

MODULES DE FORMATION: BIODIGESTEURS

Avec le soutien de:



Supported by



En partenariat avec:



Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag

DÉROULEMENT DE LA FORMATION

MODULE 1

SYSTÈMES DE
BIOÉNERGIE

MODULE 2

TECHNOLOGIE DE
BIODIGESTION

MODULE 3

L'ADOPTION EFFECTIVE
DES BIODIGESTEURS



SYSTÈMES DE BIOÉNERGIE

MODULE 1 de 3



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN



LES BASES DE LA
BIOÉNERGIE

Q : Qu'est-ce que la transition
énergétique et pourquoi la bioénergie
est-elle importante ?



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN



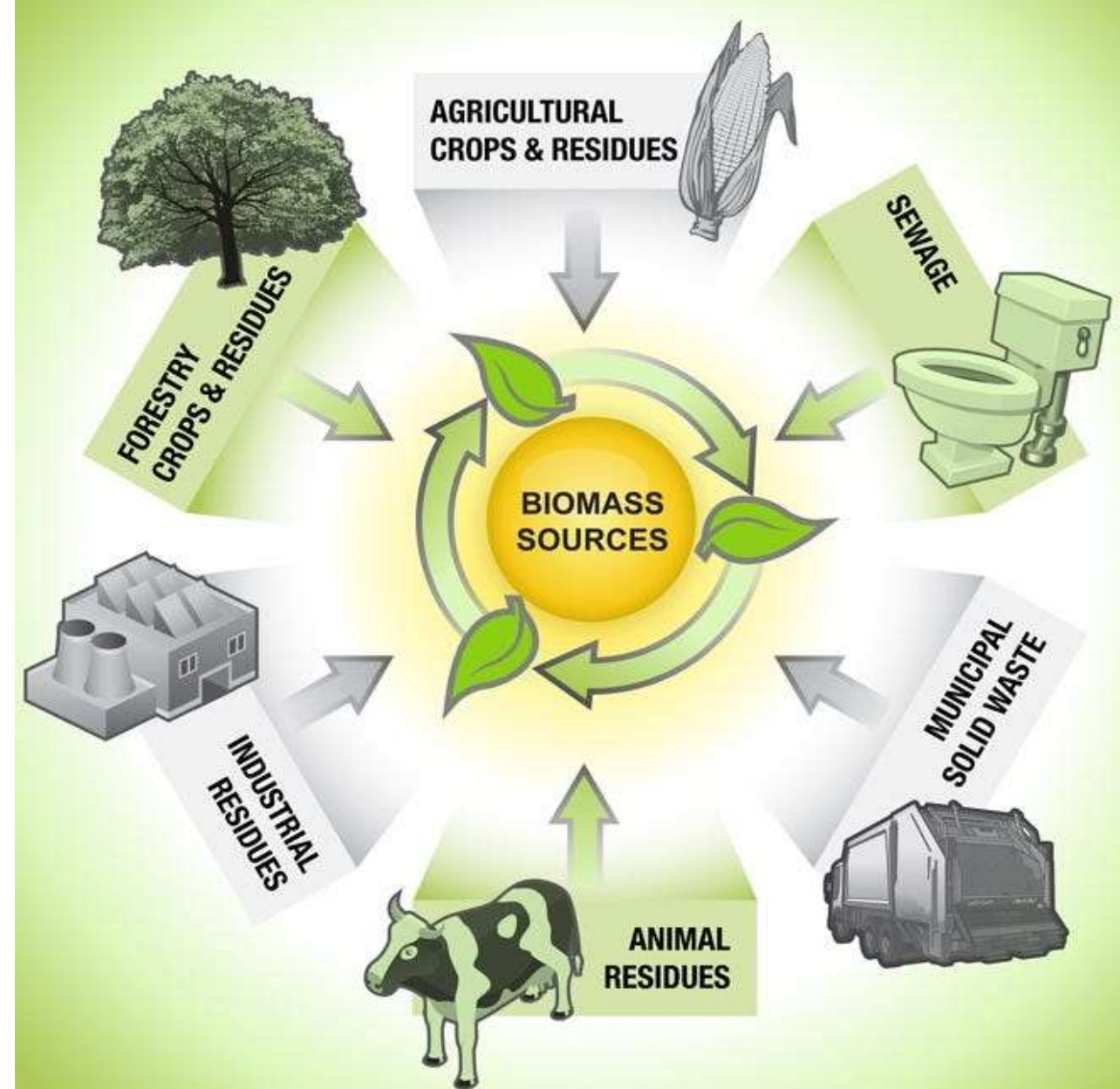
L'ÉNERGIE PROPRE EST ESSENTIELLE AU DÉVELOPPEMENT

L'énergie est un flux fondamental pour l'activité humaine, et donc l'**insécurité énergétique** - manque d'accès, d'accessibilité financière ou de disponibilité - paralyse **et aggrave les crises existantes, et rend le redressement difficile.**



QU'EST-CE QUE LA BIOÉNERGIE ?

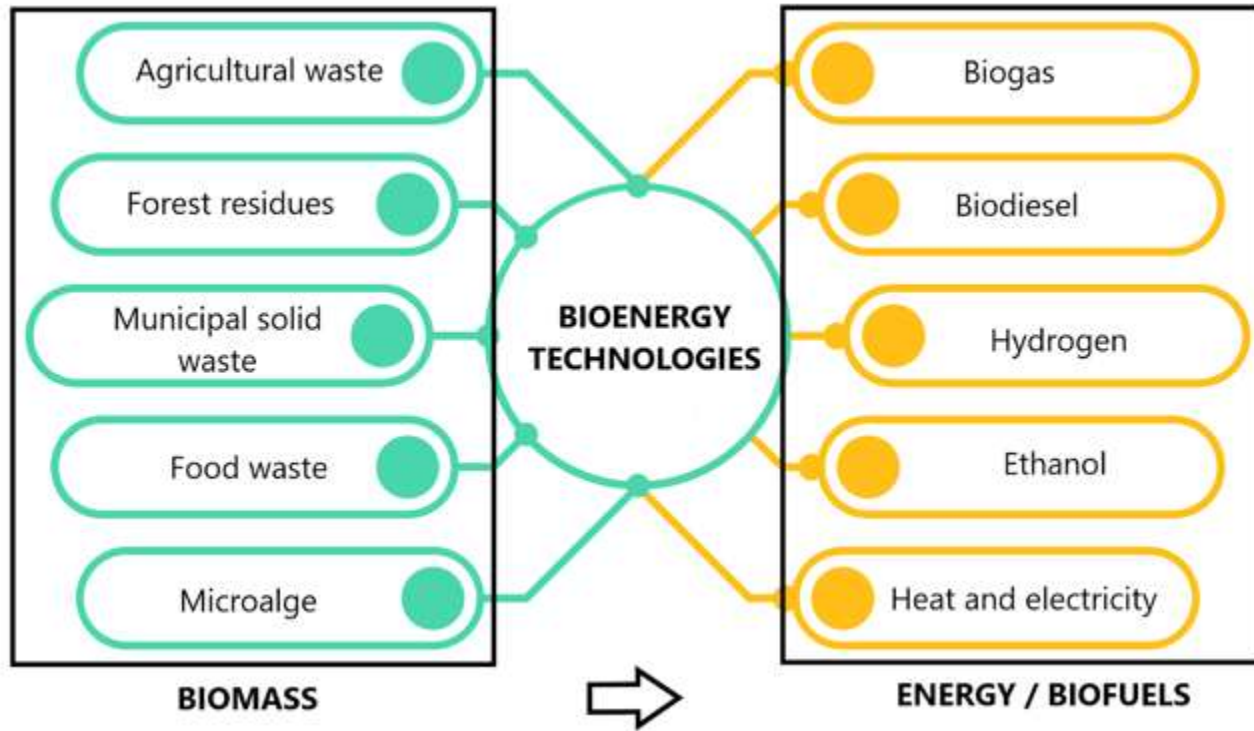
- La bioénergie est une source d'énergie provenant de la matière **organique des plantes**, appelée biomasse, qui provient de différentes sources telles que l'agriculture, les forêts et les déchets.
 - Il s'agit notamment du **bois de chauffage**, des **excréments de bétail**, etc.
- La biomasse contient du carbone absorbé par les plantes grâce à la photosynthèse et, en brûlant, libère de l'énergie (chaleur) qui peut être utilisée pour produire du travail et de l'électricité.
- La biomasse traditionnelle est utile et essentielle, MAIS elle brûle de **manière inefficace**. Son traitement et sa valorisation peuvent contribuer à créer un **combustible plus efficace et plus propre**.



Salman Zafar (2022). <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-energy-introduction/>

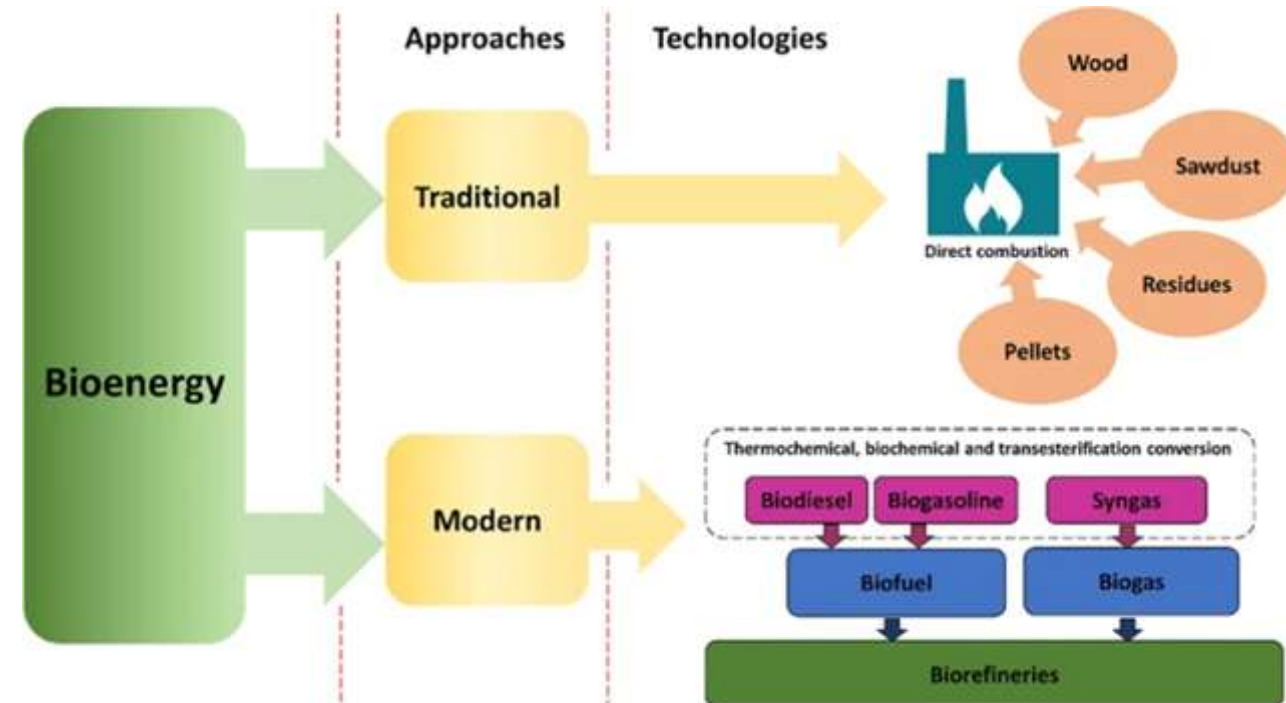
COMPOSITION DES SYSTÈMES BIOÉNERGÉTIQUES

- En raison de la quantité importante de **chaînes de carbone** dans sa composition, la biomasse peut également être transformée en **liquide** et en gaz par le biais de divers processus chimiques et biologiques.
- Ces produits finis sont connus sous le nom de **biocarburants**.
- Le terme bioénergie est utilisé pour désigner à la fois la biomasse et les biocarburants.



TRADITIONNEL VS. MODERNES SYSTÈMES BIOÉNERGÉTIQUES

- Les systèmes bioénergétiques traditionnels font référence à la **combustion** directe de la biomasse à l'aide de dispositifs **simples**. La bioénergie traditionnelle est utilisée depuis des siècles et est toujours répandue.
 - Mais cette combustion est **incontrôlée**, **inefficace** et **polluante**
- La bioénergie moderne fait référence à la biomasse utilisée avec les technologies modernes de chauffage, de production d'électricité et de carburants pour les transports.
 - Il s'agit de la transformation de la biomasse en liquides ou en gaz par le biais de technologies et de processus spéciaux.
 - La transformation permet d'améliorer le contenu énergétique et d'éliminer les impuretés ; elle est plus **efficace et plus propre**, mais peut nécessiter un équipement plus performant.





LA
BIOÉNERGIE
EN TANT
QU'ÉNERGIE
RENOUVELABLE

RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO₂

Les sources de bioénergie, c'est-à-dire les plantes/arbres, stockent le CO₂ ; pendant toute leur durée de vie, les bioénergies émettent moins que les combustibles fossiles.

ÉNERGIES RENOUVELABLES POUR UNE UTILISATION DIRECTE

L'une des rares formes d'énergie renouvelable transportable sous forme de liquides ou de gaz

REEMPLACER LES COMBUSTIBLES FOSSILES

Certains biocarburants peuvent remplacer les combustibles fossiles dans les secteurs de l'électricité, du chauffage et des transports.

RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO₂

- Les plantes et les arbres, c'est-à-dire les sources de bioénergie, jouent également le rôle de puits de carbone en éliminant de l'atmosphère le CO₂ cumulé.
- Par rapport aux formes naturelles de puits de carbone, le captage et le stockage du carbone par la bioénergie (BECCS) peut stocker le CO₂ pendant plus longtemps et de manière plus stable s'il est piégé dans des formations géologiques.



REEMPLACER LES COMBUSTIBLES FOSSILES

- La bioénergie peut répondre aux besoins des transports et de l'industrie en tant que carburant et matière première.
- Le potentiel de la bioénergie peut être davantage exploité grâce aux progrès réalisés dans les technologies des biocarburants, qui seront déployées dans le transport de marchandises lourdes, le transport maritime et l'aviation.
- *Trajectoire future : Chauffage des locaux et de l'eau à des fins industrielles et résidentielles, ainsi que la cuisine*



ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LES UTILISATIONS DIRECTES

- La bioénergie devrait prendre le relais des combustibles fossiles, en particulier dans le secteur de l'électricité, qui a besoin de sources d'énergie répartissables pour équilibrer le réseau.
- Le mélange de biocarburants et de combustibles fossiles permet d'utiliser pleinement l'infrastructure existante, tout en réduisant efficacement l'intensité des émissions de la même installation.
- Selon l'utilisation, l'amélioration des systèmes bioénergétiques tels que les fourneaux, les chaudières ou les chambres de combustion permet d'accroître leur potentiel de production et leur efficacité énergétique.



TECHNOLOGIES
DE LA
BIOÉNERGIE

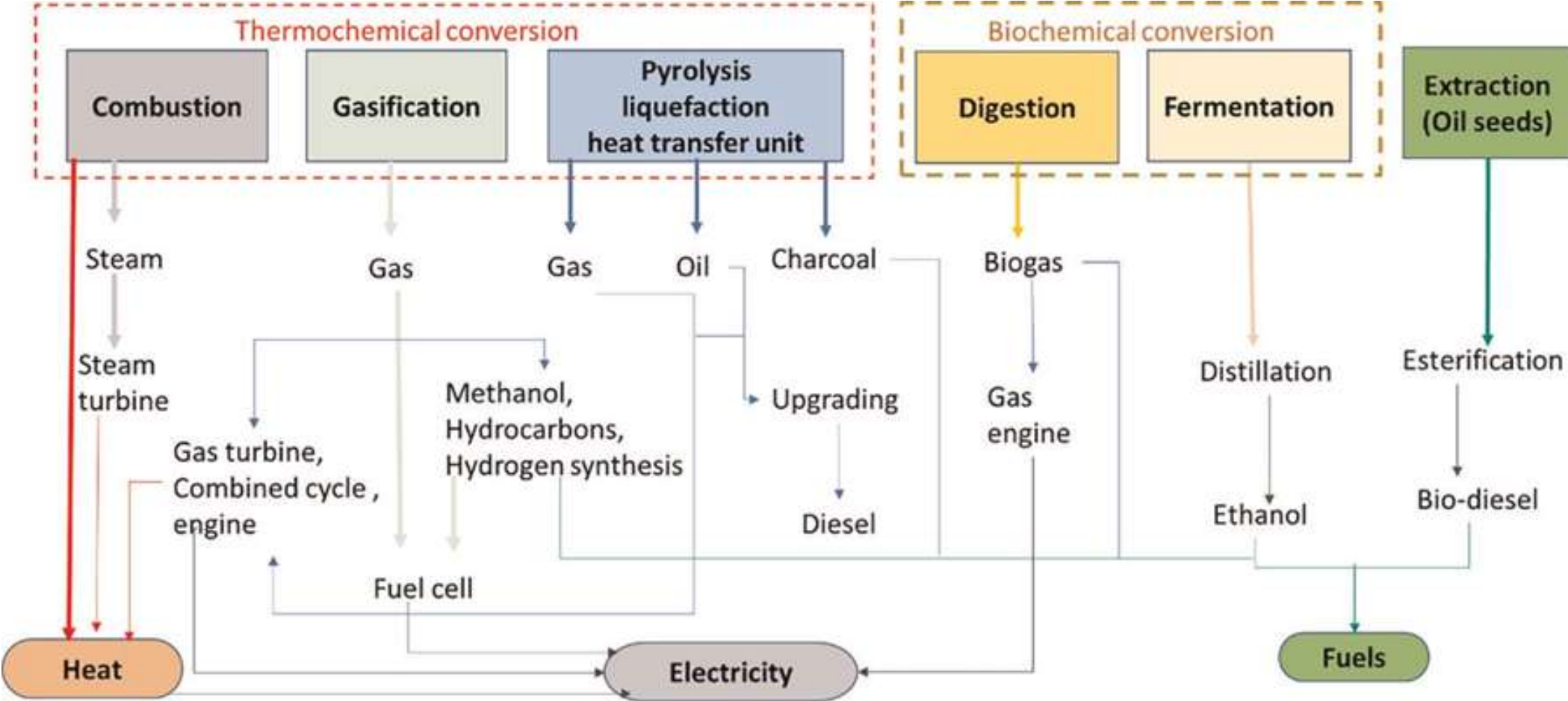
Q : Comment exploiter la bioénergie
moderne ?



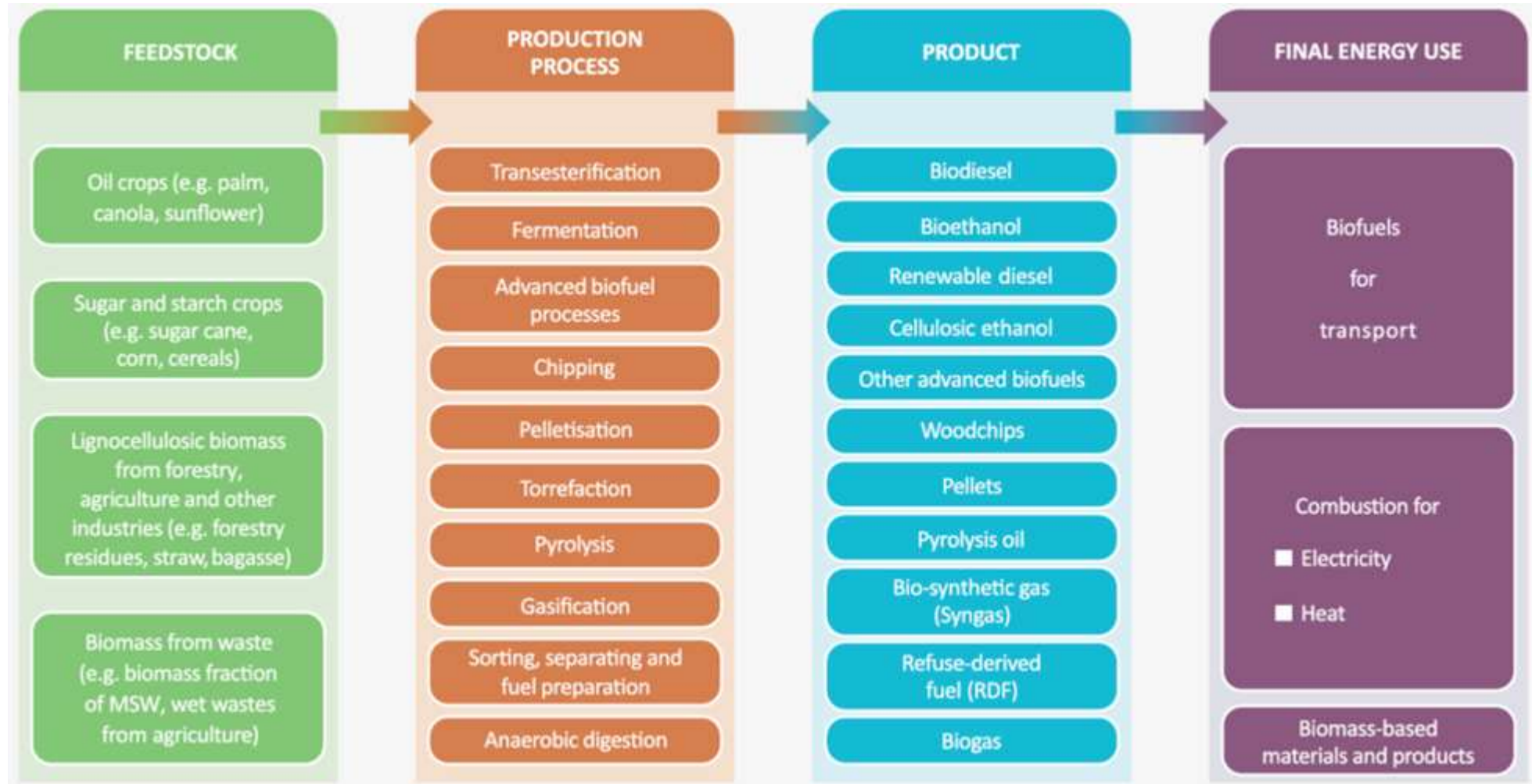
ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN



VOIES DE CONVERSION DE LA BIOMASSE EN PRODUITS FINIS



VOIES DE CONVERSION DE LA BIOMASSE EN PRODUITS FINIS



PROCESSUS DE CONVERSION THERMOCHIMIQUE

- La conversion thermochimique est un processus qui implique l'**utilisation de la chaleur et de réactions chimiques** pour convertir la biomasse ou d'autres matières organiques en formes d'énergie utiles, telles que la chaleur, l'électricité ou les biocarburants.
- Les procédés thermochimiques dépendent de la **dégradation de** la biomasse et des réactions chimiques qui s'ensuivent à des températures modérées ou élevées.
- La biomasse subit une décomposition structurelle qui se dégrade en vapeurs condensables et finit par se désintégrer en molécules gazeuses avec l'augmentation de la température typique des processus thermochimiques secs.
- Cette technologie est considérée comme rentable et se compose principalement de trois procédés thermochimiques courants pour convertir la biomasse en biocarburants et en produits chimiques.
- Ces procédés sont la pyrolyse, la liquéfaction et la gazéification.



