

BM-B1

Introduction à l'énergie de la biomasse et aux ressources énergétiques

Objectifs d'apprentissage

À l'issue de ce cours, les apprenants seront capables de :

- Définir l'énergie de la biomasse et expliquer son rôle dans les systèmes d'énergie renouvelable.
- Identifier les principales ressources de biomasse et les types de matières premières.
- Décrire les principales caractéristiques des matières premières de biomasse.
- Expliquer les pratiques de base de collecte, de stockage et de gestion des matières premières.
- Reconnaître les principes d'utilisation durable des ressources de biomasse.

BM-B1-1

Introduction à l'énergie de la biomasse

Objectifs d'apprentissage

À la fin de ce chapitre, vous serez capable de :

- Définir l'énergie de la biomasse en termes simples.
- Expliquer pourquoi l'énergie de la biomasse est importante pour les communautés et les industries.
- Décrire le rôle de la biomasse dans la transition vers les énergies renouvelables.
- Identifier les tendances mondiales et ouest-africaines en matière d'énergie de la biomasse.
- Reconnaître les possibilités et les défis liés au développement de l'énergie de la biomasse.
- Identifier les ressources de biomasse couramment disponibles dans votre communauté.

1.1. Définition et importance de l'énergie de la biomasse

L'énergie de la biomasse est l'énergie produite à partir de matières organiques provenant des plantes, des animaux ou de déchets biologiques. Ces matières sont appelées matières premières de biomasse. Parmi les exemples de matières premières de biomasse figurent :

- les résidus de cultures (balles de riz, tiges de maïs, épluchures de manioc) ;
- les résidus forestiers (sciure, copeaux de bois, branches d'arbres) ;
- le fumier animal ;
- les déchets alimentaires ;
- les déchets organiques municipaux.

Lorsque ces matières sont transformées ou brûlées de manière contrôlée, elles peuvent produire :

- de la chaleur pour la cuisson et l'industrie ;
- de l'électricité ;
- du biogaz pour la cuisson et l'éclairage ;
- des biocarburants pour les transports.

La figure 1.1 illustre le flux énergétique de la biomasse. La biomasse est considérée comme une source d'énergie renouvelable (SER), car les plantes et les matières organiques peuvent être cultivées ou produites à nouveau au fil du temps.

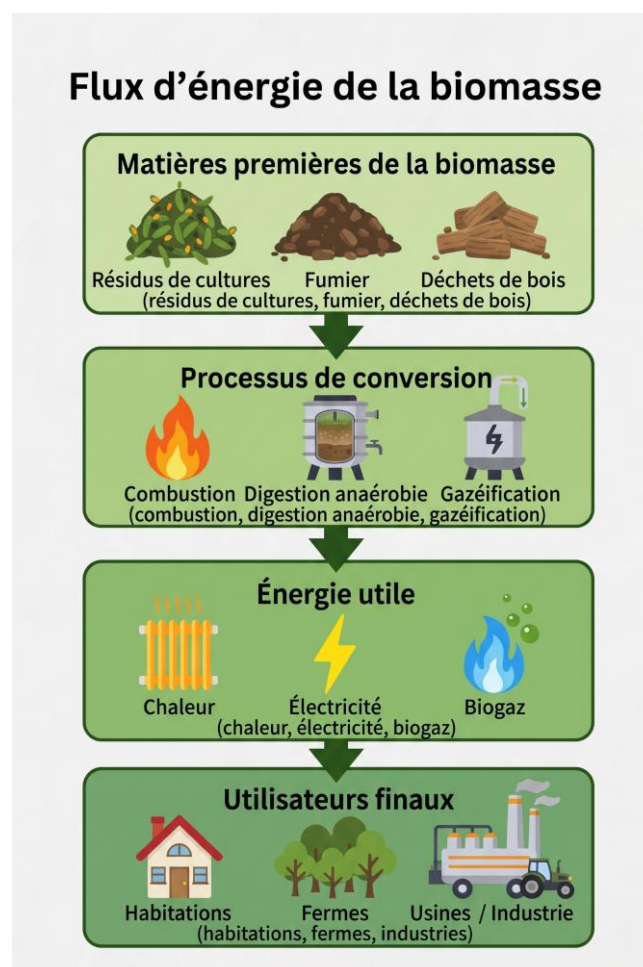


Figure 1.1 Flux énergétique de la biomasse

En quoi la biomasse diffère-t-elle des autres SER ?

L'énergie renouvelable provient de sources naturelles qui se renouvellent continuellement. La biomasse présente toutefois des différences par rapport aux autres SER.

Tableau 1.1 — SER et leurs caractéristiques

SER	Principale source d'énergie	Peut être stockée ?
Énergie solaire	Rayonnement solaire	Limitée
Énergie éolienne	Vent	Limitée
Hydroélectricité	Eau en mouvement	Limitée
Énergie de la biomasse	Matières organiques	Oui

Contrairement à l'énergie solaire et à l'énergie éolienne, la biomasse peut être stockée et utilisée lorsque cela est nécessaire. Par exemple, les balles de riz ou les granulés de bois peuvent être collectés et stockés pour une utilisation ultérieure. La biomasse joue un rôle très important en Afrique de l'Ouest, car de nombreuses communautés disposent d'abondantes ressources constituées de résidus agricoles et de déchets organiques. Elle présente notamment les avantages suivants :

1. Amélioration de l'accès à l'énergie : de nombreuses communautés rurales ne disposent pas d'un approvisionnement fiable en électricité. Les systèmes de biomasse peuvent fournir des solutions énergétiques locales sans dépendre de réseaux électriques éloignés.
2. Soutien aux moyens de subsistance en milieu rural : les agriculteurs et les entrepreneurs locaux peuvent générer des revenus en collectant, transformant et vendant des matières de biomasse.
3. Amélioration de la gestion des déchets : les déchets agricoles et organiques s'accumulent souvent dans les exploitations, les marchés et les ménages. Leur conversion en énergie contribue à réduire la pollution, à améliorer l'assainissement et à créer des produits utiles.
4. Résilience climatique : l'utilisation durable de la biomasse peut réduire la dépendance aux combustibles fossiles et contribuer à diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

Exemple concret : dans de nombreuses régions du Ghana, les scieries produisent de grandes quantités de sciure. Au lieu de laisser ces déchets s'accumuler, certaines entreprises compriment la sciure pour produire des briquettes combustibles destinées à la cuisson et au chauffage. Cette pratique permet de produire de l'énergie à partir de déchets tout en réduisant la pollution environnementale.

Activité pratique 1.1

Observez votre communauté ou votre établissement scolaire et :

1. dressez la liste de trois matières premières de biomasse possibles ;

2. indiquez une utilisation énergétique possible pour chacune.

Exemple

Matière première	Utilisation possible
Épluchures de manioc	Biogaz
Sciure	Briquettes
Fumier animal	Biogaz

Q1. Autoévaluation

Parmi les éléments suivants, lequel est un exemple de biomasse ?

A. Rayonnement solaire — B. Vent — C. Balles de riz — D. Eau en mouvement

1.2. Rôle dans la transition vers les énergies renouvelables

La transition vers les énergies renouvelables correspond au passage progressif des combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel vers des sources d'énergie plus propres et renouvelables. Dans le monde entier, les pays investissent dans les énergies renouvelables afin de réduire la pollution, d'améliorer la sécurité énergétique, de lutter contre le changement climatique et d'accroître l'accès à l'électricité.

La biomasse constitue un élément important de cette transition. L'énergie solaire et l'énergie éolienne sont d'excellentes SER, mais elles dépendent des conditions météorologiques. Par exemple, les panneaux solaires ne produisent de l'électricité que lorsque le rayonnement solaire est disponible, tandis que les éoliennes nécessitent une vitesse de vent suffisante. Ce phénomène est appelé intermittence, ce qui signifie que la production d'énergie n'est pas continue.

La biomasse contribue à résoudre ce problème parce que :

- elle peut être stockée ;
- l'énergie peut être produite au moment où elle est nécessaire ;
- les systèmes de biomasse peuvent fonctionner de jour comme de nuit.

La biomasse peut donc fonctionner en complément des systèmes solaires et éoliens afin d'assurer un approvisionnement énergétique plus fiable.

a. La biomasse contribue à l'indépendance énergétique

L'indépendance énergétique consiste à satisfaire les besoins énergétiques à partir de ressources locales plutôt que de dépendre fortement de combustibles importés. Les pays d'Afrique de l'Ouest consacrent des montants importants à l'importation de combustibles fossiles. L'utilisation de ressources de biomasse disponibles localement peut :

- réduire les importations de combustibles ;
- conserver davantage de valeur économique au sein des économies locales ;
- améliorer la sécurité énergétique.

b. La biomasse soutient la production décentralisée d'électricité

La production décentralisée d'électricité désigne une production réalisée à proximité du lieu où l'électricité est consommée. Elle peut prendre la forme de :

- systèmes de biogaz à l'échelle d'un village ;
- centrales communautaires à biomasse ;
- systèmes énergétiques installés dans les exploitations agricoles.

Ces systèmes peuvent desservir des communautés éloignées des réseaux électriques nationaux.

c. La biomasse favorise la cuisson propre

Les méthodes de cuisson traditionnelles reposent souvent sur le bois de feu et le charbon de bois. Elles peuvent entraîner une pollution de l'air intérieur, des problèmes de santé et la déforestation. Les technologies modernes de biomasse, notamment les cuisinières au biogaz, les briquettes de biomasse et les foyers améliorés, peuvent offrir des solutions de cuisson plus propres et plus efficaces.

d. La biomasse contribue à réduire la déforestation

Lorsque des résidus agricoles et des briquettes de biomasse sont utilisés comme combustibles de substitution, la pression exercée sur les forêts peut être réduite. Cela contribue à :

- protéger la biodiversité ;
- préserver les bassins versants ;
- maintenir des écosystèmes sains.

Exemple concret : plusieurs projets au Nigeria ont transformé des épluchures de manioc en biogaz. La transformation du manioc produit de grandes quantités de déchets organiques. Au lieu de les mettre en décharge, ces déchets peuvent être introduits dans des digesteurs de biogaz, où des micro-organismes produisent un biogaz riche en méthane. Le biogaz peut ensuite être utilisé pour la cuisson, l'éclairage et la production d'électricité à petite échelle.

Activité pratique 1.2

En groupe, discutez des questions suivantes :

1. quelles sources d'énergie sont couramment utilisées dans votre communauté ?

2. la biomasse pourrait-elle améliorer l’approvisionnement énergétique ?

3. quelle ressource locale de biomasse est la plus disponible ?

Préparez une courte présentation de vos conclusions.

Q2. Autoévaluation

La biomasse peut compléter les systèmes solaires et éoliens parce que l’énergie de la biomasse peut être _____ et utilisée au moment où elle est nécessaire.

1.3. Tendances mondiales et locales de l’énergie de la biomasse

1.3.1. Tendances mondiales de l’énergie de la biomasse

Dans le monde, l’énergie de la biomasse continue de se développer à mesure que les pays recherchent des systèmes énergétiques plus propres et plus durables. Les principales tendances mondiales comprennent :

a. Augmentation de la demande d’énergie renouvelable : les gouvernements et les industries accroissent leurs investissements dans les technologies d’énergie renouvelable. La biomasse contribue à :

- la production d’électricité ;
- la production de chaleur industrielle ;
- la production de carburants pour les transports.

b. Bioénergie moderne dans l’industrie : de nombreuses industries utilisent désormais la biomasse à la place des combustibles fossiles pour produire de la chaleur et de la vapeur, notamment dans :

- la transformation alimentaire ;
- la production de ciment ;
- la transformation des produits agricoles.

c. Carburants d’aviation durables : le secteur aéronautique développe des carburants d’aviation durables (SAF) produits en partie à partir de ressources de biomasse. Ces carburants peuvent contribuer à réduire les émissions de carbone du transport aérien.

1.3.2. Tendances de l’énergie de la biomasse en Afrique de l’Ouest

L’Afrique de l’Ouest dispose de ressources importantes de biomasse en raison de l’importance de son secteur agricole. Plusieurs tendances se développent :

a. Foyers améliorés : les foyers améliorés utilisent le combustible plus efficacement que les méthodes de cuisson traditionnelles. Ils permettent notamment :

- de réduire la consommation de combustible ;
- de diminuer les émissions de fumée ;

- d'améliorer la santé des ménages.

b. Petits digesteurs de biogaz : les agriculteurs utilisent de plus en plus le fumier animal pour produire du biogaz.

Les avantages comprennent :

- un combustible propre pour la cuisson ;
- une réduction des déchets ;
- la production d'engrais organiques.

c. Briquetage des résidus agricoles : les résidus agricoles peuvent être comprimés sous forme de briquettes. Les matières couramment utilisées comprennent les balles de riz, les coques d'arachide, la sciure et les résidus de maïs. Les briquettes constituent une solution de remplacement plus propre du charbon de bois traditionnel.

1.3.3. Politiques relatives aux énergies renouvelables

Les organisations régionales et les gouvernements soutiennent le développement des énergies renouvelables. La Politique des énergies renouvelables de la CEDEAO (EREP) encourage les États membres à développer l'utilisation des énergies renouvelables, y compris l'énergie de la biomasse.

Malgré son potentiel, le développement de l'énergie de la biomasse rencontre encore plusieurs obstacles :

- Coûts initiaux élevés : des équipements tels que les digesteurs, les gazéificateurs et les machines de briquetage peuvent nécessiter des investissements importants.
- Sensibilisation limitée : certaines communautés connaissent encore peu les technologies modernes de biomasse.
- Difficultés de maintenance : une maintenance insuffisante peut réduire les performances et la fiabilité des systèmes.
- Compétences techniques limitées : de nombreux projets nécessitent des techniciens formés pour l'installation et l'exploitation.

1.3.4. Possibilités de croissance

L'énergie de la biomasse crée également d'importantes possibilités de développement. Elle peut notamment favoriser l'emploi des jeunes. Les jeunes peuvent trouver des emplois dans :

- la collecte des matières premières ;
- l'installation des équipements ;
- la maintenance des systèmes ;
- la production de briquettes.

