

14. Énergie biologique

14.2 – *Digestion anaérobie*

Nicolas Lacroix, ing., M.Eng., PA LEED O+M
Ecosystem

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.
Groupe t3e, Département de génie mécanique

Valery J. Bouchard

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Processus – Matières organiques
- Étapes de traitement
- Description et paramètres
- Type de digesteurs
- Projet en cours et à venir
- Conclusion

Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Processus – Matières organiques
- Étapes de traitement
- Description et paramètres
- Types de digesteurs
- Projets en cours et à venir
- Conclusion

Introduction

- Le phénomène naturel de digestion anaérobie, biométhanisation ou méthanisation est connu depuis longtemps, principalement au départ par les gaz de marais, les rizières et la digestion animale;
- C'est au 18^e siècle qu'il sera découvert officiellement et puis maîtrisé au cours du siècle suivant;
- La concentration des êtres humains dans les villes et l'accroissement de la population humaine font aujourd'hui des décharges une autre grande source de méthanisation naturelle;
- Avec des développements importants durant les 25 dernières années, l'Europe domine maintenant le marché en installation et en technologie.

Introduction

- La méthanisation permet de :

- ✓ Traiter des déchets organiques
- ✓ Produire une énergie renouvelable
- ✓ Réduire les impacts sur l'environnement
 - Réduction des émissions de GES
 - Réduction des nuisances et odeurs
 - Restitution de matière organique aux sols

Objectifs

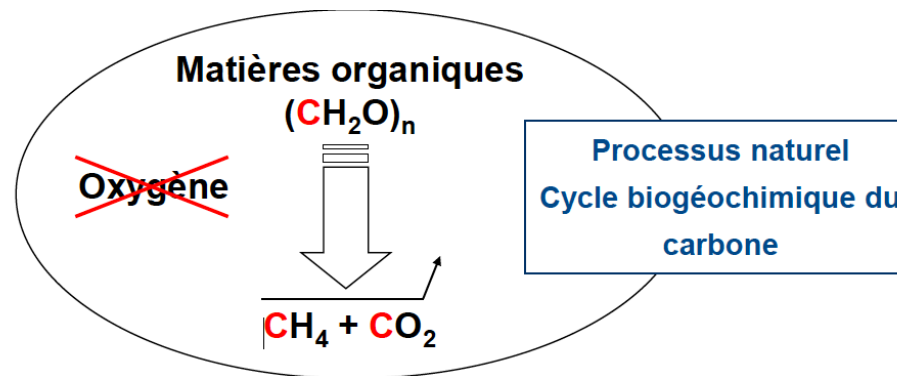
- Être en mesure de dissocier et classer la matière organique;
- D'avoir une brève idée du potentiel méthanogène des matières organiques;
- Savoir les bases fondamentales de la méthanisation et en comprendre son fonctionnement;
- Connaître les conditions opératoires des différents paramètres;
- Pouvoir énumérer les étapes pour l'obtention du biogaz.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- ***Processus – Matières organiques***
- Étapes de traitement
- Description et paramètres
- Types de digesteurs
- Projets en cours et à venir
- Conclusion

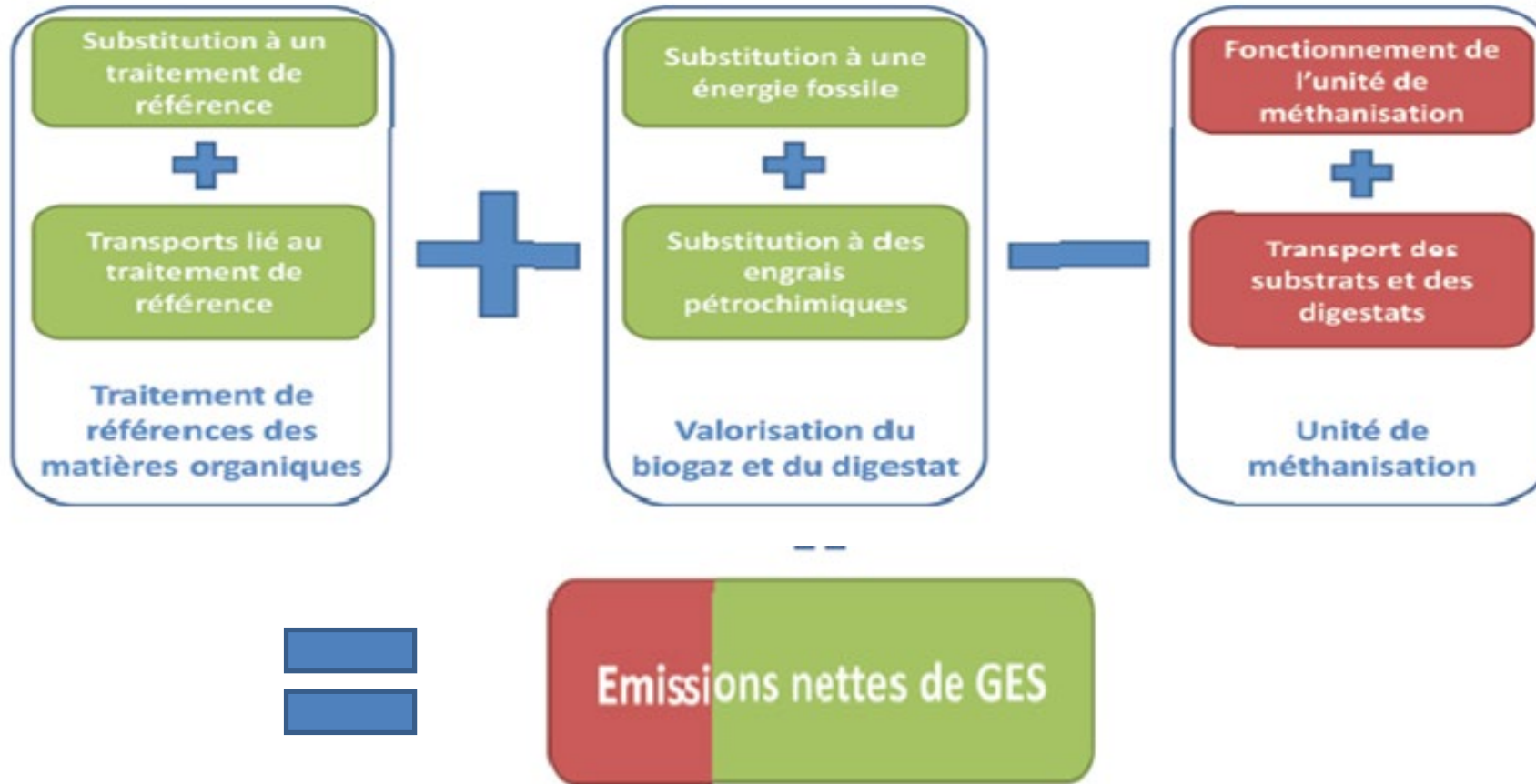
Processus - Définition

- Digestion anaérobie ou méthanisation ou biométhanisation
 - Processus naturel de décomposition de la matière organique par des microorganismes (archae) s'activant dans des conditions anaérobiques i.e. **sans oxygène** (ou en atmosphère **très pauvre** en dioxygène), à différentes températures.
 - Générant, à la fois, du biogaz, convertible en énergie **et** un résidu solide valorisable appelé digestat.
 - La méthanisation microbienne joue dans la nature un rôle important dans le cycle du carbone et participe au réchauffement climatique.



Processus - Définition

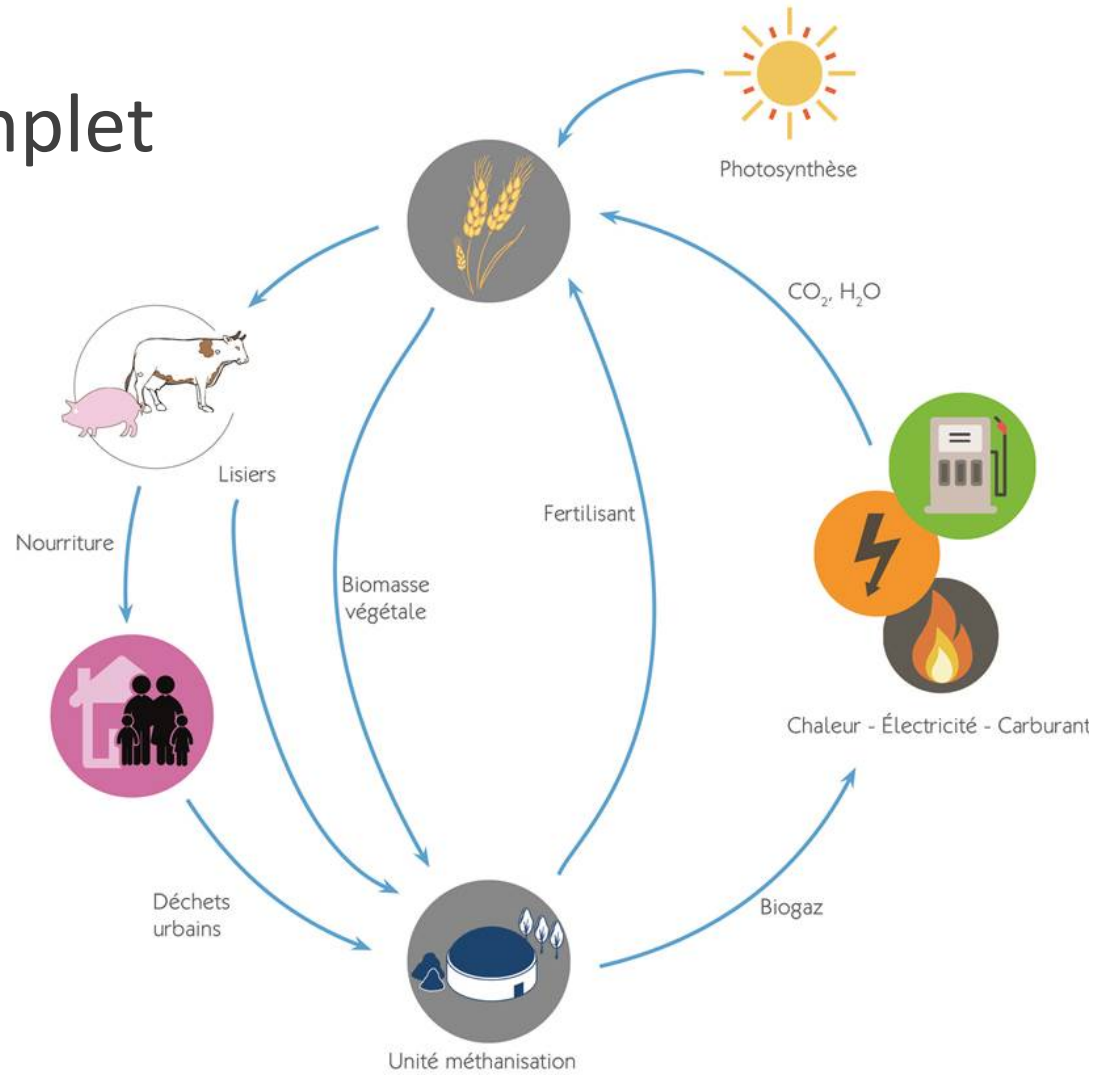
- Cycle complet – bilan des deux activités combinées



