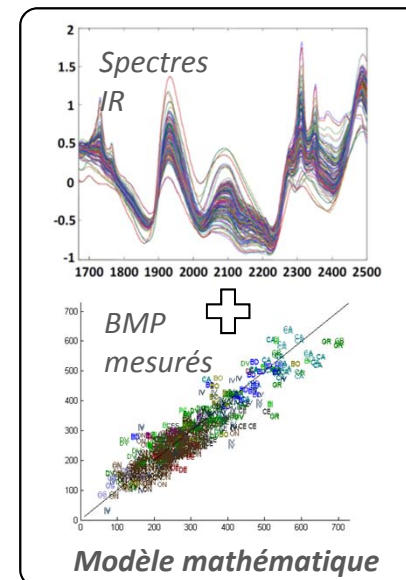
Besoin d'outils de typage rapide des substrats pour optimiser
l'interaction gisement/digesteur

Les nouvelles méthodes rapides d'analyse ...

☐ Méthodes spectrales

Proche Infra-rouge

- Prédiction de la composition
- Prédiction du BMP (Flash BMP®)

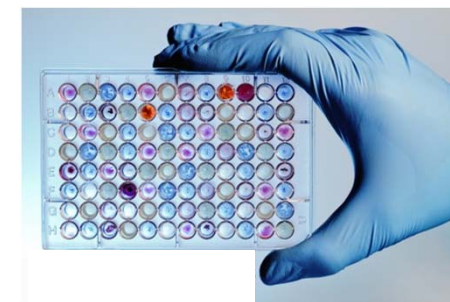


Fractionnement + Fluorescence 3D

- Prédiction de la complexité
- Prédiction du BMP

☐ Mesures en fluorescence (micro-plaques)

- Mesure du BMP rapide
- Test de toxicité rapide



Impact de la codigestion sur le BMP de mélanges

3 substrats majoritaires en qté et de faible BMP :

Lisier de porc, de bovin, boues de STEP

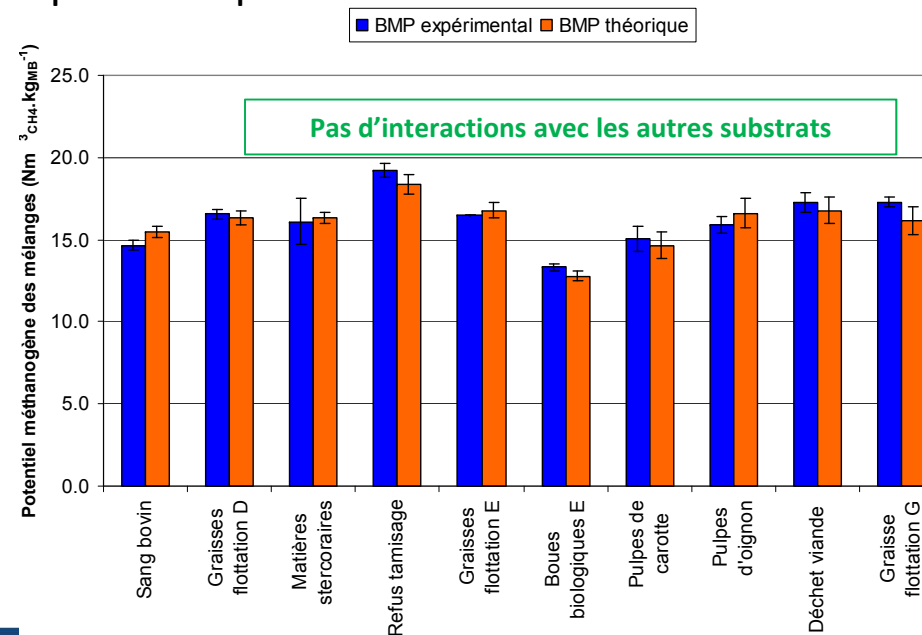
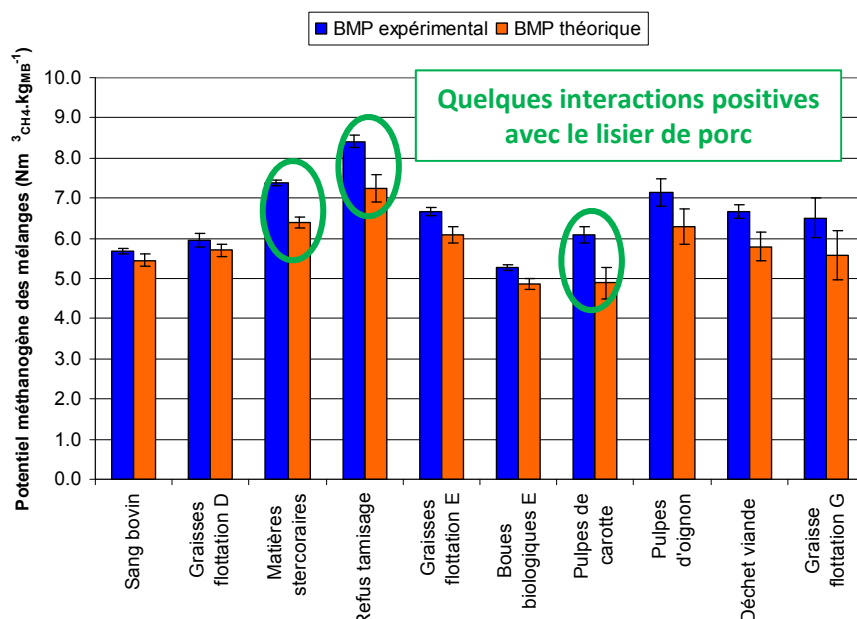


10 co-substrats d'IAA minoritaires en qté et de fort BMP :

abattoir bovin et porcin, charcuterie, industrie légumière

Mélanges binaires en batch :