Agriculture à valeur ajoutée : les déchets agricoles peuvent devenir des produits énergétiques utiles au lieu d'être éliminés.

Développement d'entreprises rurales : les entreprises locales peuvent produire et vendre des briquettes, du biogaz et des combustibles issus de la biomasse. Cela génère des revenus et soutient le développement économique local.

Exemple concret : la production de riz au Sénégal génère de grandes quantités de balles de riz. Certaines communautés et entreprises étudient l'utilisation de systèmes de gazéification des balles de riz pour produire de la chaleur et de l'électricité, transformant ainsi un déchet agricole en ressource énergétique utile.

Activité pratique 1.3

Visitez, si possible, une exploitation agricole, un marché, une rizerie, une unité de transformation du manioc ou une scierie. Identifiez :

1. un type de déchet de biomasse produit ;
2. un produit énergétique qui pourrait être fabriqué à partir de ce déchet ;
3. un avantage pour la communauté.

Présentez vos observations à la classe.

Q3. Autoévaluation

Associez chaque tendance de la biomasse à sa description.

Exercice d'association

Tendance	Description
A. Foyer amélioré	1. Transforme le fumier en gaz combustible
B. Digesteur de biogaz	2. Comprime la biomasse en blocs combustibles
C. Briquetage	3. Utilise le combustible plus efficacement

1.4. Résumé du chapitre

L'énergie de la biomasse est une source d'énergie renouvelable issue de matières organiques telles que les résidus de cultures, les déchets de bois, le fumier animal et d'autres déchets biodégradables. Contrairement aux énergies solaire et éolienne, la biomasse peut être stockée et utilisée au moment voulu, ce qui en fait une source d'énergie fiable. En Afrique de l'Ouest, elle joue un rôle essentiel dans l'amélioration de l'accès à l'énergie, le soutien aux moyens de subsistance ruraux, l'amélioration de la gestion des déchets et le renforcement de la résilience climatique.

La biomasse complète les autres sources d'énergie renouvelable en fournissant de l'énergie lorsque le soleil ou le vent ne sont pas disponibles. Elle contribue aussi à la cuisson propre, à la production décentralisée d'électricité et à la réduction de la déforestation grâce à l'emploi de combustibles de substitution issus de la biomasse. À l'échelle mondiale, la biomasse est de plus en plus utilisée pour la chaleur industrielle, la production d'électricité et les carburants durables pour les transports. En Afrique de l'Ouest, l'adoption de foyers améliorés, de systèmes de biogaz, de briquettes de biomasse et de politiques favorables aux énergies renouvelables crée de nouvelles possibilités de développement durable, de protection de l'environnement et d'emplois verts.

Ressources de biomasse et matières premières

Objectifs d'apprentissage

À la fin de ce chapitre, vous serez capable de :

- Identifier les principaux types de ressources de biomasse utilisés pour la production d'énergie.
- Distinguer les résidus agricoles, les résidus forestiers, les déchets animaux et les déchets organiques municipaux ou industriels.
- Décrire les matières premières de biomasse courantes disponibles en Afrique de l'Ouest.
- Reconnaître les avantages et les difficultés associés aux différentes ressources de biomasse.
- Évaluer les matières premières de biomasse potentielles dans votre communauté.
- Comprendre comment la disponibilité des matières premières influence la production d'énergie de la biomasse.

2.1. Résidus agricoles

Les résidus agricoles sont les matières végétales qui subsistent après la récolte ou la transformation des cultures. Ils sont souvent considérés comme des déchets, mais peuvent constituer de précieuses ressources énergétiques. Les résidus agricoles courants en Afrique de l'Ouest comprennent :

- les balles de riz ;
- la paille de riz ;
- les tiges et rafles de maïs ;
- les épluchures de manioc ;
- les coques d'arachide ;
- les coques de noix de coco ;
- les coques de palmiste ;
- la bagasse de canne à sucre ;
- les tiges de coton ;
- les résidus de sorgho.

Les résidus agricoles figurent parmi les ressources de biomasse les plus abondantes en Afrique de l'Ouest, car l'agriculture constitue une activité économique majeure dans toute la région.

Comment les résidus agricoles sont-ils utilisés pour produire de l'énergie ?

Les résidus agricoles peuvent être convertis en énergie par plusieurs méthodes :

1. Combustion directe : la biomasse est brûlée pour produire de la chaleur utilisée pour la cuisson, le séchage des produits agricoles et le chauffage industriel.
2. Briquetage : les matières de biomasse en vrac sont comprimées pour former des blocs combustibles solides appelés briquettes. Les avantages comprennent un transport plus facile, une manutention plus propre et une meilleure efficacité d'utilisation du combustible.
3. Gazéification : la biomasse est transformée en un gaz combustible pouvant être utilisé pour produire de la chaleur ou de l'électricité.
4. Production de biogaz : certains résidus agricoles peuvent être mélangés à des déchets animaux dans des digesteurs afin de produire du biogaz.

Avantages des résidus agricoles

- Ils sont largement disponibles dans les communautés agricoles.
- Ils sont souvent peu coûteux ou gratuits.
- Leur utilisation réduit le brûlage à l'air libre des résidus de cultures.
- Elle crée des possibilités de revenus supplémentaires pour les agriculteurs.
- Elle soutient la production d'énergie renouvelable.

Difficultés

- Disponibilité saisonnière.
- Coûts de collecte et de transport.
- Usages concurrents, par exemple l'alimentation animale ou l'amélioration des sols.
- Difficultés de stockage pendant la saison des pluies.

Exemple concret : la production de riz en Côte d'Ivoire génère des quantités importantes de balles de riz. Au lieu de les éliminer, certaines rizeries les utilisent comme combustible pour les opérations de séchage et la production d'énergie à petite échelle. Cela réduit les déchets tout en diminuant les coûts de combustible.

Activité pratique 2.1

Visitez une exploitation agricole ou une unité de transformation agricole située à proximité et identifiez :

1. trois résidus agricoles produits ;
2. une utilisation énergétique possible pour chacun ;
3. les difficultés susceptibles d'affecter leur collecte ou leur stockage.

Consignez vos observations et discutez-en en classe.

Q1. Autoévaluation

Lequel des éléments suivants est un résidu agricole ?

A. Fumier animal — B. Balles de riz — C. Déchets alimentaires de marché — D. Sciure

2.2. Résidus forestiers

Les résidus forestiers sont des matières de biomasse générées par les forêts, les opérations d'exploitation forestière, les industries de transformation du bois et les activités d'entretien des arbres. Ils comprennent notamment les branches, l'écorce, les copeaux de bois, la sciure, les chutes de bois provenant du sciage, les rabotures et les produits de l'élague. Ces matières sont souvent produites lors :

- de l'exploitation forestière ;
- des activités de scierie ;
- de la fabrication de meubles ;
- de l'élague et de l'entretien des arbres.

2.2.1. Sources de résidus forestiers en Afrique de l'Ouest

En Afrique de l'Ouest, les résidus forestiers sont généralement disponibles dans :

- les régions productrices de bois ;
- les scieries ;
- les ateliers de fabrication de meubles ;
- les industries de transformation du bois ;
- les projets de gestion communautaire des forêts.

Des pays tels que le Ghana, le Nigeria et le Liberia disposent d'importantes industries forestières qui produisent de grandes quantités de résidus de bois.

2.2.2. Utilisations énergétiques des résidus forestiers

a. Bois de feu et combustible bois : le bois demeure une source d'énergie importante pour de nombreux ménages et secteurs industriels.

b. Briquettes et granulés : la sciure et les rabotures peuvent être comprimées sous forme de briquettes et de granulés. Ces combustibles brûlent plus efficacement que la biomasse en vrac.

c. Production d'électricité à partir de biomasse : les résidus de bois peuvent être utilisés dans des chaudières et des centrales à biomasse pour produire de l'électricité.

Les résidus forestiers présentent notamment les avantages suivants :

- teneur énergétique élevée ;
- transformation relativement facile ;
- réduction des déchets dans les industries du bois ;
- possibilité de remplacer des combustibles fossiles.

2.2.3. Utilisation durable des résidus forestiers

Il est très important d'utiliser les résidus forestiers de manière durable. Une exploitation non durable peut entraîner :

- la déforestation ;
- la dégradation des sols ;
- la perte de biodiversité.

Les bonnes pratiques comprennent :

- l'utilisation des déchets de bois plutôt que l'abattage d'arbres supplémentaires ;
- la replantation des arbres récoltés ;
- le respect de plans de gestion forestière durable.

Exemple concret : de nombreuses scieries au Ghana génèrent de grandes quantités de sciure et de chutes de bois. Certaines entreprises transforment ces déchets en briquettes de biomasse vendues aux ménages et aux petites industries comme combustibles de substitution pour la cuisson et le chauffage.

Activité pratique 2.2

Observez, si possible, un atelier de meubles, une menuiserie ou une scierie. Dressez la liste :

1. des types de déchets de bois produits ;
2. des produits énergétiques qui pourraient être fabriqués à partir de ces déchets ;
3. des avantages environnementaux liés à leur valorisation.

Q2.2. Autoévaluation

La sciure comprimée en blocs combustibles solides est appelée _____.

2.3. Déchets animaux

Les déchets animaux comprennent le fumier, l'urine et d'autres matières organiques issues de l'élevage. Les sources courantes sont les élevages de bovins, de volailles, de porcs, de chèvres et de moutons. Les déchets animaux constituent une ressource de biomasse importante, car ils peuvent être transformés en énergie utile tout en réduisant la pollution environnementale.

2.3.1. Production de biogaz à partir des déchets animaux

L'utilisation énergétique la plus courante des déchets animaux est la production de biogaz. Le fumier est introduit dans un digesteur, où des micro-organismes dégradent la matière organique en l'absence d'oxygène. Ce processus produit :

- du biogaz : un gaz combustible principalement composé de méthane et de dioxyde de carbone, utilisé pour la cuisson, l'éclairage et la production d'électricité ;
- du digestat : un coproduit riche en éléments nutritifs pouvant être utilisé comme engrais organique.

Avantages de l'utilisation des déchets animaux

1. Amélioration de l'assainissement : une gestion appropriée des déchets réduit la contamination de l'environnement.
2. Production d'énergie renouvelable : le biogaz peut remplacer le bois de feu, le charbon de bois et les combustibles fossiles.
3. Production d'engrais : le digestat améliore la fertilité des sols et la productivité des cultures.
4. Réduction des émissions de gaz à effet de serre : la récupération du méthane réduit les émissions qui seraient autrement rejetées dans l'atmosphère.

Difficultés

- Coûts initiaux d'installation.
- Nécessité d'une maintenance régulière.
- Besoins en eau.
- Connaissances techniques limitées dans certaines communautés.

Exemple concret : plusieurs communautés agricoles au Nigeria utilisent le fumier bovin dans de petits digesteurs de biogaz. Le biogaz produit sert à la cuisson domestique, tandis que le digestat est épandu sur les cultures comme engrais organique. Le procédé offre ainsi des avantages à la fois énergétiques et agricoles.

Activité pratique 2.3

Identifiez les élevages présents dans votre région. Créez un tableau simple indiquant :

Exemple de relevé

Type d'animal	Déchet produit	Utilisation énergétique possible
Exemple : bovins	Fumier	Biogaz

Discutez de vos résultats avec vos camarades.

Q3. Autoévaluation — Vrai ou faux

Le biogaz produit à partir de fumier animal peut être utilisé pour la cuisson.

2.4. Déchets organiques municipaux et industriels

Les déchets organiques municipaux sont les déchets biodégradables produits par les ménages, les marchés, les restaurants et les institutions publiques. Ils comprennent notamment :

- les restes alimentaires ;
- les épluchures de fruits ;
- les déchets de légumes ;
- les déchets de jardin ;
- les déchets de marché.

Les grandes villes d'Afrique de l'Ouest produisent chaque jour des quantités importantes de déchets organiques.

2.4.1. Qu'est-ce qu'un déchet organique industriel ?

Les déchets organiques industriels proviennent des industries agroalimentaires et agricoles, notamment :

- les déchets de transformation du manioc ;
- les résidus des huileries de palme ;
- les déchets de brasserie ;
- les déchets de transformation du sucre ;
- les résidus de transformation du cacao ;
- les déchets de transformation des fruits.

Ces déchets contiennent des matières organiques pouvant être transformées en énergie.

2.4.2. Options de conversion énergétique

1. Production de biogaz : les déchets organiques peuvent être digérés afin de produire du biogaz.
2. Compostage et récupération d'énergie : certains systèmes associent la production de compost à la production d'énergie.
3. Combustion directe : certains résidus industriels peuvent être brûlés pour produire de la chaleur.
4. Production de briquettes : les matières organiques sèches peuvent être transformées en briquettes combustibles.

Avantages

- Amélioration de la gestion des déchets : réduction de l'accumulation de déchets dans les communautés.
- Réduction de la pollution : limitation des dépôts sauvages et du brûlage non contrôlé.
- Production d'énergie : production d'une énergie utile à partir de matières qui seraient autrement éliminées.
- Création d'emplois : soutien aux activités de collecte, de traitement des déchets et de production d'énergie.

Difficultés

- Nécessité de trier les déchets.
- Coûts de collecte et de transport.
- Sensibilisation limitée du public.
- Besoins de maintenance des équipements.

Exemple concret : le Nigeria est l'un des plus grands producteurs mondiaux de manioc. La transformation du manioc génère de grandes quantités d'épluchures et d'eaux usées. Plusieurs projets ont démontré l'utilisation de ces déchets pour produire du biogaz, créant ainsi de l'énergie tout en réduisant la pollution environnementale.

Activité pratique 2.4

Visitez un marché local, une zone de restauration ou une unité de transformation alimentaire. Identifiez :

1. les types de déchets organiques produits ;
2. les produits énergétiques de biomasse possibles ;
3. les avantages environnementaux de leur conversion en énergie.