Source: <http://www.enrauvergnerhonealpes.org/fr/biogaz/les-technologies/la-digestion-anaerobie.html>

Processus - Définition

- Cycle complet



Source: <http://www.enrauvergnerhonealpes.org/fr/biogaz/les-technologies/la-digestion-anaerobie.html>

Processus - Cycle

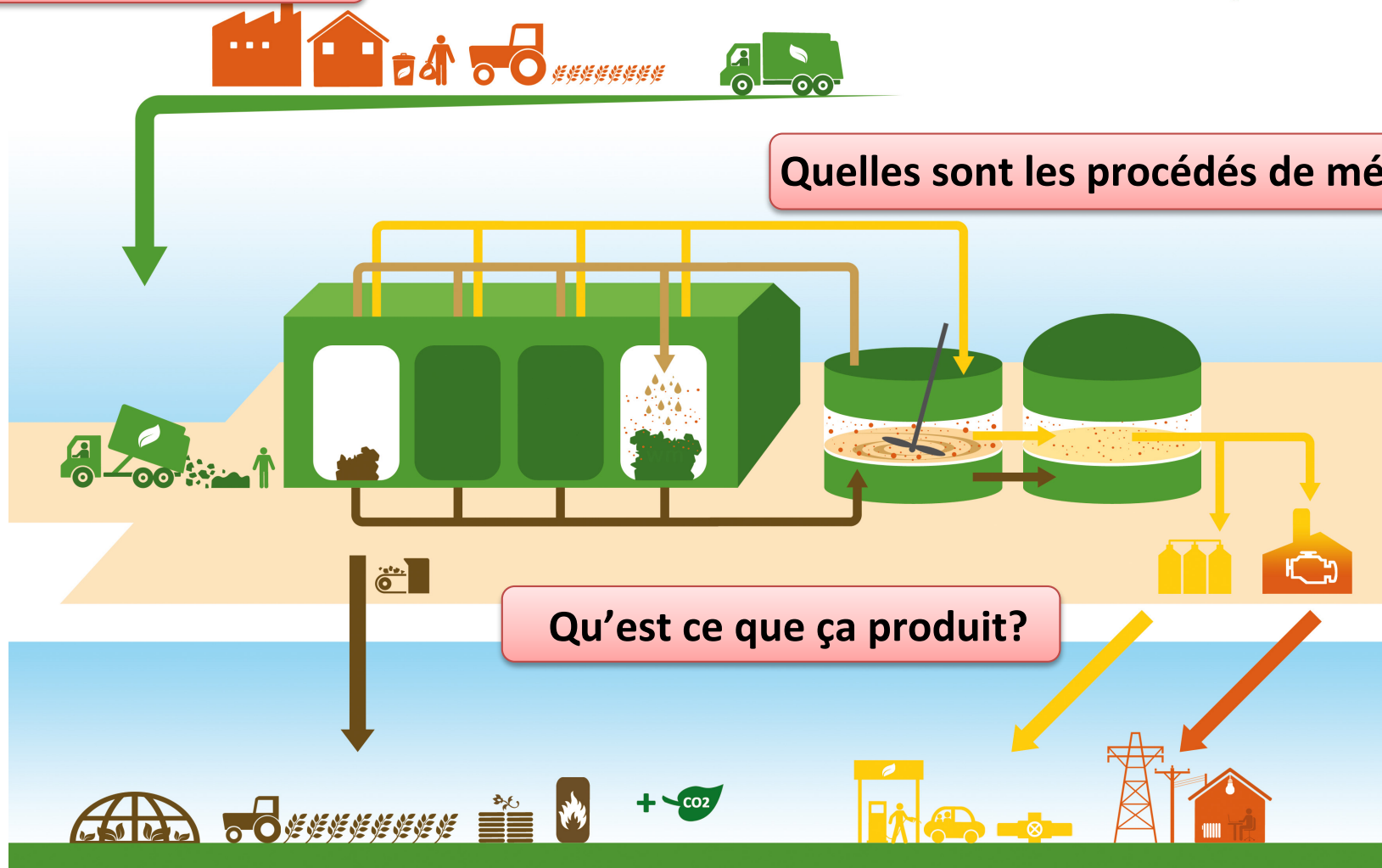
Par Renergon International AG — Travail personnel, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27517397>

D'où provient la matière organique?



Quelles sont les procédés de méthanisation?

Qu'est ce que ça produit?



Processus – Produits

- **Le biogaz:** produit peut servir de source d'énergie pour le chauffage de bâtiments, la production de gaz naturel ou la génération d'électricité;
- **Le digestat:** peut être valorisé comme fertilisant sur les terres agricoles ou stabilisé par compostage pour l'obtention d'un compost;
- **Le liquide:** peut être utilisé comme fertilisant ou traité avec son rejet (souvent négligé dans le processus complet).

Matières organiques – Origine

- D'où provient la matière organique?
 - Boues de stations d'épuration
 - Résidus verts
 - Lisiers et fumiers
 - Collecte sélective (bac brun)
 - Produits organiques industriels (ex: petit lait)



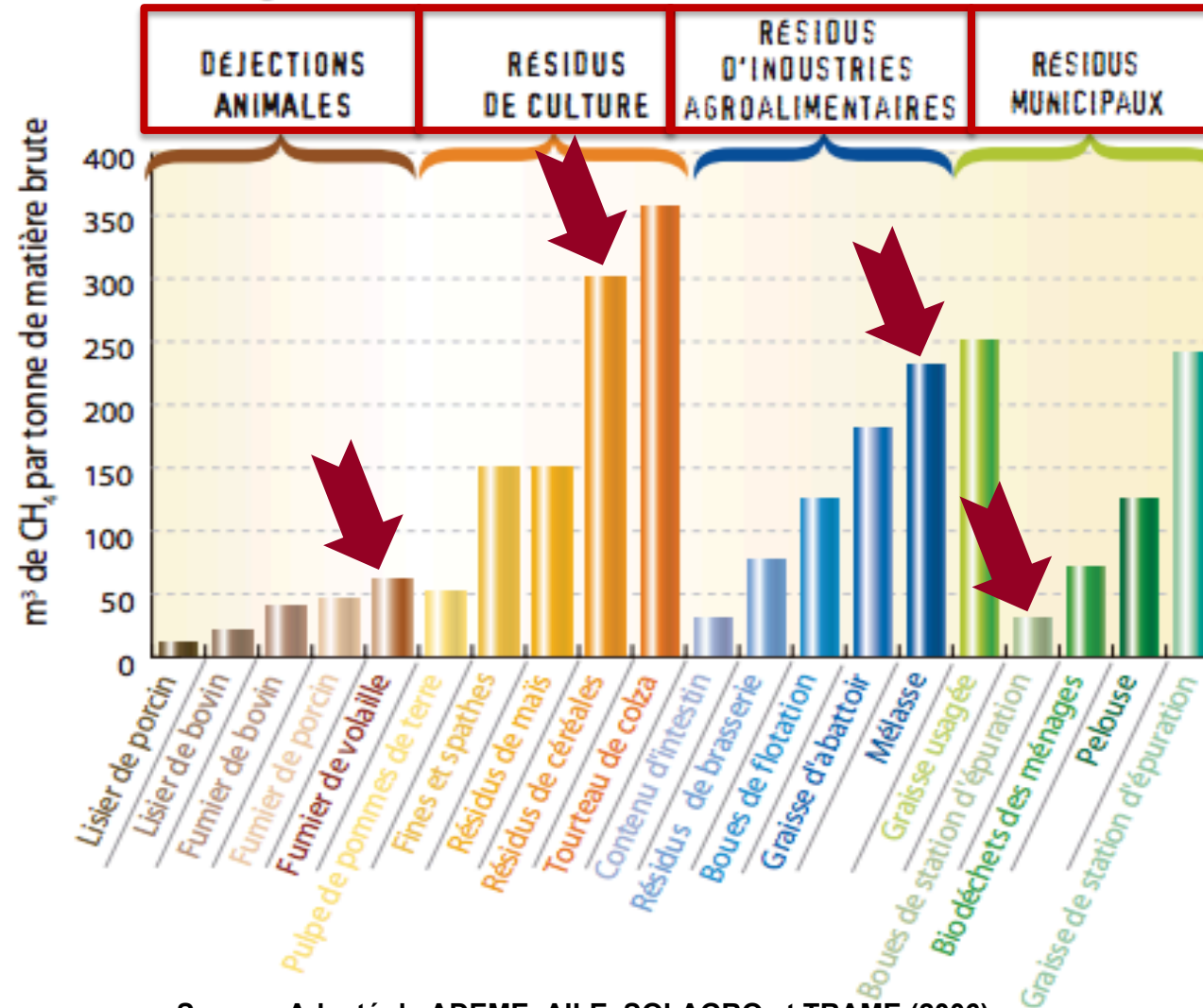
Matières organiques – Sources

- Principales sources de biogaz
 - Enfouissement
 - Digestion industrielle
 - La nature



Matières organiques – Potentiel méthanogène

Potentiel méthanogène de différents substrats et co-substrats



Source: Adapté de ADEME, AILE, SOLAGRO et TRAME (2006)

Test **BMP** : Potentiel de méthane biochimique.