Comparaison des BMP théoriques et expérimentaux



Impact de la codigestion sur le BMP de mélanges

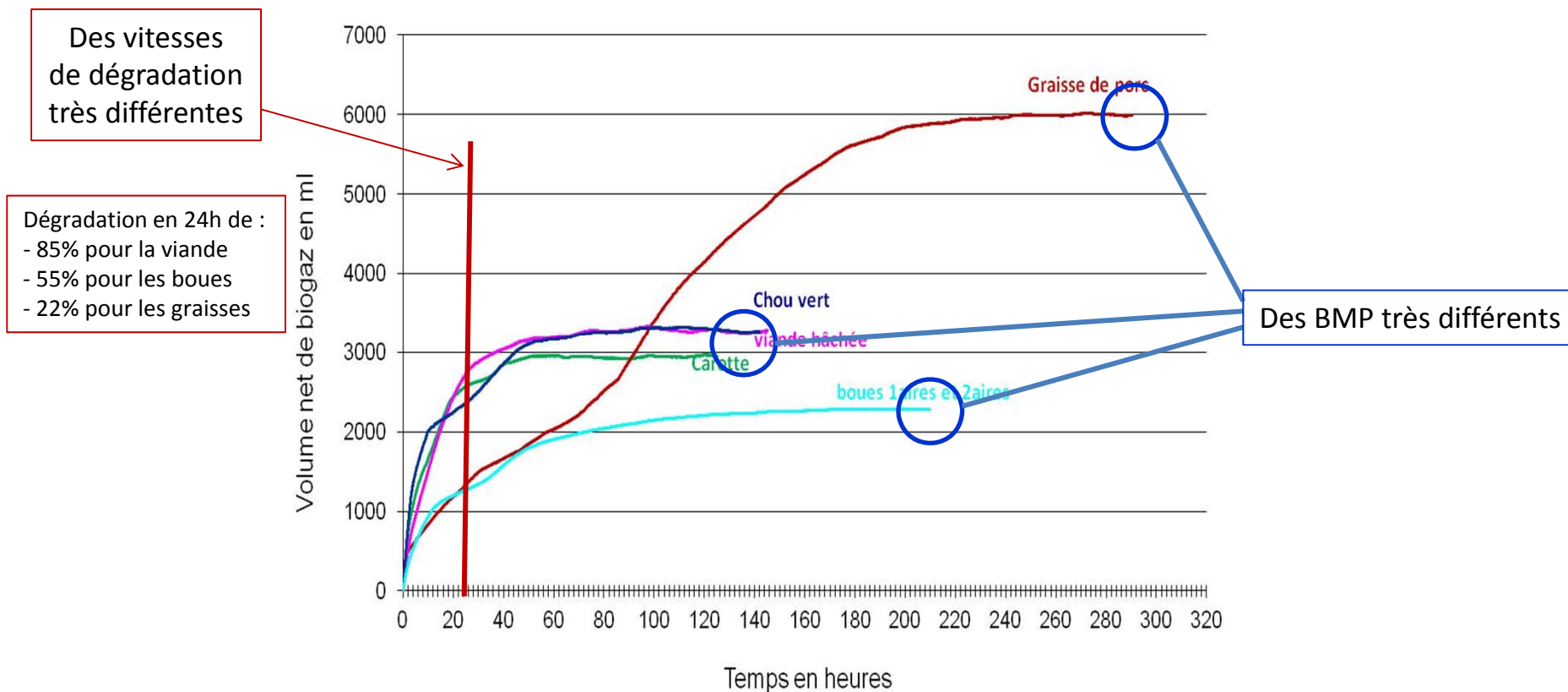
Synthèse des résultats de l'étude

- Aucun antagonisme
- Quelques synergies avec le lisier porcin
- Aucune synergie avec les deux autres substrats majoritaires

Conclusions

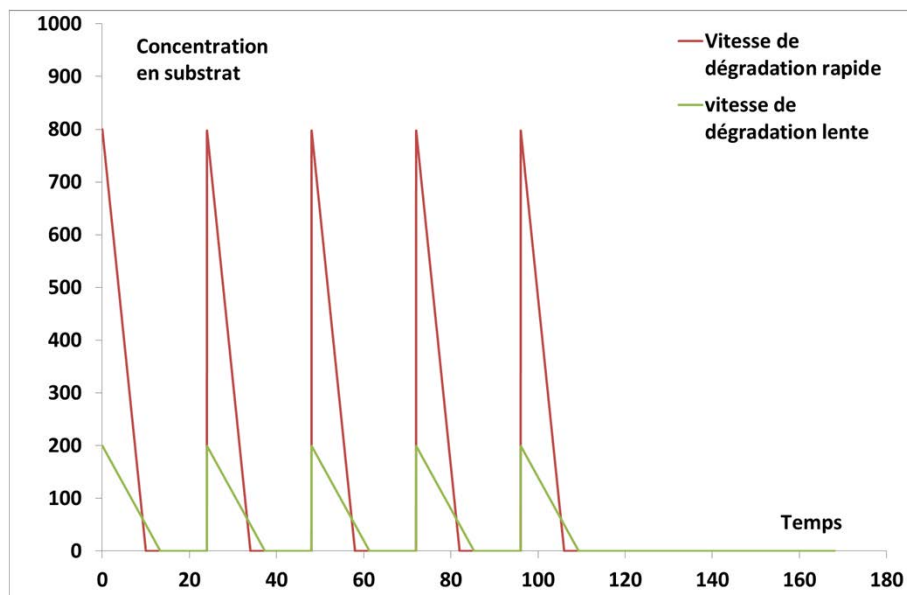
- En général additivité des BMP
- Des interactions ponctuelles possible avec des substrats relativement peu biodégradables.

Optimisation des mélanges en prenant en compte à la fois le BMP et les cinétiques de dégradation

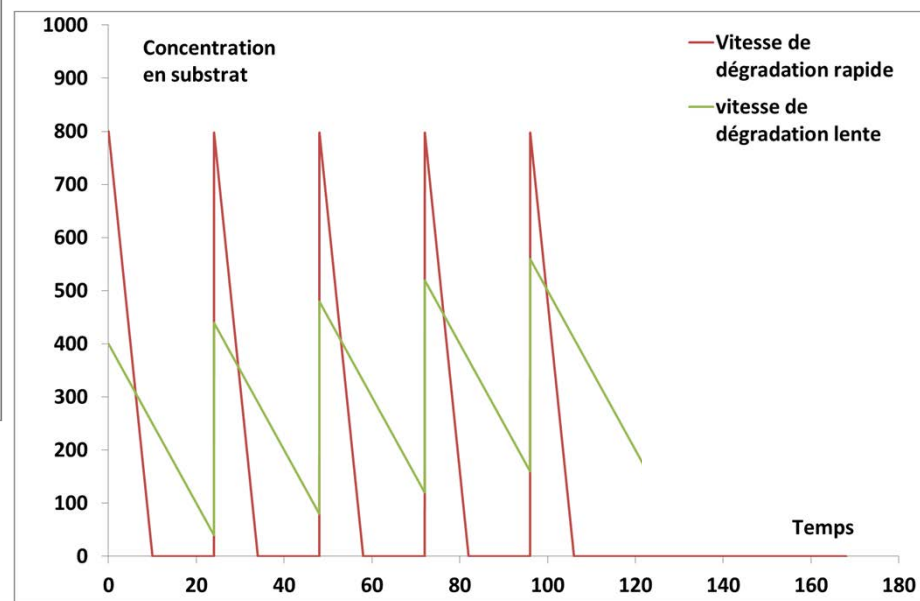


Production de biogaz en fonction du temps par des batchs alimentés à 1g de MV/L

Optimisation des mélanges avec à la fois le BMP et les cinétiques de dégradation pour le pilotage des digesteurs et le recettage



Mélange de Substrat rapidement biodégradable et de Substrat lentement biodégradable en faible quantité



Mélange de Substrat rapidement biodégradable et de Substrat lentement biodégradable en quantité double

Développement d'un protocole spécifique au LBE-INRA pour mesurer les cinétiques de biodégradation

Objectif : Caractériser la matière organique des substrats solides à partir de la courbe de production du biogaz en réacteurs de 6L et mesurer :