Préparez un court rapport pour une discussion en classe.

Q4. Autoévaluation

Associez chaque type de déchet à son exemple.

Exercice d'association

Type de déchet	Exemple
A. Résidu agricole	1. Restes alimentaires
B. Résidu forestier	2. Balles de riz
C. Déchet animal	3. Sciure
D. Déchet organique municipal	4. Fumier bovin

2.5. Résumé du chapitre

Les matières premières de biomasse sont les matières organiques brutes utilisées pour produire de l'énergie à partir de biomasse. Elles proviennent de sources diverses : agriculture, foresterie, élevage, municipalités et agro-industries. Les résidus agricoles courants tels que les balles de riz, les épluchures de manioc, les tiges de maïs et les coques d'arachide constituent des ressources énergétiques précieuses souvent sous-utilisées. Les résidus forestiers, notamment la sciure, les copeaux de bois, l'écorce et les chutes de bois, contribuent également de manière importante à la production d'énergie de la biomasse.

Les déchets animaux constituent une ressource importante pouvant être transformée en biogaz pour la cuisson et la production d'électricité ; le digestat obtenu peut servir d'engrais organique. Les déchets organiques municipaux, comme les restes alimentaires, les déchets de marché et les déchets de jardin, offrent d'autres possibilités de production d'énergie renouvelable et d'amélioration de la gestion des déchets. De même, les résidus organiques industriels provenant de la transformation du manioc, de la production d'huile de palme, du sucre, du cacao et d'autres industries alimentaires peuvent être transformés en produits bioénergétiques utiles.

L'utilisation efficace de ces matières premières améliore l'accès à l'énergie, réduit la pollution environnementale, favorise une gestion durable des déchets et soutient le développement économique par la création d'emplois et de revenus. Grâce à l'abondance de ses ressources agricoles, forestières, municipales et industrielles, l'Afrique de l'Ouest possède un fort potentiel d'expansion de la production énergétique durable à partir de biomasse et de renforcement de la sécurité énergétique et de la durabilité environnementale régionales.

Questions de révision de fin de chapitre

1. Que sont les matières premières de biomasse et pourquoi sont-elles importantes pour la production d'énergie de la biomasse ?
2. Citez quatre exemples de résidus agricoles pouvant être utilisés comme matières premières de biomasse.
3. Comment les déchets animaux peuvent-ils être valorisés pour produire de l'énergie et d'autres produits utiles ?
4. Distinguez les déchets organiques municipaux des déchets organiques industriels et donnez deux exemples de chacun.
5. Expliquez comment l'utilisation appropriée des matières premières de biomasse contribue à la protection de l'environnement et au développement économique.
6. Pourquoi considère-t-on que l'Afrique de l'Ouest dispose d'un fort potentiel de production énergétique durable à partir des ressources de biomasse ?

Caractéristiques des matières premières

Objectifs d'apprentissage

À la fin de ce chapitre, vous serez capable de :

- Définir les principales caractéristiques des matières premières de biomasse.
- Expliquer l'importance de la teneur en humidité, du pouvoir calorifique, de la masse volumique apparente et de la teneur en cendres.
- Comparer différentes matières premières de biomasse en fonction de leurs caractéristiques.
- Identifier comment les propriétés des matières premières influencent le rendement de la production d'énergie.
- Sélectionner des matières premières adaptées à différentes applications énergétiques de la biomasse.

3.1. Teneur en humidité

La teneur en humidité correspond à la quantité d'eau présente dans une matière de biomasse. Elle est généralement exprimée en pourcentage de la masse totale de la matière première. Par exemple :

- l'herbe fraîche peut contenir 60 à 80 % d'humidité ;
- le bois frais peut contenir 30 à 60 % d'humidité ;
- des balles de riz correctement séchées peuvent contenir moins de 15 % d'humidité.

Pourquoi la teneur en humidité est-elle importante ?

L'eau ne produit pas d'énergie. Avant que la biomasse puisse brûler efficacement, l'eau qu'elle contient doit être évaporée.

Une forte teneur en humidité :

- réduit l'efficacité du combustible ;
- augmente la production de fumée ;
- rend l'allumage plus difficile ;
- augmente les coûts de transport.

Une faible teneur en humidité :

- améliore la combustion ;
- produit davantage de chaleur utile ;
- réduit les émissions.

Tableau 3.1 — Teneur en humidité typique de matières premières courantes

Matière première	Teneur en humidité typique (%)
Balles de riz	8–15
Sciure	10–50
Épluchures de manioc (fraîches)	60–75
Fumier animal	70–90
Briquettes	8–12

Exemple concret : les épluchures de manioc fraîches contiennent de grandes quantités d'eau. De nombreux projets de biomasse les sèchent avant de les transformer en briquettes ou de les utiliser comme intrants de production de biogaz afin d'améliorer l'efficacité.

Activité pratique 3.1

Collectez des échantillons de feuilles, de résidus de cultures ou de bois dans votre environnement. Comparez :

- quel matériau paraît le plus humide ?
- quel matériau brûlerait probablement le plus facilement ?

Discutez de vos observations.

Q3.1. Autoévaluation — Complétez :

Une forte teneur en humidité _____ généralement l'efficacité énergétique d'un combustible issu de la biomasse.

3.2. Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est la quantité d'énergie libérée lorsqu'un combustible brûle complètement. Il est généralement mesuré en mégajoules par kilogramme (MJ/kg). Plus le pouvoir calorifique est élevé, plus le combustible peut produire d'énergie.

Tableau 3.2 — Exemples de pouvoir calorifique de matières premières courantes

Matière première	Pouvoir calorifique approximatif (MJ/kg)
Granulés de bois	16–20
Balles de riz	13–16
Coques d’arachide	16–19
Charbon de bois	25–30
Sciure sèche	15–18

Le pouvoir calorifique permet d’évaluer :

- la qualité du combustible ;
- la quantité d’énergie produite ;
- la valeur économique ;
- les performances de l’équipement.

Les matières premières présentant un pouvoir calorifique plus élevé fournissent généralement davantage d’énergie par kilogramme.

Les facteurs influençant le pouvoir calorifique comprennent :

- la teneur en humidité ;
- le type de matière première ;
- la composition chimique ;
- la teneur en cendres.

Exemple concret : la transformation de l’arachide produit de grandes quantités de coques. En raison de leur pouvoir calorifique relativement élevé, celles-ci sont de plus en plus utilisées pour fabriquer des briquettes combustibles et pour des applications de chauffage industriel.

Activité pratique 3.2

Comparez le bois de feu, les balles de riz et le charbon de bois. Discutez :

- quel combustible les habitants de votre région préfèrent-ils ?
- pourquoi pourraient-ils choisir ce combustible ?

Q3.2. Autoévaluation

Quelle caractéristique indique la quantité d’énergie qu’un combustible peut produire ?

3.3. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente est la masse de biomasse par unité de volume. Elle est généralement exprimée en kilogrammes par mètre cube (kg/m³). Elle influence le transport, le stockage et la manutention.

Tableau 3.3 — Exemples typiques de masse volumique apparente

Matière première	Masse volumique apparente
Paille	Faible
Balles de riz	Faible
Copeaux de bois	Moyenne
Briquettes	Élevée
Granulés	Élevée

Une masse volumique apparente plus élevée signifie :

- qu'une plus grande quantité de matière peut être transportée en une seule fois ;
- qu'un volume de stockage plus faible est nécessaire ;
- que les coûts de transport peuvent être réduits.

Les méthodes permettant d'augmenter la masse volumique apparente comprennent :

- le briquetage ;
- la granulation ;
- la compression.

Exemple concret : plusieurs entreprises au Ghana compriment la sciure et les résidus agricoles sous forme de briquettes. Cette opération augmente leur masse volumique apparente et facilite le transport et le stockage.

Activité pratique 3.3

Remplissez deux récipients de même volume :

- l'un avec des feuilles en vrac ;

- l'autre avec de la sciure compactée.

Comparez leur masse et discutez des résultats.

Q3.3. Autoévaluation — Vrai ou faux

Pour une même quantité de combustible, une biomasse dont la masse volumique apparente est plus élevée nécessite généralement moins d'espace de stockage.

3.4. Teneur en cendres

La teneur en cendres désigne la quantité de matière non combustible qui reste après la combustion de la biomasse. Les constituants susceptibles de former des cendres comprennent notamment les particules de sol, le sable et les minéraux.

Une teneur élevée en cendres :

- réduit l'efficacité énergétique ;
- augmente les besoins de nettoyage ;
- accroît l'usure des équipements ;
- crée des difficultés d'élimination.

Une faible teneur en cendres :

- améliore les performances de combustion ;
- réduit les coûts de maintenance.

Tableau 3.4 — Teneur en cendres typique des matières premières

Matière première	Teneur en cendres (%)
Bois	1–3
Briquettes	2–10
Balles de riz	15–25
Paille	5–15

Méthodes de gestion des cendres

- Utiliser des matières premières propres.
- Éliminer la contamination par le sol.
- Évacuer les cendres de manière responsable.
- Lorsque cela est approprié, réutiliser les cendres adaptées comme amendement du sol.

Exemple concret : les balles de riz produisent des quantités importantes de cendres. Les opérateurs doivent retirer régulièrement les cendres des systèmes de combustion afin de maintenir un fonctionnement efficace.

3.5. Résumé du chapitre

Les caractéristiques des matières premières de biomasse jouent un rôle déterminant dans leur aptitude et leur efficacité pour la production d'énergie. La teneur en humidité influence fortement l'efficacité de combustion : des niveaux élevés d'humidité réduisent l'énergie nette produite et la qualité du combustible. Le pouvoir calorifique constitue un indicateur important du potentiel énergétique de la biomasse et permet d'évaluer son efficacité comme combustible. La masse volumique apparente influe sur l'économie de l'utilisation de la biomasse par ses effets sur les coûts de stockage, de manutention et de transport.

La teneur en cendres est également un paramètre essentiel, car un excès de cendres peut entraîner des difficultés d'exploitation, des besoins de maintenance accrus et une baisse des performances des équipements. Une bonne compréhension de ces caractéristiques est donc indispensable pour optimiser les systèmes énergétiques à biomasse, améliorer l'efficacité de conversion et assurer un fonctionnement fiable et économiquement efficace.

Questions de révision de fin de chapitre

1. Définissez la teneur en humidité.
2. Pourquoi une forte teneur en humidité est-elle indésirable dans les combustibles issus de la biomasse ?
3. Qu'est-ce que le pouvoir calorifique ?
4. Quelle caractéristique de la matière première détermine la quantité d'énergie produite ?
5. Définissez la masse volumique apparente.
6. Quel est l'effet du briquetage sur la masse volumique apparente ?
7. Qu'est-ce que la teneur en cendres ?
8. Citez deux problèmes causés par une forte teneur en cendres.
9. Quelle caractéristique de la matière première influence le plus l'efficacité du transport ?
10. Comparez l'importance de la teneur en humidité et du pouvoir calorifique dans la production d'énergie de la biomasse.

Gestion des matières premières

Objectifs d'apprentissage

À la fin de ce chapitre, vous serez capable de :

- Expliquer les méthodes de collecte des matières premières de biomasse.
- Décrire les exigences de transport.
- Identifier des méthodes de stockage adaptées.
- Expliquer les techniques de prétraitement des matières premières.
- Appliquer de bonnes pratiques de gestion des matières premières.

4.1. Collecte et transport

La collecte des matières premières consiste à rassembler les ressources de biomasse sur leurs lieux de production, par exemple dans les exploitations agricoles, les scieries, les marchés et les élevages.

Bonnes pratiques de collecte

- Collecter des matières propres.
- Éviter la contamination par la terre et les pierres.
- Séparer les différents types de matières premières.
- Réduire les pertes au minimum.

Le transport permet d'acheminer les matières premières des sites de collecte vers les unités de transformation. Les moyens de transport peuvent comprendre les charrettes à bras, les motocyclettes, les camions et les tracteurs.

Difficultés

- Mauvais état des routes.
- Longues distances.
- Accessibilité saisonnière.
- Coûts élevés des carburants.

Exemple concret : les rizeries transportent souvent les balles de riz vers des unités de transformation proches, où elles sont converties en briquettes combustibles ou utilisées dans des chaudières à biomasse.

Activité pratique 4.1

Identifiez une ressource de biomasse à proximité de votre communauté et décrivez comment elle pourrait être collectée et transportée.

Q4.1. Autoévaluation

Citez deux facteurs qui influencent les coûts de transport de la biomasse.

4.2. Méthodes de stockage

Le stockage permet de disposer d'un approvisionnement fiable en biomasse tout au long de l'année. Un stockage approprié réduit l'absorption d'humidité, évite l'altération des matières et préserve la qualité du combustible.

4.2.1. Méthodes de stockage

- a. Stockage couvert : protège la biomasse de la pluie et du rayonnement solaire.
- b. Hangars et entrepôts : utilisés pour de plus grandes quantités de biomasse.
- c. Sacs et conteneurs : adaptés aux briquettes et aux granulés.

Bonnes pratiques de stockage

- Maintenir la biomasse au sec.
- Assurer une ventilation suffisante.
- Prévenir les infestations de nuisibles.
- Appliquer la gestion « premier entré, premier sorti » (FIFO).

Exemple concret : les unités de transformation de l'arachide stockent souvent les coques dans des hangars couverts avant leur utilisation pour produire du combustible.

Activité pratique 4.2

Inspectez une zone de stockage à la maison, à l'école ou dans une exploitation agricole. Proposez des améliorations qui permettraient de préserver la qualité de la biomasse.

Q4.2. Autoévaluation

Pourquoi faut-il protéger la biomasse de la pluie pendant son stockage ?

4.3. Prétraitement et préparation

Le prétraitement consiste à préparer la biomasse avant sa conversion énergétique. Les méthodes courantes comprennent :

- Séchage : réduit la teneur en humidité.
- Réduction de taille : comprend le hachage, le broyage et le déchiquetage.
- Briquetage : comprime la biomasse pour former des blocs combustibles denses.
- Granulation : produit de petits granulés combustibles.