Test effectué pour déterminer les valeurs inscrites dans un tableau tel que celui ci-contre.

Matières organiques – Potentiel méthanogène

- Biological methane potential (BMP) – Base humide

Feedstock	Methane Yield (m ³ /1000 kg of feedstock)	Energy Potential (MJ/1000 kg of feedstock)
Potato Chips	441	15865
Oilseed Meal	272	9780
Sugar Beet Pulp	258	9300
Cattle processing	248	8938
Sugar Beet Molasses	191	6886
Straw – wheat and barley	168	6052
Waxed Cardboard	153	5524
Restaurant Plate Scraps	115	4128
Poultry processing	113	4071
Poultry Manure	91	3260
Ethanol Wet Cake	89	3191
Hog processing	82	2935

Feedstock	Methane Yield (m ³ /1000 kg of feedstock)	Energy Potential (MJ/1000 kg of feedstock)
Brewery spent grain	71	2567
Food Service Industry Average	70	2507
Silage	70	2502
Feedlot Manure	61	2187
Pressed Berries from Fruit Wine	39	1389
Potato Skins and Pulp	35	1254
Supermarket Fresh Fruit and Vegetables	33	1173
Ethanol Whole Stillage	30	1095
Ethanol Thin Stillage	29	1036
Restaurant Prep Waste	22	793
Dairy Manure	15	546
Hog Manure	4	156



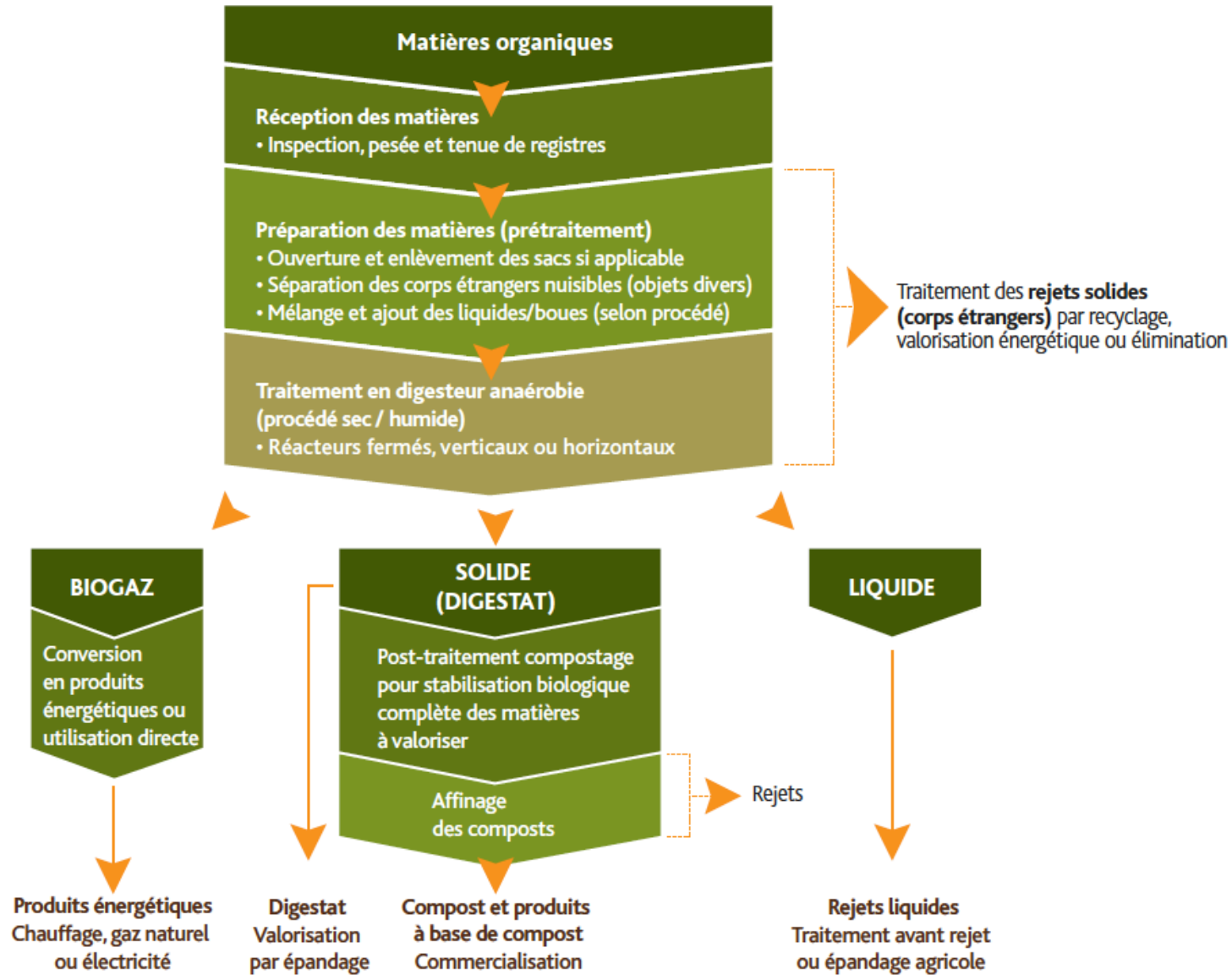
Dans l'ordre de grandeur de ce qui est illustré à la page précédente, 35 vs 50 m³/t.

[https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/epw15217/\\$file/Methane_Production.pdf?OpenElement](https://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/epw15217/$file/Methane_Production.pdf?OpenElement)

Plan de la présentation

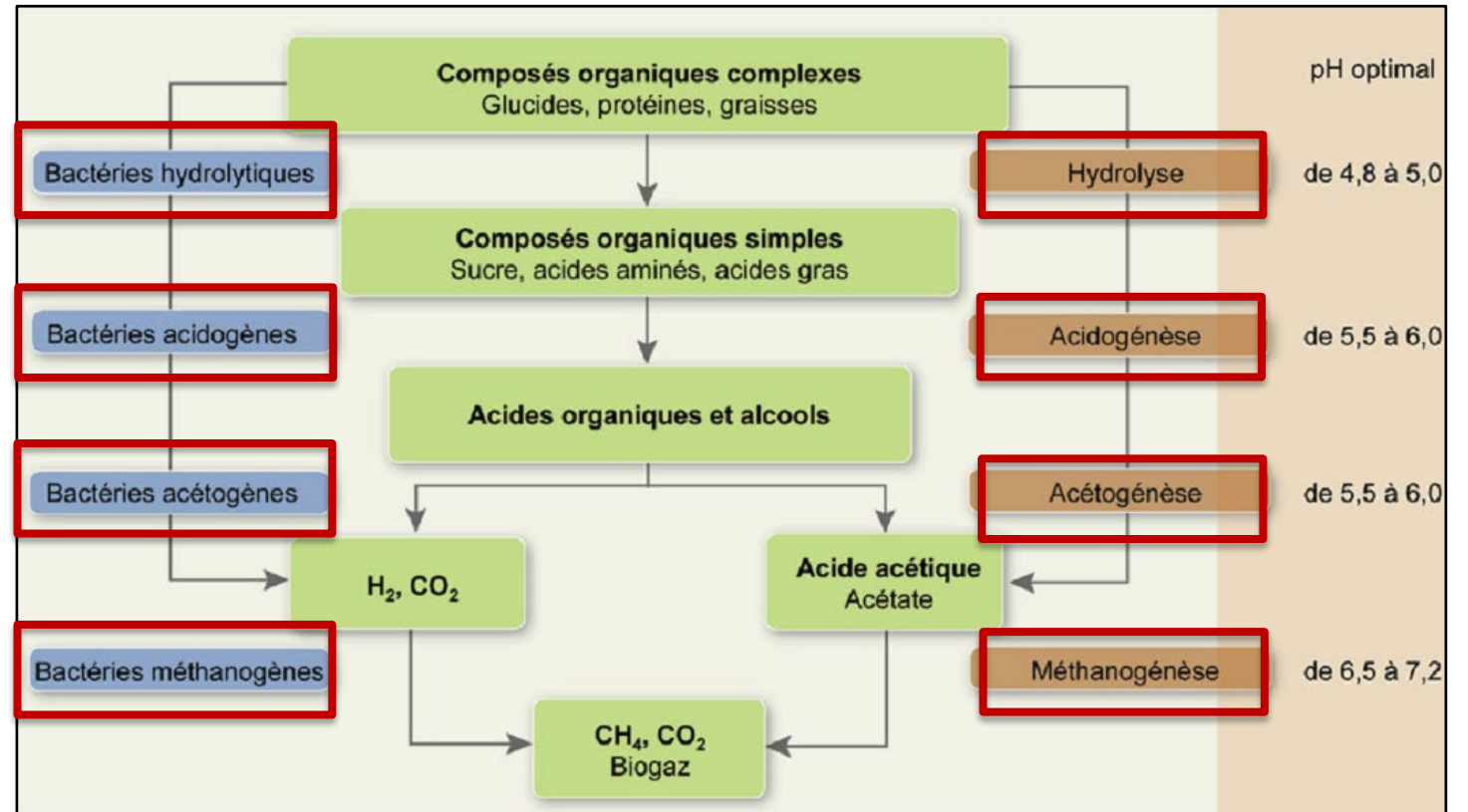
- Introduction et objectifs
- Processus – Matières organiques
- ***Étapes de traitement***
- Description et paramètres
- Types de digesteurs
- Projets en cours et à venir
- Conclusion

Étapes de traitement



Étapes de traitement

- Résulte de l'action de certains groupes microbiens en interaction constituant un réseau trophique.
- On distingue 4 phases successives:
 1. L'hydrolyse
 2. L'acidogénèse
 3. L'acétogénèse
 4. La méthanogénèse



Étapes de traitement

- L'hydrolyse
 - Généralement: (du grec hydro : eau et lysis : briser) une réaction chimique et enzymatique dans laquelle une liaison covalente est rompue par action d'une molécule d'eau;
 - Dans le réacteur, la matière organique complexe est tout d'abord hydrolysée en molécules simples par des bactéries. Ainsi, les lipides, polysaccharides, protéines et acides nucléiques deviennent des monosaccharides, acides aminés, acides gras et bases azotées. Cette décomposition est réalisée par des enzymes exocellulaires;

Source wiki

Étapes de traitement

- L'hydrolyse
 - Elle peut devenir l'étape limitante parce que « trop lente » dans le cas de composés difficilement ou lentement hydrolysables tels que la lignine, la cellulose, l'amidon ou les graisses;
 - Dans le cas d'un mélange de déchets solides, l'hydrolyse a lieu à des vitesses différentes selon la bio-accessibilité des composants de la biomasse, alors qu'elle est simultanée dans les milieux homogènes et plus liquides.