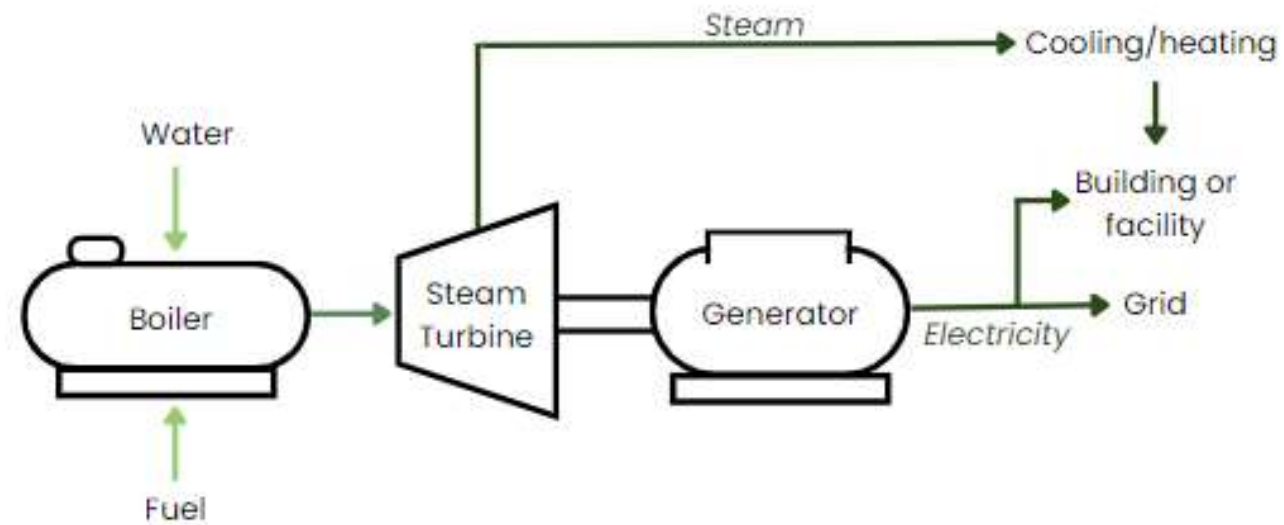
COMBUSTION

GASIFICATION

PYROLYSE

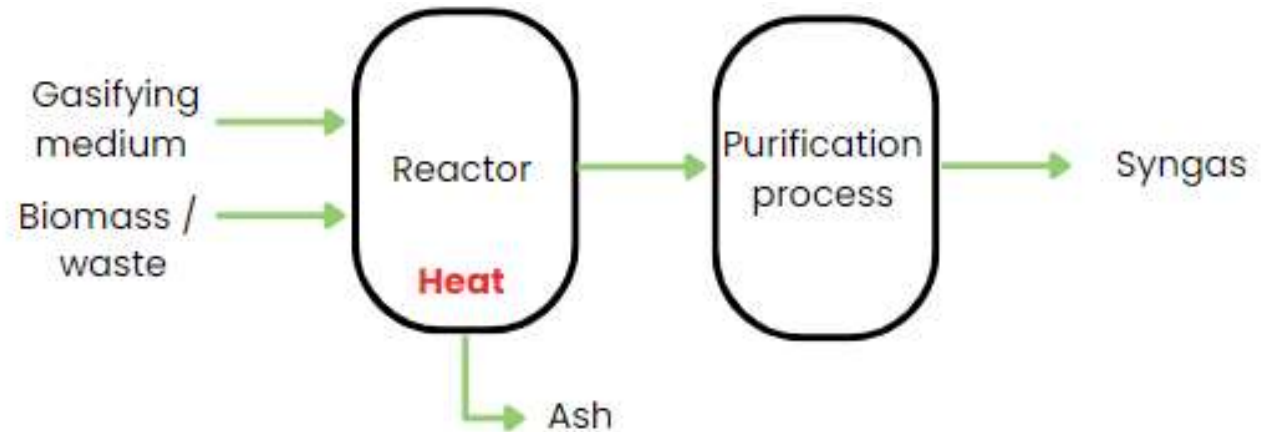
COMBUSTION CONTRÔLÉE

- La combustion est le processus de conversion thermochimique le plus **courant** et le plus simple.
- Elle implique la **combustion** directe de biomasse en présence d'oxygène pour produire de la chaleur.
- La chaleur produite peut être utilisée pour le **chauffage des locaux, les processus industriels** ou convertie en électricité grâce à des turbines à vapeur.
- La combustion libère du CO_2 dans l'atmosphère, mais comme le dioxyde de carbone est absorbé par les plantes au cours de la photosynthèse, on considère qu'il s'agit d'un processus neutre en carbone.
- Ce processus peut faire partie d'un système de cogénération, qui permet une production distribuée d'énergie électrique ou mécanique à partir du traitement de différents types de biomasse.



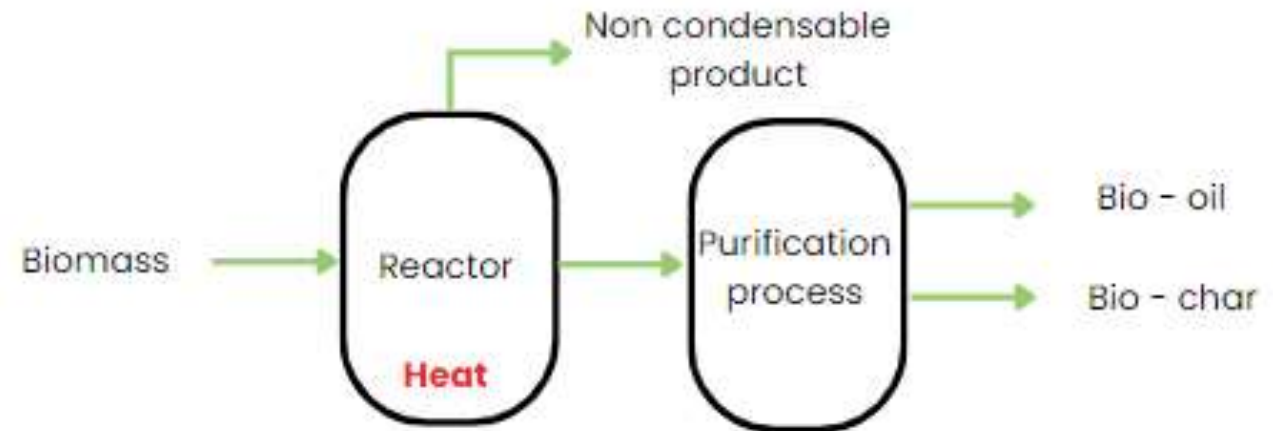
GASIFICATION

- La gazéification est un processus thermo-chimique qui convertit la biomasse ou d'autres matières carbonées en un gaz combustible appelé **gaz de production ou gaz de synthèse (syngaz)**, qui peut être utilisé à différentes fins.
- La charge d'alimentation typique pour la gazéification est la biomasse cellulosique telle que les copeaux de bois, les granulés ou la poudre de bois, ou les sous-produits agricoles tels que la paille ou les cosses.
- La gazéification de la matière première a lieu à une **température comprise entre 700 et 1600°C** en présence d'un milieu de gazéification, et la matière première est exposée à une quantité limitée d'oxygène ou de vapeur, ce qui permet une oxydation partielle de la biomasse. Le processus réarrange la structure moléculaire de la matière première et transforme l'énergie en bandes chimiques dans le gaz de synthèse.



PYROLYSE

- La pyrolyse est un processus qui décompose la biomasse en l'absence d'oxygène à des températures élevées.
- La matière première est chauffée dans un environnement contrôlé, ce qui entraîne la décomposition de molécules organiques complexes en composés plus simples tels que la biohuile, le gaz de synthèse et le biochar.
- Malgré les valeurs calorifiques relativement plus élevées des produits dérivés de la pyrolyse par rapport à ceux dérivés de la gazéification, le volume des gaz produits est généralement beaucoup plus faible en raison de l'absence de vecteur d'oxygène, et les proportions de ces produits dépendent des conditions de pyrolyse.



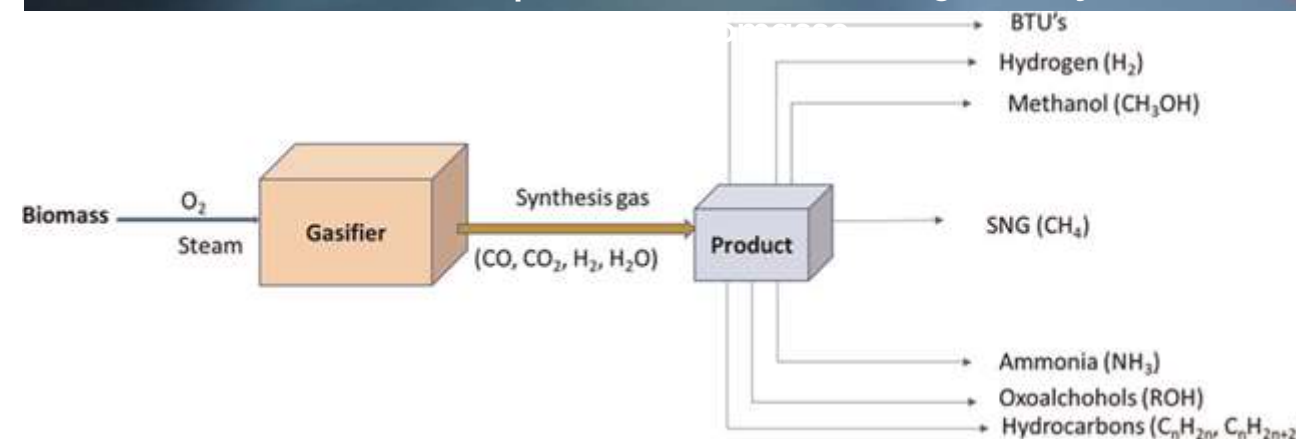
PROCESSUS DE CONVERSION BIOCHEMIQUE

- La conversion biochimique est un processus qui implique l'**utilisation d'agents biologiques, tels que des micro-organismes, des bactéries ou des enzymes**, pour convertir la biomasse en produits à valeur ajoutée ou en énergie.
- Elle exploite les réactions biochimiques naturelles et les voies métaboliques des organismes vivants pour transformer les matières premières en produits finis souhaités.
- La conversion biochimique est largement utilisée dans diverses industries, notamment la production de biocarburants, les bioraffineries, les produits pharmaceutiques et la biotechnologie.
- La conversion biochimique est l'une des rares méthodes d'extraction d'énergie à partir de la biomasse qui soit respectueuse de l'environnement.

DIGESTION

FERMENTATION

Vue d'ensemble de la séquence de dérivation du gaz de synthèse à



PROCESSUS DE CONVERSION BIOCHEMIQUE

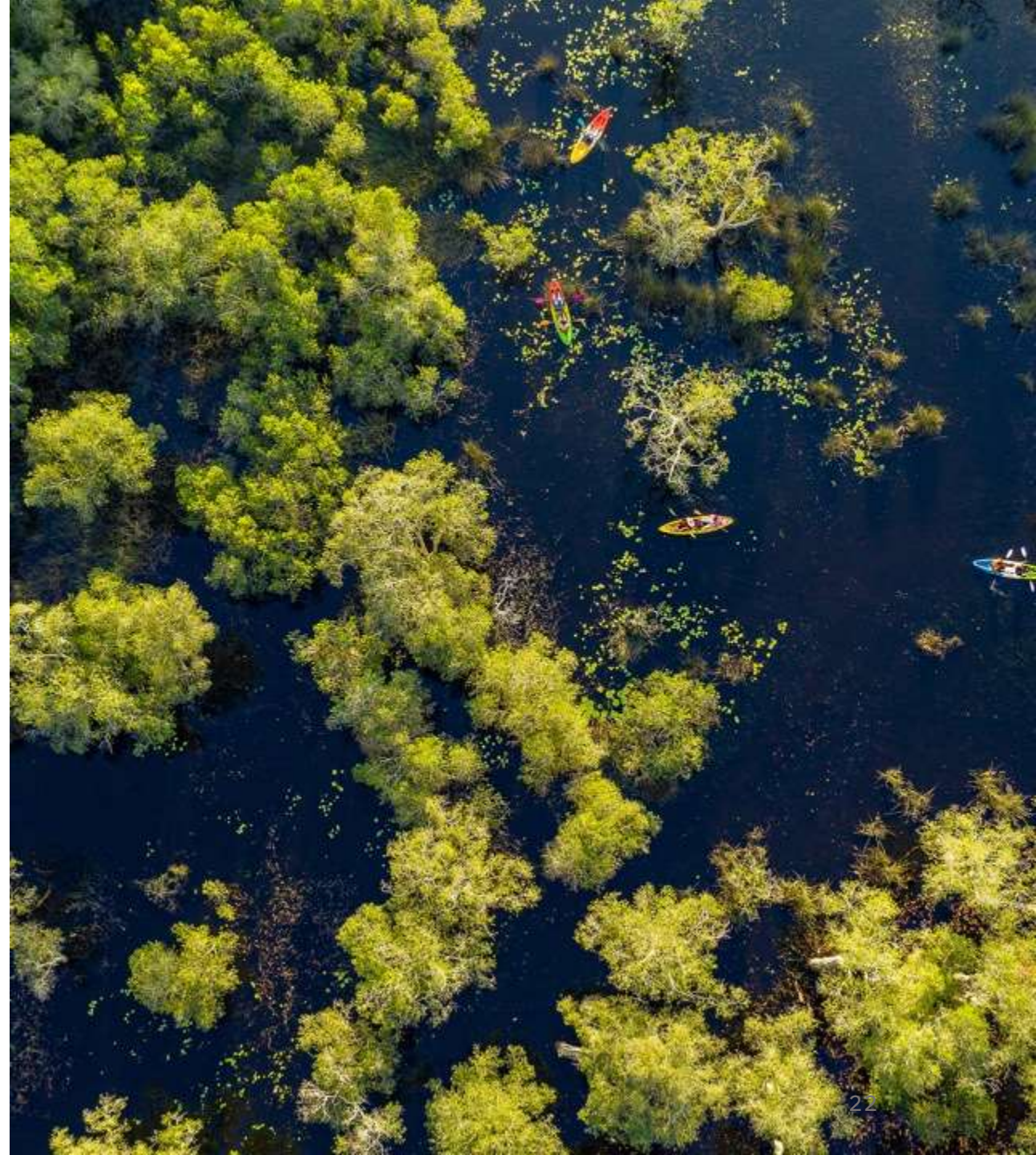
- Les systèmes bioénergétiques utilisent deux processus distincts pour la production d'énergie renouvelable à partir de déchets organiques.
- **Digestion aérobie** : Dans la digestion aérobie, les déchets organiques sont décomposés par des micro-organismes en présence d'**oxygène**.
- **Digestion anaérobie** : La digestion anaérobie implique la décomposition des déchets organiques en l'**absence d'oxygène**.

ANAEROBIC

AEROBIC

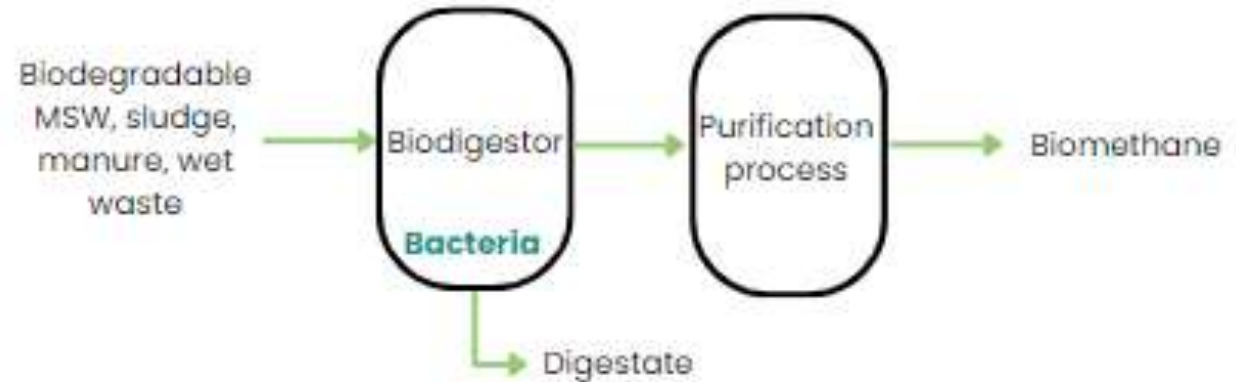
DIGESTION AÉROBIE

- Dans la digestion aérobie, les déchets organiques sont décomposés par des micro-organismes en **présence d'oxygène**. Le processus se déroule généralement dans un environnement contrôlé, tel qu'un digesteur aérobie ou un système de compostage.
- Les micro-organismes métabolisent la matière organique, la convertissant en CO_2 , en eau et en chaleur. La chaleur peut être utilisée à diverses fins.
- Le produit final de la digestion aérobie est généralement une matière riche en nutriments appelée **compost**, qui peut être utilisée en agriculture pour améliorer la fertilité et la structure du sol.
- La digestion aérobie est bien adaptée aux déchets organiques à forte teneur en humidité, tels que les **déchets alimentaires et les boues d'épuration**. C'est un processus **plus rapide que** la digestion anaérobie.



DIGESTION ANAÉROBIE

- La digestion anaérobie implique la décomposition des déchets organiques en l'**absence d'oxygène**. Ce processus se produit naturellement dans des environnements tels que les décharges, les marais et le système digestif des animaux. Toutefois, il peut également être facilité dans des digesteurs anaérobies contrôlés.
- Au cours de la digestion anaérobie, des micro-organismes décomposent la matière organique, produisant du biogaz comme sous-produit.
- Le méthane est le principal composant et peut être utilisé comme **combustible** pour le chauffage, la production d'électricité ou dans les véhicules. Le digestat restant peut être utilisé comme **engrais**.
- La digestion anaérobie est particulièrement efficace pour les déchets organiques à haute résistance, notamment les résidus agricoles, le fumier et les cultures énergétiques.
- La digestion anaérobie contribue également à la gestion des déchets en **réduisant le volume des déchets organiques** et en minimisant les émissions de méthane, ce dernier étant un puissant gaz à effet de serre.



3 ÉTAPES DE LA CONVERSION BIOCHIMIQUE

- La conversion biochimique comporte généralement trois étapes principales :
 - **Prétraitement** : Les méthodes varient en fonction des types de matières premières utilisées, mais à ce stade, l'objectif général est de décomposer les molécules complexes, d'éliminer les impuretés et d'améliorer l'accessibilité aux composés souhaités.
 - **Hydrolyse enzymatique** ou **fermentation** : Des micro-organismes sont utilisés pour décomposer des molécules organiques complexes en composés plus simples. Les composés obtenus peuvent être utilisés à diverses fins, notamment pour la production de biocarburants ou la synthèse d'autres produits biochimiques.
 - **Traitement en aval** : Après l'hydrolyse enzymatique ou la fermentation, les produits obtenus doivent être purifiés ou raffinés. Cette étape implique la séparation, la purification et la concentration des composés souhaités à partir du bouillon de fermentation ou de l'hydrolysât enzymatique.





ÉTUDES DE CAS

Quelques cas d'initiatives en matière de biogaz dans le monde

LE PROGRAMME NATIONAL DE BIOGIESTER DU CAMBODGE

- Lancé par le ministère national de l'agriculture, des forêts et de la pêche en coopération avec l'Organisation néerlandaise de développement.
- Les principaux objectifs du programme sont de réduire l'utilisation du bois de chauffage et du charbon pour la cuisine et l'éclairage, de réduire la déforestation et la pollution de l'air et ses effets sur la santé.
- Entre 2006 et 2021, près de 29 000 biodigesteurs ont été construits.
- Le programme utilise les déchets animaux pour produire du biogaz destiné à la cuisson et à l'éclairage des agriculteurs de 15 provinces (représentant près de 145 000 personnes), qui en sont les principaux bénéficiaires.
- Le programme comprenait des subventions partielles pour la phase de construction, ainsi que pour une partie de l'équipement (une marmite, des briques et une lampe à gaz). L'accès aux prêts des partenaires de microfinance pour la construction de systèmes de biodigesteurs a été facilité.