Avantages

- Amélioration de la qualité du combustible.

- Transport plus facile.
- Meilleure efficacité de combustion.
- Caractéristiques plus uniformes des matières premières.

Exemple concret : de petites entreprises compriment la sciure sous forme de briquettes qui brûlent plus efficacement que la sciure en vrac.

Activité pratique 4.3

Citez trois méthodes de prétraitement susceptibles d'améliorer une matière première de biomasse présente dans votre communauté.

Q4.3. Autoévaluation

Quelle méthode de prétraitement est utilisée pour réduire la teneur en humidité ?

4.4. Résumé du chapitre

Une gestion efficace des matières premières est fondamentale pour la réussite des systèmes énergétiques à biomasse. De bonnes pratiques de collecte permettent de limiter la contamination et les pertes, tout en assurant un approvisionnement régulier en biomasse de bonne qualité. Des méthodes de transport efficaces réduisent les coûts de la chaîne d'approvisionnement et améliorent la viabilité économique globale de l'utilisation de la biomasse. De bonnes pratiques de stockage sont essentielles pour préserver la qualité du combustible en évitant l'absorption d'humidité, la dégradation et les pertes de matière.

Les opérations de prétraitement telles que la réduction de taille, le séchage et la densification améliorent en outre la manutention, le stockage et les performances de conversion. Dans l'ensemble, une collecte, un transport, un stockage et un prétraitement bien gérés contribuent à la fiabilité, à l'efficacité et à la durabilité des systèmes énergétiques à biomasse.

Questions de révision de fin de chapitre

1. Qu'est-ce que la collecte des matières premières ?
2. Pourquoi faut-il protéger les matières premières contre la contamination ?
3. Citez trois moyens utilisés pour transporter la biomasse.
4. Quels facteurs influencent les coûts de transport ?
5. Pourquoi le stockage est-il important ?
6. Citez trois bonnes pratiques de stockage de la biomasse.
7. Qu'est-ce que le prétraitement ?
8. Citez quatre méthodes courantes de prétraitement.
9. Comment le séchage améliore-t-il la qualité de la biomasse ?
10. Expliquez comment une bonne gestion des matières premières améliore la production d'énergie de la biomasse.

Gestion durable des ressources de biomasse

Objectifs d'apprentissage

À la fin de ce chapitre, vous serez capable de :

- Évaluer la disponibilité des ressources de biomasse.
- Expliquer les pratiques de récolte durable.
- Identifier les impacts environnementaux liés à l'utilisation de la biomasse.
- Appliquer les principes de durabilité à la gestion des ressources de biomasse.

5.1. Évaluation de la disponibilité des ressources

L'évaluation de la disponibilité des ressources consiste à déterminer la quantité, la qualité et l'accessibilité des ressources de biomasse. Les facteurs à prendre en compte comprennent :

- la quantité de ressources ;
- la disponibilité saisonnière ;
- l'accessibilité ;
- les usages concurrents.

L'évaluation des ressources contribue à assurer un approvisionnement fiable en matières premières, à éviter les pénuries et à améliorer la planification des projets.

5.2. Pratiques de récolte durable

La récolte durable consiste à collecter des ressources de biomasse sans réduire leur disponibilité future ni dégrader l'environnement. Les bonnes pratiques comprennent :

- laisser une partie des résidus de cultures sur les champs ;
- éviter la surexploitation des ressources forestières ;
- replanter les arbres récoltés ;
- protéger la qualité des sols.

Avantages

- Disponibilité à long terme des ressources.
- Conservation des sols.
- Protection de la biodiversité.

Activité pratique 5.1

Discutez de la manière dont une collecte excessive de résidus de cultures pourrait affecter la productivité agricole.

Q5.1. Autoévaluation

Citez deux pratiques de récolte durable.

5.3. Considérations environnementales

Une mauvaise gestion de la biomasse peut entraîner la déforestation, la dégradation des sols, la pollution atmosphérique et la perte de biodiversité. Lorsqu'elle est bien gérée, la biomasse peut :

- réduire les déchets ;
- diminuer les émissions de gaz à effet de serre ;
- améliorer l'assainissement ;
- soutenir les principes de l'économie circulaire.

5.3.3. Équilibre entre énergie et environnement

Les techniciens doivent veiller à :

- assurer un approvisionnement durable en matières premières ;
- utiliser des technologies de conversion efficaces ;
- assurer une gestion appropriée des déchets.

Exemple concret : les foyers améliorés réduisent la consommation de bois et les émissions tout en diminuant la pression exercée sur les forêts.

5.4. Résumé du chapitre

Ce chapitre a souligné l'importance d'une gestion durable des ressources de biomasse pour le développement réussi de systèmes énergétiques à biomasse. L'évaluation des ressources joue un rôle essentiel pour assurer un approvisionnement fiable et continu en matières premières, indispensable à une production efficace d'énergie. Les pratiques de récolte durable contribuent à maintenir la productivité des écosystèmes et à préserver la disponibilité future de la biomasse.

Le chapitre a également mis en évidence la nécessité de gérer avec soin les impacts environnementaux, notamment ceux qui concernent la qualité des sols, les ressources en eau, la biodiversité et les émissions de gaz à effet de serre. Lorsqu'elle est produite et utilisée de manière responsable, la biomasse peut contribuer de manière importante à l'atténuation du changement climatique, à la sécurité énergétique et au développement socioéconomique.

L'intégration des principes de durabilité dans la planification et l'utilisation des ressources de biomasse est donc essentielle pour assurer la réussite à long terme et les bénéfices environnementaux des systèmes énergétiques à biomasse.

Questions de révision de fin de chapitre

1. Qu'est-ce que l'évaluation des ressources de biomasse ?
2. Pourquoi la disponibilité des ressources est-elle importante ?
3. Définissez la récolte durable.
4. Citez trois pratiques de récolte durable.
5. Qu'est-ce que la déforestation ?
6. Comment la biomasse peut-elle contribuer à la protection de l'environnement ?
7. Quels risques environnementaux peuvent résulter d'une mauvaise gestion de la biomasse ?
8. Pourquoi faut-il laisser une partie des résidus de cultures sur les terres agricoles ?
9. Qu'est-ce que la biodiversité ?
10. Expliquez la relation entre durabilité et développement de l'énergie de la biomasse.

BM-B2

Fondamentaux des technologies de conversion de la biomasse

Objectifs d'apprentissage

À l'issue de ce cours, les apprenants seront capables de :

- Expliquer les principales voies de conversion de la biomasse.
- Distinguer les procédés thermochimiques des procédés biochimiques.
- Identifier des technologies appropriées pour des applications de base de la biomasse.
- Décrire les produits obtenus à partir des différentes technologies de conversion.

BM-B2-1

Vue d'ensemble des voies de conversion de la biomasse

Les ressources de biomasse telles que les résidus de cultures, les déchets de bois, le fumier animal et les déchets organiques municipaux contiennent de l'énergie solaire stockée. Toutefois, cette énergie ne peut pas toujours être utilisée directement. Il est souvent nécessaire de convertir la biomasse en formes plus utiles, telles que la chaleur, l'électricité, le biogaz, la biohuile ou des combustibles liquides. Le processus consistant à transformer la biomasse en énergie utilisable est appelé conversion de la biomasse.

Il est important de comprendre les différentes voies de conversion, car les matières premières ne conviennent pas toutes aux mêmes technologies. En tant que technicien en biomasse, vous devez savoir quelle technologie est la mieux adaptée à une ressource de biomasse et à un besoin énergétique donnés.

1.1. Concepts de conversion énergétique

La conversion énergétique est le processus par lequel une forme d'énergie est transformée en une autre. Par exemple, le bois de feu contient de l'énergie chimique stockée. Lorsqu'il brûle, cette énergie chimique est convertie en chaleur, laquelle peut être utilisée pour la cuisson ou transformée en électricité.

Les technologies de conversion de la biomasse permettent de transformer la biomasse en formes d'énergie plus utiles et plus efficaces. Cette conversion est nécessaire parce que de nombreuses matières de biomasse ne peuvent pas être utilisées efficacement à l'état brut. Par exemple, le fumier frais brûle mal parce qu'il contient trop d'eau ; les balles de riz sont volumineuses et difficiles à transporter ; les déchets alimentaires se décomposent rapidement et peuvent créer des problèmes environnementaux.

Les technologies de conversion contribuent donc à :

- accroître l'efficacité énergétique ;
- améliorer la qualité des combustibles ;
- réduire les déchets ;
- produire une énergie plus propre ;
- faciliter le stockage et le transport.

Principales voies de conversion de la biomasse

La figure 1.2 présente les principales voies de conversion de la biomasse. Les technologies sont généralement regroupées en deux grandes catégories :

1. Conversion thermochimique : utilise la chaleur pour transformer la biomasse en produits énergétiques utiles.

Exemples :

- combustion ;
- gazéification ;
- pyrolyse.

2. Conversion biochimique : utilise des micro-organismes, des bactéries ou d'autres processus biologiques pour convertir la biomasse en produits énergétiques. Exemples :

- digestion anaérobie ;
- fermentation.

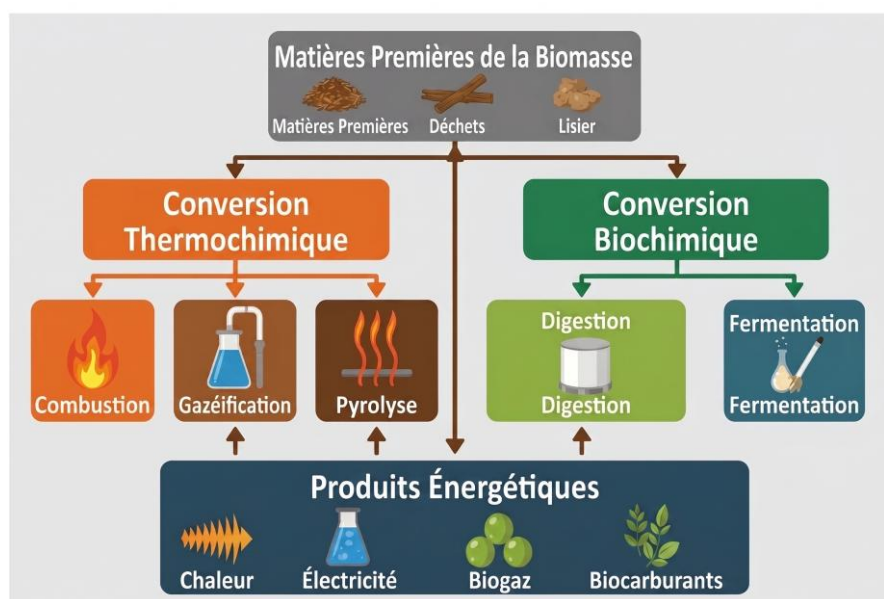


Figure 1.2 Principales voies de conversion de la biomasse

1) Procédés de conversion thermochimique

a. Combustion : combustion directe de la biomasse, par exemple dans des foyers à bois, des chaudières à biomasse et des fours industriels, en présence d'oxygène. Les produits de la combustion comprennent la chaleur, la vapeur et, lorsqu'un système est couplé à une turbine, l'électricité.

Avantages :

- technologie simple ;
- largement utilisée ;
- adaptée à la biomasse sèche.

b. Gazéification : la biomasse est transformée en un gaz combustible appelé gaz de gazogène ou gaz de synthèse. Le procédé utilise une quantité limitée d'oxygène et des températures élevées. Les produits comprennent un gaz combustible, de la chaleur et de l'électricité. Les matières premières adaptées comprennent les copeaux de bois, les balles de riz et les coques d'arachide.

c. Pyrolyse : la biomasse est chauffée en l'absence d'oxygène. Les produits comprennent :

- la biohuile ;
- le biochar ;
- le gaz de synthèse.

Le biochar peut améliorer la fertilité du sol et stocker du carbone dans les sols.

Exemple concret : certaines unités de transformation agricole au Sénégal étudient l'utilisation de gazéificateurs alimentés par des balles de riz pour produire de la chaleur et de l'électricité. Cette approche permet de valoriser les déchets agricoles tout en réduisant la dépendance à des combustibles fossiles coûteux.

2) Procédés de conversion biochimique

a. Digestion anaérobie

La digestion anaérobie est la dégradation des matières organiques par des micro-organismes en l'absence d'oxygène. Les matières premières adaptées comprennent le fumier animal, les déchets alimentaires, les déchets de manioc et les déchets de marché.

Produits :

- biogaz ;
- digestat (engrais organique).

b. Fermentation

La fermentation convertit les sucres et les amidons en combustibles à base d'alcool. Les matières premières courantes comprennent :

- la canne à sucre ;
- le manioc ;
- le maïs.

Le principal produit est le bioéthanol, qui peut être mélangé à l'essence pour les transports.

Exemple concret : la transformation du manioc génère de grandes quantités de déchets organiques. Plusieurs projets ont utilisé la digestion anaérobie pour convertir ces résidus en biogaz destiné à la cuisson et à la production d’électricité.

Activité pratique 1.1

Identifiez trois matières premières de biomasse disponibles dans votre communauté. Pour chacune :

1. indiquez si elle convient à une conversion thermochimique ou biochimique ;
2. proposez un produit énergétique possible.

Fiche d’activité

Matière première	Méthode de conversion	Produit énergétique
------------------	-----------------------	---------------------

Q1.1. Autoévaluation

Lequel des procédés suivants est un procédé de conversion thermochimique ?

A. Fermentation — B. Digestion anaérobie — C. Gazéification — D. Compostage

1.2. Sélection des technologies de conversion

Toutes les ressources de biomasse ne conviennent pas à toutes les technologies. Le choix de la technologie appropriée permet :

- d’améliorer le rendement ;
- de réduire les coûts ;
- d’accroître la production d’énergie ;
- d’assurer un fonctionnement fiable.