Le Groupe de recherche en technologies de l'énergie et en efficacité énergétique (t3e) de l'ÉTS commence un projet de recherche avec la Ville de St-Hyacinthe pour améliorer l'étape d'hydrolyse dans ses installations. Ça vous interpelle? Contactez-nous!

Source wiki

Étapes de traitement

- L'acidogénèse
 - Suite à l'hydrolyse, les substrats sont utilisés lors de l'étape d'[acidogénèse](#) par les espèces microbiennes dites acidogènes, qui vont produire des [alcools](#) et des acides organiques, ainsi que de l'[hydrogène](#) et du [dioxyde de carbone](#). Cette étape est 30 à 40 fois plus rapide que l'hydrolyse;
 - Durant le procédé biologique de [méthanisation](#), l'acidogénèse est la deuxième étape sur quatre, et la plus rapide. En présence d'une grande quantité de matière organique, elle peut produire trop d'acides qui ralentissent, voire empêchent, les réactions suivantes.

Source wiki

Étapes de traitement

- L'acétogénèse
 - Permet la transformation des divers composés issus de la phase précédente en précurseurs directs du méthane : l'acétate, le dioxyde de carbone et l'hydrogène.
 - On distingue deux groupes de bactéries acétogènes :
 1. Les bactéries productrices obligées d'hydrogène, anaérobies strictes, également appelées OHPA (« Obligate Hydrogen Producing Acetogens »). Elles sont capables de produire de l'acétate et de l' H_2 à partir des métabolites réduits issus de l'acidogénèse tels que le propionate et le butyrate. L'accumulation d'hydrogène conduit à l'arrêt de l'acétogénèse par les bactéries OHPA. Ceci implique la nécessité d'une élimination constante de l'hydrogène produit. Cette élimination peut être réalisée grâce à l'association syntrophique de ces bactéries avec des microorganismes hydrogénotrophes.

Source wiki

Étapes de traitement

- L'acétogénèse
 - Permet la transformation des divers composés issus de la phase précédente en précurseurs directs du méthane : l'acétate, le dioxyde de carbone et l'hydrogène.
 - On distingue deux groupes de bactéries acétogènes :
 1. Les bactéries acétogènes syntrophes dont le métabolisme est majoritairement orienté vers la production d'acétate. Elles se développent dans les milieux riches en dioxyde de carbone. Les bactéries « homo-acétogènes » font partie de ce groupe, elles utilisent l'hydrogène et le dioxyde de carbone pour produire de l'acétate. Elles ne semblent pas entrer en compétition pour l'hydrogène avec les Archaea méthanogènes hydrogénotrophes et sont présentes en quantité beaucoup plus faible dans les biotopes anaérobies.

Source wiki

Étapes de traitement

- La méthanogénèse
 - La méthanogénèse est assurée par des micro-organismes anaérobies stricts qui appartiennent au domaine des Archaea. Cette dernière étape aboutit à la production de méthane.
 - Elle est réalisée par deux voies possibles :
 - l'une à partir de l'hydrogène et du dioxyde de carbone par les espèces dites hydrogénotrophes,
 - l'autre à partir de l'acétate par les espèces acétotrophes (dites aussi acétoclastes).
 - Leur taux de croissance est plus faible que celui des bactéries acidogènes.

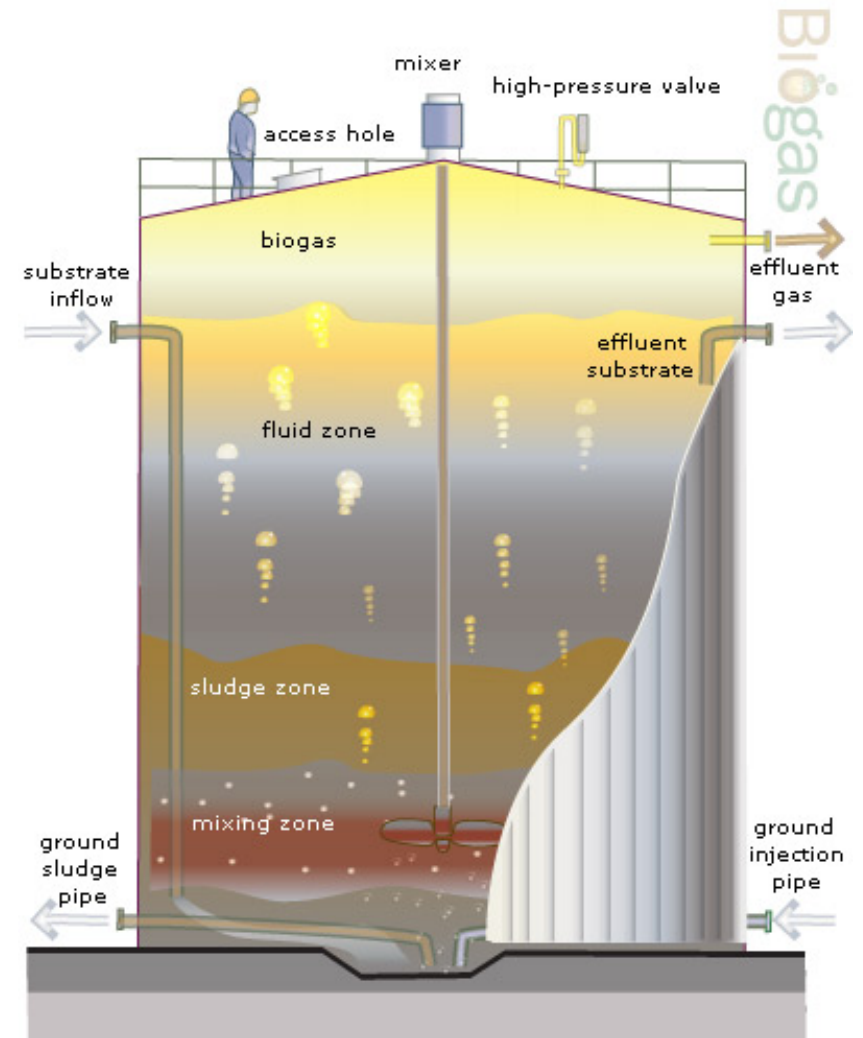
Source wiki

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Processus – Matières organiques
- Étape de traitement
- ***Description et paramètres***
- Types de digesteurs
- Projets en cours et à venir
- Conclusion

Description et paramètres

- Paramètres: Température
 - Psychrophile: $\approx 15^{\circ}\text{C}$ ($10 < T < 25^{\circ}\text{C}$)
(peu répandu), HRT > 40 à 120 jours
 - Mésophile: $\approx 37^{\circ}\text{C}$ ($35 < T < 44^{\circ}\text{C}$)
(plus commun), HRT \approx 25 à 60 jours
 - Thermophile: $\approx 55^{\circ}\text{C}$ ($45 < T < 58^{\circ}\text{C}$)
HRT \approx 15 à 45 jours
- Paramètres: PH
 - Optimum près de la neutralité (6,5 à 8,5)



Description et paramètres

- Paramètres: Siccité (sécheresse)
 - Digestion sèche : siccité $> 20\%$
 - Digestion humide : siccité $< 20\%$
 - Siccité $< 10-15\%$: ça ne se pellette pas

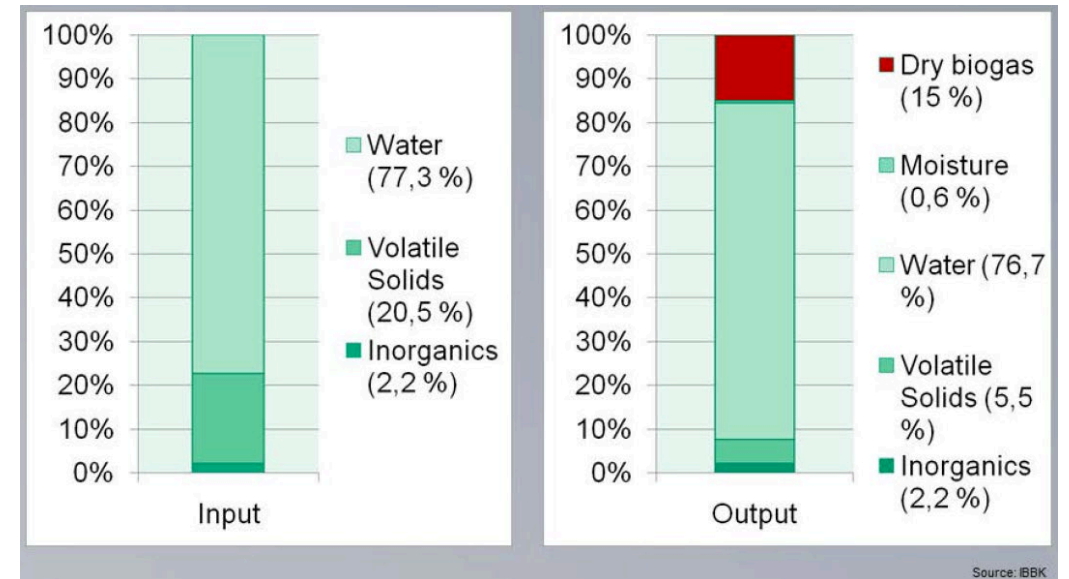


Description et paramètres

- Paramètres: Autres
 - Prétraitements (mécaniques, thermolyse, ultrason, pasteurisation, etc);
 - Intrants: matière organique seulement, inorganique rejeté;
 - Taux de charge organique (OLR) (kg de matière volatile par m³ de digesteur par jour);
 - Temps de résidence hydraulique (HTR) : 15 à 120 jours.