Biogaz pour une cuisine propre grâce au programme national cambodgien de biodigesteurs
<http://nbp.org.kh/>

GÉNÉRATEUR À LA FERME ALIMENTÉ PAR LE MÉTHANE DU FUMIER

DANNY KLUTHE FARMS, NEBRASKA, USA

- Développé grâce à un partenariat entre le Nebraska Public Power District, des subventions du ministère américain de l'agriculture (USDA) et le Nebraska Environmental Trust, l'Olean Energy de Danny Kluthe Farm est considéré comme le premier générateur agricole alimenté par le méthane du fumier.
- Il s'agit d'un digesteur à mélange complet qui produit du méthane en remuant et en chauffant les déchets. Il est alimenté par du fumier provenant de l'exploitation agricole dans une cuve en béton enterrée dotée d'une couverture souple isolée.
- Une fois que le biogaz sort du biodigesteur, il passe par différents filtres pour en retirer l'humidité et les impuretés. Il est ensuite utilisé pour alimenter le moteur qui fait tourner un générateur 24 heures sur 24, sept jours sur sept.
- Le biogaz est également injecté dans un réservoir de gaz naturel comprimé pour faire fonctionner un pick-up fonctionnant à 80 % au méthane et à 20 % au diesel, ainsi que le tracteur de l'agriculteur.
- La ferme a une capacité de 80 kW et produit 35 000 pieds³ par jour de biogaz.



Source : <https://www.nationalhogfarmer.com/environmental-stewardship-winners-2013/manure-digester-means-nebraska-farm-powered-pigs>

PROGRAMME NATIONAL DE BIOGAZ DU SÉNÉGAL

- Le programme national sénégalais sur le biogaz est géré par des représentants du ministère de l'environnement, du ministère de l'énergie et du comité national sur le changement climatique.
- Le programme a connu deux phases de développement : la première a permis d'installer 8 000 biodigesteurs domestiques et la seconde vise à installer au moins 27 500 biodigesteurs d'ici à 2030. Avec le soutien de la communauté internationale, l'objectif devrait être porté à 52 000 unités.
- Le programme contribue à la diversification du bouquet énergétique et à l'atténuation du changement climatique, tout en créant des emplois locaux grâce au développement de près de 25 petites entreprises de biogaz et de plus de 500 emplois qualifiés.
- Les principaux bénéficiaires de ce programme sont les ménages ruraux du Sénégal, qui disposent ainsi d'une alternative propre et renouvelable au bois de chauffage et au charbon de bois traditionnels pour la cuisine.



LE CONTEXTE DU
BÉNIN

Q : Que se passe-t-il au Bénin en
matière de bioénergie ?

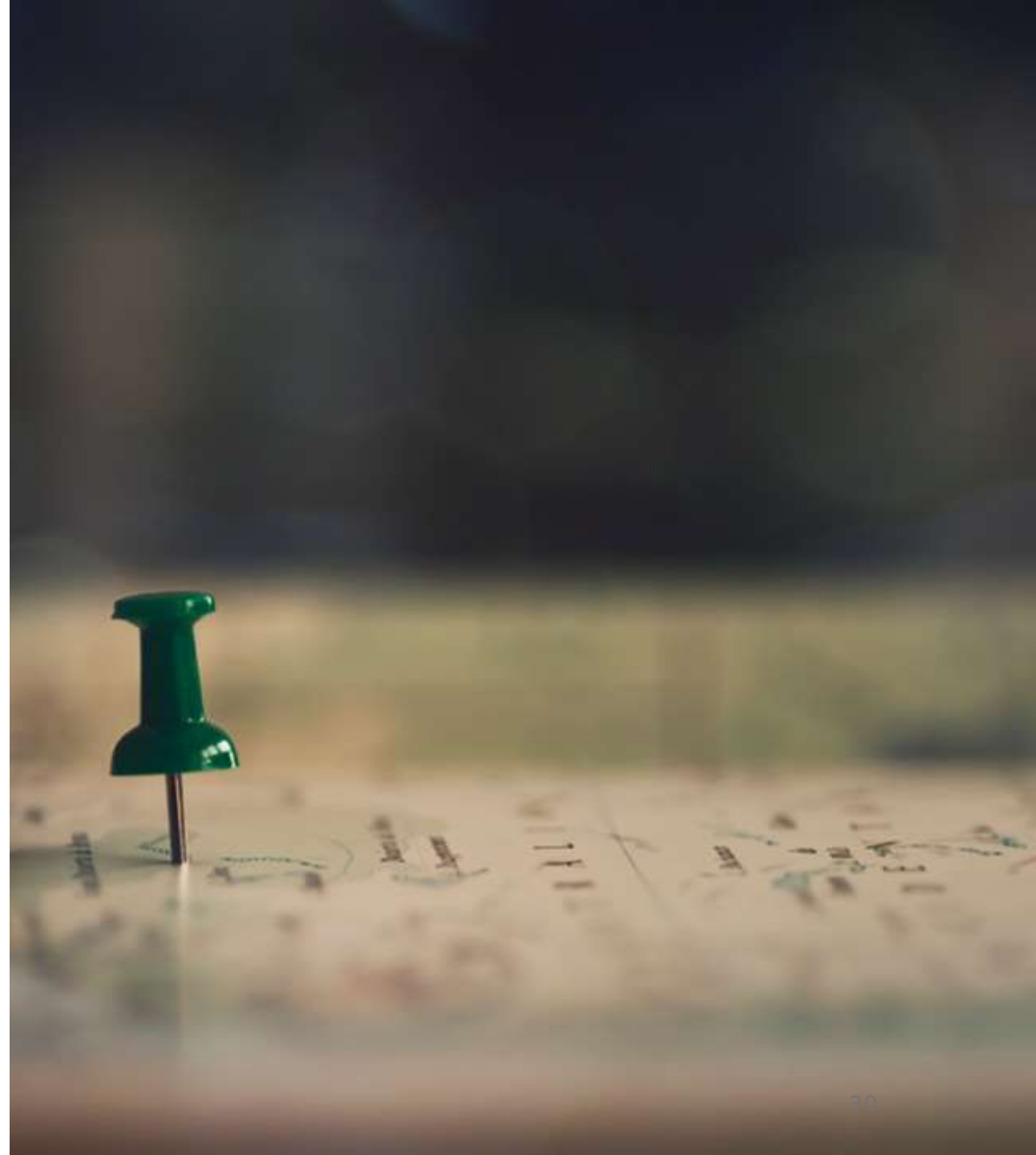


ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN



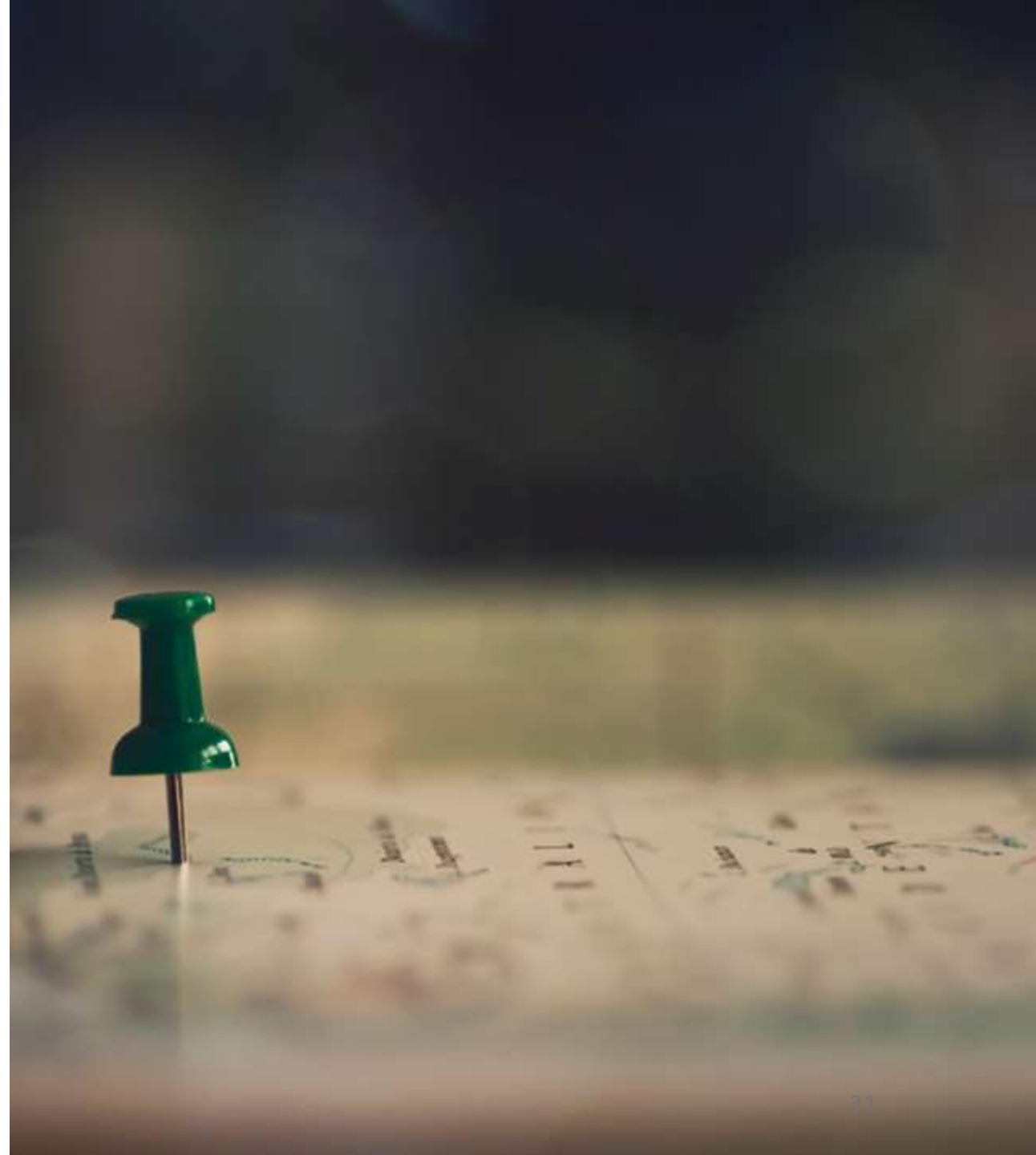
POLITIQUES, CADRES D'HABILITATION ET INSTITUTIONS

- **Alliance pour le Biodigesteur en Afrique de l'Ouest et du Centre (AB-AOC)** : Cette alliance vise à contribuer à la réduction de la dégradation des sols et à la perte accélérée des forêts dans plusieurs pays africains, en améliorant la sécurité alimentaire et énergétique par la promotion des technologies de biodigestion.
- Cette initiative implique huit pays d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique centrale et son siège se trouve au Burkina Faso. Par la promotion, le développement et la mise en œuvre de biodigesteurs, cette alliance cherche à améliorer les conditions de vie et la résilience des populations rurales et périurbaines, en mettant en œuvre des biodigesteurs à l'échelle domestique, semi-industrielle ou industrielle, en fonction des besoins identifiés dans les pays membres.



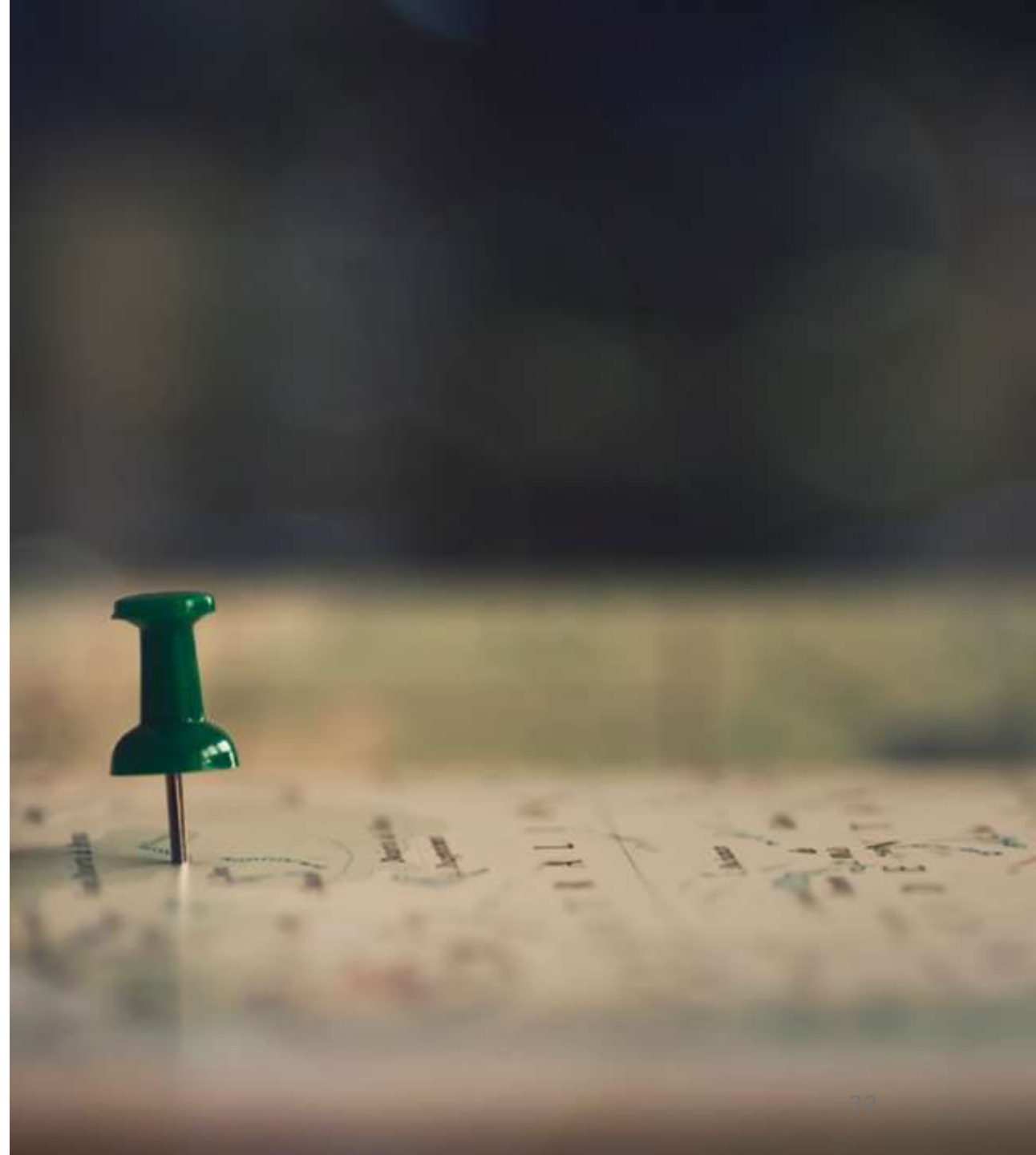
POLITIQUES, CADRES FAVORABLES ET INSTITUTIONS (SUITE)

- **Politique Nationale de développement des énergies renouvelables** : Cette politique vise à définir une approche systémique du cadre de gestion des énergies renouvelables, afin de garantir l'exploitation durable des ressources naturelles disponibles.
- La politique nationale de développement des énergies renouvelables reconnaît la production de biogaz à partir de biomasse humide par digestion anaérobie comme l'un des moyens potentiels de conversion de la biomasse en énergie, en mettant en place plusieurs activités pour aider à identifier les systèmes de production de biogaz à haut rendement.



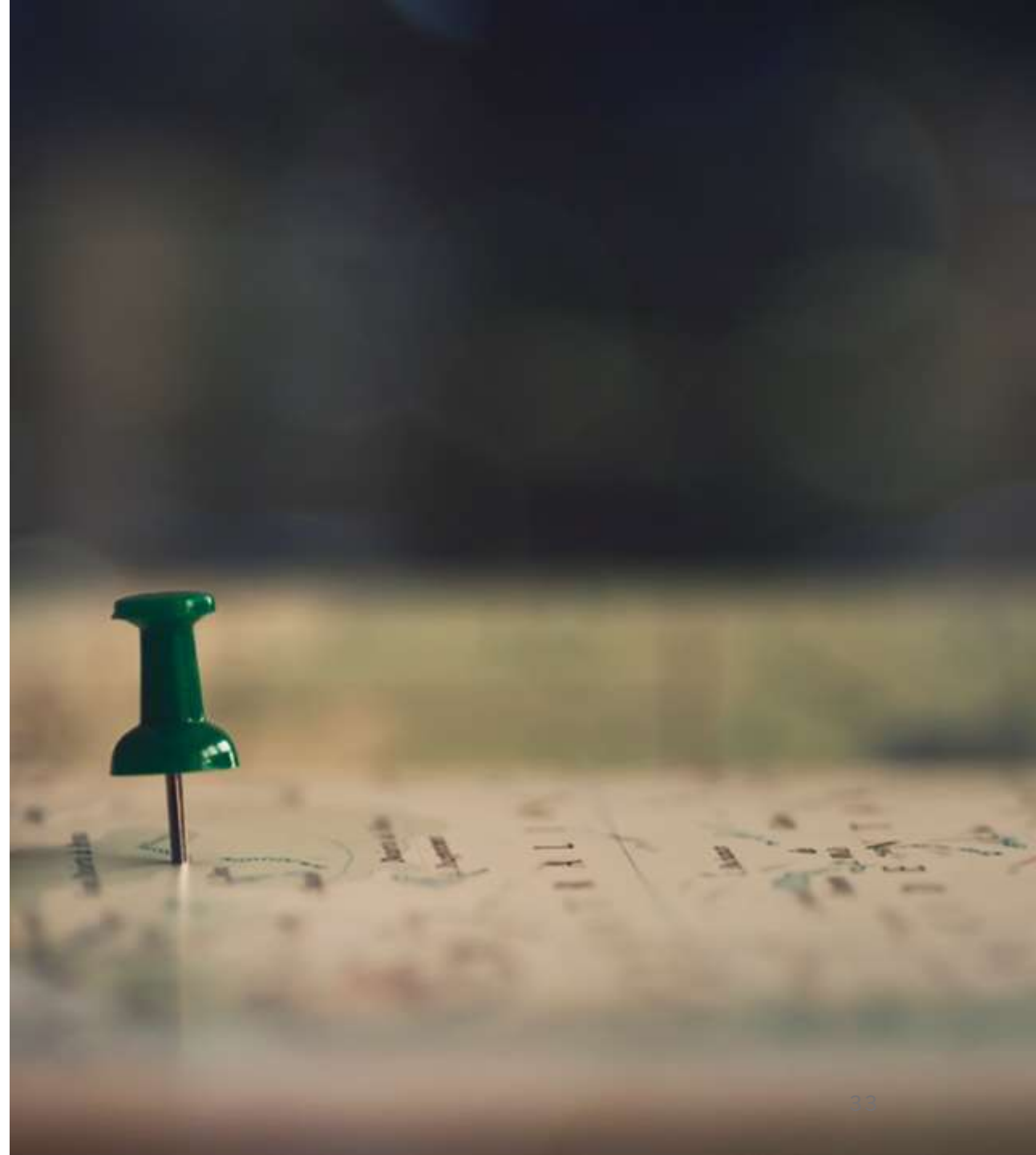
POLITIQUES, CADRES FAVORABLES ET INSTITUTIONS (SUITE)

- **Agence Béninoise d'Electrification Rurale et de Maîtrise de l'Énergie (ABERME)** : Travaille aux côtés du ministère béninois de l'énergie pour mettre en œuvre la politique de l'État dans le domaine de l'électrification rurale et de la maîtrise de l'énergie. Elle contribue aux différentes stratégies nationales et régionales de transition énergétique du pays.

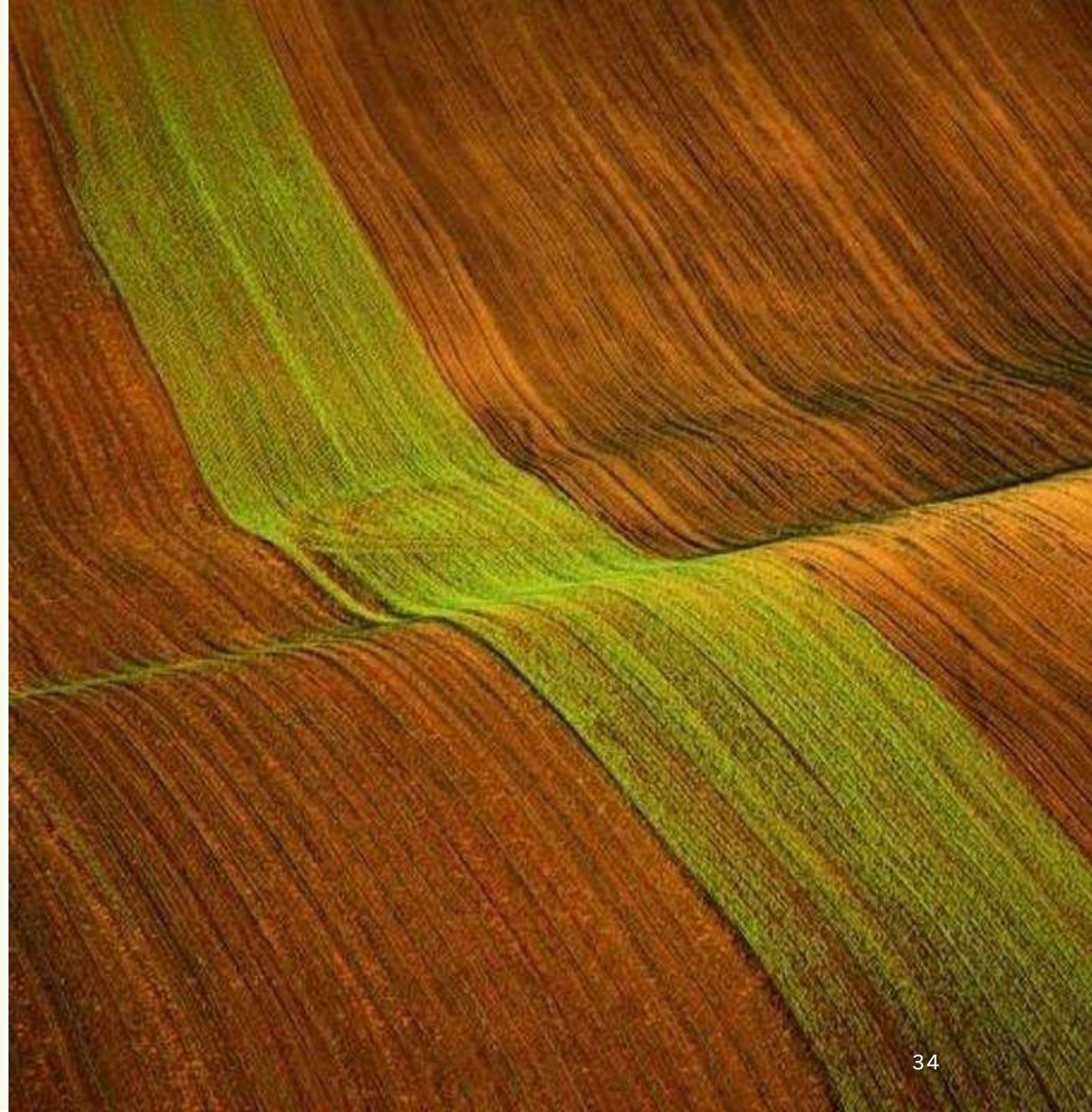


POLITIQUES, CADRES FAVORABLES ET INSTITUTIONS (SUITE)

- **Plan d'Action National de la Bioénergie** : Cette politique de bioénergie fait partie de la CEDEAO et cherche à créer un environnement favorable en comblant les lacunes institutionnelles, juridiques, financières, sociales, environnementales et de capacité, afin de promouvoir un secteur bioénergétique moderne, durable et dynamique dans cette région. Cette politique vise à atteindre un objectif de 40 % d'adoption de combustibles alternatifs, y compris les technologies de transformation de la biomasse, pour la cuisson des aliments d'ici à 2030.