- **Le potentiel méthanogène**
- **Les cinétiques de dégradation**

Les différences de la méthode en réacteur par rapport aux tests BMP standards

1. Fonctionnement du réacteur en mode fed-batch

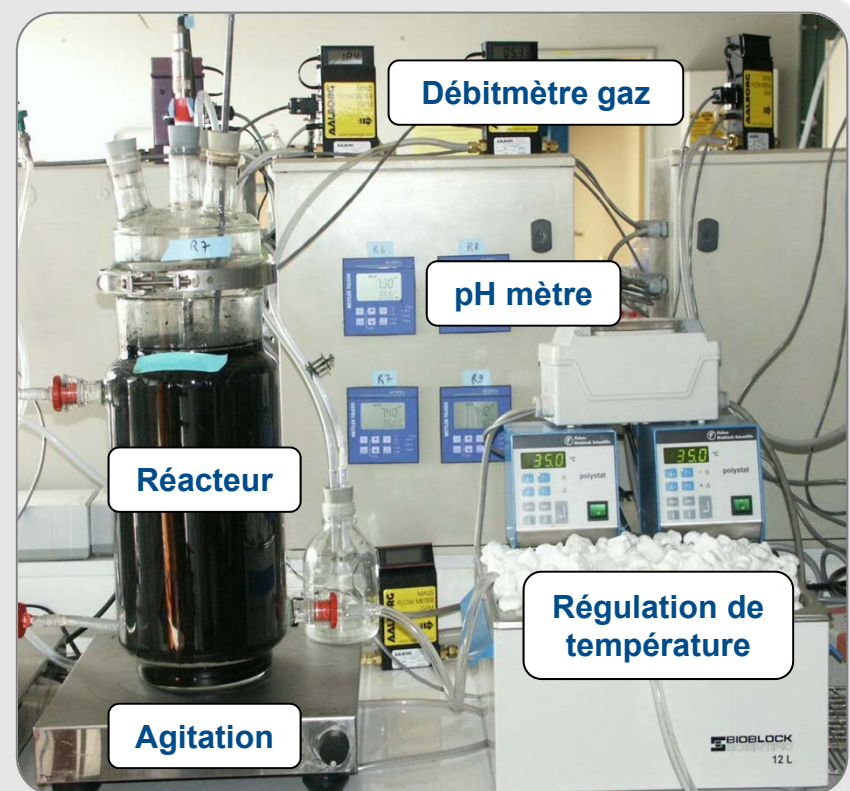
- Mesure effectuée après 6 à 8 batchs successifs
- ⇒ **Biomasse acclimatée et sans phase de latence**

2. Forte concentration en MVS et Ratio S₀/X₀ faible

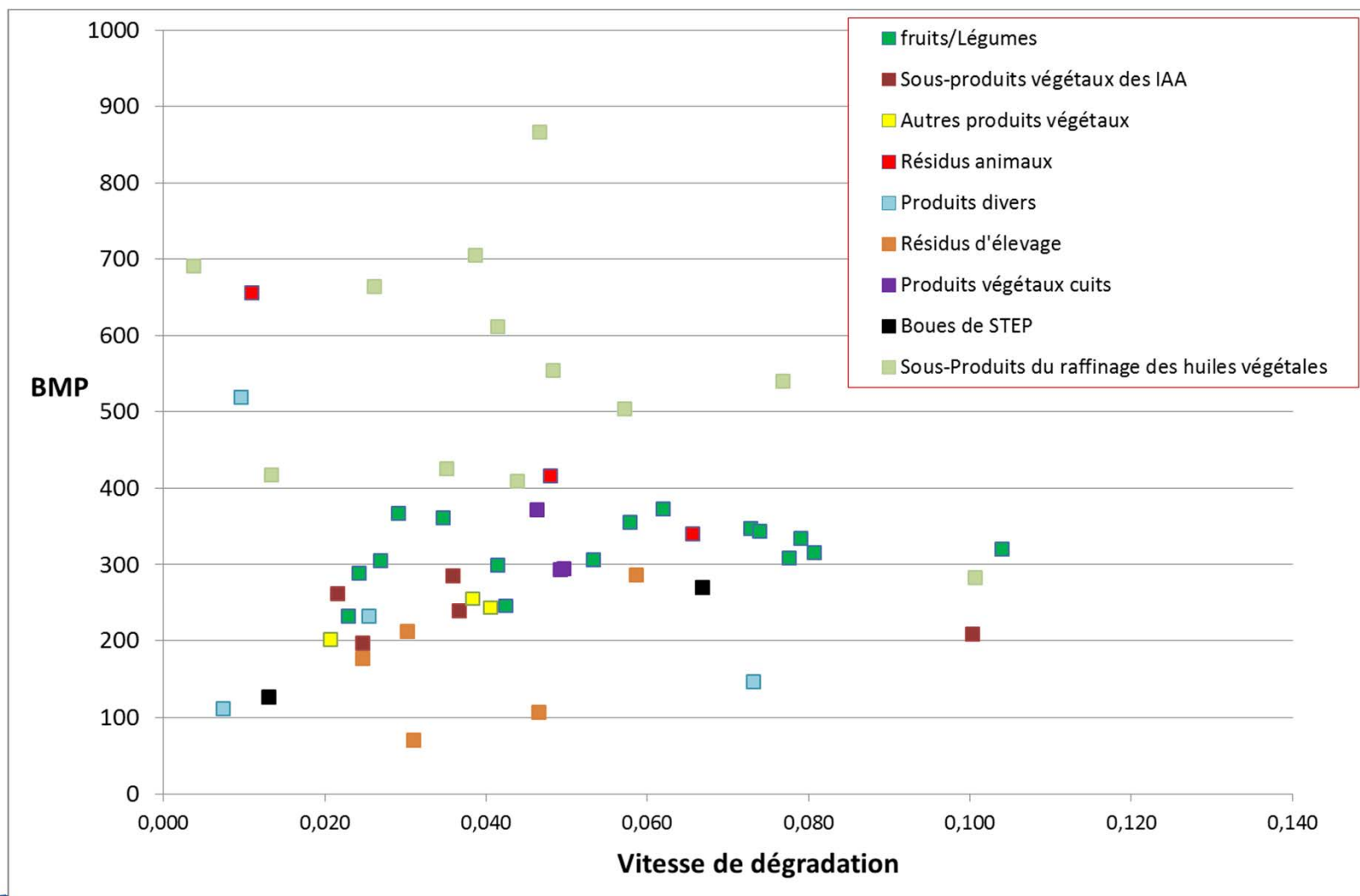
- 0,08 gMV/gMVS au lieu de 0,5 à 1 en test BMP
- ⇒ **Temps de réaction plus courts**
- ⇒ **Conditions proches des conditions en digesteur**

3. Précision de la mesure

- Grand volume réactionnel (6 Litres)
- Mesure du volume de biogaz produit en continu et par incréments de 3 ml
- ⇒ **Sensibilité = 1 mg de DCO dégradée**