Description et paramètres

- Production de biogaz
 - CH₄ : 50% à 70%, CO₂ : 30 à 50%
 - Vapeur d'eau et autres (H₂S, siloxanes, composés chlorés)
- Production de méthane
 - Environ 0,25-0,5 Nm³ de CH₄ produit par kg de matière organique (base sèche)
 - Note : N dans Nm³ indique «Normalized» ou normalisé à une température et une pression de référence (en général 0°C et 101,3kPa)
- De façon générale
 - 50% biogaz et 50% digestat



PCI: 20-22 MJ/Nm³

Description et paramètres

- Composition typique du biogaz selon différentes sources

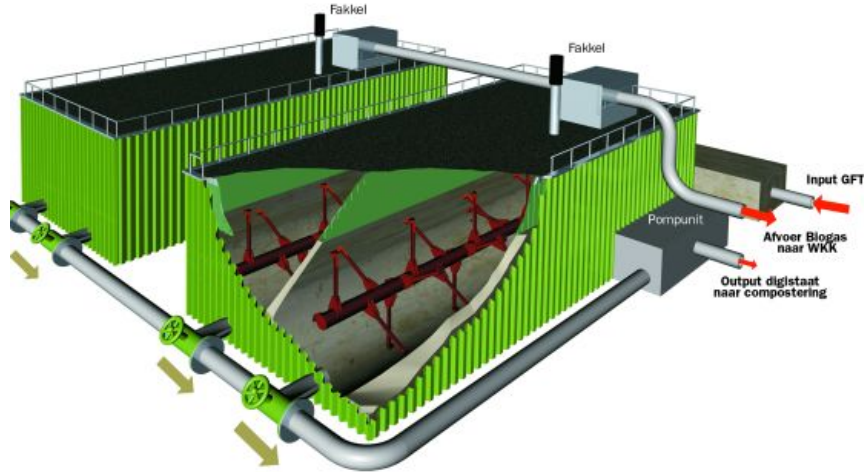
Component	Agricultural waste	Landfills	Industrial waste	
Methane CH ₄	50–80	50–80	50–70	Les principaux produits et de loin.
Carbon dioxide CO ₂	30–50	20–50	30–50	
Hydrogen sulphide H ₂ S	0.70	0.10	0.80	
Hydrogen H ₂	0–2	0–5	0–2	
Nitrogen N ₂	0–1	0–3	0–1	
Oxygen O ₂	0–1	0–1	0–1	
Carbon monoxide CO	0–1	0–1	0–1	
Ammonia NH ₃	Traces	Traces	Traces	
Siloxanes	Traces	Traces	Traces	
Water H ₂ O	Saturation	Saturation	Saturation	

Plan de la présentation

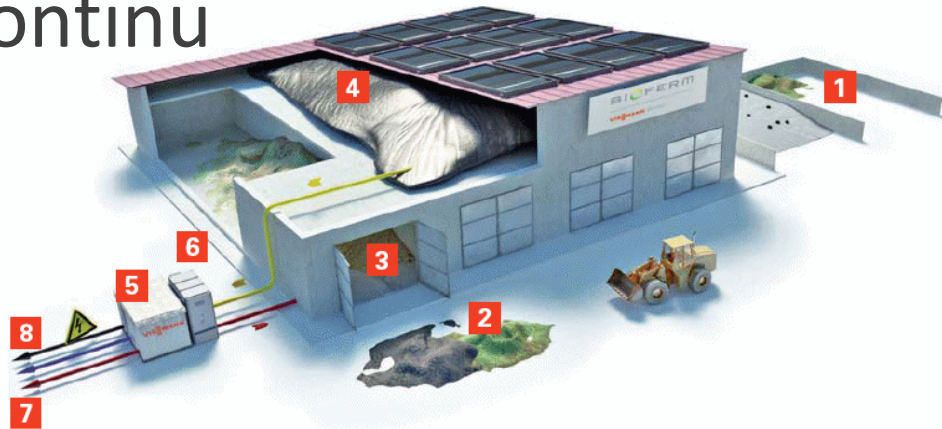
- Introduction et objectifs
- Processus – Matières organiques
- Étape de traitement
- Description et paramètres
- ***Types de digesteurs***
- Projets en cours et à venir
- Conclusion

Digesteurs

- Approche en régime continu



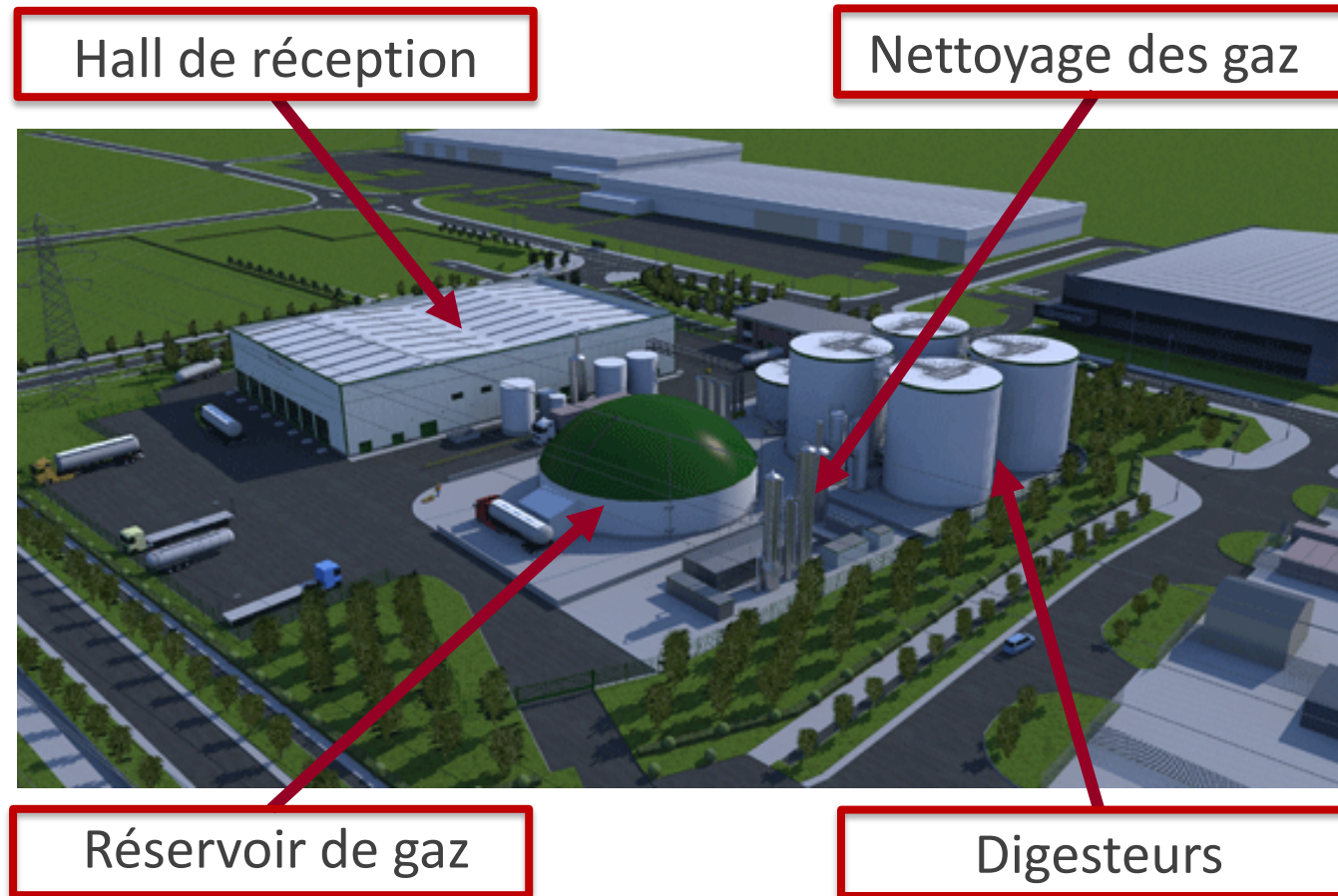
- Approche en régime discontinu



<https://www.youtube.com/watch?v=H1c-T1zcRHg>

Digesteurs

- Configuration typique d'une usine



Digesteurs

- Lagune anaérobie sur vinasses



Digesteurs

- Digesteur d'une industrie chimique



Digesteurs

- **Digester Intradel – Déchets organiques urbains**
 - Inaugurée en septembre 2018 à Herstal dans la banlieue liégeoise, l'usine de biométhanisation est gérée par Intradel, une entreprise publique créée pour collecter et traiter les déchets ménagers des 72 communes de la province de Liège.
 - La biométhanisation étant un processus de fermentation microbienne, le soin apporté au tri est essentiel : la contamination des déchets par des produits chimiques, des médicaments ou d'autres polluants peut inhiber les réactions biologiques et bloquer tout le processus.
 - C'est pourquoi la mise en place du tri sélectif par les ménages s'est accompagnée d'une campagne d'information et de sensibilisation.
 - Et le résultat est positif : 93 % des « poubelles vertes » collectées en porte-à-porte sont bien triées.



Digesteurs

- Digesteur de Tenneville – Déchets organiques urbains
 - A Tenneville, dans la province du Luxembourg (en Belgique), une unité de biométhanisation des déchets ménagers fonctionne déjà depuis 2009.
 - « Elle peut traiter 30.000 tonnes de fraction organique » précise Matthieu Schmitt qui explique que la biométhanisation de ces déchets est une technologie en général bien maîtrisée.
 - « Elle est de plus en plus utilisée dans de nombreux pays, notamment aux Etats-Unis et en Allemagne. Les déchets ménagers de la ville de Hambourg, par exemple, sont traités dans une usine de biométhanisation. L'électricité produite est injectée dans le réseau et la chaleur sert à chauffer le stade de football.»