FIN DU MODULE 1



BIODIGESTION TECHNOLOGIE

MODULE 2 de 3



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN



LES BASES DES BIODIGESTEURS

Q : Qu'est-ce que la biodigestion et comment fonctionne-t-elle ?



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN





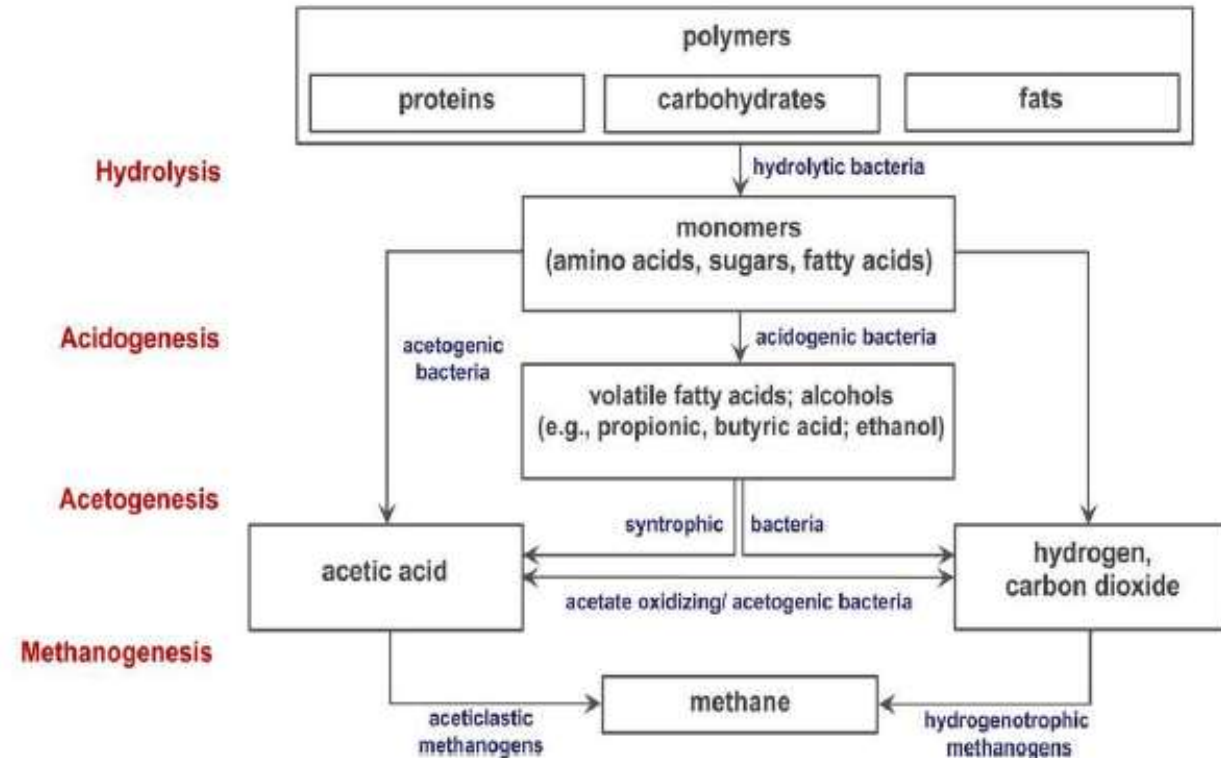
QU'EST-CE QUE LA
BIODIGESTION ?

PROCESSUS BIOLOGIQUE

Transformation des déchets organiques en produits de valeur tels que le biogaz et le lisier dans un environnement anaérobie (ce qui la différencie des autres transformations).

ÉTAPES DE LA BIODIGESTION

- La biodigestion consiste à décomposer et à transformer les grosses particules (polymères) en méthane.
- Ce processus se déroule en plusieurs étapes, au cours desquelles diverses bactéries interviennent



ÉTAPES DE LA BIODIGESTION

ÉTAPE 1 : HYDROLYSE ET FERMENTATION

- Les déchets animaux et agricoles sont constitués de composés complexes
- Les molécules organiques **complexes** sont décomposées en produits finis **simples** (notamment les sucres, les acides aminés, le glycérol et les glucides complexes).
- La conversion est rendue possible par l'implication de deux types de bactéries, à savoir les **bactéries hydrolytiques** et les **bactéries fermentaires**, ainsi que par les enzymes qui catalysent les réactions biologiques.
- Ces réactions doivent avoir lieu en l'absence d'**oxygène**.



ÉTAPES DE LA BIODIGESTION

ÉTAPE 2 : ACIDOGENÈSE ET ACÉTOGENÈSE

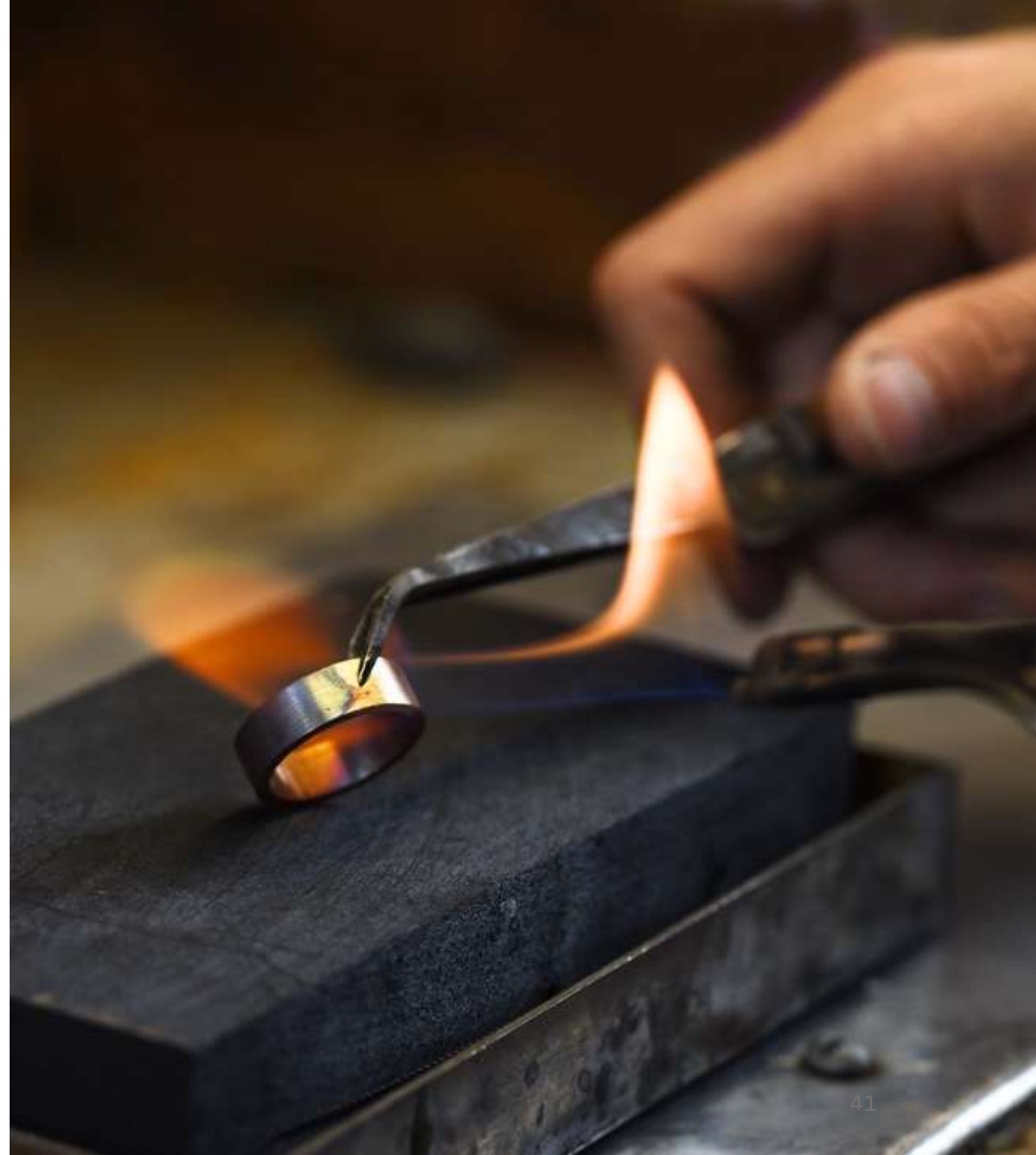
- Les produits simples sont ensuite transformés en acides acétique et propionique, en éthanol, en dioxyde de carbone et en hydrogène.
- Les bactéries impliquées dans cette étape sont des bactéries acidogènes.



ÉTAPES DE LA BIODIGESTION

ÉTAPE 3 : MÉTHANOGENÈSE

- Les bactéries méthanogènes transforment les produits de l'étape précédente en biogaz, en réduisant tous les composés en **méthane** et en **dioxyde de carbone**.



PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT



TEMPERATURE

MATIÈRE ORGANIQUE ET
TAUX DE CHARGE

DÉLAI DE RÉTENTION

RAPPORT CARBONE-AZOTE

NIVEAU PH

HUMIDITÉ ET COMPOSITION

AIR

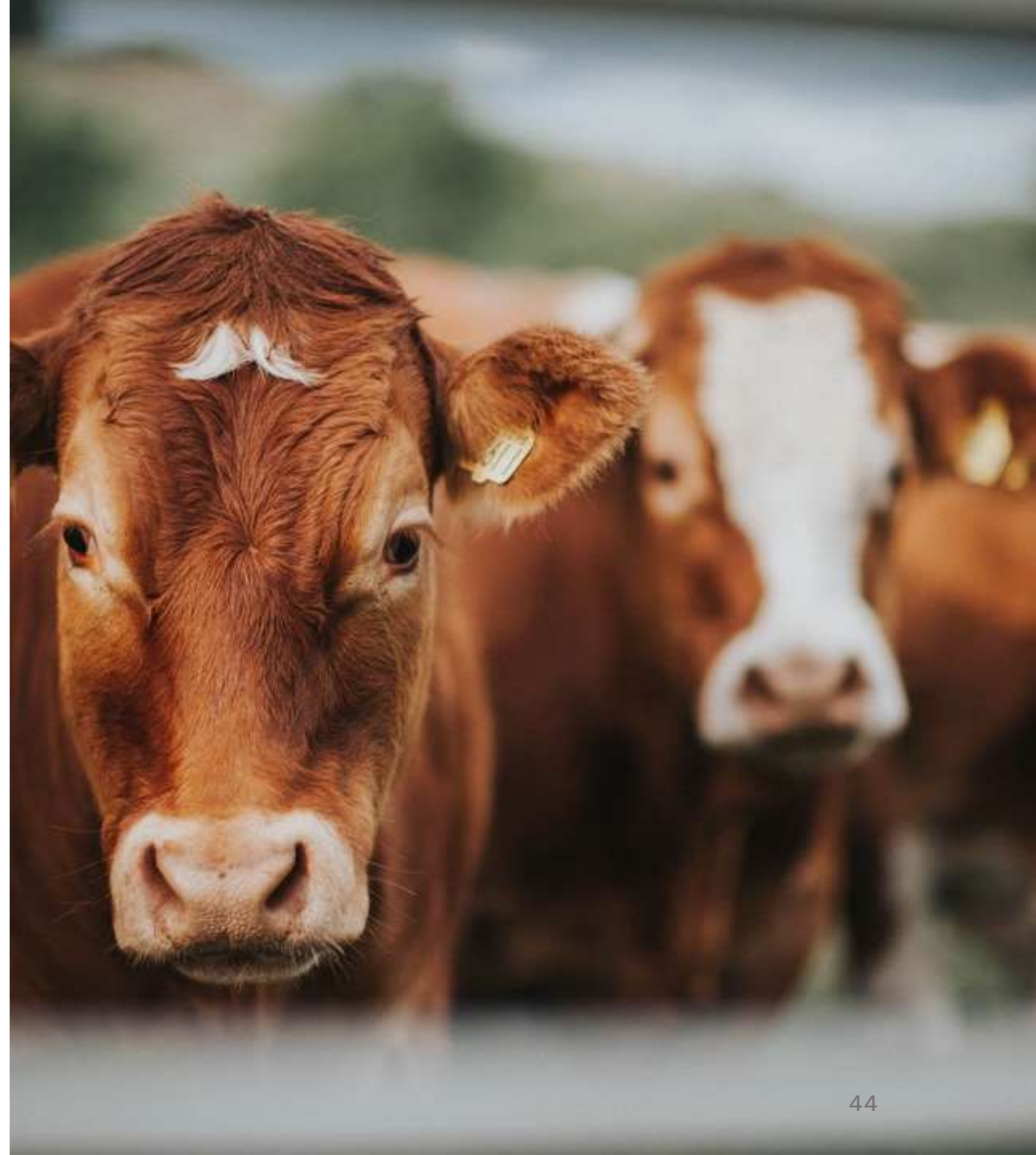
TEMPERATURE

- Comme il s'agit d'organismes vivants (bactéries), ceux-ci se développent à certaines températures.
- Dans les systèmes à petite échelle, la température est assurée par la chaleur du sol, tandis que dans les systèmes à grande échelle, des chauffages sont nécessaires dans le biodigesteur.
- Pour les bactéries **mésophiles**, cette température est généralement comprise entre 25 et 40° Celsius. Les bactéries **thermophiles** sont actives à des températures supérieures à 45-50° Celsius, ce qui nécessite un chauffage externe.
- Les bactéries thermophiles **produisent davantage de** biogaz à forte teneur en méthane, mais leur exploitation peut s'avérer plus coûteuse compte tenu de l'apport énergétique nécessaire.



MATIÈRE ORGANIQUE ET TAUX DE CHARGE

- La **matière organique** déposée dans le biodigester varie des déchets tels que le lisier et les déchets municipaux, à la biomasse telle que les résidus de culture ou les déchets ménagers.
- La **vitesse à laquelle** les matières premières sont ajoutées au biodigester doit être aussi constante que possible pour ne pas perturber les populations microbiennes.
- Si une augmentation est nécessaire, elle doit être progressive afin de leur laisser le temps de s'adapter.
- Les biodigesteurs peuvent être alimentés quotidiennement ou tous les quelques jours, en fonction de leur conception et de leur volume.



DÉLAI DE RÉTENTION

- Le temps de rétention correspond à la durée moyenne **pendant laquelle** la matière première reste dans le biodigesteur.
- Cette période est importante pour maintenir une **population microbienne saine** dans le système.
- Elle varie en fonction de la **température** et d'**autres facteurs** tels que la qualité/composition de la matière première, etc.
- En moyenne, ce délai est d'environ **20 jours**, mais il peut être plus ou moins long en fonction des conditions météorologiques, de la



RAPPORT CARBONE-AZOTE

- Un rapport sous-optimal entre le carbone et l'azote peut créer des problèmes pour les bactéries.
- Si la quantité de **carbone** est plus élevée, le volume de gaz produit est affecté.
- Si la quantité d'**azote** est plus élevée, cela peut créer un déséquilibre du pH, ce qui est néfaste pour les bactéries.
- Il est possible d'y remédier en utilisant un mélange de matières premières, notamment du fumier animal et des déchets solides organiques.



NIVEAU PH

- La meilleure fenêtre de fonctionnement pour le pH est de 6 à 8,5 pH (proche de la neutralité).
- L'acidité est un problème courant. Si les niveaux de pH sont affectés, il est possible d'ajouter de la chaux pour les ramener à un niveau neutre.
- Toutefois, tout changement de ce type doit être effectué progressivement et avec modération.



HUMIDITÉ ET COMPOSITION

- Le substrat **ne doit pas être trop sec**, car cela peut nuire au processus de décomposition.
- S'il y a trop d'eau, les volumes de production de biogaz seront plus faibles.
- Lorsque l'on utilise de la bouse de vache, le rapport est d'environ **1:1 ou 2 pour la bouse de vache et l'eau**.
- Les bouses de vache sèches ou anciennes doivent être évitées.

(MANQUE D') AIR

- Les bactéries actives dans les biodigesteurs étant **anaérobies**, elles risquent de ne pas être actives si de l'air s'y infiltre.
- Il est important de vérifier l'absence de **fuites** pour garantir un fonctionnement efficace.



COMPOSANTS
D'UN SYSTÈME
DE BIOGAZ

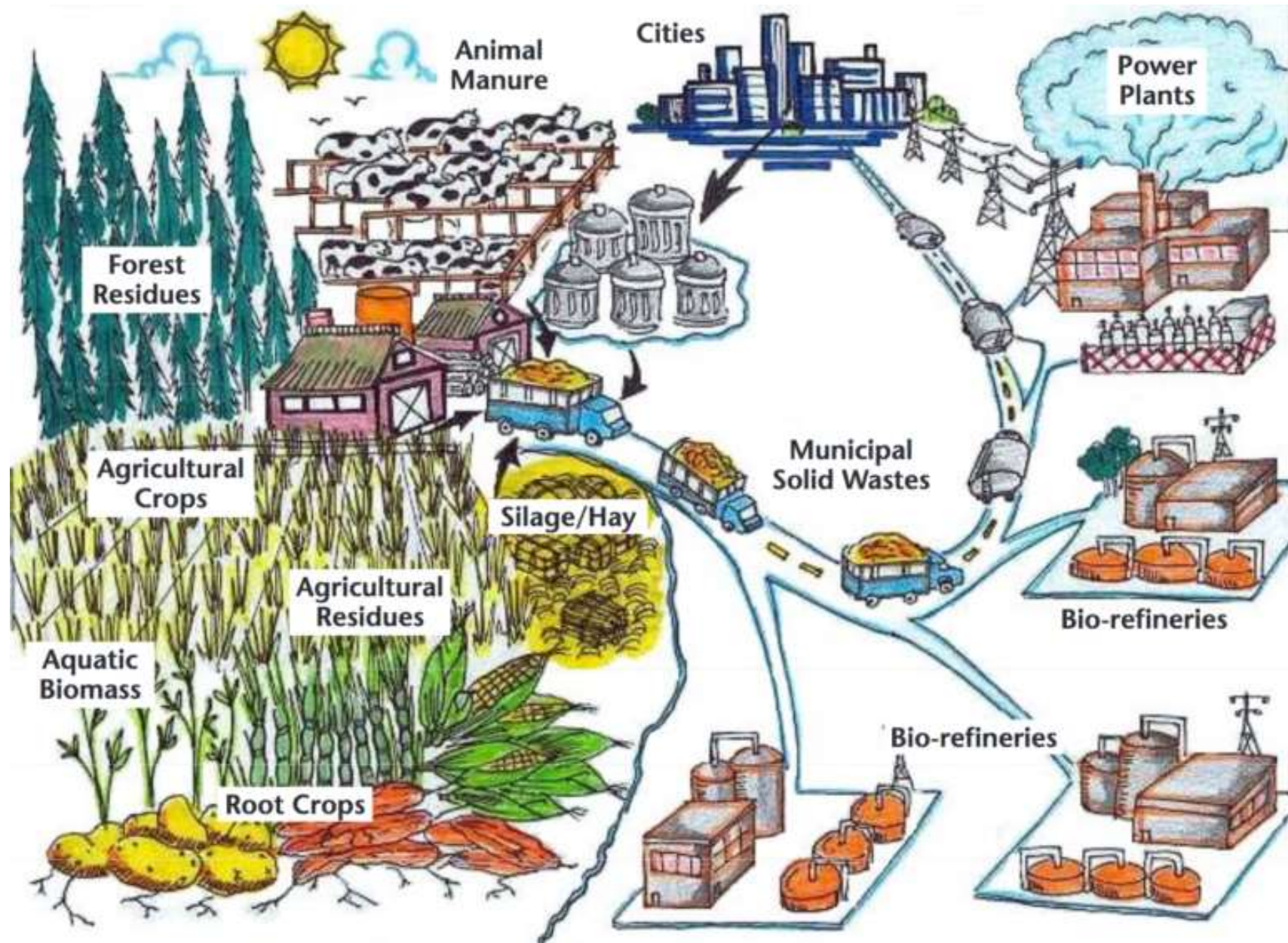
Q : Quels sont les composants d'un système de biogaz ?