Création d'une banque de données BMP / Cinétiques



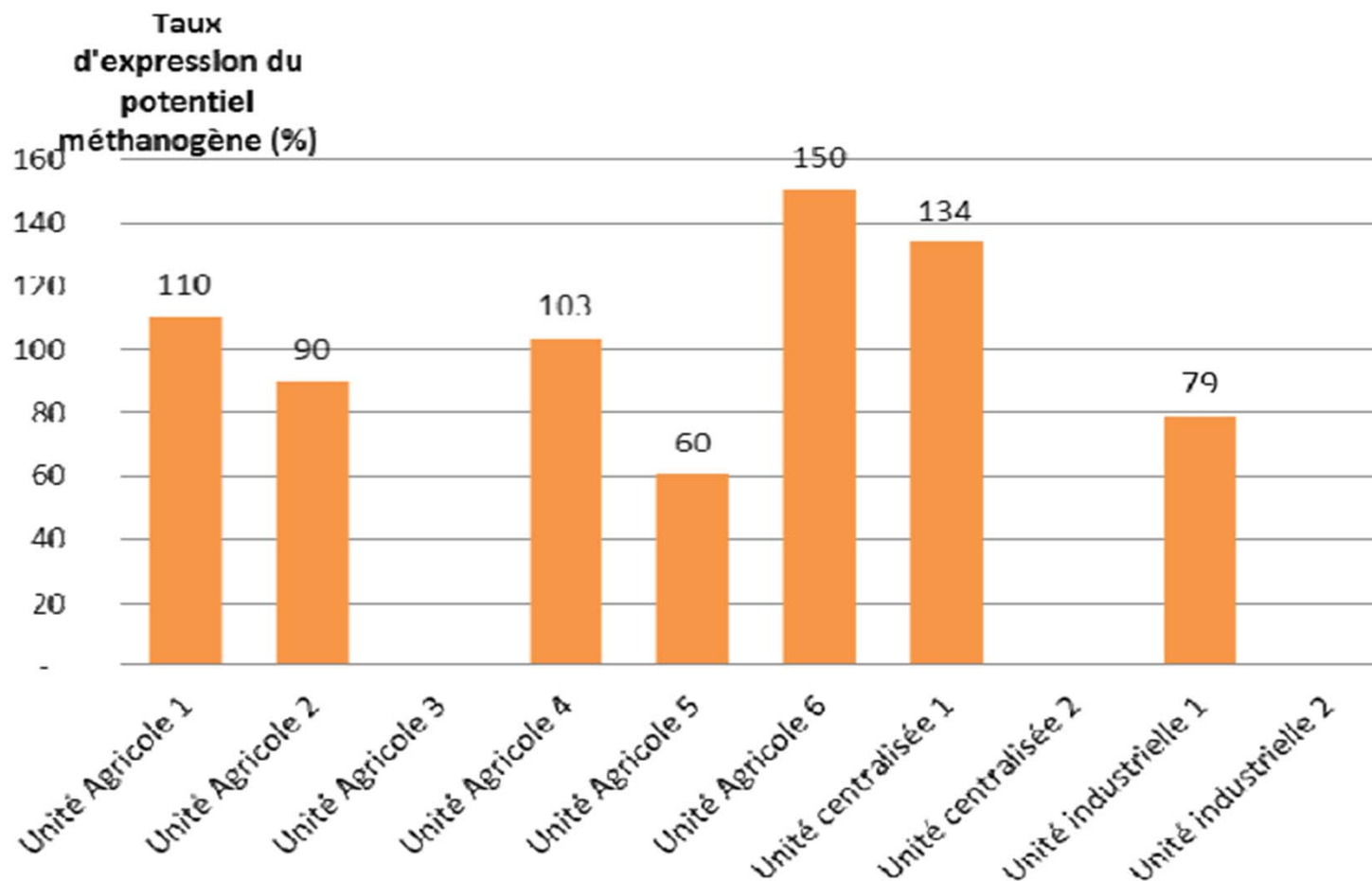
Quelle est la relation entre la production de méthane prévue et réelle sur site industriel ?

- Le BMP représente la **production maximale de méthane** de chaque substrat
- **La différence méthane prévu / méthane produit** dépend de plusieurs paramètres :
 - Des valeurs de BMP choisies lors du dimensionnement
 - De la cinétique de dégradation des substrats
 - Du type de réacteur utilisé et des conditions de mélange
 - Des conditions opératoires : TSH, charge volumique, ...
 - Du « bruit de fond » ou Respiration Endogène
 - De l'adaptation ou au contraire de l'inhibition partielle du consortium microbien



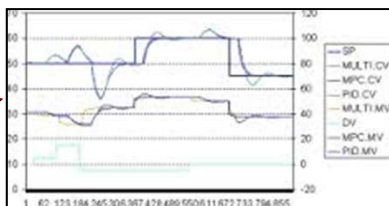
Quelle est la relation entre la production de méthane prévue et réelle sur site industriel ?

- **Etude ADEME** - Campagne de suivi sur 11 installations : 6 unités à la ferme, 2 unités centralisées, 2 unités en industrie agro-alimentaire, 1 STEP



Modélisation

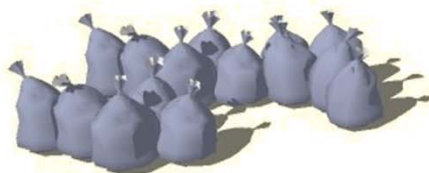
- Prédiction du comportement du digesteur



Recettage

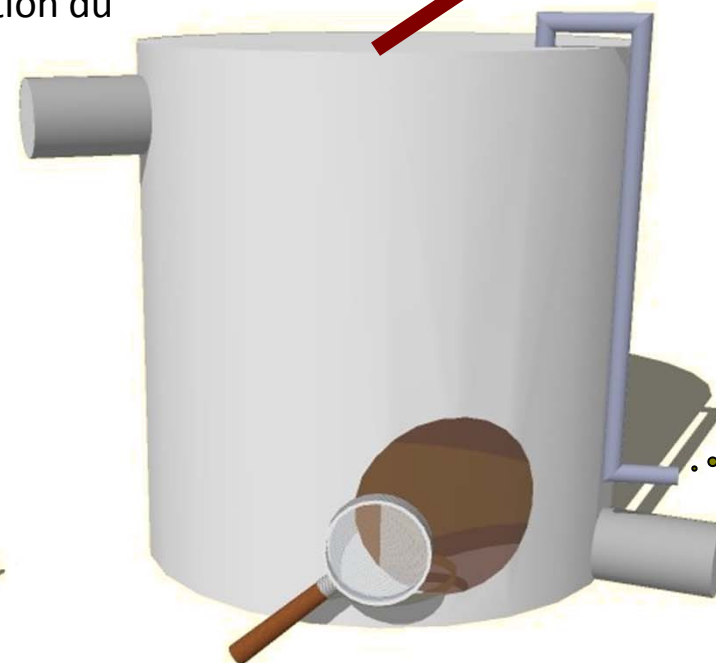
- Optimisation de l'alimentation du digesteur

Déchets
Complexes,
hétérogènes



Suivi des matières entrantes en exploitation :