<https://www.revolution-energetique.com/biomethanisation-des-dechets-menagers-reussites-et-fiascos/>

Digesteurs

- Usine de traitement des déchets à Montpellier – Cauchemar
 - A Montpellier, l'expérience de biométhanisation des déchets ménagers de la métropole n'est pas concluante. Construite par Vinci et gérée par Suez, l'usine Amethyst cumule les déboires depuis sa mise en service en 2009 : défauts de fonctionnement, incendie, incidents divers, nuisances pour les riverains et dérapage financier.
 - Elle a coûté : 90 millions d'euros au lieu des 57 initialement budgétés. En cause, de nombreux travaux supplémentaires pour remédier aux défauts de conception.
 - La métropole a implanté l'usine en pleine ville, en justifiant ce choix par l'assurance que le site ne produirait aucune odeur. Mais, c'est une horreur : bruit, invasion d'insectes et odeurs pestilentielles sont déplorés.
 - Le personnel n'est pas mieux loti : un rapport de l'inspection du travail fait état de conditions « déplorables », et pointe des « émanations nocives d'ammoniac dépassant les valeurs limites réglementaires et l'exposition des salariés à des dangers mettant en cause leur santé et leur sécurité ».



Digesteurs

- Usine de traitement des déchets à Montpellier
 - Est-il requis de vous spécifier que des désastres peuvent se produire dans ce domaine aussi?



Capacité

- 170 000 t/an de déchets résiduels urbains
- 33 000 t/an de biodéchets

Valorisation énergétique

- 14 400 000 Nm³ biogaz
- 29 000 MWh électrique

Digesteurs

- Bilan de masse et d'énergie sur le digesteur

INTRANTS

Matières organiques :
boues, déchets, etc



Énergie thermique :
chauffage des digesteurs



Énergie électrique:
Brassage, pompage, tri, filtration



EXTRANTS

Matières gazeuses :
Biogaz et déchets à retirer



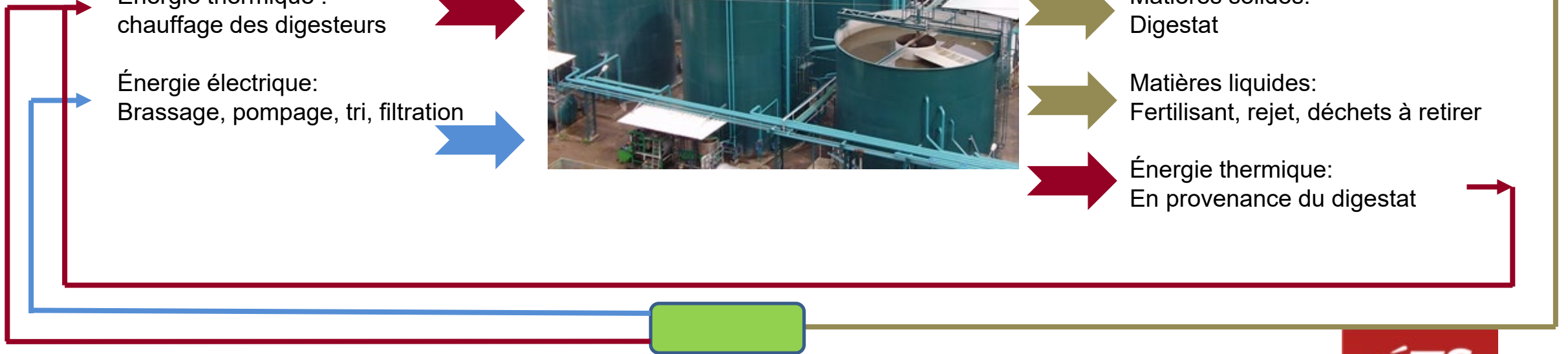
Matières solides:
Digestat



Matières liquides:
Fertilisant, rejet, déchets à retirer



Énergie thermique:
En provenance du digestat

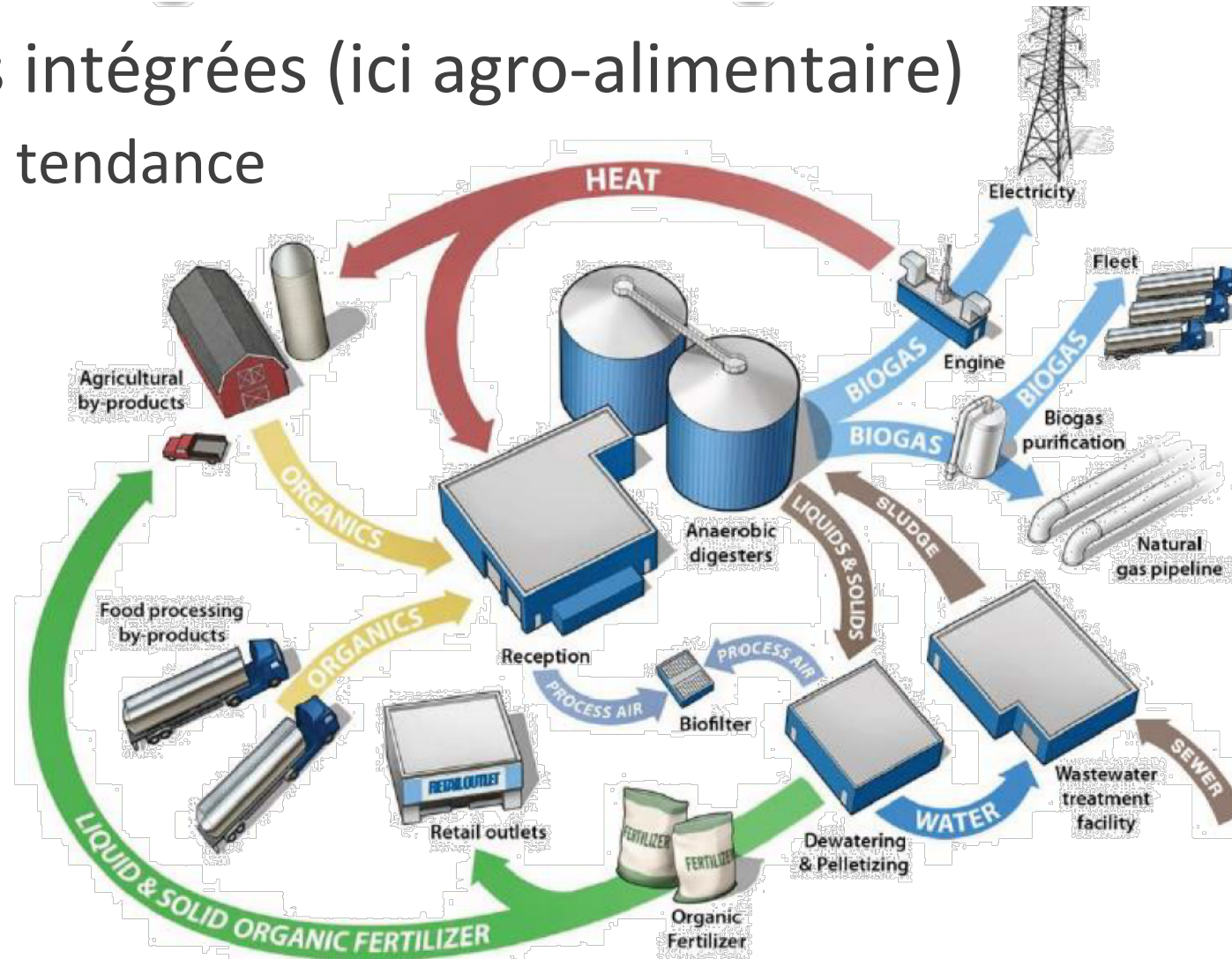


Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Processus – Matières organiques
- Étape de traitement
- Description et paramètres
- Types de digesteurs
- ***Projets en cours et à venir***
- Conclusion

Projets en cours et à venir

- Approches intégrées (ici agro-alimentaire)
 - Nouvelle tendance



Projet en cours et à venir

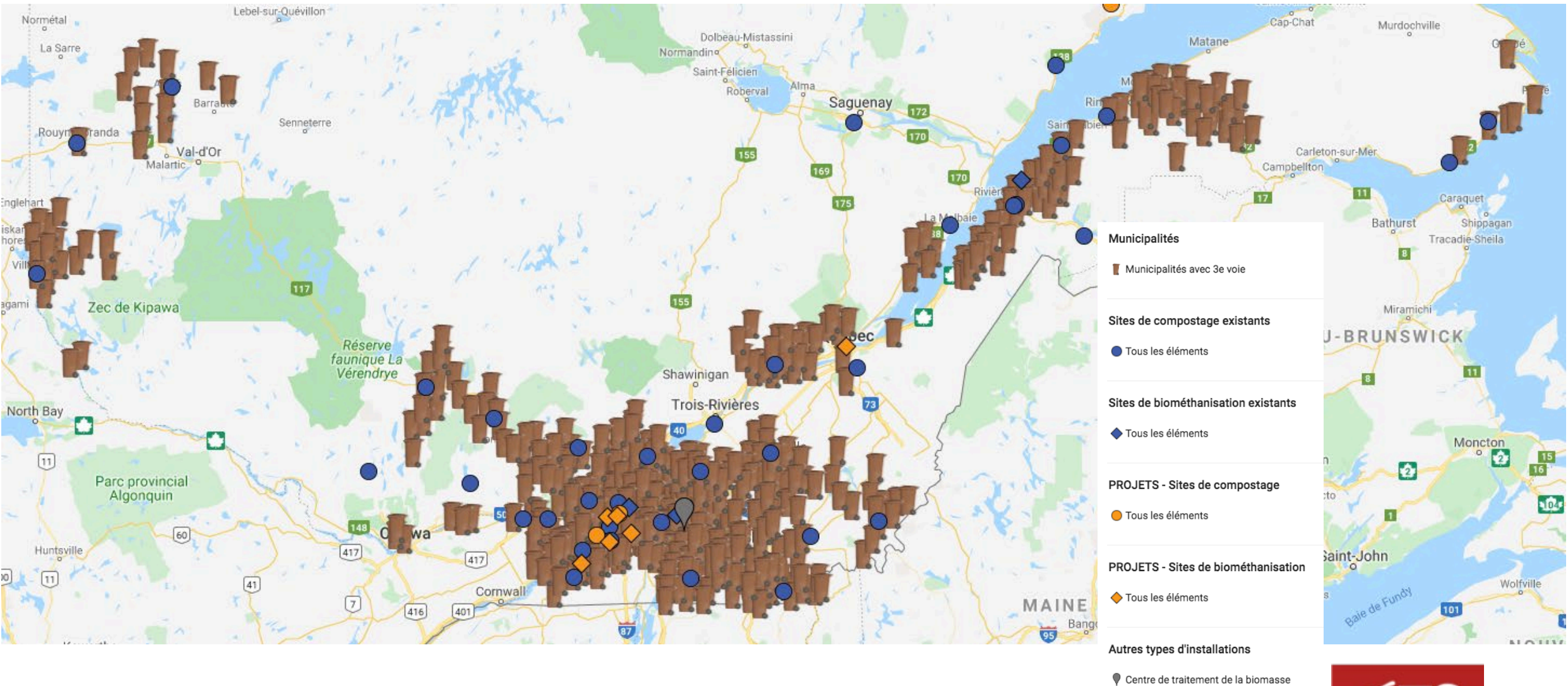
- Programme de traitement des matières organiques par biométhanisation et compostage – PTMOBC
 - Investissement totaux 650M\$
- Nombreux projets:
 - Bas-Saint-Laurent, Capitale-Nationale, Estrie, Laval, Laurentides, Montérégie, Abitibi-Témiscamingue, etc.
- Investissement Canada-Qc pour 4 projets d'infrastructure verte à Montréal
 - Création de 5200 emplois directs et indirects
 - Pour but de bannir progressivement l'enfouissement d'ici **2020**