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN



ILLUSTRATION D'UN SYSTÈME DE BIOÉNERGIE



Source : Zongliu (2017). Du fumier à l'énergie : Comprendre les processus, les principes et le jargon. Questions relatives à la gestion des effluents d'élevage au Texas.



FEEDSTOCK

TYPES DE MATIÈRES PREMIÈRES

PRÉTRAITEMENT PHYSIQUE

PRÉTRAITEMENT CHIMIQUE

PRÉTRAITEMENT BIOLOGIQUE

LES TYPES DE MATIÈRES PREMIÈRES

- Les matières premières appropriées pour les biodigesteurs sont les déchets humides ou la biomasse humide, avec un taux d'humidité supérieur à 60 %. Vous trouverez ci-dessous un aperçu des résidus organiques de différentes origines.

Type d'entrée	Origine
Résidus animaux	Fumier animal provenant de bovins laitiers, de porcs, de volailles et de bovins de boucherie.
Résidus végétaux	Résidus de cultures, mauvaises herbes, chaume, paille, fourrage en mauvais état.
Résidus humains	Boues d'épuration, fraction organique des déchets solides municipaux, déchets organiques des ménages.
Résidus agro-industriels	Son de riz, grignons, riz, cossettes, mélasses, résidus de semences, résidus de semences.

TYPES DE MATIÈRES PREMIÈRES (SUITE)

- Les résidus impliqués dans le processus de biodigestion peuvent être classés en quatre catégories en fonction de leur apparence physique, de leur niveau de dilution, de leur degré de concentration et de leurs caractéristiques quantitatives. Le tableau ci-dessous détaille cette catégorisation.

Class e	L'apparence physique	Substrat	Caractéristiques quantitatives
Class e 1	Solide	Ordures ménagères Fumier solide Résidus de culture	> 20 % (TS) 40% - 70% (OF)
Class e 2	Boues fortement contaminées, haute viscosité	Fumier animal	100 -150 g/l (DCO) 5% - 10% (TS) 4% - 8% (VS)
Class e 3	Fluides à forte teneur en solides en suspension (SS)	Fèces Animaux d'élevage et levain dilués avec de l'eau de lavage Eaux usées d'abattoirs	3 - 17 g/l (DCO) 1 - 2 g/l (SS)
Class e 4	Fluide fortement contaminé avec des solides en suspension	Eaux usées des agro-industries Eaux usées	4 - 500 g/l (DCO)

TYPES DE MATIÈRES PREMIÈRES (SUITE)

- Les solides totaux (TS), l'humidité, les matières volatiles et non volatiles, la concentration en solides sont d'autres propriétés des matières premières qui influencent la qualité et la production de biogaz. Le tableau ci-dessous indique les plages de propriétés optimales qui peuvent contribuer à améliorer le rendement du biogaz.

Biodéchets	TS	VS	Rapport C:N
Fumier de bovins	17.5 %	75	23.73
Déchets végétaux	16 %	90	19.47
Déchets de fruits et légumes	62,2 ± 16 g/L	50,8 ± 11,2 g/L	17.4
Boues d'épuration	154,9 ± 18,1 g/L	101,9 ± 10,8 g/L	6.3
Déchets alimentaires	166,3 ± 26,7 g/L	149,0 ± 24,3 g/L	17.4
Feuilles de neem	90 %	74 %	27.17

PRÉTRAITEMENT PHYSIQUE

- Le **prétraitement mécanique** comprend les procédés qui font appel à la force physique
- Le **broyage** est la méthode la plus courante, y compris les broyeurs à marteaux et les broyeurs à couteaux, qui sont généralement utilisés pour la biomasse sèche.
- S'il s'agit d'installations à grande échelle, il peut s'avérer très coûteux en raison de l'électricité nécessaire à l'alimentation des moulins.
- L'objectif est d'augmenter la surface spécifique en réduisant la taille de la biomasse. Il peut contribuer à augmenter le rendement en



PRÉTRAITEMENT PHYSIQUE (SUITE)

- **Le prétraitement thermique consiste à ajouter de la chaleur à la matière première**
- Il chauffe le substrat sous pression jusqu'à un maximum de 220°C et le maintient pendant une durée déterminée, avant de le refroidir pour qu'il soit prêt à alimenter le biodigesteur.
- Le prétraitement thermique n'augmente le rendement en biogaz que jusqu'à une certaine température, et la production de biogaz diminue en dessous de cette température.
- Cette solution est également viable pour les opérations à grande échelle.



PRÉTRAITEMENT CHIMIQUE

- **Le prétraitement chimique** consiste à modifier chimiquement le substrat pour le rendre plus facile à digérer.
- Le traitement alcalin peut être effectué avec différentes concentrations de chaux, d'hydroxyde de sodium (NaOH) et d'hydroxyde de potassium (KOH).



PRÉTRAITEMENT BIOLOGIQUE

- **Le prétraitement microbiologique** consiste à traiter le substrat avec des agents biologiques, tels que des bactéries, qui commencent déjà à le décomposer
- Également connue sous le nom de fermentation en plusieurs étapes, il s'agit d'une technologie dans laquelle les premières étapes de la digestion anaérobie (hydrolyse et acidogénèse) sont séparées de l'acétogénèse et de la méthanogénèse.
- Le concept de digestion dans des vaisseaux séparés est similaire aux chambres multiples des systèmes digestifs des ruminants, par exemple les vaches.
- Cette étape de pré-acidification permet de maintenir le pH et la température entre 4 et 6 et entre 30 et 50°C respectivement, ce qui augmente le taux de dégradation en créant un environnement optimal



PRÉTRAITEMENT BIOLOGIQUE (SUITE)

- Au cours de la digestion anaérobie, des processus microbiens complexes ont lieu, impliquant principalement des bactéries, mais aussi des protozoaires et des champignons anaérobies.
- Il existe quatre groupes trophiques différents reconnus dans les processus anaérobies :
 1. **Bactéries acidogènes** : Ce groupe décompose les grosses molécules en molécules plus petites, ce qui les rend solubles. Les bactéries transforment ces molécules en un large éventail de produits finaux de fermentation. La majorité des produits sont des acides gras volatils (AGV).
 2. **Bactéries acétogènes** : Elles convertissent les AGV en substrats méthanogènes, en hydrogène (H₂), en dioxyde de carbone (CO₂), en acides acétiques et en composés unicarbonés.



PRÉTRAITEMENT BIOLOGIQUE

- 3. **Bactéries homoacétogènes** : Elles s'efforcent de maintenir une faible pression partielle d'hydrogène et d'accroître l'importance de l'acétate en tant que précurseur du méthane. Deux espèces de ces bactéries ont été identifiées : l'une convertit l'éthanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) en acétate (CH_3COOH) et en hydrogène (H_2) ; l'autre convertit le dioxyde de carbone (CO_2) et l'hydrogène en méthane (CH_4).
- 4. Les **bactéries méthanogènes** : La principale fonction de ce groupe de bactéries est de convertir l'hydrogène, l'acide acétique et l'acétate en méthane, le principal composant du biogaz.





BIODIGESTEUR
TYPES ET
TECHNOLOGIES

BIODIGESTEURS À CUVE AGITÉE
EN CONTINU (CSTR)

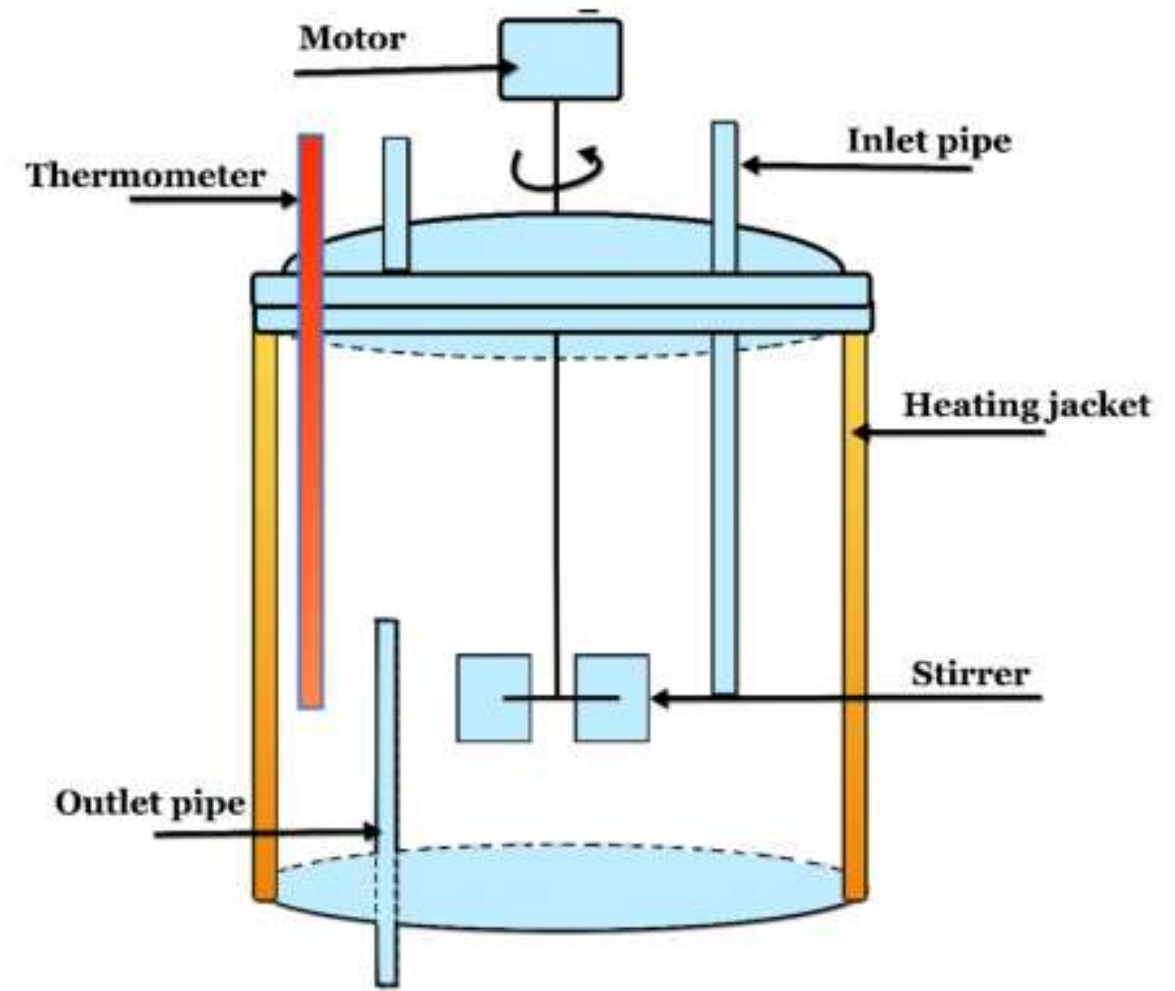
BIODIGESTEURS À ÉCOULEMENT
PISTON (PFR)

RÉACTEUR ANAÉROBIE
DISCONTINU À SÉQUENÇAGE
(ASBR)

RABOTS

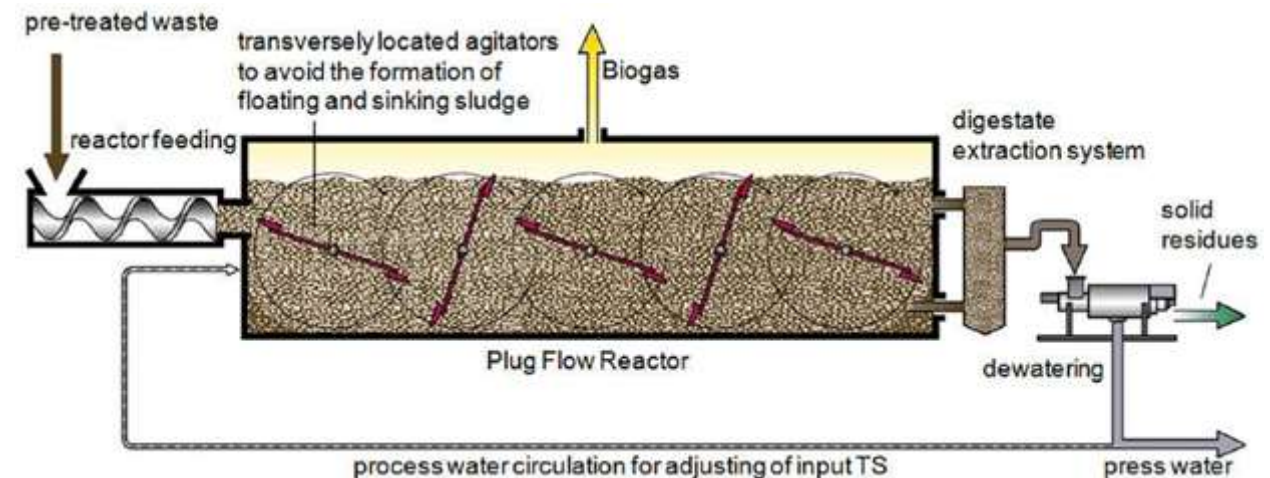
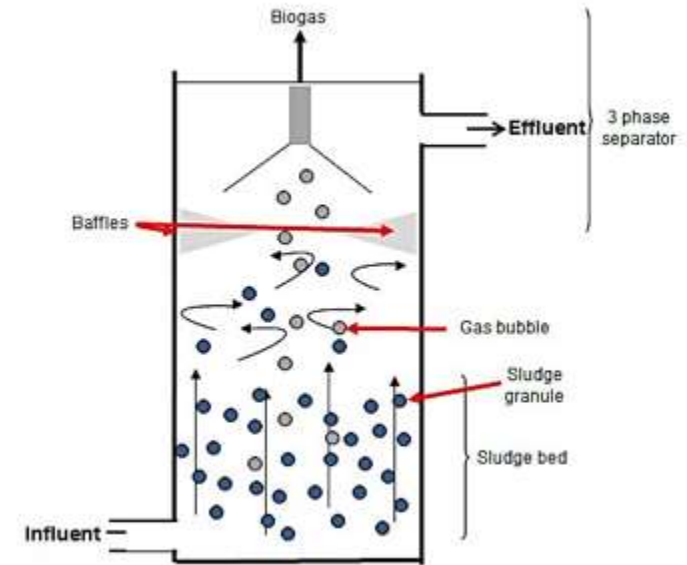
BIODIGESTEURS À RÉACTEUR À AGITATION CONTINUE (CSTR)

- Les biodigesteurs à réacteur à agitation continue (CSTR) sont conçus avec une **seule cuve dans** laquelle la matière première et les micro-organismes sont **continuellement mélangés** afin de maintenir des conditions optimales pour la production de biogaz. L'agitation peut être continue ou semi-continue.
- Les biodigesteurs mésophiles, thermophiles, à codigestion et à deux étapes sont les types les plus courants de biodigesteurs CSTR. Ils diffèrent en fonction du type de micro-organismes utilisés, de la température de fonctionnement et de la matière première.
- Les biodigesteurs CSTR thermophiles fonctionnent à une température comprise entre 50 et 60 °C et conviennent au traitement de matières premières telles que le fumier de volaille, les déchets d'abattoirs, les cultures énergétiques telles que le panic raide et le maïs, et les déchets alimentaires.
- Les biodigesteurs CSTR mésophiles fonctionnent à une température comprise entre 25 et 40 °C et sont couramment utilisés pour traiter des matières premières telles que le fumier, les déchets alimentaires, les boues d'épuration et les résidus agricoles.
- Co-digestion Les biodigesteurs CSTR peuvent traiter un



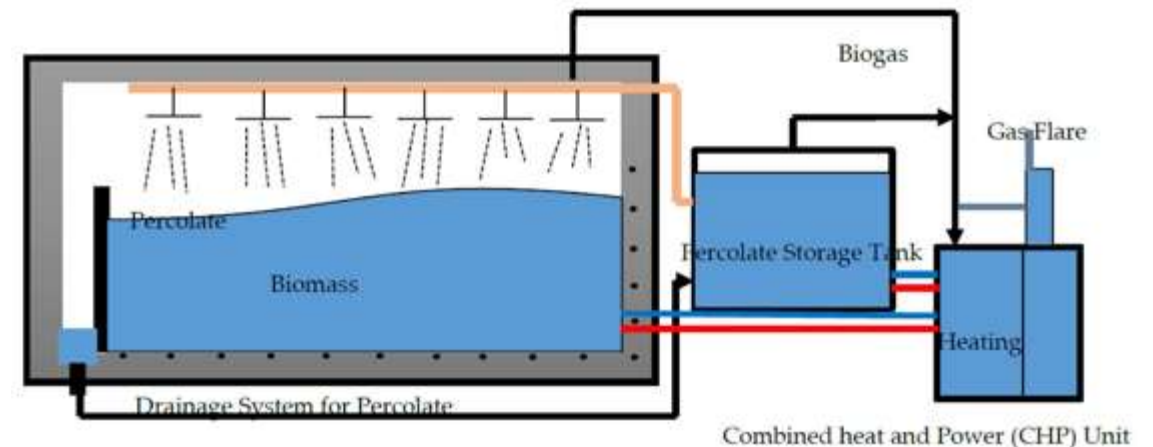
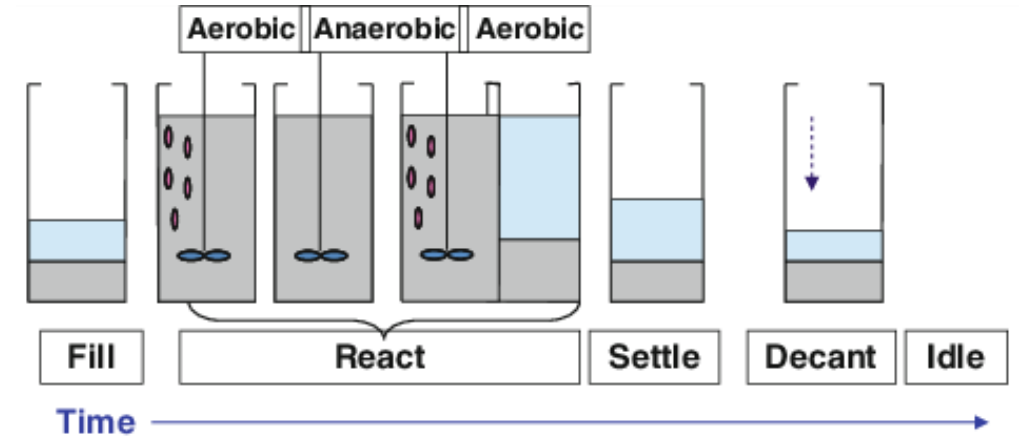
BIODIGESTEURS DE TYPE "PLUG FLOW REACTOR" (PFR)

- Les digesteurs à écoulement piston consistent en un **long tunnel ou une chambre rectangulaire en béton** avec un couvercle étanche à l'air, où le fumier entre par une extrémité du réacteur et sort par l'autre.
- Le fumier entre d'abord dans une fosse de mélange où les solides sont ajustés par l'ajout d'eau, puis, lorsque le fumier est introduit dans le réacteur, le "bouchon" du nouveau fumier pousse le fumier plus ancien vers le bas de la cuve jusqu'à la fin de la digestion. Il n'est alors plus nécessaire de mélanger. Il faut entre 15 et 30 jours pour qu'un "bouchon" passe complètement dans le digesteur. Ce type de digesteur convient le mieux au fumier dont la teneur en matières solides est comprise entre 10 et 14 %.



RÉACTEUR ANAÉROBIE SÉQUENTIEL DISCONTINU (ASBR)

- Dans les procédés discontinus, la matière première est introduite dans le digesteur et l'inoculum (= l'échantillon initial de bactéries) est ajouté. Le système est ensuite fermé et on le laisse terminer le processus de digestion. Ce processus se déroule en lots séparés.
- Les digesteurs à échelle discontinue sont simples en termes de technologie et impliquent des coûts d'investissement et d'entretien minimes.



DES ÉPURATEURS POUR ÉLIMINER LES IMPURETÉS

- Le biogaz est composé de méthane, de dioxyde de carbone et d'autres impuretés. Le méthane est le principal combustible ; la présence des autres éléments nuit à l'efficacité de sa combustion.
- Des épurateurs peuvent être utilisés pour éliminer ces gaz à l'état de traces, améliorer la combustion et réduire la pollution.
- Il peut s'agir d'une absorption physique ou chimique, d'une adsorption sur une surface solide, etc.
- Il s'agit de processus coûteux et gourmands en énergie, qui conviennent donc aux biodigesteurs à grande échelle.
- L'élimination des impuretés peut conduire à des concentrations élevées de méthane, ce qui permet d'obtenir un combustible équivalent au gaz naturel et



RENDEMENT DU
BIODIGESTEUR

Q : Que produit un biodigesteur ?



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN



A close-up photograph of several onion plants growing in dark, rich soil. The plants have green, pointed leaves and brown, papery onion bulbs. A white rectangular box is superimposed over the central plant, containing the word 'SORTIES' in white capital letters.