- Méthodes d'analyses rapides du BMP
- Tests de toxicité rapides



- Instrumentation,
- Systèmes de suivi d'exploitation, de supervision et de Contrôle

- **Modélisation**

- Outils et techniques de mesure/Capteurs
- Solutions de suivi/contrôle
- Expertise pour l'aide au suivi d'exploitation/pilotage de digesteurs
- Tests de toxicité rapides

Caractérisation
du biogaz

Biogaz

Digestat

Caractérisation
du digestat

- **Méthodes rapides d'analyse**
 - ✓ BMP et test de toxicité rapides par fluorescence : SCANAE (FluoMethane)
 - ✓ BMP rapide en IR (Flash BMP®) : Büchi, INRA-Transfert Environnement, VEOLIA, ...
 - ✓ Hach-Lange,
- **Capteurs :**
 - ✓ Hach-Lange, BioEntech (capteur SNAC pour mesure AGV, ammonium, carbone inorganique), ...
- **Automatismes**
 - ✓ Autom'Elec, ...
- **Combinaison analytique/expertise** - Complémentarité de l'analyse à l'Expertise Analytique et Bioprocédés :
 - ✓ SCANAE, Métha Consult, Moletta méthanisation, APESA, Wesling, AUREA, INRA Transfert Environnement, INRA-LBE, CRITT GPTE, INSA Valor, IRSTEA Rennes, UTC, Lasalle beauvais, ...
- **Outils de gestion globale d'unités de méthanisation** : Biogasview, BioEnTech, VEOLIA, SUEZ et autres constructeurs ...

Merci de votre attention





Méthanisation : biomasse et prétraitements – 4 octobre 2016

ARTOIS METHANISATION

Exemple de méthanisation territoriale

Supervision et contrôle

Maelenn Poitrenaud



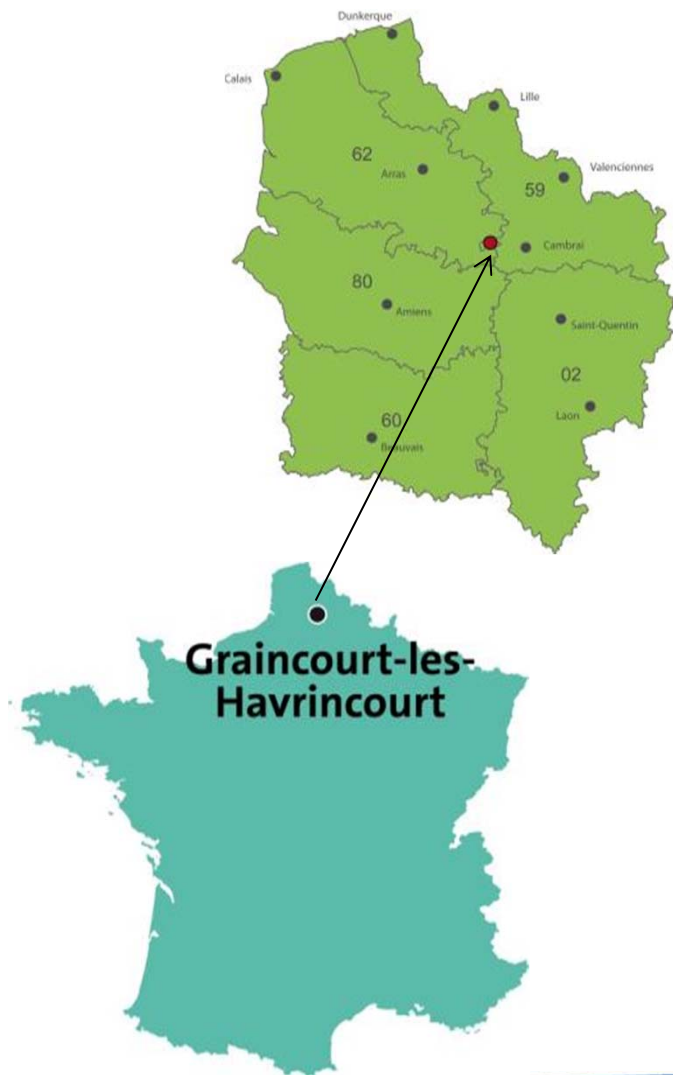
Plan



- Présentation du site : substrats traités –
préparation
- Présentation des outils de suivi mis en œuvre
: pilote et laboratoire
- Perspectives

Spécificité d'Artois Méthanisation : un site territorial

- Ancré dans le territoire
- Une grande diversité de substrats
- Synergie avec Artois Compost



Les Chiffres clés

- Tonnages traités : 32 000 t/an
- Superficie : 9 000 m²
- Production de 5 000 t/an d'amendement utile au sol + 15000 m³ de digestat liquide
- Production d'électricité verte : 1 MW/h électrique - 2 700 foyers alimentés en électricité
- Production d'eau chaude : 1 MW/h en substitution de plus de 60 000 L de fioul utilisé dans le traitement d'eau du site
- 22 emplois sur le site



Synthèse des Flux

Entrées (30 origines différentes)

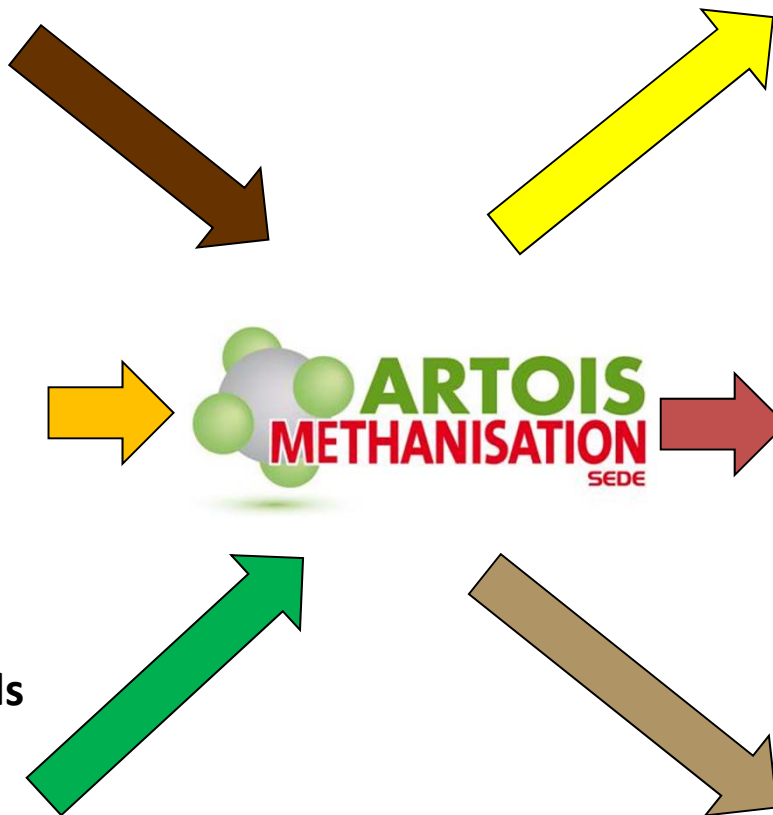
Boues urbaines



Boues industrielles



Biodéchets industriels



Sorties

Electricité : 8000 Mwh



Chaleur : 8000 Mw



Digestat deshydratés



Le challenge : Grande diversité des substrats traités



- Sous-produits et co-produits de l'agriculture : biomasse agricole...