Projet en cours et à venir

- Programme de traitement des matières organiques par biométhanisation et compostage
 - 12 projets ont été approuvés;
 - Ces projets sont propres aux réalités de leurs localités, dans le respect des dispositions des cadres normatifs;
 - Le Ministre n'a pas voulu imposer un modèle de projet pour tout le Québec.
 - Les instances municipales et privées ont été identifiées comme étant celles qui ont la capacité de rendre en considération ces réalités locales afin de faire les meilleurs choix.

<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/programmes/biomethanisation/liste-projets.htm>

Projet en cours et à venir



Projet en cours et à venir

- Ville de Sainte-Hyacinthe (station d'épuration)
 - Bio-methatech
 - 73 000 tonnes per annum (tonnes par an ou tpa) (boues)
 - 150 m³/hr de biogaz (1,3 Mm³/an)
 - Digestat valorisé en agriculture



<https://www.youtube.com/watch?v=Fv8VcbqOHOE>

Projet en cours et à venir

- Ville de Sainte-Hyacinthe (aussi résidus agroalimentaires)
 - Utilisation résidus agroalimentaires industriels
 - Intégration matière organique domestique
 - Plus 150 000 tpa (total)
 - 1500 m³/hr de biogaz (13 Mm³/an)



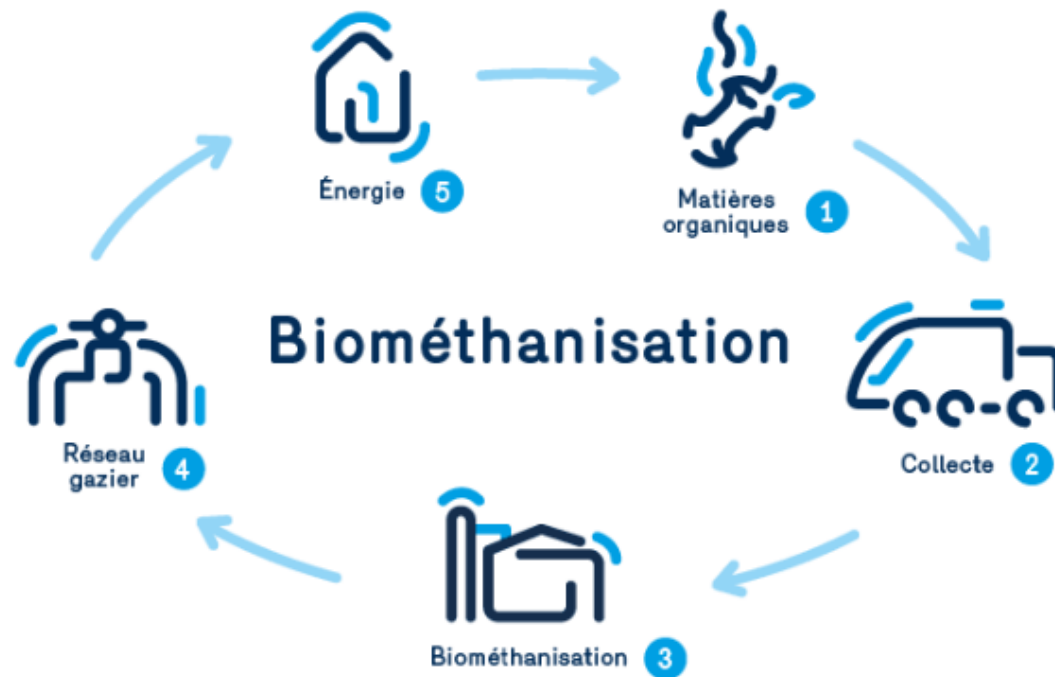
Projet en cours et à venir

- Ville de Toronto
 - Collecte municipale triée à la source
 - Installation Dufferin (60 000 tpa)
 - Nouvelle installation Disco Road (75 000 tpa)



Projet en cours et à venir

- La production de gaz naturel renouvelable (GNR)
 - Méthane issu de la décomposition de matières organiques;
 - Une nouvelle tendance, appellation ou mode chez Énergir.



À propos de la biométhanisation

1. Vous recueillez vos matières organiques
2. Elles sont collectées
3. L'usine les transforme en biométhane
4. Le biométhane obtenu est injecté dans le réseau gazier
5. L'énergie est prête à être consommée

Projet en cours et à venir

- Gaz naturel renouvelable
- Une valeur qui part de 8\$/GJ et qui peut atteindre jusqu'à plus de 50\$/GJ en fonction de l'endroit, des subventions ou de la législation et des conditions de production.

Projet en cours et à venir

- RIN aux USA
 - Un **numéro d'identification renouvelable** (ou RIN);
 - Un numéro de série attribué à un lot de biocarburant dans le but de suivre sa production, son utilisation et son commerce;
 - Conformément aux exigences de la norme relative aux carburants renouvelables de l'Environmental Protection Agency des États-Unis;
 - Mis en œuvre conformément à la directive Energy Policy Act of 2005 et Energy Independence and Security Act de 2007.

Projet en cours et à venir

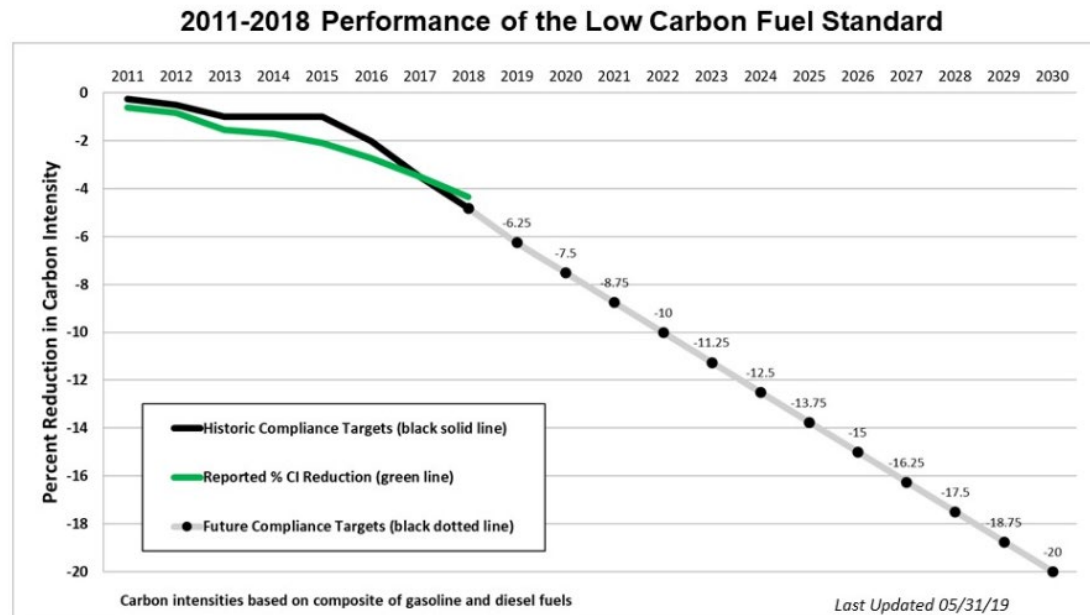
- RIN aux USA



<https://articles2.marketrealist.com/2019/03/will-refiners-rin-prices-fall-in-q1/>

Projet en cours et à venir

- Low Carbon Fuel Standard
 - Une norme sur les carburants à faible teneur en carbone (LCFS) est une règle adoptée pour **réduire l'intensité en carbone** des carburants de transport par rapport aux carburants classiques.