SORTIES

BIOGAS

Les principaux produits qui peuvent être utilisés comme carburant

SLURRY

Produit résiduel qui constitue un engrais puissant

BIOGAS

- Le biogaz est le **principal produit** obtenu par le processus de digestion anaérobie. Il s'agit d'un mélange gazeux formé principalement de **méthane et de dioxyde de carbone**.
- La composition du biogaz est généralement celle indiquée dans le tableau :

Composition	Pourcentage (%)
Méthane CH ₄	54 - 70
Dioxyde de carbone CO ₂	27 - 45
Azote	0.5 - 3
Hydrogène	1 - 10
Monoxyde de carbone CO	0.1
Oxygène O ₂	0.1
Sulfure d'hydrogène H ₂ S	0.15
Ammoniac NH ₃	0 - 0.5
Vapeur d'eau H ₂ O	1 - 5

LISIER/DIGESTAT

- Lorsque la matière première ne peut plus produire de biogaz, elle devient du bioslurry ou du digestat.
- Il s'agit d'un produit biologiquement stable - les bactéries nuisibles sont éliminées et il émet moins d'odeurs
- Il est équivalent au fumier brut en termes de qualité des nutriments, mais il est moins intense pour les plantes, attire moins les parasites



APPLICATIONS

Q : Où puis-je utiliser le biogaz ?



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN





UTILISATIONS
DIRECTES

CARBURANT

Ce combustible peut être utilisé pour la cuisine ou pour alimenter des lampes à gaz pour l'éclairage.

LA CUISINE ET L'ÉCLAIRAGE

- Le biogaz, une fois raccordé à une maison par des tuyaux, peut être utilisé comme **combustible propre pour la cuisine.**
- Il brûle plus **efficacement** que la biomasse traditionnelle et génère donc moins de pollution. Il faut moins de combustible pour cuisiner la même quantité de nourriture. Moins de temps est consacré à la collecte du bois de chauffage traditionnel.
- S'il est acheminé dans la maison, il peut également être raccordé à des lampes à gaz pour l'**éclairage**, remplaçant ainsi les lampes traditionnelles et le kérosène.
- Cependant, il faut acheter le **réchaud** et les **lampes appropriés**



A photograph of a pumpkin patch with several large orange pumpkins and green leaves. A white-bordered box is overlaid on the pumpkins, containing the text 'UTILISATIONS INDIRECTES'.

UTILISATIONS INDIRECTES

MISE À NIVEAU/PURIFICATION

La quantité de méthane peut être augmentée

CARBURANT POUR VÉHICULES

Ce biométhane peut être utilisé dans des véhicules au gaz naturel

PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Le biogaz peut être brûlé dans un moteur pour produire de l'électricité ; le biométhane pourrait être utilisé dans des turbines (opération à très grande échelle).

AMÉLIORATION ET PURIFICATION

- **L'épuration** consiste à éliminer les impuretés du biogaz, telles que les composés sulfurés, qui peuvent être nocifs et corrosifs pour les matériaux.
- **La valorisation** consiste à éliminer le dioxyde de carbone du biogaz (qui représente généralement 25 à 45 % de sa composition), afin d'augmenter la teneur en méthane à plus de 90 %.
 - Ce processus peut être physique, chimique, cryogénique, etc.
- Cependant, tous ces procédés sont **coûteux** et **consomment beaucoup d'énergie**, et ne peuvent donc pas être appliqués à toutes les



CARBURANT DU VÉHICULE

- Le biogaz ou le biométhane valorisé peut être utilisé directement dans les **véhicules au gaz naturel**, sans modification.
- Les véhicules à essence peuvent également être **convertis** pour fonctionner au biométhane, en installant un deuxième système d'alimentation en carburant. Cette opération peut toutefois s'avérer coûteuse.



LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

- Le biogaz peut être utilisé dans des **moteurs** pour produire de l'électricité dans le cadre d'activités à petite échelle.
- S'il est transformé en biométhane, il pourrait être utilisé pour alimenter des opérations encore plus importantes.
- Cette électricité peut répondre aux besoins de l'exploitation agricole ou être vendue au réseau pour générer des revenus supplémentaires, mais ce processus peut s'avérer compliqué





UTILISATIONS DE
SLURRY/DIGESTAT

FERTILISATEUR

Il peut être utilisé comme engrais amélioré par rapport au fumier brut.

ENGRAIS POUR LES CULTURES

- Le lisier peut être utilisé comme **engrais** et présente un certain nombre d'avantages par rapport au fumier brut.
- Il est moins difficile à absorber pour les cultures, mais conserve la **même valeur nutritionnelle** que le fumier brut.
- Il est moins odorant
- Grâce au processus de digestion, il contient moins de bactéries nocives et de graines de mauvaises herbes.



INSTALLATIONS DE
BIOGAZ

Q : À quoi ressemblent les
différentes installations de
biodigesteur/biogaz ?



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN





INSTALLATIONS À PETITE ÉCHELLE

DÔME FIXE

Le toit du digesteur est fixe et généralement fait de briques.

TAMBOUR FLOTTANT

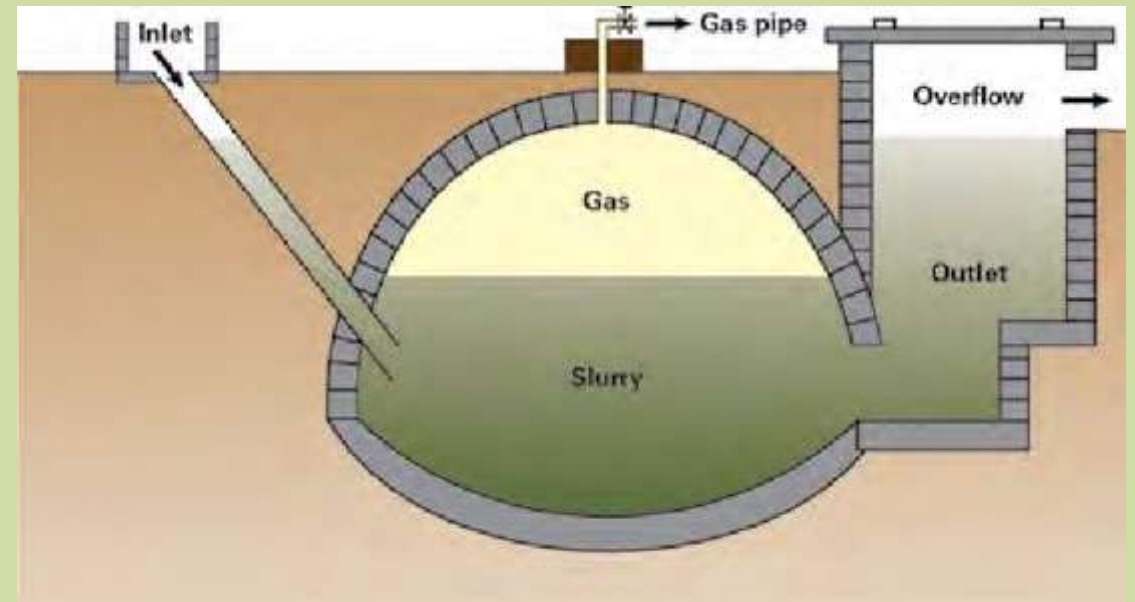
Le toit du digesteur "flotte" au-dessus de la fosse où le gaz est produit.

HORIZONTAL

Elle peut prendre la forme d'un tambour et est peu coûteuse et nécessite peu d'entretien.

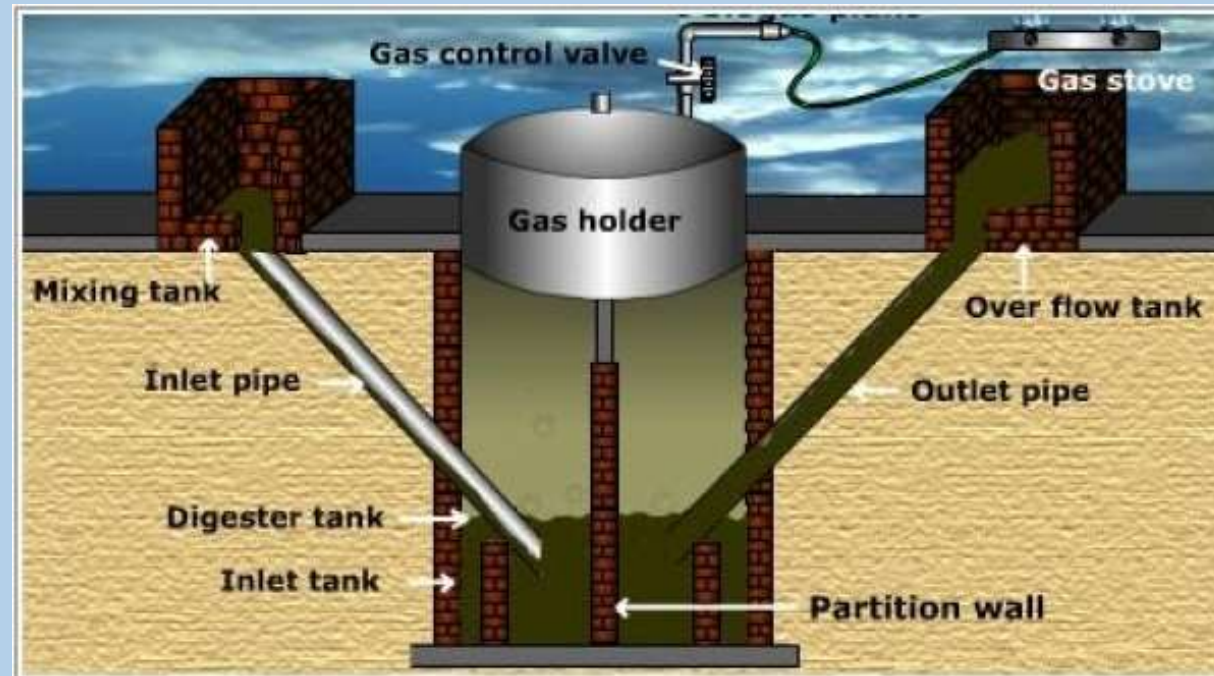
USINE À DÔME FIXE

- L'espace où le gaz est collecté est solide et fixe
- Sa taille et ses dimensions peuvent être ajustées en fonction de la quantité de matières premières et des volumes de gaz attendus.



USINE DE DÔMES FLOTTANTS

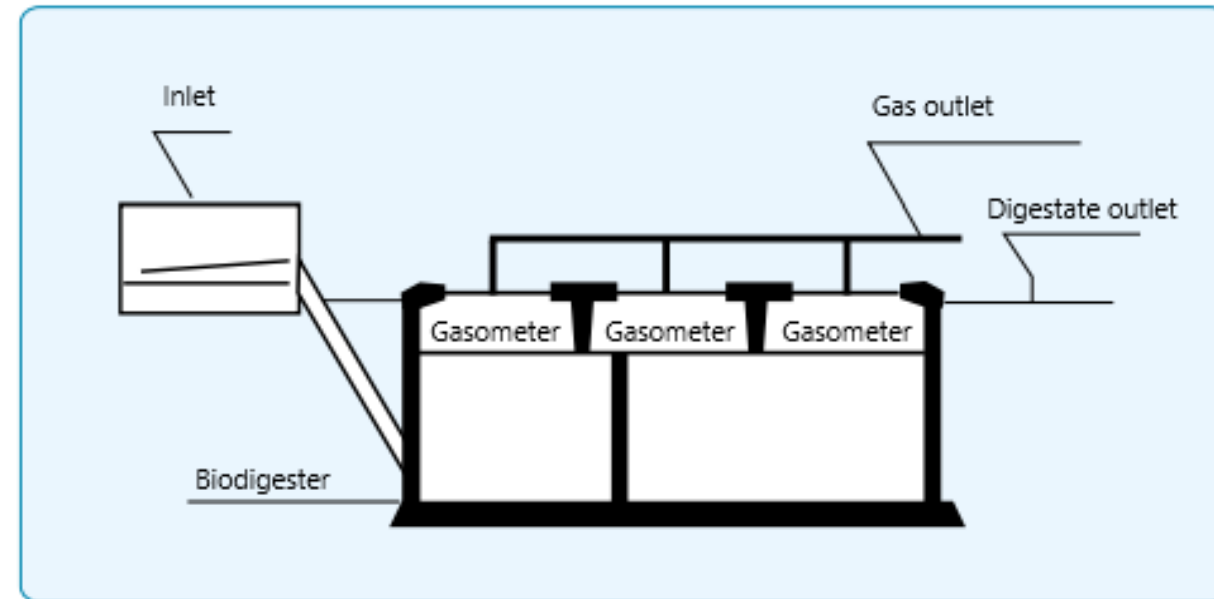
- Généralement construit sous terre, comme une fosse
- La boue agit au fond de la fosse, le gaz flottant vers le haut.
- Le "toit" est un couvercle de gaz flottant, qui permet d'obtenir une pression optimale en fonction de la quantité de gaz produite.
- Le couvercle du gaz peut être peint en noir pour absorber davantage de chaleur, et il doit avoir un toit incliné pour éviter la collecte de l'eau de pluie.



Floating dome biogas plant

DIGESTEURS HORIZONTAUX

- Ils sont généralement construits sous terre et peuvent avoir une section circulaire, carrée ou en forme de V.
- La matière première entre par une extrémité et le digestat sort par l'autre ; le dôme peut être solide ou flexible, tant qu'il peut contenir le gaz et assurer une protection.
- Le biodigester peut être **vidé** périodiquement (une fois par an en moyenne) pour nettoyer et entretenir le conteneur. Lors de cette opération, environ 1/5e du substrat doit être conservé pour le lot suivant.





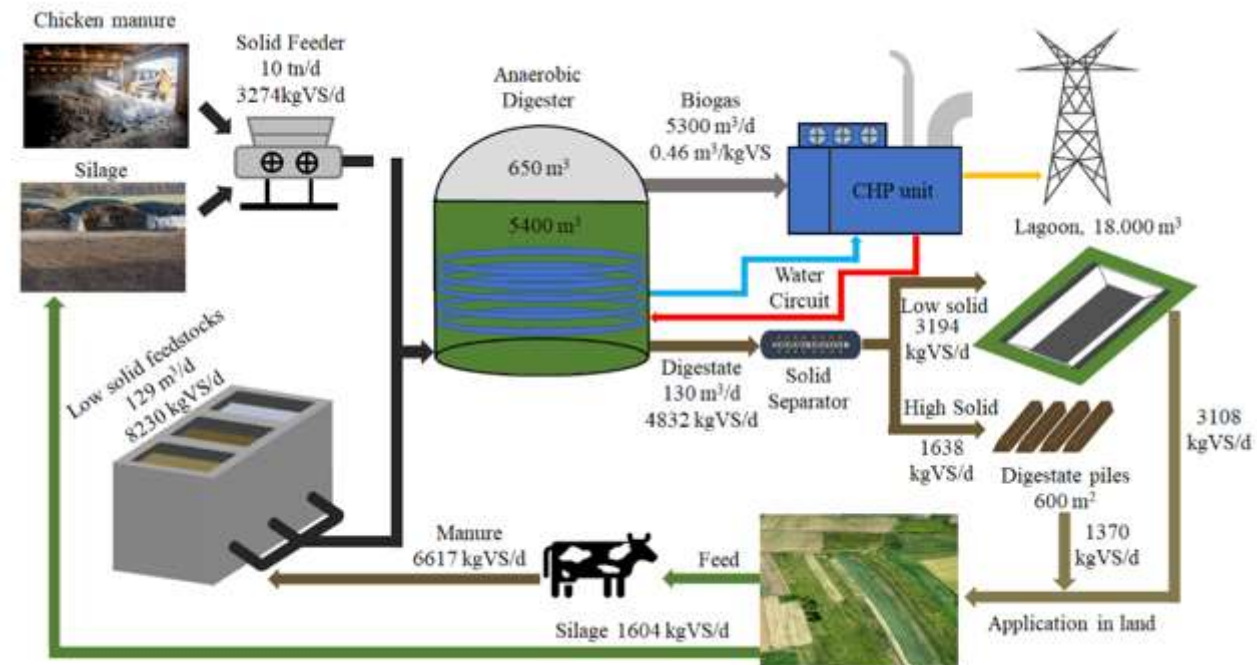
INSTALLATIONS DE
TAILLE MOYENNE À
GRANDE

À L'ÉCHELLE DE LA FERME

Les usines de taille moyenne à grande peuvent être intégrées dans les exploitations agricoles à diverses fins

USINES DE TAILLE MOYENNE À GRANDE

- Les installations plus importantes, à l'échelle de l'exploitation, peuvent accepter des matières premières telles que le **fumier et les résidus agricoles** (c'est ce que l'on appelle la co-digestion). Cependant, des **quantités beaucoup plus importantes** sont nécessaires par rapport aux biodigesteurs domestiques.
- Ils peuvent fonctionner à 30-35°C, mais certains fonctionnent à plus de 50°C, ce qui peut tuer les graines de mauvaises herbes et les bactéries nocives.
- Le temps nécessaire au processus de digestion (HRT) varie en fonction de la conception de l'usine. En moyenne, il est d'environ 20 jours.
- **L'agitation** est nécessaire - l'agitation par hélice est une option, de même que l'agitation mécanique à faible vitesse.
- Bien que de nombreux résultats soient identiques (biogaz, digestat, etc.), avec un moteur associé, il est également possible de produire de l'**électricité** en brûlant le gaz. Celle-ci peut être consommée à la ferme ou vendue au réseau électrique.



INSTALLATION DE
BIODIGESTEUR

Q : Quels sont les éléments à prendre en compte lors de l'installation d'un biodigesteur ?