Les techniciens doivent comprendre à la fois les caractéristiques de la matière première et l’utilisation énergétique recherchée.

1.2.1. Facteurs influençant la sélection de la technologie

1. Type de matière première : les différentes ressources de biomasse nécessitent des technologies différentes.

Tableau 1.1 — Technologies adaptées aux matières premières

Matière première	Technologie adaptée
Déchets de bois	Combustion, gazéification
Balles de riz	Combustion, gazéification
Fumier animal	Digestion anaérobie
Déchets alimentaires	Digestion anaérobie
Déchets de manioc	Fermentation, digestion anaérobie

2. Teneur en humidité : les biomasses à forte teneur en humidité conviennent généralement mieux aux procédés biochimiques, par exemple :

- fumier animal ;
- déchets alimentaires ;
- résidus de cultures frais.

Les biomasses à faible teneur en humidité conviennent souvent aux procédés thermochimiques, par exemple :

- copeaux de bois ;
- balles de riz ;
- briquettes.

3. Produit énergétique recherché : le produit souhaité influence la sélection de la technologie.

Produit souhaité et technologie

Produit souhaité	Technologie
Chaleur	Combustion
Électricité	Combustion, gazéification
Biogaz	Digestion anaérobie
Bioéthanol	Fermentation
Biochar	Pyrolyse

4. Échelle d'exploitation : les technologies diffèrent par leur taille et leur complexité.

Petite échelle :

- digesteurs domestiques de biogaz ;
- foyers améliorés.

Échelle moyenne :

- gazéificateurs communautaires ;
- systèmes de biogaz à l'échelle d'une exploitation agricole.

Grande échelle :

- centrales industrielles à biomasse ;
- unités commerciales de production de biocarburants.

5. Coût et capacité technique : certaines technologies sont plus complexes et plus coûteuses que d'autres. Les communautés doivent choisir des technologies adaptées aux compétences locales et aux ressources financières disponibles.

Tableau 1.2 — Complexité relative des technologies de biomasse

Technologie	Complexité relative
Combustion	Faible
Digesteur de biogaz	Moyenne
Gazéification	Élevée
Pyrolyse	Élevée

Tableau 1.3 — Comparaison des technologies thermochimiques et biochimiques

Caractéristique	Thermochimique	Biochimique
Processus principal	Fondé sur la chaleur	Fondé sur les micro-organismes
Matière première adaptée	Biomasse sèche	Biomasse humide
Exemples	Combustion, gazéification	Digestion anaérobie, fermentation
Principaux produits	Chaleur, électricité, gaz de synthèse	Biogaz, bioéthanol
Temps de traitement	Rapide	Plus lent

Exemple concret : la transformation du karité produit des coques et d'autres résidus qui peuvent servir de combustible pour les opérations de chauffage. Ces résidus étant relativement secs, les technologies thermochimiques telles que la combustion constituent souvent l'option la plus appropriée.

Activité pratique 1.2

En groupe, choisissez une ressource de biomasse disponible localement et discutez :

1. de la technologie de conversion la plus adaptée ;
2. du produit énergétique qui serait obtenu ;
3. des avantages que cette technologie pourrait apporter à la communauté.

Présentez vos conclusions à la classe.

Q1.2. Autoévaluation

Les matières de biomasse à forte teneur en humidité conviennent généralement mieux aux procédés de conversion _____.

1.3. Résumé du chapitre

La conversion de la biomasse est le processus de transformation des ressources de biomasse en formes d'énergie utiles telles que la chaleur, l'électricité, le biogaz, la biohuile et les biocarburants. Les deux principales voies sont la conversion thermochimique, qui utilise la chaleur, et la conversion biochimique, qui utilise des micro-organismes et des processus biologiques. Les technologies thermochimiques courantes comprennent la combustion, la gazéification et la pyrolyse, tandis que la digestion anaérobie et la fermentation sont d'importantes technologies biochimiques.

Le choix de la technologie de conversion appropriée dépend notamment du type de matière première, de sa teneur en humidité, du produit énergétique recherché, de l'échelle d'exploitation et des capacités techniques disponibles. La compréhension de ces voies permet aux techniciens de choisir des technologies adaptées à une production d'énergie de la biomasse efficace et durable.

Questions de révision de fin de chapitre

I. Questions à choix multiple

1. Qu'est-ce que la conversion de la biomasse ?
 - A. Cultiver des plantes destinées à la biomasse
 - B. Transformer la biomasse en produits énergétiques utiles
 - C. Stocker la biomasse
 - D. Transporter la biomasse
2. Lequel des procédés suivants est un procédé de conversion biochimique ?
 - A. Combustion
 - B. Gazéification
 - C. Digestion anaérobie
 - D. Pyrolyse
3. Quelle technologie produit du biogaz ?
 - A. Combustion
 - B. Gazéification
 - C. Digestion anaérobie
 - D. Pyrolyse
4. Quel procédé produit du biochar ?
 - A. Fermentation
 - B. Pyrolyse
 - C. Digestion
 - D. Compostage

II. Réponses courtes

5. Citez deux raisons pour lesquelles la conversion de la biomasse est nécessaire.
6. Distinguez les voies de conversion thermochimique et biochimique.
7. Citez trois technologies de conversion thermochimique.
8. Citez deux produits obtenus par digestion anaérobie.
9. Quels facteurs doivent être pris en compte lors du choix d'une technologie de conversion de la biomasse ?
10. Pourquoi les matières premières à forte teneur en humidité conviennent-elles généralement mieux aux procédés biochimiques ?

III. Application pratique

11. Une communauté dispose de grandes quantités de fumier bovin et de déchets alimentaires. Quelle technologie de conversion de la biomasse recommanderiez-vous et pourquoi ?
12. Une rizerie produit de grandes quantités de balles de riz. Proposez une technologie de conversion adaptée et un produit énergétique qui pourrait être obtenu.

Procédés de conversion mécanique et chimique

Acquis d'apprentissage du chapitre

À la fin de ce chapitre, les apprenants seront capables de :

1. Expliquer les principes de base de l'extraction d'huile à partir de matières premières de biomasse.
2. Décrire le procédé de transestérification utilisé pour produire du biodiesel.
3. Comprendre les principes et les avantages des technologies de briquetage et de densification.
4. Comparer les procédés de conversion mécanique et chimique de la biomasse.
5. Identifier les applications et les difficultés associées à ces technologies de conversion.

2.1. Introduction

La biomasse peut être transformée en vecteurs énergétiques et en combustibles utiles au moyen de différentes technologies. Les procédés de conversion mécanique et chimique figurent parmi les méthodes les plus utilisées pour transformer la biomasse en formes plus pratiques et à plus forte valeur.

La conversion mécanique repose principalement sur des opérations physiques telles que la réduction de taille, le compactage et la densification, tandis que la conversion chimique repose sur des réactions chimiques qui transforment la biomasse en combustibles liquides et autres produits.

Ce chapitre porte sur trois technologies importantes : l'extraction d'huile, la transestérification ainsi que le briquetage et la densification.

2.2. Principes de base de l'extraction d'huile

De nombreuses matières premières de biomasse contiennent des huiles pouvant être converties en biocarburants.

Tableau 2.1 — Exemples de matières premières et de leur teneur en huile

Matière première	Teneur en huile (%)
Graines de jatropha	30–40
Soja	18–22
Tournesol	35–45
Colza	40–50
Fruit du palmier	45–55

L'huile extraite constitue la matière première principale de la production de biodiesel.

2.2.2. Méthodes d'extraction de l'huile

La figure 2.1 illustre l'extraction mécanique d'huile au moyen d'une presse à vis : les graines entrent dans la presse, sont comprimées le long de la vis, l'huile est expulsée par des ouvertures et le tourteau résiduel est évacué à l'extrémité.

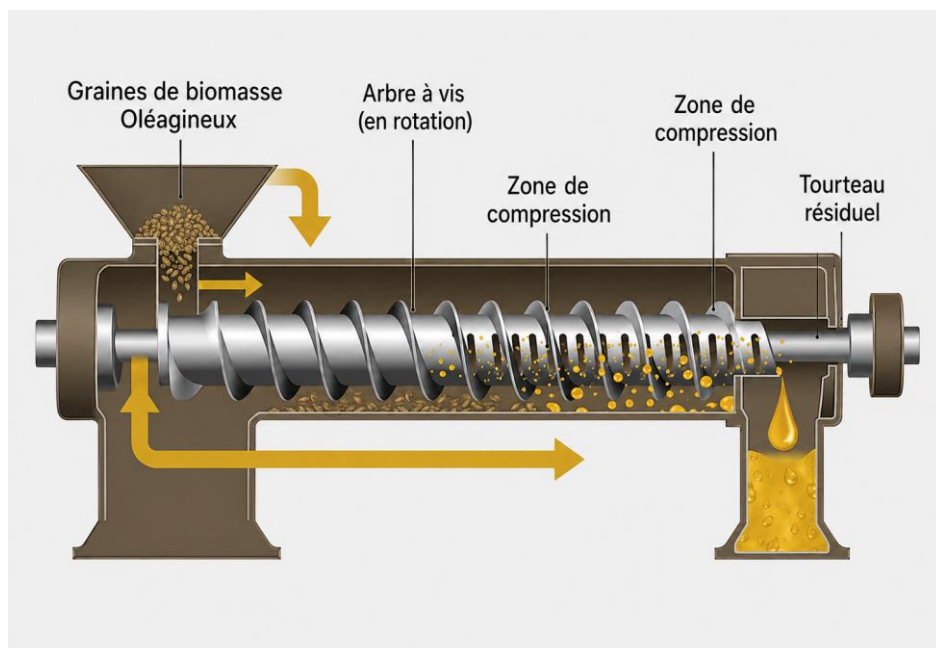


Figure 2.1 Extraction mécanique d'huile au moyen d'une presse à vis

A. Pressage mécanique

Le pressage mécanique extrait physiquement l'huile de la biomasse. Il peut être réalisé au moyen d'une presse à vis (expeller) ou d'une presse hydraulique.

Avantages :

- fonctionnement simple ;
- absence de solvants chimiques ;
- adaptation à la production à petite échelle.

Inconvénients :

- rendement d'extraction de l'huile plus faible ;
- présence d'huile résiduelle dans le tourteau.

B. Extraction par solvant

Des solvants organiques tels que l'hexane dissolvent l'huile contenue dans la biomasse.

Avantages :

- rendement élevé d'extraction de l'huile ;
- méthode adaptée à la production industrielle.

Inconvénients :

- coût d'investissement plus élevé ;
- nécessité de récupérer le solvant ;
- enjeux environnementaux et de sécurité.

Les facteurs influençant l'extraction de l'huile comprennent :

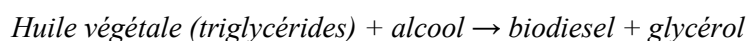
- la teneur en humidité des graines ;
- la taille des particules ;
- la teneur en huile de la matière première ;
- la pression de pressage ;
- la température d'extraction.

2.3. Vue d'ensemble de la transestérification

Les huiles végétales sont généralement trop visqueuses pour être utilisées directement dans les moteurs diesel. La transestérification est un procédé chimique qui convertit les huiles végétales en biodiesel en faisant réagir l'huile avec un alcool en présence d'un catalyseur.

2.3.1. Principe de la transestérification

La réaction est la suivante :



Alcools couramment utilisés :

- méthanol ;
- éthanol.

Catalyseurs couramment utilisés :

- hydroxyde de sodium (NaOH) ;
- hydroxyde de potassium (KOH).

La figure 2.2 présente la réaction de transestérification utilisée pour produire du biodiesel. Le schéma chimique montre des triglycérides réagissant avec du méthanol en présence d'un catalyseur NaOH/KOH pour produire des esters méthyliques d'acides gras (biodiesel) et du glycérol. Le schéma de procédé présente l'extraction de l'huile, le prétraitement de la matière première, le réacteur de transestérification, l'unité de séparation, la purification du biodiesel et la récupération du glycérol.

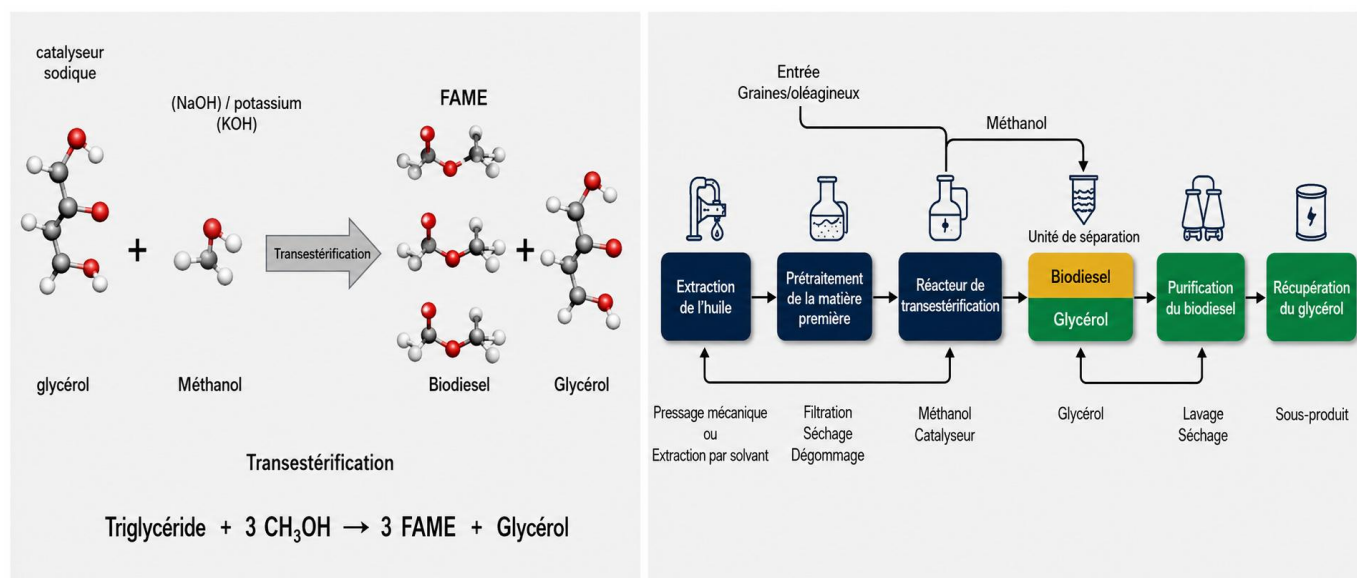


Figure 2.2 a) Réaction de transestérification pour la production de biodiesel ; b) schéma du procédé de production de biodiesel

2.3.2. Étapes du procédé

Étape 1 — Préparation de la matière première

- Filtrer les impuretés.
- Éliminer l'excès d'humidité.