- Déchets des industries agro-alimentaires en vrac : boues biologiques, graisses de flottation, ratés de fabrication, déchets carnés, graisses de restauration...



- Déchets des collectivités : tontes de pelouses, déchets de cantines collectives, déchets de stations d'épuration...



- Produits non commercialisables emballés, provenant de la grande distribution et des industries agro-alimentaires.

Réception et préparation



- Substrats liquides
 - 4 cuves
 - 1 cuve pour substrat sensible (chauffée)



- Hall de réception
 - Grand hall de réception (H = 14 m)
 - Espace de manoeuvre des engins
 - Extraction d'air
 - Substrats solides,
 - 3 fosses pour substrats pâteux



- Déconditionnement

Anticipation et contrôle



En amont du démarrage du site :

- Caractérisation des substrats (5 l)
- Réalisation de mélanges (MIX) et caractérisation,
- Tests en pilote 100l des MIX

Lors du démarrage de l'unité industrielle et pour de nouveaux substrats :

- Validation des performances observées en pilotes sur des mélanges proches de ceux testés en pilotes
- Essais en parallèle sur le pilote et l'unité pour valider la bonne reproductibilité du pilote



Les outils pilotes



Test BMP

Pilote 100l

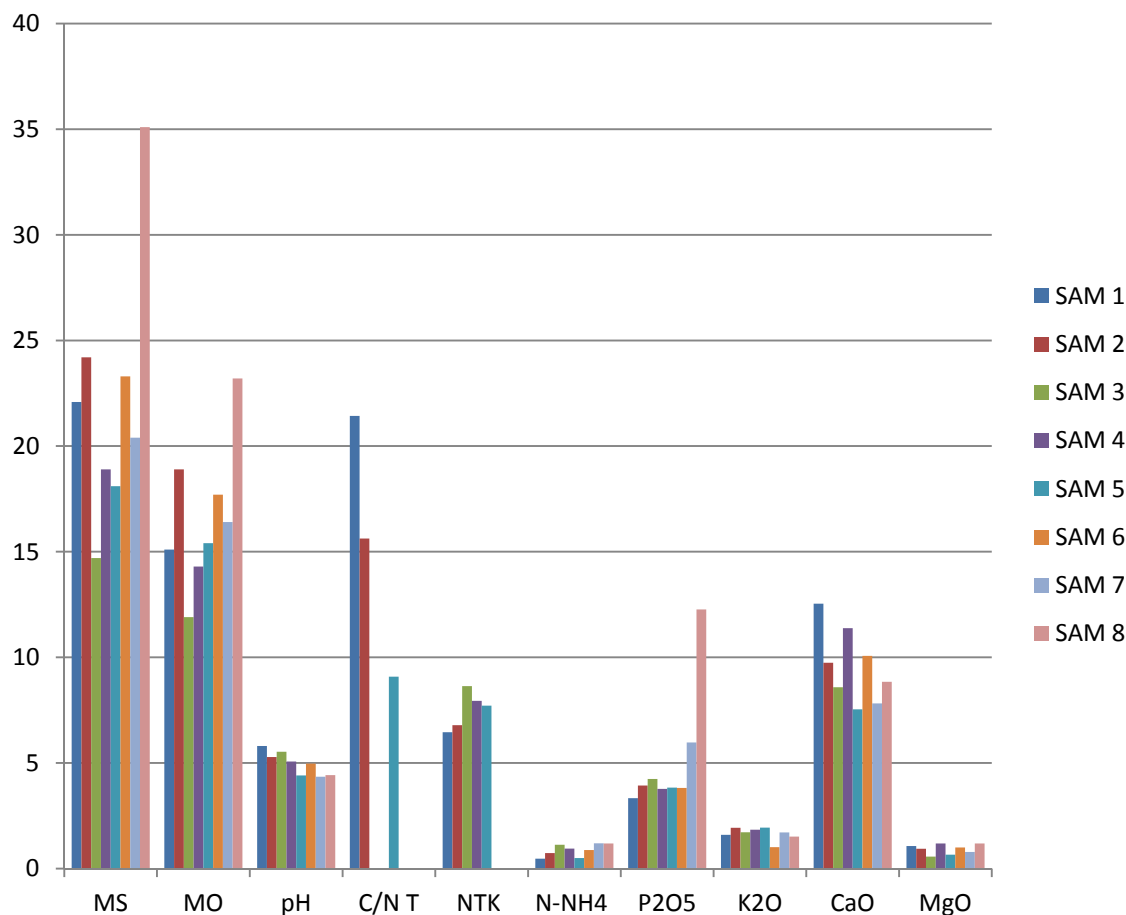
- Alimentation : 2,5 à 3 l, tous les jours en semaine (WE en fonction des possibilités)



- Paramètres opératoires : redox, pH et température
- Production de biogaz : qualité (teneur en CH_4 et CO_2) et quantité
- Caractérisation du déchet entrant : MS, MV, NTK, N-NH_4^+, oligo-éléments, éléments traces
- Caractéristique du digestat : MS, MV, AGV, TAC, N-NH_4^+

Les MIX (soupes - SAM) testés en amont du démarrage

En kg/t MB



- SAM : 13 à 14 substrats
- Très grande variabilité des entrants, en lien avec les fluctuations du marché et à la saisonnalité de certains produits
- Le site doit pouvoir s'adapter à cette variabilité
- MO entre 64% et 85% (MS)
- Teneur en N élevée

Les substrats expérimentés en cours d'exploitation



- Substrats agricoles : racines d'endives, écart de tri de pommes de terres ou légumes..
- Substrats IAA : acides gras, sucre, acides aminés
- Produits riches en N (protéines)
- Glycérine

Le suivi biologique et gaz sur site

Analyses in situ (laboratoire) :

- Caractérisation du déchet entrant : préparation du MIX
- Paramètres opératoires suivis aux différents stades du procédé : adaptation du MIX si besoin



T, pH,
MS, MV,
TAC,
AGV,
NTK, N-NH₄,
BMP

- Production de biogaz : quantité et qualité

- *Saturation moteur*
- *Travail sur la qualité du gaz : H₂S, H₂*

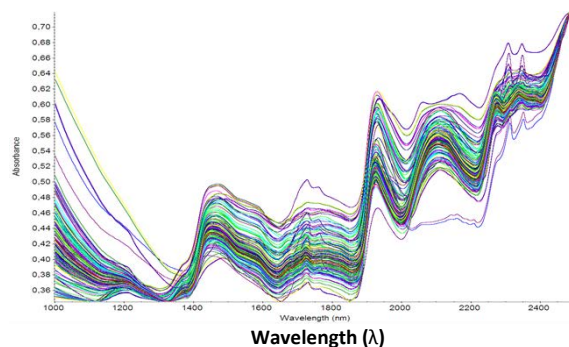


CH₄, CO₂,
H₂S, H₂,
O₂

Utilisation Infra-Rouge : Flash BMP®



Aujourd'hui : Analyses rapides du potentiel méthanogène in situ (Flash BMP®)