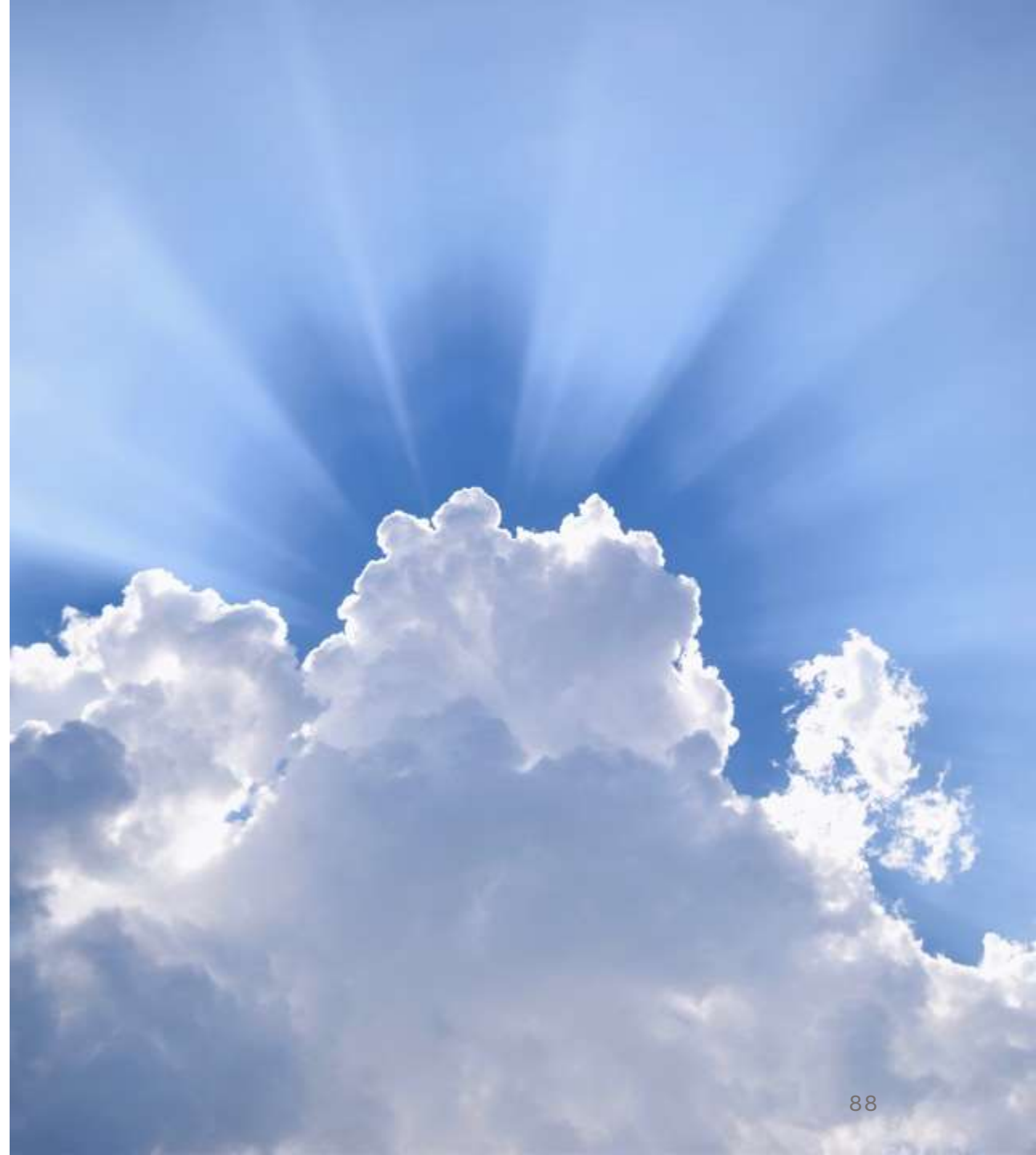


ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN



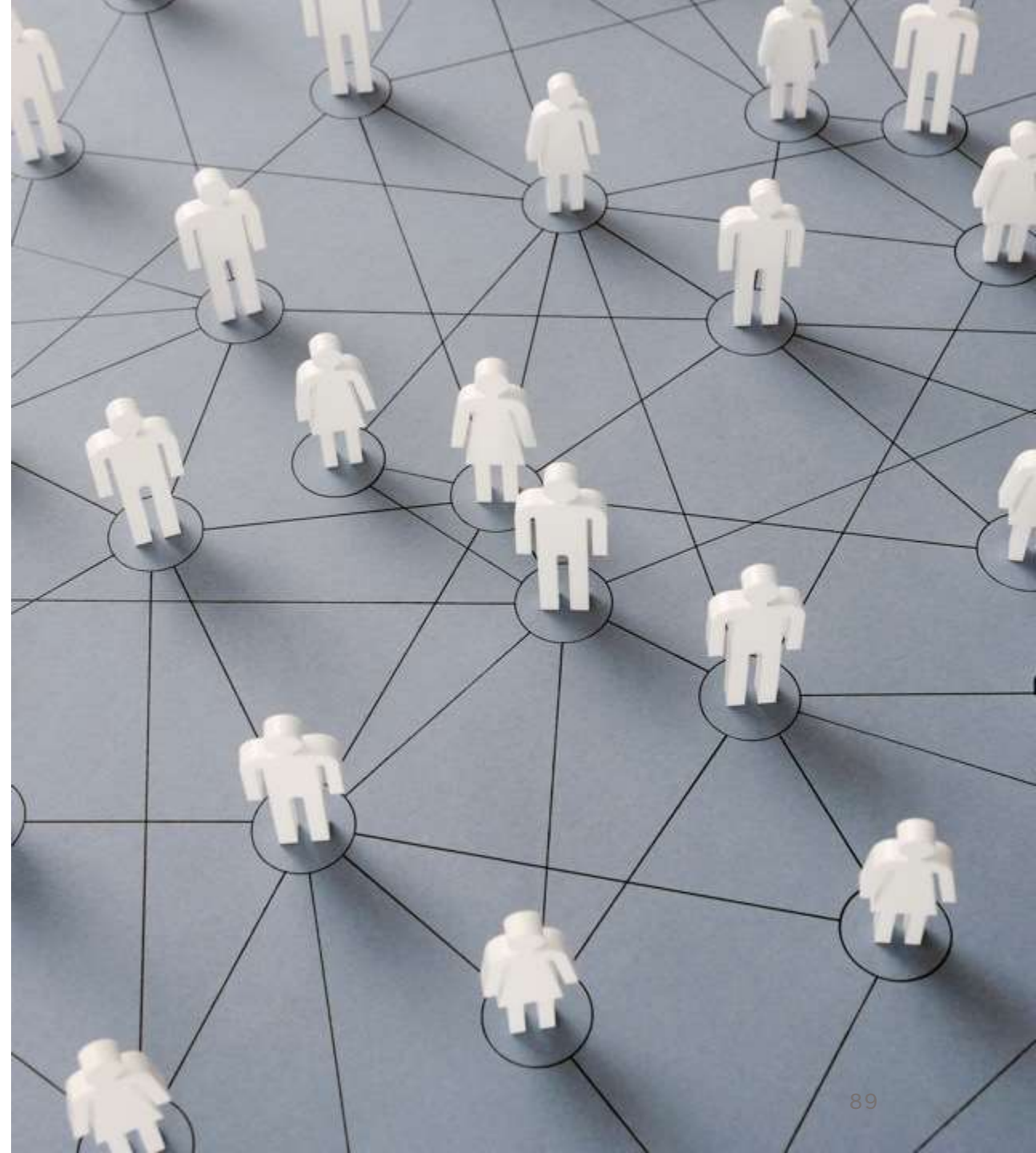
LOCATION

- Le choix de l'emplacement du biodigesteur est important
- Il peut s'agir de la proximité de la source de matières premières afin de réduire les coûts de transport et les pertes.
- Il peut être proche du lieu de consommation finale, par exemple la cuisine.
- Le type de sol doit être stable et adapté au biodigesteur.
- Il doit être placé dans un endroit ensoleillé pour garantir des températures adéquates.



CONSIDÉRATIONS SOCIALES

- En particulier pour les installations à grande échelle, il peut y avoir des résistances locales.
- L'odeur dégagée lors du traitement de la matière première peut susciter des inquiétudes légitimes.
- L'emplacement est donc à nouveau important : les grandes installations ne doivent pas être situées à proximité des zones résidentielles.
- Les préoccupations de la communauté doivent être entendues et prises en compte dans la mesure du possible



CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES

- En particulier pour les usines à grande échelle, il faut veiller à ce que les effluents ne polluent pas les nappes phréatiques, les masses d'eau et d'autres sites vulnérables.

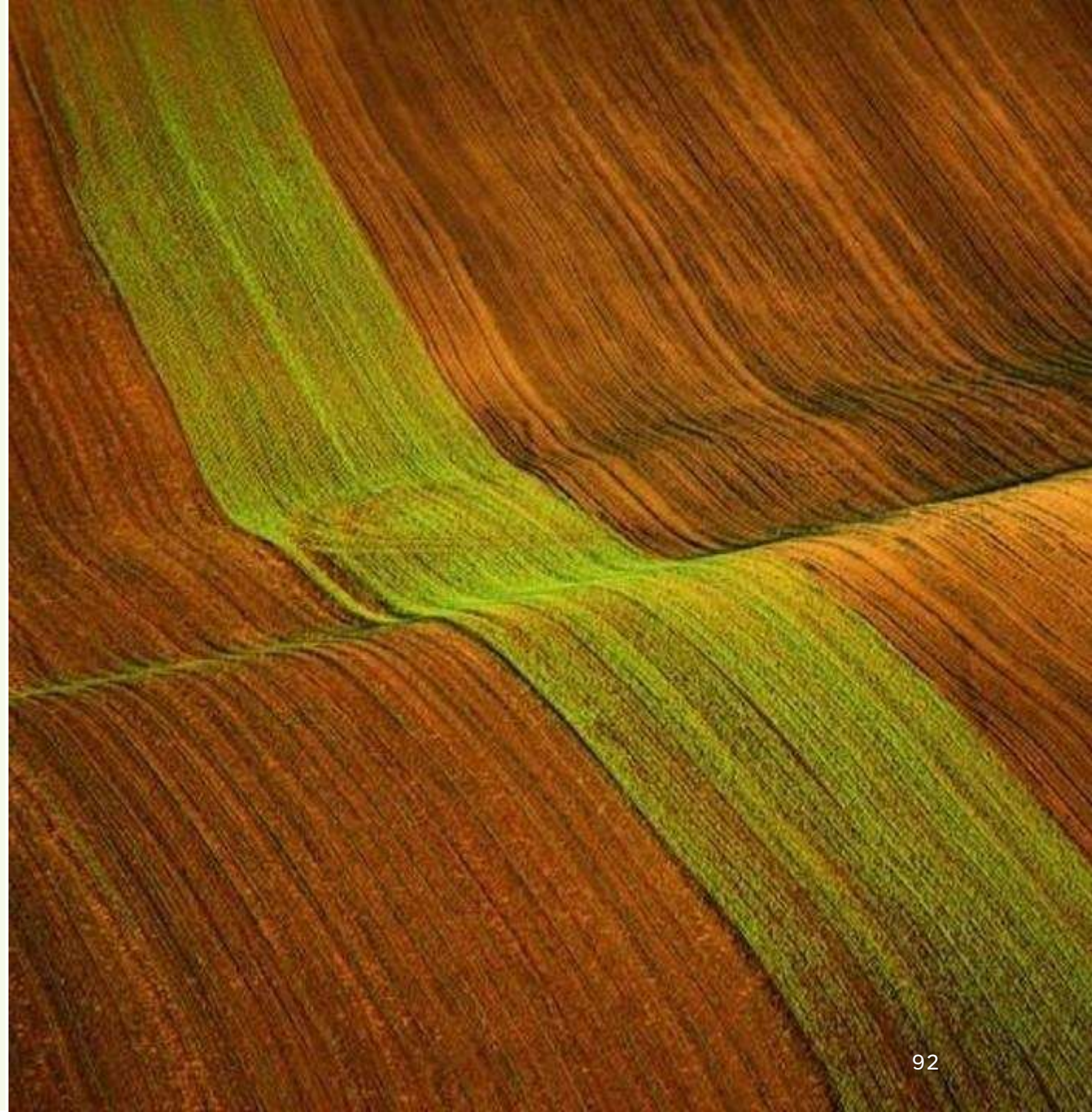


FAISABILITÉ ÉCONOMIQUE

- Si les flux financiers d'un biodigesteur n'ont pas de sens, il est difficile de mettre en œuvre et de soutenir le projet.
- La disponibilité des matières premières est essentielle, tout comme le type et la taille de l'usine, afin de générer suffisamment de biogaz/recettes.
- Des analyses détaillées doivent être effectuées pour déterminer l'option la plus adaptée à un lieu/contexte particulier.



FIN DU MODULE 2



L'ADOPTION EFFECTIVE DES BIODIGESTEURS

Module 3 de 3



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN



AVANTAGES DES
SYSTÈMES DE
BIODIGESTEURS

Q : Pourquoi devrais-je envisager
d'installer un biodigesteur ?



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN





AVANTAGES ÉCONOMIQUES

ÉCONOMIES DE REVENUS/DE COÛTS

Les coûts peuvent être réduits grâce à la valorisation des déchets : les dépenses sont réduites car elles sont remplacées par du biogaz.

CRÉATION D'EMPLOIS

Les projets de grande envergure peuvent créer un large éventail d'emplois

ACCÈS À L'ÉNERGIE

Le biogaz est une source d'énergie renouvelable plus propre que la biomasse traditionnelle ; il peut également être utilisé pour produire de l'électricité.

REVENUS SUPPLÉMENTAIRES/ÉCONOMIES DE COÛTS

- **Le biogaz** peut être utilisé comme combustible de cuisson, ce qui réduit le temps et l'argent nécessaires à la collecte d'autres sources d'énergie, comme le bois de chauffage.
- **Le digestat** peut être utilisé comme engrais
- **Les deux** produits peuvent être vendus aux voisins pour générer des revenus supplémentaires.
- L'amélioration des résultats en matière de santé peut réduire les coûts des soins de santé



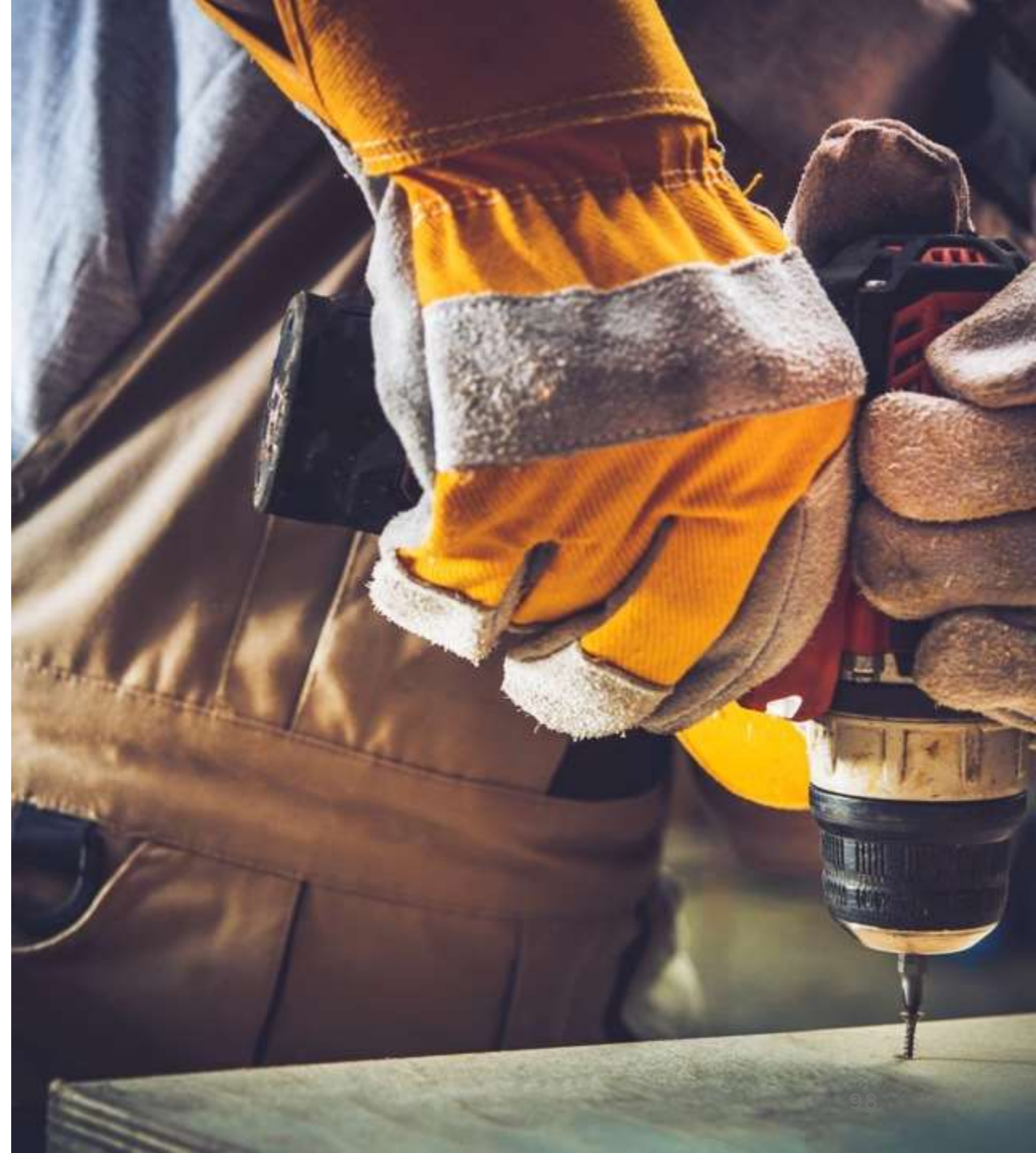
ACCÈS À L'ÉNERGIE

- Les ménages peuvent produire leur propre énergie à partir de déchets facilement disponibles.
- **La sécurité énergétique** peut être améliorée grâce à un approvisionnement régulier en combustible, ce qui peut favoriser les activités productives (petites entreprises, études, etc.).
- Pour les projets à plus grande échelle, si **l'électricité** est produite par la combustion du biogaz, elle peut être utilisée pour alimenter les ménages ou les exploitations agricoles par le biais de mini-réseaux, si cela est possible.



CRÉATION D'EMPLOIS

- Pour les **projets à grande échelle** en particulier, un certain nombre d'emplois peuvent être créés
- Il peut s'agir d'ingénieurs, de techniciens, de main-d'œuvre qualifiée, de planification, d'administration, etc. basés localement.
- Pour les activités domestiques, le fonctionnement d'un biodigester peut être intégré aux activités quotidiennes et favoriser le **développement de compétences et la génération de revenus.**





AVANTAGES POUR
L'ENVIRONNEMENT

LUTTE CONTRE LES ODEURS ET LES PARASITES

Le digestat est plus facile à
gérer que le fumier brut

GESTION DU FUMIER

Le fumier brut peut être utilisé
pour produire du biogaz, puis
comme engrais.

ENTRETIEN DES FORÊTS

Réduction de la dépendance à
l'égard des produits forestiers

ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

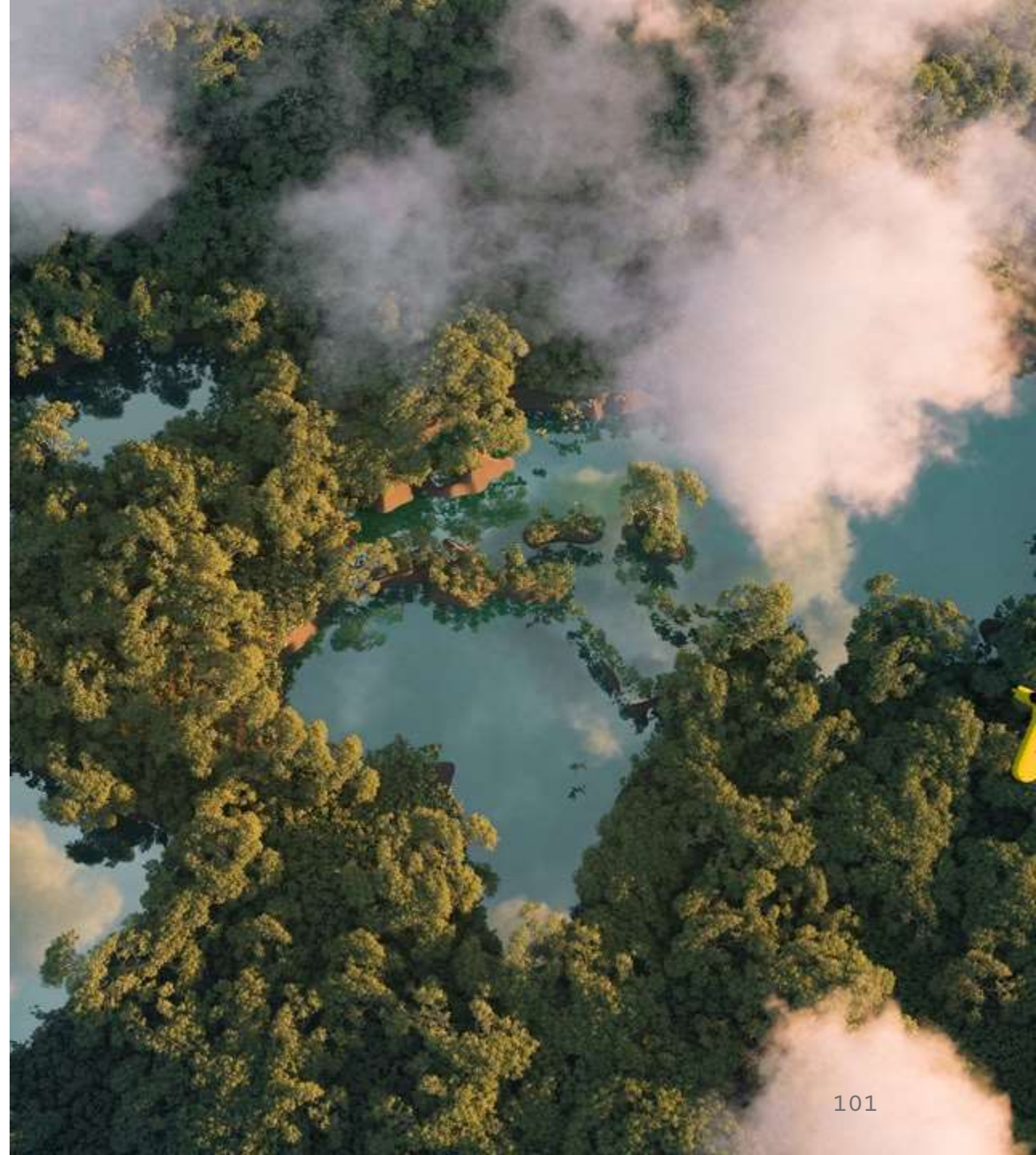
Avantages pour le climat de
l'utilisation de sources
renouvelables et de la réduction
des émissions de méthane

LA LUTTE CONTRE LES ODEURS ET LES PARASITES ET LA GESTION DU FUMIER

- Le digestat contient moins de bactéries nocives que le fumier brut, ce qui permet de le **conserver** plus longtemps.
- Il est **moins odorant** que le fumier brut et attire moins de nuisibles tels que les mouches, les rats, etc.
- La neutralisation des **graines de mauvaises herbes** peut réduire leur propagation.
- Il a la même **valeur nutritive** que le fumier en termes d'azote (N), de potassium (K) et de phosphore (P).
- Le digestat peut être utilisé comme **engrais** et est plus facilement absorbé par les plantes.
- Le fumier excédentaire, qui est de toute façon produit, peut ainsi trouver diverses utilisations et entraîner des économies. En évitant l'élimination, il réduit la pollution des sols et de l'eau.

GESTION DES FORÊTS

- La dépendance excessive à l'égard du bois de chauffage peut nuire aux forêts et à leur utilisation durable. Le biogaz offre une **alternative**.
- Comme les biodigesteurs, les sources de matières premières et les utilisations finales seront probablement situés à **proximité les uns des autres**, le temps nécessaire pour collecter le combustible est réduit.
- **Des changements de comportement seront** nécessaires pour utiliser le biogaz, notamment pour ne plus avoir à ramasser du bois de chauffage et pour utiliser des **ustensiles de cuisine** modernes.



ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Le méthane est **plus nocif** pour le climat que le dioxyde de carbone
- Le méthane est libéré lorsque des matières organiques brutes, telles que le fumier, se décomposent naturellement.
- Le biogaz est considéré comme une **énergie renouvelable**, ce qui offre de nombreuses possibilités de **financement et de soutien**, etc.
- **Les polluants** atmosphériques locaux **sont réduits par** rapport à la biomasse traditionnelle, avec les effets sur la santé qui en découlent.





PRESTATIONS
SOCIALES

AMÉLIORATION DE LA SANTÉ

Le remplacement des combustibles traditionnels permet de réduire la pollution, en particulier à l'intérieur des bâtiments.

PARITÉ HOMMES-FEMMES

La pollution intérieure touche de manière disproportionnée les femmes et les enfants ; le temps passé à ramasser du bois de chauffage est également réduit.

AMÉLIORATION DE LA SANTÉ

- Le biogaz, lorsqu'il est brûlé, **dégage** moins de **fumée** que le bois de chauffage traditionnel ou la biomasse.
- **La réduction de l'exposition à la fumée et de l'inhalation** peut entraîner une diminution des effets sur la santé, en particulier pour les femmes et les enfants.
- L'incidence de maladies telles que la pneumonie, le cancer et les maladies cardiaques peut être **réduite**.
- **La réduction des odeurs** provenant du digestat permet également d'améliorer le bien-être.



Brûlage optimal - flamme bleue

PARITÉ HOMMES-FEMMES

- L'utilisation du biogaz réduit ou élimine le **temps** nécessaire à la collecte de combustible, et les aliments cuisent **plus rapidement**.
- Les femmes sont les plus touchées - elles peuvent utiliser le **temps supplémentaire** pour d'autres tâches, y compris les petites entreprises ou l'entretien du biodigester.
- Toutefois, de **nouveaux fourneaux** pourraient être nécessaires et les ménages devront s'y adapter



ANALYSE DE
RENTABILITÉ

Q : Comment puis-je m'assurer que mon projet de biodigesteur sera mis en œuvre avec succès ?