Étape 2 — Préparation du catalyseur : le catalyseur est dissous dans l'alcool.

Étape 3 — Réaction : l'huile et le mélange alcool-catalyseur sont mis en contact dans des conditions contrôlées.

Conditions typiques de transestérification

Paramètre	Valeur
Température	50–65 °C
Temps de réaction	1–2 heures
Rapport alcool/huile	6:1

Étape 4 — Séparation : les produits se séparent en :

- biodiesel (couche supérieure) ;
- glycérol (couche inférieure).

Étape 5 — Lavage et séchage : le biodiesel est purifié afin d'éliminer les contaminants.

Avantages du biodiesel

- Combustible renouvelable.
- Émissions de gaz à effet de serre plus faibles.

- Biodégradable.
- Réduction des émissions de soufre.

Difficultés

- Coût de la matière première.
- Concurrence avec les cultures alimentaires.
- Récupération du catalyseur.
- Exigences de contrôle de la qualité.

2.4. Briquetage et densification

De nombreux résidus de biomasse ont une faible masse volumique apparente, une forme irrégulière et sont difficiles à manipuler. Les technologies de densification compriment la biomasse sous des formes compactes qui améliorent le stockage, le transport et les performances de combustion.

2.4.1. Qu'est-ce que le briquetage ?

Le briquetage est le procédé consistant à comprimer de la biomasse en vrac pour former des blocs solides appelés briquettes. Les matières premières courantes comprennent :

- la sciure ;
- les balles de riz ;
- les coques de café ;
- les tiges de maïs ;
- la bagasse de canne à sucre.

Étapes du procédé de briquetage

Étape 1 — Collecte de la biomasse : collecte des matières premières auprès de sources agricoles ou forestières.

Étape 2 — Séchage : réduction de la teneur en humidité jusqu'à une plage optimale, généralement de 8 à 15 %.

Étape 3 — Réduction de taille : broyage de la biomasse en particules plus petites.

Étape 4 — Compression : compression de la matière sous forte pression.

Étape 5 — Refroidissement et conditionnement : refroidissement des briquettes finies et préparation à la distribution.

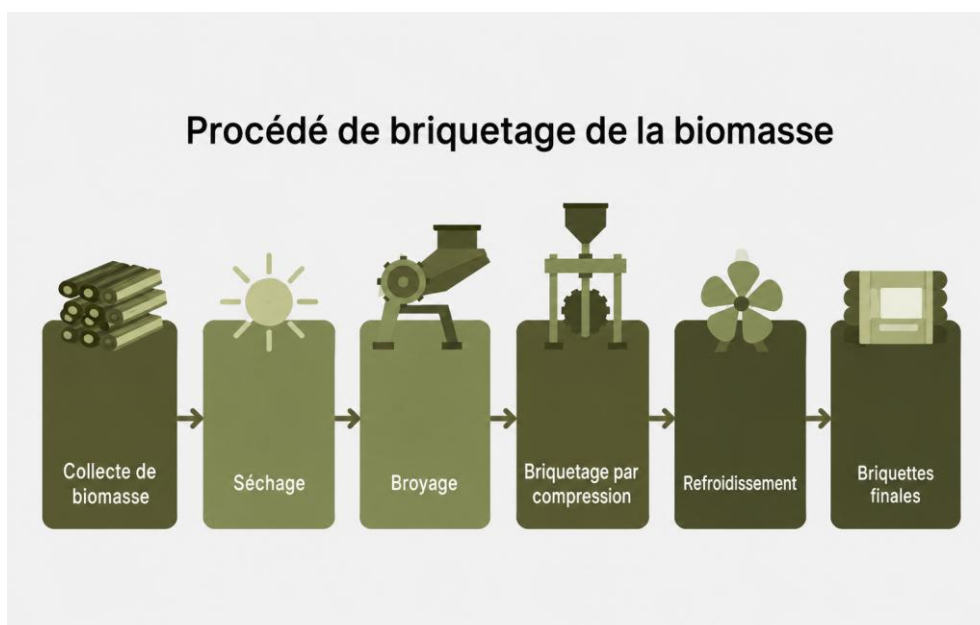


Figure 2.5 Procédé de briquetage de la biomasse

2.4.2. Types de technologies de briquetage

Briquetage par presse à piston

- forte pression ;
- briquettes durables.

Briquetage par extrudeuse à vis

- fonctionnement continu ;
- qualité de produit uniforme.

Briquetage par presse à rouleaux

- adapté aux matières de biomasse fines.

Avantages de la densification

- a. Augmentation de la masse volumique apparente : le volume de la biomasse peut être fortement réduit.
- b. Transport plus facile : davantage de biomasse peut être transportée par chargement de camion.
- c. Amélioration du stockage : réduction de l'espace de stockage nécessaire.
- d. Meilleure combustion : propriétés du combustible plus uniformes.

2.4.4. Applications

- Cuisson domestique.
- Chaudières industrielles.
- Centrales à biomasse.
- Systèmes de chauffage institutionnels.

Tableau 2.1 — Comparaison des procédés de conversion mécanique et chimique

Aspect	Conversion mécanique	Conversion chimique
Objectif principal	Modification physique	Transformation chimique
Exemples	Briquetage, densification	Transestérification
Produits	Briquettes, granulés	Biodiesel

Aspect	Conversion mécanique	Conversion chimique
Besoins énergétiques	Modérés	Plus élevés
Complexité des équipements	Plus faible	Plus élevée
Intrants chimiques	Non requis	Requis

2.6. Résumé du chapitre

Les technologies de conversion mécanique et chimique augmentent la valeur et la facilité d'utilisation des ressources de biomasse. L'extraction d'huile fournit la matière première nécessaire à la production de biodiesel, tandis que la transestérification transforme les huiles végétales en combustibles liquides à combustion plus propre. Le briquetage et la densification améliorent la manutention, le transport, le stockage et les caractéristiques de combustion de la biomasse en augmentant sa densité. Ensemble, ces technologies contribuent à une utilisation efficace de la biomasse, à la production d'énergie renouvelable et à une gestion durable des ressources.

Questions de révision de fin de chapitre

I. Questions à réponse courte

1. Quel est le rôle de l'extraction d'huile dans la conversion de la biomasse ?
2. Comparez le pressage mécanique et l'extraction par solvant.
3. Définissez la transestérification.
4. Quels sont les principaux produits de la transestérification ?
5. Pourquoi le méthanol est-il couramment utilisé dans la production de biodiesel ?
6. Qu'est-ce que le briquetage et pourquoi est-il important ?
7. Citez quatre matières de biomasse couramment utilisées pour produire des briquettes.
8. Comment la densification améliore-t-elle le transport et le stockage de la biomasse ?

II. Questions de discussion

9. Discutez des avantages et des limites du biodiesel comme combustible renouvelable.
10. Expliquez comment le briquetage peut contribuer à des systèmes énergétiques à biomasse durables.
11. Comparez les considérations économiques et environnementales associées aux technologies de conversion mécanique et chimique.

III. Exercice pratique

12. Visitez une unité locale de transformation agricole ou un site d'utilisation de la biomasse et identifiez les matières premières potentielles qui pourraient être utilisées pour :
 - l'extraction d'huile ;
 - la production de biodiesel ;
 - le briquetage.

Discutez des possibilités et des difficultés associées à chaque matière première.

Comparaison des technologies de conversion

Acquis d'apprentissage du chapitre

À la fin de ce chapitre, les apprenants seront capables de :

1. Comparer les principales technologies de conversion de la biomasse en fonction de leurs intrants et de leurs produits.
2. Identifier les avantages et les limites des différentes méthodes de conversion.
3. Évaluer l'adéquation de différentes technologies de conversion à des applications spécifiques.
4. Choisir des technologies de conversion appropriées en fonction des caractéristiques des matières premières et des besoins énergétiques.
5. Comprendre le rôle des différentes voies de conversion dans des systèmes énergétiques à biomasse durables.

3.1. Introduction

La biomasse peut être transformée en formes d'énergie utiles au moyen de nombreuses technologies. Ces technologies diffèrent par les exigences concernant les matières premières, les mécanismes de conversion, les produits, le rendement, les coûts et les applications. Les principales technologies de conversion peuvent être regroupées en quatre catégories :

- conversion thermochimique ;
- conversion biochimique ;
- conversion mécanique ;
- conversion chimique.

Chaque technologie possède des avantages et des limites spécifiques, qui la rendent adaptée à certaines matières premières et utilisations finales. Il est essentiel de comprendre ces différences pour sélectionner la technologie la plus appropriée à une ressource de biomasse et à une demande énergétique données.

3.2. Vue d'ensemble des technologies de conversion de la biomasse

La figure 3.1 présente la classification des technologies de conversion de la biomasse, avec la biomasse au centre et des branches vers les voies thermochimique, biochimique, mécanique et chimique, accompagnées de leurs produits et exemples correspondants. Le choix de la technologie dépend en grande partie des caractéristiques de la matière première et des produits recherchés. La figure 3.2 relie différentes matières premières aux technologies de conversion et à leurs produits énergétiques.

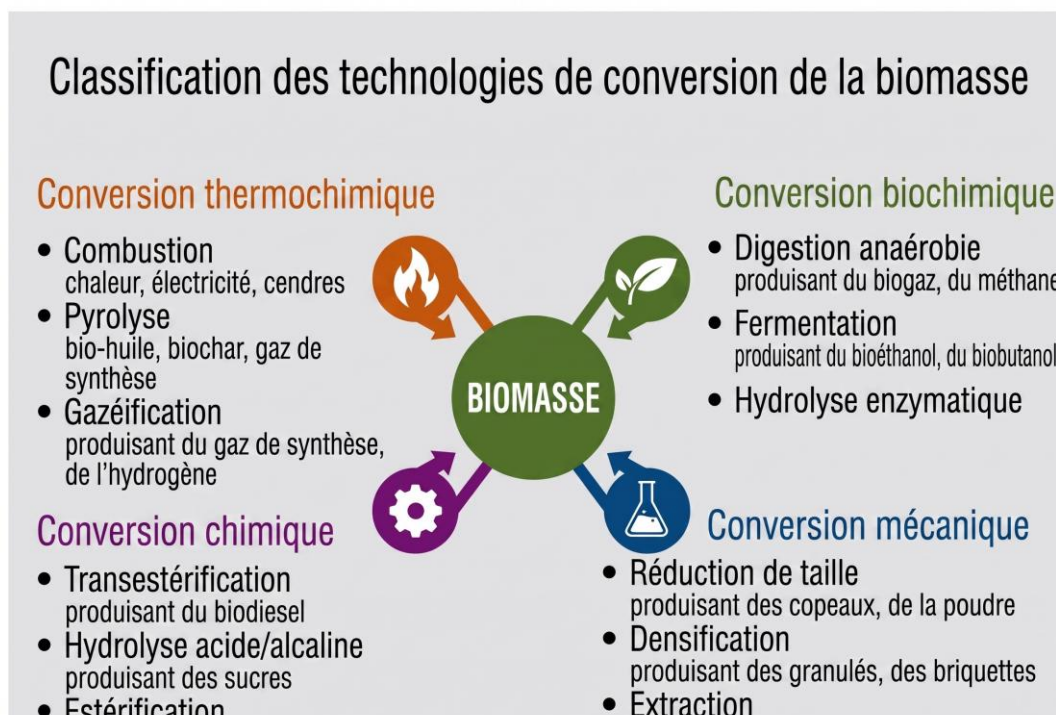


Figure 3.1 Classification des technologies de conversion de la biomasse

3.2.1. Conversion thermochimique

Cette méthode utilise la chaleur pour convertir la biomasse en produits énergétiques. Les exemples comprennent la combustion, la gazéification et la pyrolyse. Les produits sont la chaleur, l'électricité, la biohuile, le gaz de synthèse et le biochar.

Intrants : bois, résidus agricoles, cultures énergétiques et résidus forestiers.

Produits de la conversion thermochimique

Technologie	Principaux produits
Combustion	Chaleur, vapeur, électricité
Gazéification	Gaz de synthèse
Pyrolyse	Biohuile, biochar, gaz de synthèse

3.2.2. Conversion biochimique

Cette méthode utilise des micro-organismes et des enzymes pour dégrader la biomasse. Les exemples comprennent la digestion anaérobie et la fermentation. Les produits sont le biogaz et le bioéthanol.

Intrants : fumier animal, déchets alimentaires, résidus de cultures et biomasse riche en sucres.

Produits de la conversion biochimique

Technologie	Principaux produits
Digestion anaérobie	Biogaz, digestat
Fermentation	Bioéthanol, dioxyde de carbone

3.2.3. Conversion mécanique

Cette méthode utilise des procédés physiques pour améliorer les propriétés de la biomasse. Les exemples comprennent le briquetage, la granulation et l'extraction d'huile. Les produits sont :

- les briquettes ;
- les granulés ;
- les huiles végétales.

Intrants : sciure, balles de riz, bagasse et graines oléagineuses.

Produits de la conversion mécanique

Technologie	Principaux produits
Briquetage	Briquettes
Granulation	Granulés
Extraction d'huile	Huile végétale, tourteau

3.2.4. Conversion chimique

Cette voie utilise des réactions chimiques pour transformer des matières dérivées de la biomasse. La transestérification en est un exemple. Les produits sont le biodiesel et le glycérol.