<https://ww3.arb.ca.gov/fuels/lcfs/dashboard/dashboard.htm>

Projet en cours et à venir

- Californie: LCFS
- Valeur selon l'intensité du carbone, credit price

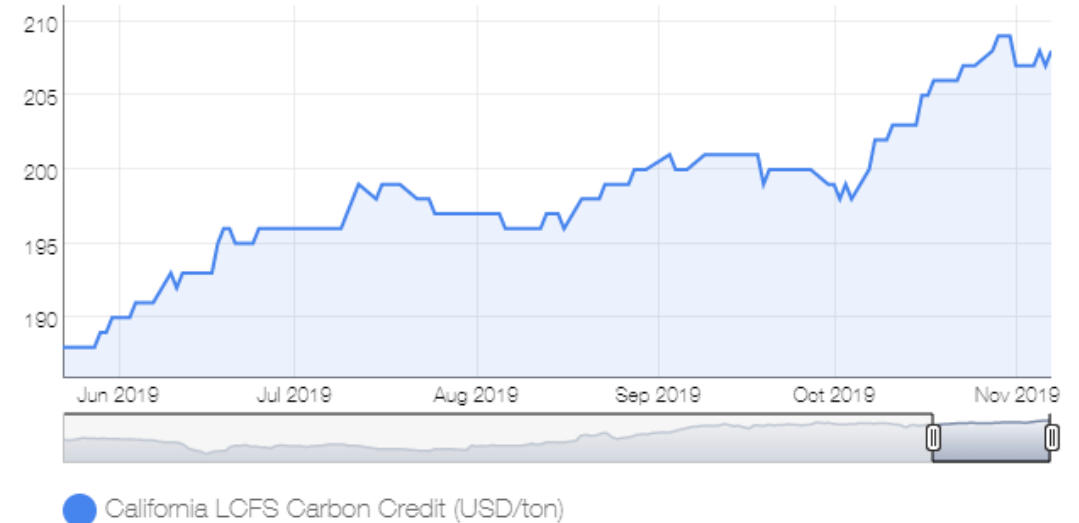
USD/ton, data updated daily.
Daily figure is based on last five (5) days rolling average.

Zoom: 5d 1m 3m 6m 1y 3y Max ← →



USD/ton, data updated daily.
Daily figure is based on last five (5) days rolling average.

Zoom: 5d 1m 3m 6m 1y 3y Max ← →



<https://www.neste.com/corporate-info/investors/market-data/lcfs-credit-price>

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Processus – Matières organiques
- Étape de traitement
- Description et paramètres
- Type de digesteur
- Projets en cours et à venir
- ***Conclusion***

Conclusion et recommandations

- Les 3RV-e sont toujours à privilégier

PRINCIPE DES 3RV-E



La méthanisation est donc en aval des trois R!

Conclusion et recommandations

- L'enfouissement est toujours à éviter



Conclusion

Avantages

- une **double valorisation** de la matière organique et de l'énergie ; c'est l'intérêt spécifique à la méthanisation, par rapport aux autres filières ;
- une **diminution de la quantité de déchets organiques** à traiter par d'autres filières ;
- une **diminution des émissions de GES** par substitution à l'usage d'énergies fossiles ou d'engrais chimiques ;

Inconvénients, points critiques

- les **déchets** entrants doivent être **disponibles** sur la durée du projet afin de créer une filière rentable et pérenne ;
- la **valorisation** énergétique possible du biogaz doit être utilisée préférentiellement sur site, en **local**, en cas de cogénération ;
- l'**injection** dans le **réseau de gaz naturel** peut être **compliquée voire impossible** ;

Source Ademe

Conclusion

Avantages

- un **traitement possible** des déchets **organiques gras** ou **très humides**, non compostables ;
- une **limitation** des émissions **d'odeurs** du fait de digesteur hermétique et de bâtiment clos équipés de traitement d'air ;

Inconvénients, points critiques

- complémentarité avec l'**incinération** et/ou avec le stockage pour les fractions de **déchets non organiques** ne pouvant pas être méthanisées ;
- complémentarité avec le compostage pour traiter les déchets ligneux mal adaptés à la méthanisation ou pour finaliser la maturation du digestat ;
- mise en place d'un traitement des excédents hydriques du procédé pour les grosses installations ;

Source Ademe

Conclusion

Avantages

- **couplage possible** avec un procédé de **gazéification** ;
- au Québec, une source considérable de biomasse résiduelle issue de la production des usines de pâtes et papiers.

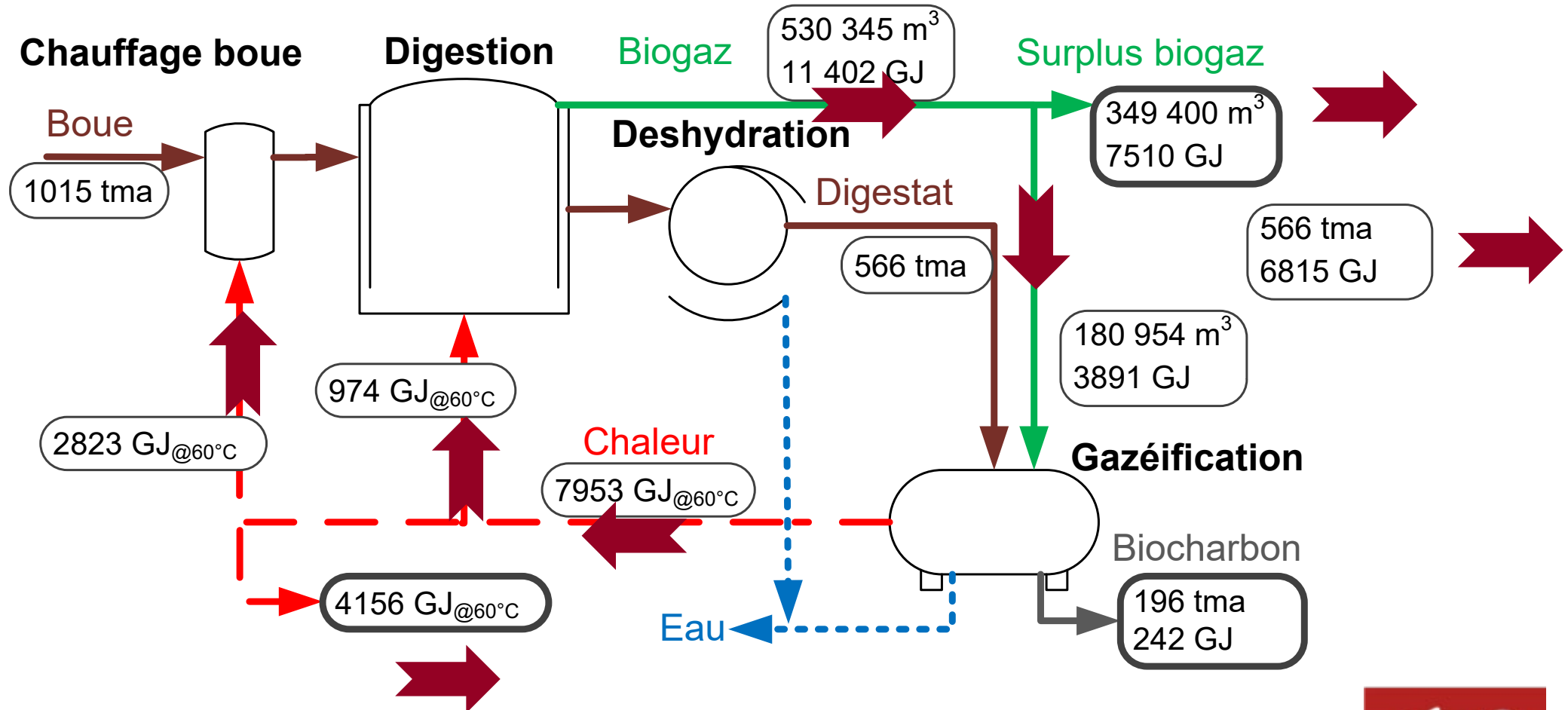
Inconvénients, points critiques

- intégration dans le montage du projet d'une recherche de débouchés conduisant à une réelle substitution énergétique et à une valorisation agronomique du digestat ;
- selon la valorisation choisie pour le biogaz, la mise en place de traitements adaptés de celui-ci (déshumidification, etc.) ;
- **disponibilité suffisante de capitaux** pour investir dans l'installation.

Source Ademe

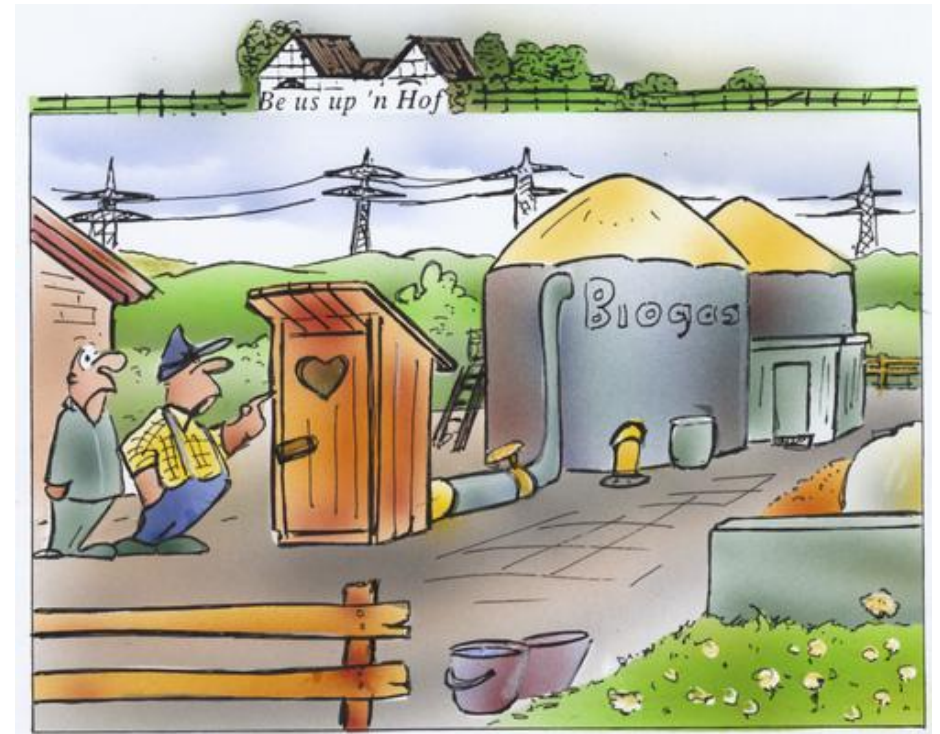
Conclusion

- Couplage théorique digestion anaérobie - gazéification



Conclusion

- Solution d'avenir, mais pas universelle
- Substitut aux combustibles fossiles et réduction des GES
- Bilan environnemental:
 - Gestion immédiate vs carbone biogénique
- Transition vers la décarbonisation du réseau gazier (hydrogène, méthanation, etc.)





Merci de votre attention !

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions