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN





MODÈLE
D'ENTREPRISE

SOURCES DE REVENUS

Recettes provenant de la vente de produits et de services de biodigesteurs

COÛTS

Investissement initial et coûts d'exploitation et de maintenance

SOURCES DE FINANCEMENT

Financement individuel, communautaire, privé, public, philanthropique et carbone

STRUCTURES DE PROPRIÉTÉ

La propriété et l'exploitation, et donc les risques, ne doivent pas être supportés par une seule personne ou un seul ménage.



SOURCES DE REVENUS

BIOGAS

Peut être utilisé pour réduire les coûts du combustible de cuisson, de l'éclairage, etc. ou vendu aux voisins si la distribution est possible.

MATÉRIAUX FIBREUX

Les fibres récupérées peuvent être utilisées comme litière pour le bétail ou vendues.

SERVICES

Le propriétaire d'un biodigester peut fournir des services de gestion du fumier ou des déchets contre rémunération.

DIGESTATE

Il contient les mêmes éléments nutritifs que le fumier brut, mais il est plus stable. Il peut être utilisé ou vendu comme engrais pour les cultures ou pour faire pousser des champignons.

ÉLECTRICITÉ

Dans les biodigesteurs à plus grande échelle, le gaz peut être utilisé pour produire de l'électricité qui peut être consommée ou vendue au réseau.

BIOMÉTHANE

Les biodigesteurs à grande échelle peuvent être améliorés pour produire du méthane, qui est plus précieux et a plus d'utilisations (par exemple, le transport).

BIOGAZ, DIGESTAT (ET MATIÈRES FIBREUSES)

- Ce sont les principaux résultats d'un biodigesteur.
- Le biogaz peut être **acheminé** vers une cuisine pour être utilisé directement pour la **cuisson** ou **l'éclairage**.
- Les canalisations peuvent être **étendues** aux maisons voisines pour être utilisées ou vendues.
- Le digestat est un **engrais** puissant et plus adapté aux plantes, plus facile à gérer et à stocker.
- Il peut également être utilisé pour cultiver d'autres aliments, tels que les **champignons**.
- Les matériaux fibreux, s'ils sont récupérés en quantités suffisantes, sont bons pour la litière du bétail. Elles peuvent également être vendues.



ÉLECTRICITÉ, BIOMÉTHANE ET AUTRES SERVICES

- Ils conviennent mieux aux **digesteurs à grande échelle** et sont associés à des **coûts d'investissement plus élevés**.
- Le biogaz peut être transformé en **biométhane**, afin de réduire sa teneur en dioxyde de carbone et autres impuretés. Il peut être utilisé aux mêmes fins que le **gaz naturel**.
- Le biogaz peut également être utilisé dans une centrale de production combinée de chaleur et d'électricité pour **produire de l'électricité** qui sera utilisée dans l'exploitation ou vendue au réseau, si cela est possible.
- Un biodigester peut également être utilisé pour **gérer les déchets**, et le propriétaire peut percevoir des redevances pour le traitement





COÛTS

COÛTS EN CAPITAL

L'investissement initial
pour la mise en place du
biodigesteur

COÛTS D'EXPLOITATION

Les coûts d'exploitation du
biodigesteur et la maintenance
nécessaire.

COÛT DU CAPITAL

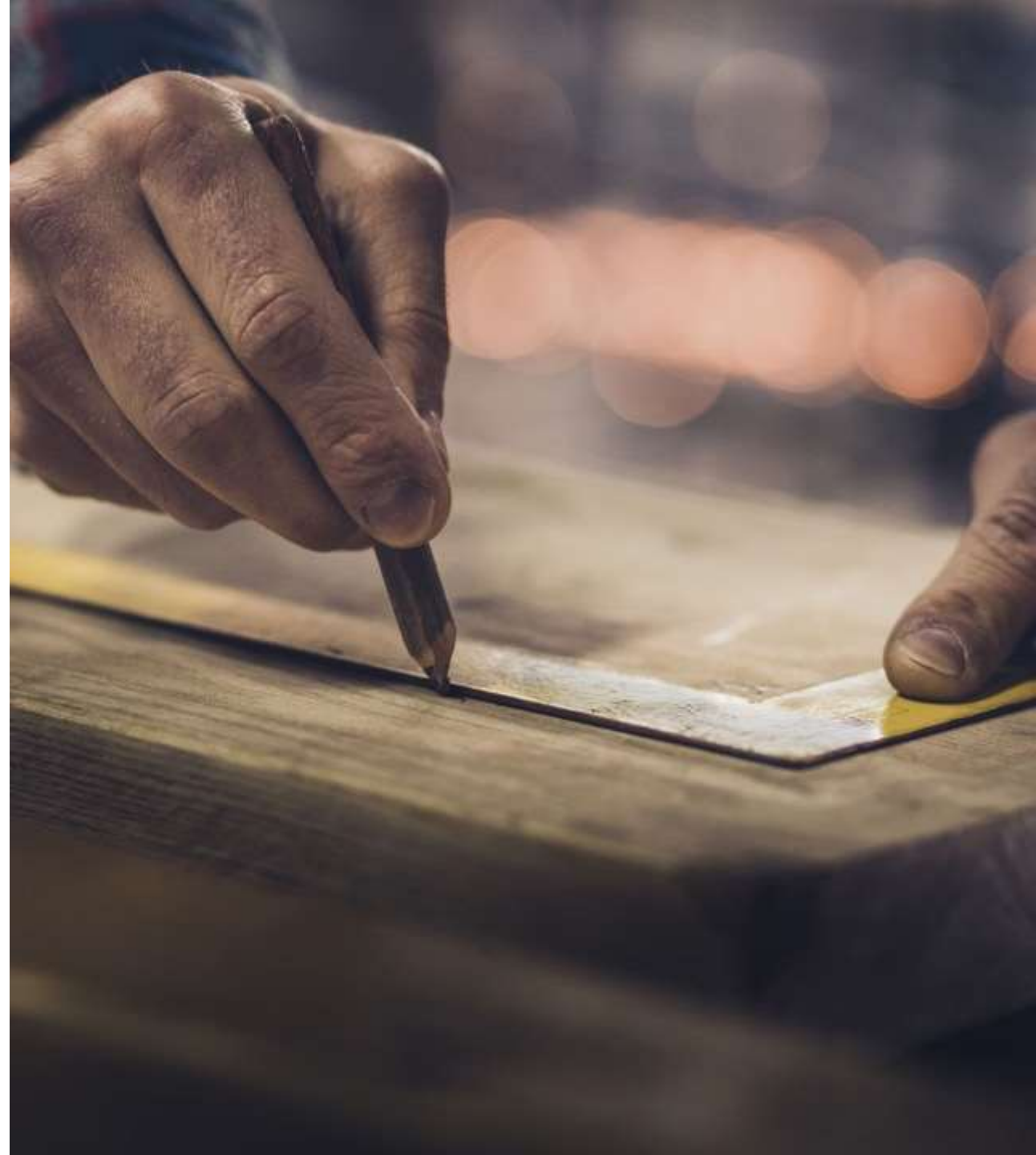
(C'EST-À-DIRE L'INVESTISSEMENT INITIAL)

- Ceux-ci peuvent être assez **élevés**, en fonction de la taille du projet.
- La majeure partie des coûts du projet est constituée par cet investissement ; les coûts d'exploitation sont **beaucoup plus faibles**.
- Les petits projets à l'échelle du ménage sont plus faciles à **gérer**
- De nombreux projets de biodigesteurs peuvent bénéficier d'une **aide de** la part de donateurs ou de gouvernements locaux, régionaux ou nationaux.



COÛTS D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

- **Main-d'œuvre et formation** : Il peut être nécessaire d'investir dans l'embauche d'**experts** pour dispenser la formation, ainsi que dans le temps consacré à la participation à la formation. Pour les biodigesteurs à grande échelle, une expertise plus complexe serait nécessaire.
 - Les collaborations avec des **ONG** ou des **programmes gouvernementaux de formation** sont encouragées.
- **Matières premières** : Si les matières premières ne sont pas disponibles en quantité suffisante dans les environs, il peut être nécessaire de les **acheter** ou de les **transporter**, ce qui entraînerait des dépenses supplémentaires.
- **Le transport** : Le **transport des** matières premières ou du digestat, ainsi que l'**acheminement du** biogaz, peuvent augmenter les dépenses.



COÛTS D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE (SUITE)

- **Électricité et eau** : Pour les projets de plus grande envergure, l'électricité peut être nécessaire au bon fonctionnement. Cependant, **l'eau est une** nécessité pour tous les projets, et il convient donc de prendre des dispositions adéquates.
- **L'entretien du système** : Il s'agit de l'usure normale et des dépenses liées aux pièces de rechange, aux réparations, etc. ainsi qu'aux activités de maintenance régulières.
- **Frais d'administration** : Ils ne s'appliquent pas nécessairement à tous les projets, mais peuvent inclure les coûts liés à l'assurance, à la collecte de données/au suivi, etc.





STRUCTURES DE PROPRIÉTÉ

LES INDIVIDUS

Les particuliers ou les ménages peuvent installer leur propre biodigester.

PROPRIÉTÉ DE LA COMMUNAUTÉ

Une communauté peut posséder et exploiter collectivement un biodigester.

AGRICULTEUR CHEF DE FILE

Un agriculteur peut assumer les responsabilités, les coûts et les bénéfices étant partagés entre les autres.

TIERS

Un tiers peut être propriétaire ou exploitant d'un biodigester.

PROPRIÉTÉ INDIVIDUELLE

- **Les ménages** peuvent installer des biodigesteurs à petite échelle, dont la taille est généralement comprise entre 1 et 6 mètres cubes.
- Il faut **disposer de suffisamment de terres et de matières premières** (c'est-à-dire de déchets de bovins ou de cultures).
- Ils peuvent être **autofinancés**, ou des **programmes** gouvernementaux ou d'ONG peuvent être mis en place pour soutenir l'installation et le fonctionnement.
- La vente du **biogaz ou du digestat peut générer des** revenus ; les **coûts des** ménages peuvent également être réduits grâce aux économies réalisées sur les dépenses énergétiques.
- Ils servent principalement à **cuisiner et à s'éclairer**, ce qui peut permettre d'augmenter le **temps** disponible pour d'autres activités, telles que les petites entreprises, le repos, le développement des compétences, etc.



MODÈLE DE L'AGRICULTEUR CHEF DE FILE

- Un agriculteur peut **posséder ou gérer le** biodigester ; des modèles similaires ont été testés dans des coopératives laitières.
- Ils peuvent facturer des **frais** pour le traitement des déchets provenant d'autres fermes/ménages et/ou la vente du biogaz et du digestat.
- Cela peut fonctionner s'il y a une réticence initiale à adopter cette technologie, ou si les aspects économiques sont intéressants.



PROPRIÉTÉ COMMUNAUTAIRE

- **Les biodigesteurs de taille moyenne** peuvent être détenus **collectivement** par la communauté, les responsabilités étant réparties, de même que les bénéfices.
- L'investissement initial peut être réparti entre **plusieurs personnes et des** programmes de soutien peuvent être proposés par le gouvernement ou des ONG.
- **L'exploitation** et la **gouvernance** pourraient constituer un défi, c'est pourquoi une confiance et un capital social élevés peuvent contribuer à la réussite d'un tel projet.



PROPRIÉTÉ/EXPLOITATION PAR DES TIERS

- Une tierce partie, telle qu'une entreprise privée, peut envisager de **posséder ou d'exploiter** une usine de biodigester.
- S'ils sont propriétaires, les agriculteurs pourraient **l'exploiter** et utiliser le biogaz en échange d'une rémunération ; ils pourraient également fournir le **terrain** à louer
- S'il s'agit d'exploitants, les agriculteurs pourraient être **propriétaires du** biodigester et/ou du terrain sans avoir à se préoccuper de son **fonctionnement**.
- Ces mesures pourraient être utiles en cas de **réticence** à l'égard de l'un ou l'autre aspect de l'installation d'un biodigester et pour réduire les risques





FINANCEMENT T

INDIVIDU OU COMMUNAUTÉ

Un individu ou la communauté peut rassembler des fonds pour le biodigester.

FINANCEMENT PHILANTHROPIQUE

Des organisations caritatives qui peuvent accorder des subventions

FINANCEMENT DU CARBONE

Accès aux crédits carbone et au financement des projets d'énergie renouvelable

FINANCEMENT PRIVÉ

Financement par des entreprises ou des banques

FINANCES PUBLIQUES

Programmes gouvernementaux de soutien aux biodigesteurs, y compris l'aide financière

MODÈLE FINANCIER

Comment les recettes seront-elles collectées et partagées, et pendant combien de temps ?

INDIVIDU OU COMMUNAUTÉ

- Le **ménage** ou la **communauté** peut être en mesure de couvrir les coûts d'investissement et d'exploitation initiaux par ses propres moyens.
- Parmi les défis à relever, citons le **partage des coûts** et des bénéfices
- Si des accords informels sont conclus, le risque de **mauvaise gestion** peut être accru ; des lignes directrices doivent être fournies sur la manière de surmonter les conflits et sur les points à surveiller, en fonction du contexte local.



FINANCEMENT PRIVÉ

- Il peut s'agir d'entreprises privées, par divers moyens, ou de banques, y compris d'institutions de micro-finance
- Ils peuvent accorder des **subventions ou des prêts à faible taux d'intérêt**
- Pour les projets de plus grande envergure, un financement par emprunt (c'est-à-dire des prêts) ou par actions (c'est-à-dire une participation partielle) peut être envisagé.



FINANCES PUBLIQUES

- Les gouvernements locaux, régionaux et nationaux peuvent disposer de divers **programmes** susceptibles de soutenir des technologies telles que les biodigesteurs.
- **Des subventions ou des prêts à faible taux d'intérêt** peuvent être accordés
- Les institutions de financement du développement ou les agences internationales peuvent également disposer de programmes similaires
- **La coopération** avec les ONG locales peut faciliter l'accès à ce financement.



FINANCEMENT PHILANTHROPIQUE

- Les grandes organisations peuvent avoir des bras philanthropiques qui peuvent fournir des fonds pour des **projets à petite échelle.**
- Il peut s'agir de **subventions**
- **La collaboration** avec les ONG peut faciliter l'accès à ce financement



FINANCEMENT DU CARBONE

- Certains projets de biodigesteurs peuvent être éligibles au financement carbone
- Toutefois, un **plan clair et un rapport sur ses avantages** doivent être présentés
- **Les partenariats** avec les ONG et les institutions de financement du développement peuvent faciliter l'accès à cette source de financement, qui est relativement nouvelle et peu développée.



LES MODÈLES FINANCIERS

- Le projet peut être mis en œuvre de plusieurs manières, avec différents modes de collecte ou de partage des revenus.
- Par exemple, des **modèles de paiement à l'utilisation** peuvent être envisagés, dans lesquels les utilisateurs paient une redevance pour l'utilisation du biodigester.
- **Les paiements mobiles** peuvent faciliter les transactions et les rendre plus transparentes
- Les projets à grande échelle peuvent nécessiter des **contrats** et des **garanties** complexes, en particulier si l'électricité est produite et vendue au réseau (si possible).



FONCTIONNEMENT ET
ENTRETIEN

Q : Comment puis-je m'assurer que mon biodigesteur fonctionne en toute sécurité ?



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN





LES
PRÉOCCUPATIONS
EN MATIÈRE DE
SÉCURITÉ

RISQUES LIÉS AU BIOGAZ

Le biogaz contient du méthane et est inflammable, ce qui peut présenter certains risques.

RISQUES LIÉS À L'ÉLECTRICITÉ

Uniquement si l'électricité est produite sur place

AUTRES RISQUES

Autres risques de sécurité liés au biodigesteur

RISQUES LIÉS AU BIOGAZ

- **Risque d'asphyxie** : Le méthane, le sulfure d'hydrogène et le dioxyde de carbone peuvent être dangereux en grandes quantités dans un espace clos.
 - *Atténuation* : Utilisez des moniteurs et vérifiez régulièrement qu'il n'y a pas de fuites, en particulier dans les espaces qui ne sont pas bien ventilés. Veillez à ce que la ventilation soit suffisante dans les cuisines.
- **Risque d'explosion** : Le méthane peut s'enflammer en présence d'une flamme ou d'une autre source d'inflammation.
 - *Atténuation* : Éviter les flammes nues et le tabagisme à proximité du biodigesteur.



RISQUES ÉLECTRIQUES

(EN CAS DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ)

- **Chocs électriques** dus à l'équipement présent
 - *Atténuation* : Éviter tout contact avec l'équipement ; s'adresser à un professionnel agréé en cas de problème de réparation.
- **Incendies d'origine électrique** dus à un dysfonctionnement
 - *Atténuation* : Couper l'électricité de l'installation. Utilisez les extincteurs appropriés. N'utilisez PAS d'eau si vous n'êtes pas sûr qu'il s'agisse d'un incendie d'origine électrique.



AUTRES RISQUES POUR LA SÉCURITÉ

- **Noyade et chute** dans le biodigesteur
 - *Atténuation* : Assurez-vous que les ouvertures qui peuvent présenter un risque de chute, en particulier pour les enfants, sont scellées ou qu'elles sont entourées d'une clôture. Si vous travaillez près d'un grand réservoir, assurez-vous qu'il y a quelqu'un à proximité.
- **Les brûlures** peuvent constituer un risque dans les grandes installations dotées d'échangeurs de chaleur, de chaudières, de pompes, etc.
 - *Atténuation* : Étiqueter clairement les surfaces chaudes et veiller à ce qu'une trousse de premiers secours soit facilement accessible.





BONNES
PRATIQUES
D'EXPLOITATION ET
D'ENTRETIEN

PRATIQUES GÉNÉRALES

Il s'agit de bonnes pratiques de sécurité faciles à suivre.

PRATIQUES D'ENTRETIEN

Si une maintenance est nécessaire, les pratiques suivantes peuvent assurer le bon fonctionnement du biodigesteur

LES PRATIQUES DE SÉCURITÉ

Ceux-ci peuvent contribuer à éviter les risques de blessures ou d'accidents

PRATIQUES GÉNÉRALES

- N'oubliez pas que la température, l'air et la qualité des matières organiques sont les trois paramètres importants. Si des changements sont nécessaires, ils doivent être effectués progressivement et avec modération.
- S'assurer qu'il y a suffisamment de **matières premières** et de volonté pour mettre en œuvre un tel projet au sein de la communauté.
- Tirer parti des possibilités de **formation** et des campagnes de sensibilisation ; se mettre en relation avec les ressources du gouvernement local et les ONG.
- Des solutions **locales innovantes** peuvent aider à surmonter les contraintes
- Tenir compte de la disponibilité de l'**eau**, qui est essentielle au fonctionnement d'un biodigester.
- **Installer** le biodigester (dans les foyers) à proximité de la cuisine afin de réduire la quantité de tuyauterie nécessaire, etc.



PRATIQUES GÉNÉRALES

- **Nettoyez** le mélange avant de l'utiliser, en éliminant les grandes quantités de paille, de pierres, etc. Veillez à ce que des produits chimiques ne s'y infiltrent pas (solutions de nettoyage, médicaments, etc.).
- N'utilisez PAS de **fumier très sec ou ancien**, ni de **mélange très humide**. Pour la bouse de vache, il convient d'utiliser un rapport de 1:1 ou 2 par rapport à l'eau. Utilisez un bâton - si la matière solide n'adhère pas, c'est qu'il y a trop d'eau.
- **Éviter les métaux** dans la construction des tuyaux, des chambres, etc. - préférer le ciment et le plastique.
- Les aspects **financiers** sont importants - voir quels modèles de propriété et de revenus sont les plus appropriés pour la communauté.



PRATIQUES D'ENTRETIEN

- **Les fuites** sont le principal problème. Vérifiez-les régulièrement à l'aide d'un mélange d'eau et de savon. Vérifiez les tuyaux, les vannes, etc. tous les mois, voire toutes les semaines.
- **L'eau** doit être **vidangée** régulièrement. Sa présence peut affecter la pression et la qualité du gaz et de la flamme.
- **L'acidité** est un problème courant dans le mélange. Un peu de chaux peut aider à ramener le pH à un niveau neutre.
- Le nettoyage est important. L'ouverture du trop-plein doit notamment être nettoyée régulièrement pour éviter les blocages.
- Observez la **flamme** : si elle est orange ou si elle ne brûle pas bien, c'est le signe que quelque chose ne va pas dans le mélange ou la composition.



PRATIQUES D'ENTRETIEN

- **Vider le digesteur** tous les 18 mois environ et nettoyer les boues/résidus au fond.
- Parfois, une couche d'**écume** peut se former sur le dessus, ce qui peut affecter la qualité du gaz. Il convient de la briser périodiquement à l'aide d'une tige. La matière première doit être examinée pour vérifier la présence d'impuretés.
- Comprendre les **besoins de maintenance** dès le départ, y compris les besoins en pièces détachées, etc.



LES PRATIQUES DE SÉCURITÉ

- **Évitez les** flammes nues ou les cigarettes à proximité du biodigesteur.
- **Évitez de** placer des équipements lourds, par exemple des tracteurs, au-dessus du biodigesteur.
- **Couvrir les** grandes ouvertures pour éviter les chutes accidentelles
- **Contrôler** régulièrement la pression du biodigesteur afin d'éviter les fuites ou les dommages et d'assurer un fonctionnement optimal.



**MERCI DE VOTRE
ATTENTION.**



ONG JVE BENIN
JEUNES VOLONTAIRES
POUR L'ENVIRONNEMENT
DEVELOPPEMENT DURABLE
AU BENIN



Supported by