Intrants : huiles végétales, huiles de cuisson usagées et graisses animales.

Produits de la conversion chimique

Technologie	Principaux produits
Transestérification	Biodiesel, glycérol

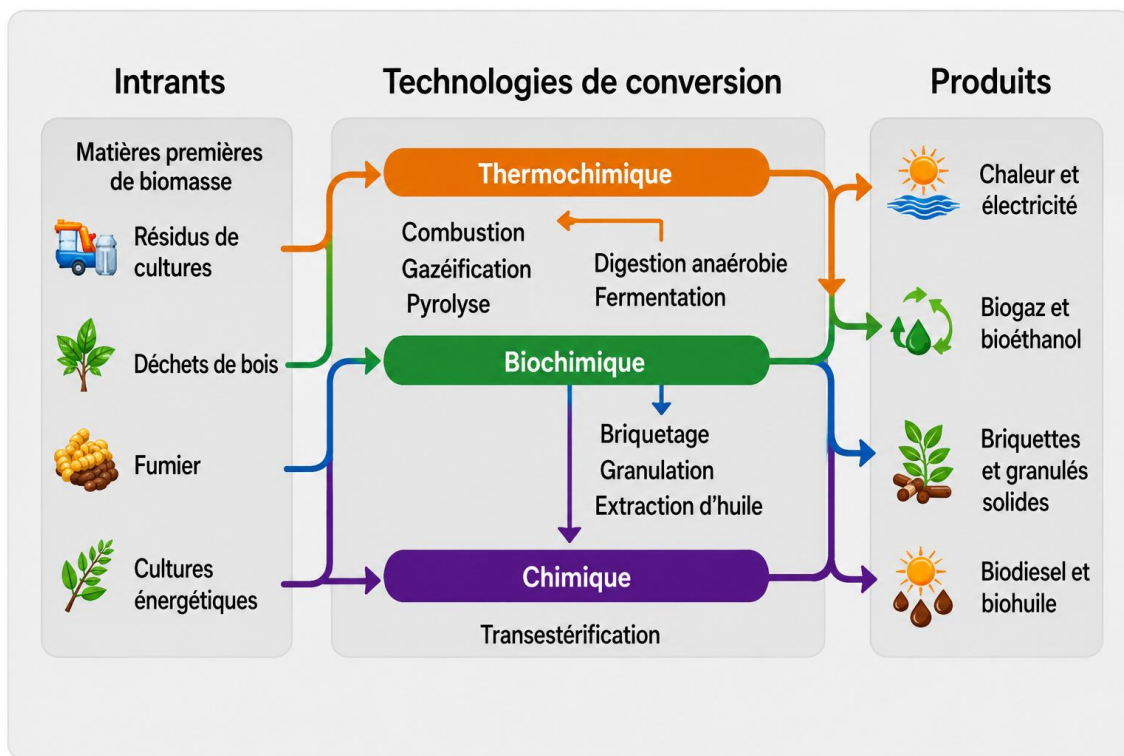


Figure 3.2 Intrants et produits des technologies de conversion de la biomasse

3.3. Avantages et limites des technologies de conversion

Chaque technologie présente des points forts et des limites qui influencent son adoption.

3.3.1. Conversion thermochimique

Avantages :

- adaptée à une large gamme de matières premières de biomasse ;
- conversion énergétique rapide ;
- possibilité de produire simultanément de l'électricité et de la chaleur ;
- technologies matures et disponibles commercialement.

Limites :

- nécessite une biomasse relativement sèche ;
- investissement initial élevé ;
- émissions possibles si le procédé est mal maîtrisé ;
- exploitation complexe pour les systèmes avancés.

3.3.2. Conversion biochimique

Avantages :

- adaptée à la biomasse humide ;

- produit des combustibles renouvelables gazeux et liquides ;
- températures de fonctionnement plus faibles ;
- réduit les problèmes d'élimination des déchets organiques.

Limites :

- procédé de conversion plus lent ;
- sensibilité aux conditions environnementales ;
- nécessité de maîtriser les processus biologiques ;
- influence de la qualité des matières premières sur les performances.

3.3.3. Conversion mécanique

Avantages :

- technologie simple ;
- amélioration de la manutention et du transport de la biomasse ;
- réduction des besoins de stockage ;
- amélioration de l'uniformité du combustible.

Limites :

- ne produit pas directement de l'énergie ;
- nécessite des étapes de conversion supplémentaires pour produire de l'énergie ;
- usure possible des équipements avec des matières premières abrasives.

3.3.4. Conversion chimique

Avantages :

- production de combustibles liquides de haute qualité ;
- possibilité d'utiliser le biodiesel dans des moteurs diesel existants ;
- réduction de la dépendance aux combustibles fossiles.

Limites :

- nécessité d'utiliser des réactifs chimiques et des catalyseurs ;
- coût potentiellement élevé des matières premières ;
- nécessité d'étapes supplémentaires de purification ;
- production de coproduits qui doivent être gérés.

3.4. Applications adaptées des technologies de conversion

L'adéquation d'une technologie dépend de la disponibilité des matières premières, de la demande énergétique, des considérations économiques et des conditions environnementales.

3.4.1. Applications de la conversion thermochimique

Combustion — Applications :

- cuisson domestique ;
- chaudières industrielles ;
- centrales à biomasse.

Gazéification — Applications :

- électrification rurale ;
- cogénération de chaleur et d'électricité (CHP) ;
- production de combustibles industriels.

Pyrolyse — Applications :

- production de biohuile ;
- production de biochar ;
- séquestration du carbone.

3.4.2. Applications de la conversion biochimique

Digestion anaérobie — Applications :

- systèmes de biogaz à l'échelle des exploitations agricoles ;
- stations de traitement des eaux usées ;
- gestion des déchets organiques municipaux.

Fermentation — Applications :

- production de bioéthanol ;
- carburants pour les transports ;
- solvants industriels.

3.4.3. Applications de la conversion mécanique

Briquetage et granulation — Applications :

- chauffage domestique ;
- cuisson commerciale ;
- systèmes de combustion industriels.

Extraction d'huile — Applications :

- production de biodiesel ;
- transformation industrielle des huiles.

3.4.4. Applications de la conversion chimique

Production de biodiesel — Applications :

- carburants pour les transports ;
- machines agricoles ;
- groupes électrogènes de secours ;
- moteurs diesel industriels.

Tableau 3.1 — Évaluation comparative des technologies de conversion de la biomasse

Critère	Thermochimique	Biochimique	Mécanique	Chimique
Tolérance à l'humidité de la matière première	Faible	Élevée	Modérée	Faible
Vitesse de conversion	Rapide	Lente	Rapide	Modérée
Type de produit	Chaleur, électricité, combustibles	Biogaz, éthanol	Briquettes, huiles	Biodiesel
Complexité technologique	Élevée	Modérée	Faible	Modérée
Coût d'investissement	Élevé	Modéré	Faible	Modéré
Maturité commerciale	Élevée	Élevée	Élevée	Élevée
Bénéfices environnementaux	Élevés	Élevés	Modérés	Élevés

3.6. Critères de sélection d'une technologie

Lors du choix d'une technologie de conversion de la biomasse, il convient de prendre en compte les facteurs suivants :

a. Caractéristiques de la matière première

- teneur en humidité ;
- contenu énergétique ;
- disponibilité ;
- forme physique.

b. Produit recherché

- chaleur ;
- électricité ;
- combustible gazeux ;

- combustible liquide ;
 - combustible solide.
- c. Facteurs économiques
- coût d'investissement ;
 - coût d'exploitation ;
 - coût de transport des matières premières ;
 - valeur marchande des produits.
- d. Facteurs environnementaux
- émissions ;
 - production de déchets ;
 - durabilité de l'approvisionnement en matières premières.
- e. Disponibilité des infrastructures
- main-d'œuvre qualifiée ;
 - assistance à la maintenance ;
 - réseau de transport ;
 - accès au marché.

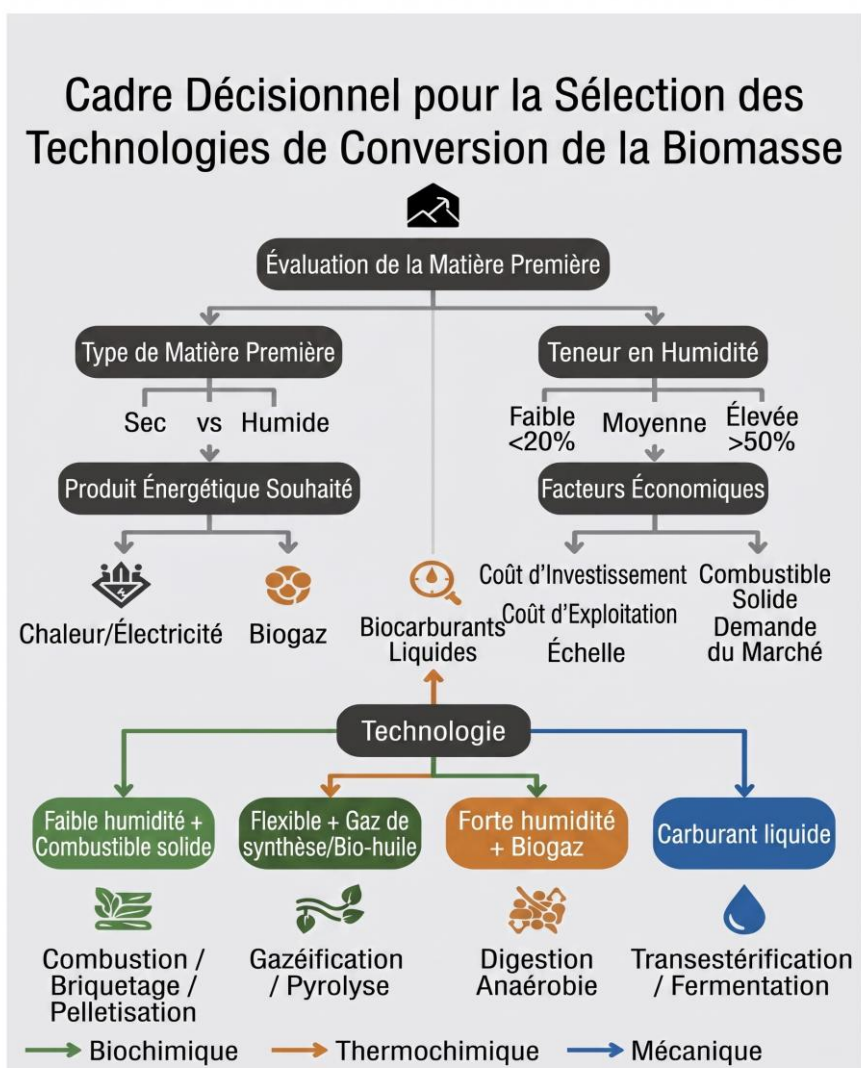


Figure 3.5 Cadre décisionnel pour la sélection des technologies de conversion de la biomasse

3.7. Résumé du chapitre

Les technologies de conversion de la biomasse diffèrent sensiblement par leurs exigences en matière de matières premières, leurs mécanismes de conversion, leurs produits et leurs applications. Les technologies thermochimiques conviennent à la biomasse sèche et produisent de la chaleur, de l'électricité et des combustibles, tandis que les technologies biochimiques sont adaptées aux matières organiques humides et produisent du biogaz ou du bioéthanol.

La conversion mécanique améliore la manutention et les propriétés des combustibles au moyen de procédés tels que le briquetage et l'extraction d'huile, tandis que la conversion chimique transforme les huiles et les graisses en biodiesel par transestérification. Chaque technologie possède des avantages et des limites propres ; le choix d'une voie de conversion appropriée dépend des caractéristiques des matières premières, des produits recherchés, de la faisabilité économique et des considérations environnementales. La compréhension de ces différences est essentielle à la conception de systèmes énergétiques à biomasse efficaces et durables.

Questions de révision de fin de chapitre

I. Questions à réponse courte

1. Quelles sont les quatre grandes catégories de technologies de conversion de la biomasse ?
2. Distinguez les procédés de conversion thermochimique et biochimique.
3. Quels sont les principaux produits de la gazéification ?
4. Pourquoi la digestion anaérobie convient-elle aux matières premières de biomasse humides ?
5. Quels produits sont obtenus par transestérification ?
6. Comment le briquetage améliore-t-il l'utilisation de la biomasse ?
7. Citez trois avantages des technologies de conversion thermochimique.
8. Identifiez deux limites des procédés de conversion biochimique.

II. Questions de discussion

9. Comparez les avantages et les limites des technologies de conversion thermochimique et biochimique.
10. Discutez des facteurs à prendre en compte lors du choix d'une technologie de conversion de la biomasse pour une communauté rurale.
11. Évaluez le rôle de la production de biodiesel dans la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles.
12. Expliquez comment les différentes technologies de conversion de la biomasse contribuent au développement énergétique durable.

III. Exercice pratique

13. Sélectionnez une ressource de biomasse disponible localement (par exemple, résidu de culture, fumier animal, déchets de bois ou matière première oléagineuse) et :
 - identifiez au moins deux technologies de conversion adaptées ;
 - comparez leurs intrants, produits, avantages et limites ;
 - recommandez la technologie la plus appropriée et justifiez votre choix au regard de considérations techniques, économiques et environnementales.

BM-B3

Fondamentaux de la technologie du biogaz

Objectifs d'apprentissage

À l'issue de ce cours, les apprenants seront capables de :

- Expliquer le processus de digestion anaérobie.
- Identifier les composants d'un système de biogaz.
- Décrire les facteurs qui influencent la production de biogaz.
- Reconnaître les applications courantes du biogaz.

BM-B3-1

Introduction à la technologie du biogaz

Présentation du chapitre

La technologie du biogaz constitue l'une des solutions d'énergie renouvelable les plus efficaces pour les communautés rurales et urbaines. Elle transforme des déchets organiques en un combustible à combustion propre tout en produisant un engrais organique précieux. La compréhension des principes fondamentaux du biogaz est essentielle pour les techniciens, les opérateurs et les autres acteurs intervenant dans les systèmes d'énergie renouvelable et de gestion des déchets.