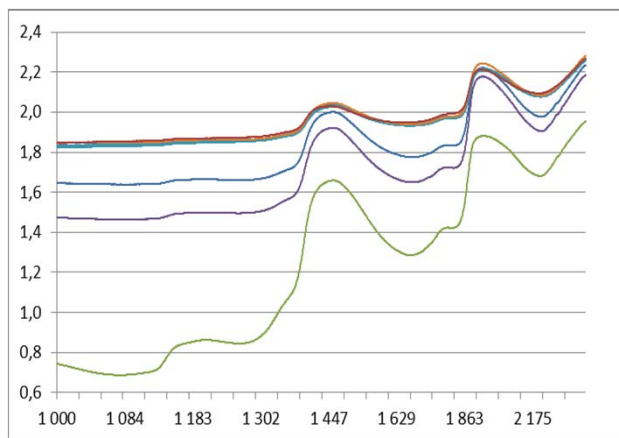
- Utilisation en routine chez SEDE, pour les besoins interne SEDE et notamment de pilotage du site :
 - valeur des gisements,
 - optimisation des mix (production de biogaz)
- Prestations externes possibles



Perspectives / Conclusion

Modèles	Paramètres	Gamme du modèle	R ²
PLS	AGV t	0 - 33160 mgC2/L	0.68
Local PLS			0.78
PLS	MS	8.5 – 165 g/L	0.89
Local PLS			0.91
PLS	MV	4 – 159 g/L	0.88
Local PLS			0.93
PLS	Ammonium	0 – 6 gN/L	0.70
Local PLS			0.74
PLS	Alcalinité	0.17 – 27.5 gCaCO3/L	0.64
Local PLS			0.73

- **Suivi des paramètres clés de la méthanisation par NIRS**
 - Développement de modèles spécifiques
 - Mise en œuvre sur site à venir
 - Plus de souplesse et de réactivité



- **4 années d'exploitation : REX important sur les paramètres biologiques mais pas que!**
- **Capitalisation pour les futurs projets**

Merci pour votre attention





Introduction de coproduits agroalimentaires en méthanisation agricole: Spécificités site et suivi biologique *La Grande Panse SARL – Domecy-sur-Cure (89)*

Christophe ROUSSEAU, Frédéric RAUSCENT – LA GRANDE PANSE SARL
Nathalie PAUTREMAT - SCANAE



Projet de La Grande Panse

- Exploitation Située dans l'Yonne à Domecy-sur-Cure
- SARL composée de deux exploitations F. Rauscent et C. Rousseau
- Eleveurs de Bovins Viande
- Surface totale des exploitations – 850ha
- Créée pour le projet de méthanisation

Cahier des Charges du projet en 2010 - 2012

- Valoriser la quantité importante d'effluents d'élevage
- Activité complémentaire à l'élevage
- S'octroyer la possibilité d'accepter des déchets organiques



Intrants

- Fumiers
- Menue Paille
- Ensilage de cultures Intermédiaires
- Biodéchets et déchets agroalimentaires

Calendrier

- Etude de Faisabilité en Mai 2012
- Démarrage des travaux en Oct. 2012
- Démarrage de l'installation en Janv. 2014
- Puissance électrique: 250kWe

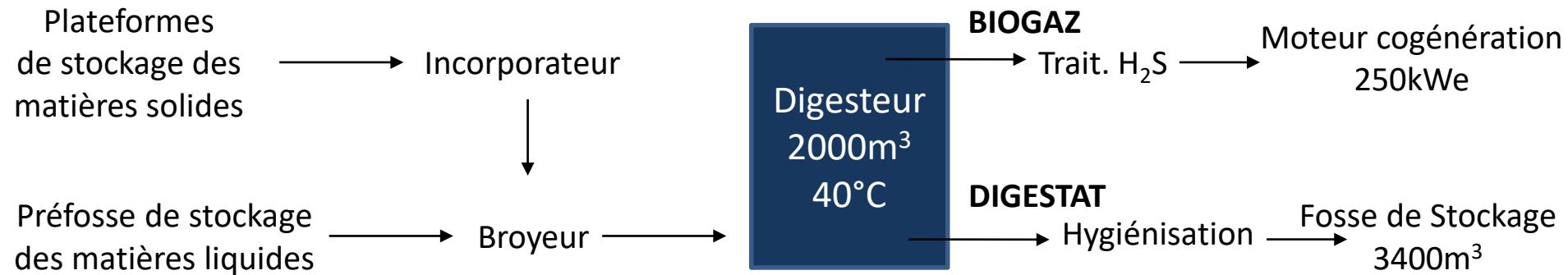




Installation de La Grande Panse

Cahier des Charges La Grande Panse

- Valoriser la quantité importante d'effluents d'élevage
- Activité complémentaire à l'élevage
- S'octroyer la possibilité d'accepter des déchets organiques





Codigestion avec des produits agroalimentaires

Intérêts

- Introduction en Eau indispensable
d'un point de vue ressource Eau, introduction et Procédé
- Gain énergétique en termes d'introduction (Incorporateur + Broyeur)
- Complémentarité de cinétique de biodégradabilité et production de biogaz
- Opportunités de gisements, et capacité d'augmentation de production de Biogaz



Réalités d'exploitation

- S'assurer de la qualité des gisements:

BMP, MS/MV et Eléments Majeurs C, N S, Eventuels inhibiteurs

Objectif: éviter les risques d'alcalose, acidose - Optimiser l'alimentation selon opportunités d'appro

- Sécuriser la logistique de livraison, des contrats et la qualité des matières

Objectif: Eviter d'accepter des produits dégradés,

« limiter » des heures de maintenance, sécuriser son site



- Solutions sur site afin de palier au défaut de livraison ou variabilité de citernes

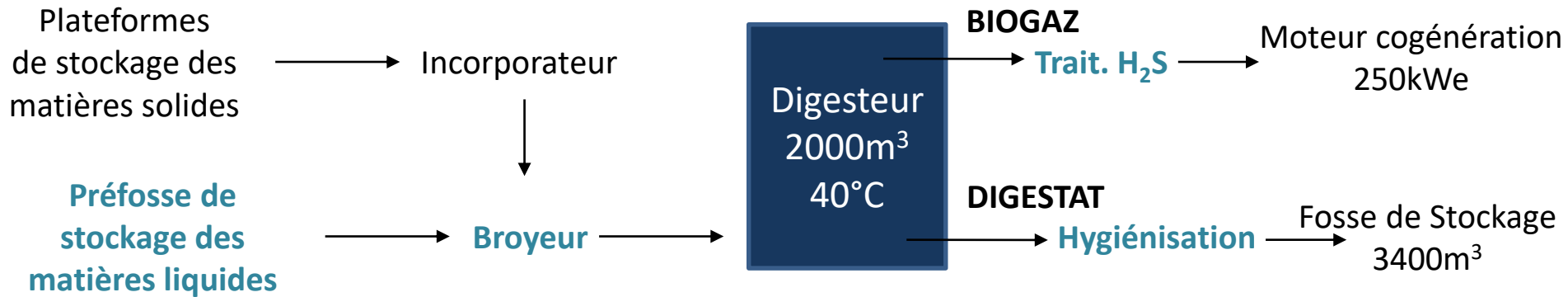
Capacité de mélange et stratégie de produits alternatifs d'alimentation

Objectif: Eviter les à-coups biologiques, favoriser une production de biogaz constante

- Anticiper dès construction du site les solutions de pureté de gaz



Atouts du site de La Grande Panse en stratégie de codigestion de coproduits agroalimentaires





Suivi Biologique – Kit de Survie



Débit alimentation
Potentiel Méthane,
DCO
pH, MS, MV
N, S selon intrant

Caractérisation
des intrants

Caractérisation
du biogaz

Débit et composition
 CO_2 , CH_4 , H_2S
Impuretés

Suivi métabolique

AGV, pH, NH_4^+
Alcalinité

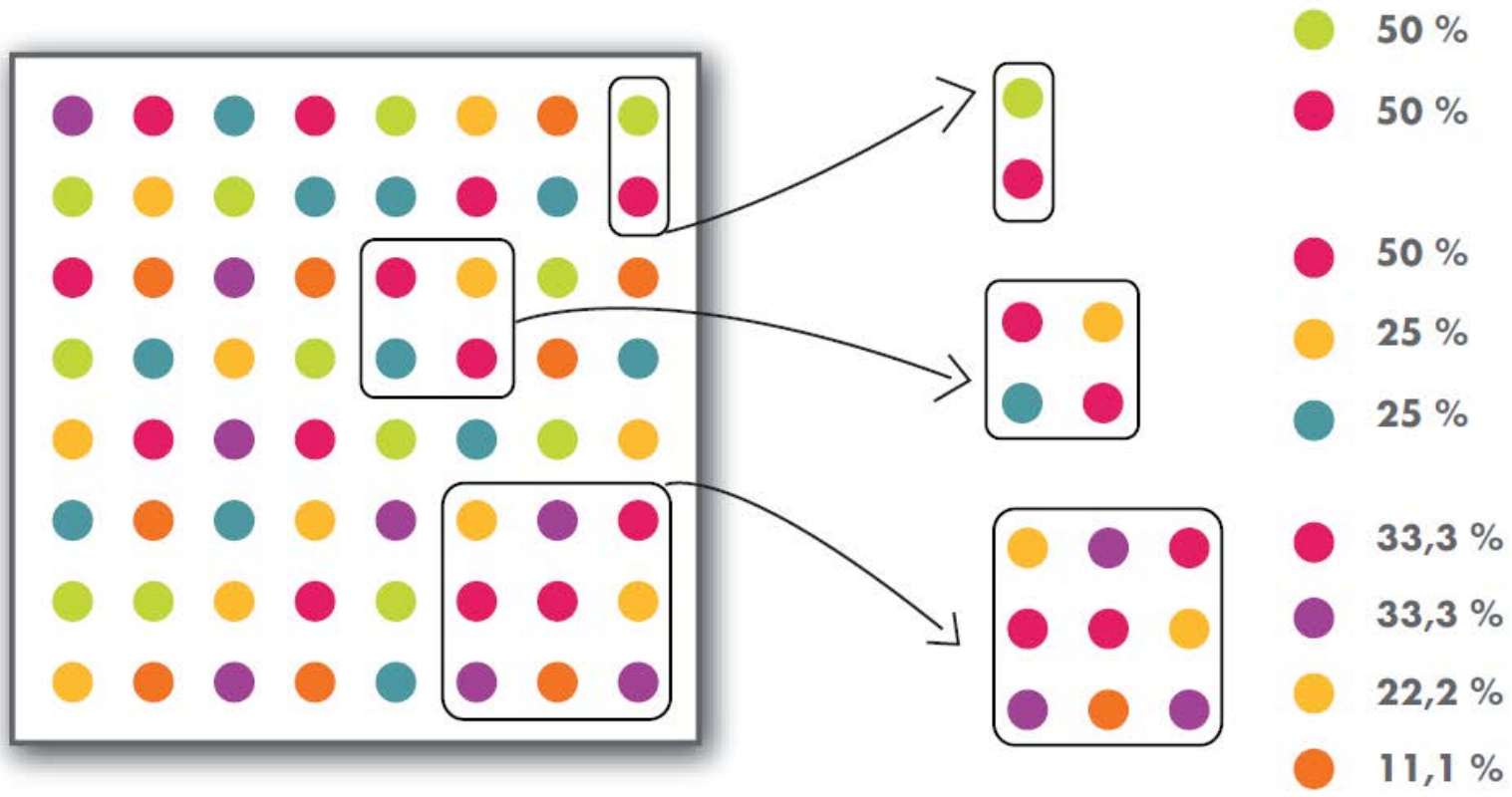
Caractérisation
du digestat
en sortie et en stockage

Débit sortie
Valeurs Agronomiques NPK
Potentiel Méthane résiduel
 NH_4^+



Suivi Biologique – Kit de Survie

Analyses: hétérogénéité et représentativité





La Grande Panse

Suivi biologique et accompagnement technique

OBJET	ANALYSES
Matières	BMP Analyses matières – complémentarité de matières A réception et Production biogaz
Suivi Biologique	AGV – Agv détaillés 1 fois par mois ou à la demande Analyse sur site AGV/TAC NH4 - Suivi laboratoire et sur site à l'étude
Qualité Digestat	Analyse laboratoire – Réglementaire et suivi d'exploitation

Suivi des teneurs et des évolutions de cinétique



L'exploitant



Support analytique/biologique



REX – Groupes d'Exploitants Métha

Bilan d'exploitation en 2016 ap. 2 ans d'exploitation

- Une conception et un lancement de site réussis

Simplicité et flexibilité du site, une conception non surdimensionnée

Intérêt d'investissement initial de +500k€ (pont à bascule, hygiénisateur, broyeur, Filtre à charbon H₂S et séchoir)

- Une production de biogaz satisfaisante dès la 1ere année de production
- Une maîtrise accrue de l'introduction de coproduits agroalimentaires
- Une augmentation de puissance à l'étude





Méthanisation : biomasse et prétraitements – 4 octobre 2016

Introduction de coproduits agroalimentaires en méthanisation agricole: Spécificités site et suivi biologique

La Grande Panse SARL – Domecy-sur-Cure (89)

Christophe ROUSSEAU, Frédéric RAUSCENT – LA GRANDE PANSE SARL

[Contact: christophe.rousseau2@wanadoo.fr](mailto:christophe.rousseau2@wanadoo.fr)

Nathalie PAUTREMAT – SCANAE

[Contact: nathalie.pautremat@scanae.com](mailto:nathalie.pautremat@scanae.com)