1.1. Introduction

Le biogaz est un gaz combustible produit lorsque des matières organiques se décomposent en l'absence d'oxygène au cours d'un processus biologique appelé digestion anaérobie.

Les matières premières courantes comprennent :

- le fumier animal ;
- les déchets humains ;

- les résidus agricoles ;
- les déchets alimentaires ;
- les déchets organiques industriels ;
- les boues d'épuration.

La technologie du biogaz désigne l'ensemble des méthodes, équipements et systèmes utilisés pour transformer les déchets organiques en biogaz et en bioslurry par digestion anaérobie. Elle comprend :

- la collecte des matières premières ;
- la construction du digesteur ;
- le stockage du gaz ;
- les systèmes d'utilisation du gaz ;
- la gestion du lisier ou de la boue digérée.

Les premières observations du développement de la production de biogaz remontent au XVII^e siècle. En 1776, Alessandro Volta a identifié le méthane comme le composant combustible du gaz des marais. Le premier digesteur de traitement des eaux usées a été construit en Inde en 1859. La technologie du biogaz s'est ensuite développée dans le monde entier comme solution d'énergie renouvelable. Aujourd'hui, le biogaz est utilisé dans les ménages, les exploitations agricoles, les institutions, les industries et les installations municipales de traitement des déchets.

1.2. Importance de la technologie du biogaz

La technologie du biogaz contribue de manière importante à la protection de l'environnement, à la sécurité énergétique et au développement économique.

A. Source d'énergie renouvelable

Le biogaz est renouvelable parce qu'il est produit en continu à partir de matières organiques qui se reconstituent naturellement.

Avantages :

- réduit la dépendance aux combustibles fossiles ;
- fournit une source locale d'énergie ;
- renforce la sécurité énergétique.

B. Gestion des déchets

Les systèmes de biogaz transforment les déchets en produits utiles.

Avantages :

- réduction de l'accumulation des déchets ;

- diminution des odeurs ;
- amélioration de l'assainissement ;
- réduction de la contamination de l'eau.

C. Protection de l'environnement

Les systèmes de biogaz contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les avantages environnementaux comprennent :

- la récupération du méthane qui, autrement, serait rejeté dans l'atmosphère ;
- la réduction de la déforestation en remplaçant le bois de feu ;
- la diminution des émissions de carbone.

D. Avantages agricoles

Le processus de digestion produit un lisier riche en éléments nutritifs. Il :

- améliore la fertilité du sol ;
- réduit la dépendance aux engrais chimiques ;
- améliore la productivité des cultures.

E. Avantages économiques

Le biogaz peut générer des économies financières :

- baisse des dépenses de combustible ;
- réduction des coûts d'engrais ;
- création d'emplois ;
- amélioration de la productivité agricole.

1.3. Composition et propriétés du biogaz

Le biogaz est un mélange de plusieurs gaz produits pendant la digestion anaérobie.

Tableau 3.1 — Composition typique du biogaz

Composant	Pourcentage (%)
Méthane (CH ₄)	50–75
Dioxyde de carbone (CO ₂)	25–45
Vapeur d'eau (H ₂ O)	2–7
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	0–1
Azote (N ₂)	0–5
Hydrogène (H ₂)	0–1

Les principaux composants du biogaz sont les suivants.

1. Méthane (CH_4)

Le méthane est le principal composant producteur d'énergie. Il est :

- incolore ;
- inodore ;
- très combustible ;
- la principale source du pouvoir calorifique du biogaz.

Plus la teneur en méthane est élevée, plus la valeur énergétique du biogaz est importante.

2. Dioxyde de carbone (CO_2)

Le dioxyde de carbone est un gaz non combustible. Il :

- réduit le pouvoir calorifique ;
- est produit naturellement pendant la digestion ;
- est présent en quantités importantes.

3. Sulfure d'hydrogène (H_2S)

Le sulfure d'hydrogène est produit à partir de matières organiques contenant du soufre. Il se caractérise par :

- une odeur d'œuf pourri ;
- une toxicité à forte concentration ;
- un caractère corrosif pour les équipements.

Il est souvent nécessaire d'éliminer le H_2S du biogaz avant son utilisation dans des moteurs et des groupes électrogènes.

4. Vapeur d'eau

Le biogaz contient de l'humidité qui peut se condenser dans les canalisations. Cela peut provoquer :

- de la corrosion ;
- des obstructions ;
- une baisse de l'efficacité des équipements.

Propriétés physiques

- Incolore.
- Inflammable.
- Plus léger que l'air lorsque la concentration en méthane est élevée.

- Brûle avec une flamme bleue.

Contenu énergétique : la valeur énergétique typique du biogaz est de 20 à 25 MJ/m³, soit environ 5,5 à 7,0 kWh par mètre cube.

1.4. Avantages et limites de la technologie du biogaz

Avantages environnementaux

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- Réduction de la pollution.
- Amélioration de la gestion des déchets.
- Préservation des forêts.

Avantages économiques

- Réduction des coûts de combustible.
- Production d'engrais organique.
- Création d'emplois.
- Amélioration des revenus agricoles.

Avantages sociaux

- Amélioration de l'assainissement.
- Meilleure qualité de l'air intérieur.
- Réduction de la charge de travail liée à la collecte du bois de feu.
- Amélioration de la santé publique.

Difficultés

- Coût initial d'installation élevé.
- Nécessité d'une maintenance régulière.
- Sensibilité aux conditions de fonctionnement.
- Nécessité d'un approvisionnement continu en matières premières.
- Baisse possible de la production de gaz lorsque les températures sont faibles.

1.5. Résumé du chapitre

Le biogaz est une source d'énergie renouvelable produite par digestion anaérobie de matières organiques telles que le fumier animal, les résidus de cultures et d'autres déchets biodégradables. Cette technologie offre une méthode durable de transformation des déchets en produits utiles, notamment une énergie propre et un engrais organique riche en éléments nutritifs. Le principal composant combustible du biogaz est le méthane, qui représente généralement 50 à 75 % du mélange gazeux, tandis que le dioxyde de carbone représente environ 25 à 45 %.

L'adoption de la technologie du biogaz offre de nombreux avantages environnementaux, économiques et sociaux, notamment une meilleure gestion des déchets, une réduction des émissions de gaz à effet de serre et un meilleur accès à l'énergie. Toutefois, une production efficace et fiable de biogaz exige une conception, une exploitation et une maintenance appropriées afin de maîtriser les difficultés de fonctionnement.

Questions de révision de fin de chapitre

1. Quel gaz contribue le plus à la valeur énergétique du biogaz ?

- A. Dioxyde de carbone
- B. Azote
- C. Méthane
- D. Oxygène

2. Par quel processus le biogaz est-il produit ?

- A. Combustion
- B. Photosynthèse
- C. Digestion anaérobie
- D. Distillation

3. Laquelle des matières suivantes est couramment utilisée pour produire du biogaz ?

- A. Sable
- B. Déchets plastiques
- C. Fumier animal
- D. Verre

4. Quel est le principal avantage environnemental de la technologie du biogaz ?

- A. Augmentation de l'utilisation des combustibles fossiles
- B. Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- C. Augmentation des coûts d'élimination des déchets
- D. Augmentation des émissions de carbone

5. Quelle est la teneur typique en méthane du biogaz ?

- A. 5–10 %
- B. 15–25 %
- C. 50–75 %
- D. 90–100 %

BM-B3-2

Processus de digestion anaérobie

2.1. Introduction

La digestion anaérobie est le processus biologique au cours duquel des matières organiques sont décomposées par des micro-organismes en l'absence d'oxygène, produisant du biogaz et un bioslurry riche en éléments nutritifs. Ce processus comprend quatre étapes interdépendantes : hydrolyse, acidogenèse, acétogenèse et méthanogenèse. La compréhension de ces étapes est essentielle à l'exploitation et à la maintenance de systèmes de biogaz efficaces.

La digestion anaérobie (DA) est un processus biologique dans lequel des micro-organismes décomposent la matière organique dans un milieu sans oxygène pour produire :

- du biogaz, principalement du méthane et du dioxyde de carbone ;
- du digestat ou bioslurry, utilisé comme engrais organique.

Le processus se produit naturellement dans les zones humides, l'appareil digestif des animaux, les décharges et les digesteurs de biogaz.

Pourquoi la digestion anaérobie est-elle importante ?

Elle permet :

- de produire une énergie renouvelable ;
- de réduire les déchets organiques ;
- d'améliorer l'assainissement ;
- de produire un engrais organique ;
- de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Les quatre étapes de la digestion anaérobie

La matière organique ne peut pas être convertie directement en méthane. Elle doit passer par quatre étapes biologiques :

Étapes de la digestion anaérobie : hydrolyse → acidogenèse → acétogenèse → méthanogenèse → biogaz ($CH_4 + CO_2$)

Étape 1 : Hydrolyse

L'hydrolyse est la première étape de la digestion anaérobie. Les matières organiques complexes sont décomposées en composés simples et solubles. Les grosses molécules organiques telles que les glucides, les protéines et les graisses (lipides) sont trop volumineuses pour être absorbées directement par les micro-organismes. Pendant l'hydrolyse, les bactéries hydrolytiques libèrent des enzymes qui décomposent ces composés en molécules plus petites.

Tableau 2.1 — Réactions de dégradation

Matière complexe	Produits de dégradation
Glucides	Sucres simples (glucose)
Protéines	Acides aminés
Graisses	Acides gras et glycérol

L'hydrolyse est importante parce qu'elle :

- rend les nutriments accessibles aux bactéries ;
- déclenche le processus de digestion ;
- détermine la vitesse de digestion de nombreuses matières premières.

Les micro-organismes impliqués comprennent des bactéries hydrolytiques telles que :

- des espèces de **Clostridium** ;
- des espèces de **Bacteroides** ;
- des espèces de **Bacillus**.

Étape 2 : Acidogenèse

L'acidogenèse est l'étape au cours de laquelle les composés solubles produits pendant l'hydrolyse sont convertis en acides organiques, alcools, hydrogène et dioxyde de carbone. Les bactéries acidogènes consomment des sucres, des acides aminés et des acides gras et produisent des acides gras volatils (AGV), des alcools, de l'hydrogène (H₂), du dioxyde de carbone (CO₂) et de l'ammoniac (NH₃).

Tableau 2.2 — Principaux produits de l'acidogenèse

Produit	Exemple
Acides organiques	Acide propionique, acide butyrique
Alcools	Éthanol
Gaz	Hydrogène, dioxyde de carbone

L'acidogenèse :

- produit les composés intermédiaires nécessaires aux étapes suivantes ;
- fournit de l'énergie aux bactéries acidogènes ;
- permet la poursuite de la dégradation de la matière organique.

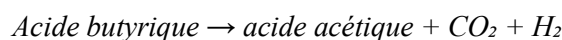
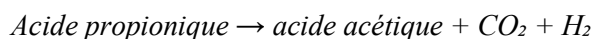
Les micro-organismes impliqués comprennent des bactéries acidogènes telles que :

- des espèces de **Clostridium** ;
- des espèces d'**Enterobacter** ;
- des espèces de **Lactobacillus**.

Étape 3 : Acétogenèse

L'acétogenèse est l'étape au cours de laquelle les acides organiques et les alcools sont convertis en acide acétique, hydrogène et dioxyde de carbone. De nombreux produits issus de l'acidogenèse ne peuvent pas être utilisés directement par les micro-organismes méthanogènes. Les bactéries acétogènes convertissent ces composés en substances plus simples adaptées aux méthanogènes.

Exemples de conversion :



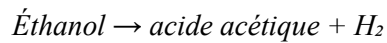


Tableau 2.3 — Principaux produits de l'acétogenèse et leur importance

Produit	Importance
Acide acétique	Principal précurseur du méthane
Hydrogène	Utilisé par les méthanogènes
Dioxyde de carbone	Composant du biogaz

L'acétogenèse :

- assure le lien entre l'acidogenèse et la méthanogenèse ;
- produit les principaux précurseurs du méthane ;
- contribue à la stabilité du processus.

Les micro-organismes impliqués comprennent des bactéries acétogènes telles que :

- des espèces de **Syntrophomonas** ;
- des espèces de **Syntrobacter**.

Étape 4 : Méthanogenèse

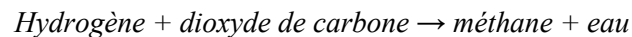
La méthanogenèse est la dernière étape de la digestion anaérobie. Des micro-organismes producteurs de méthane convertissent l'acide acétique, l'hydrogène et le dioxyde de carbone en méthane.

Voie 1 — Méthanogenèse acétoclastique



Environ 70 % du méthane est produit par cette voie.

Voie 2 — Méthanogenèse hydrogénotrophe



Environ 30 % du méthane est produit par cette voie.

Tableau 2.4 — Principaux produits de la méthanogenèse

Produit	Description
Méthane (CH ₄)	Principale source d'énergie
Dioxyde de carbone (CO ₂)	Composant majeur du biogaz
Eau (H ₂ O)	Sous-produit

La méthanogenèse :

- produit une énergie utilisable ;
- achève la digestion anaérobie ;
- stabilise la matière organique.

Les micro-organismes concernés comprennent des archées méthanogènes telles que :

- *Methanobacterium* ;
- *Methanococcus* ;
- *Methanosarcina* ;
- *Methanosaeta*.

2.2. Résumé du processus de digestion anaérobie

Tableau 2.5 — Résumé de la digestion anaérobie

Étape	Activité principale	Principaux produits
Hydrolyse	Dégradation des composés complexes	Sucres, acides aminés, acides gras
Acidogenèse	Conversion en acides organiques	AGV, alcools, H ₂ , CO ₂
Acétogenèse	Conversion des acides en acétate	Acide acétique, H ₂ , CO ₂
Méthanogenèse	Production de méthane	CH ₄ , CO ₂

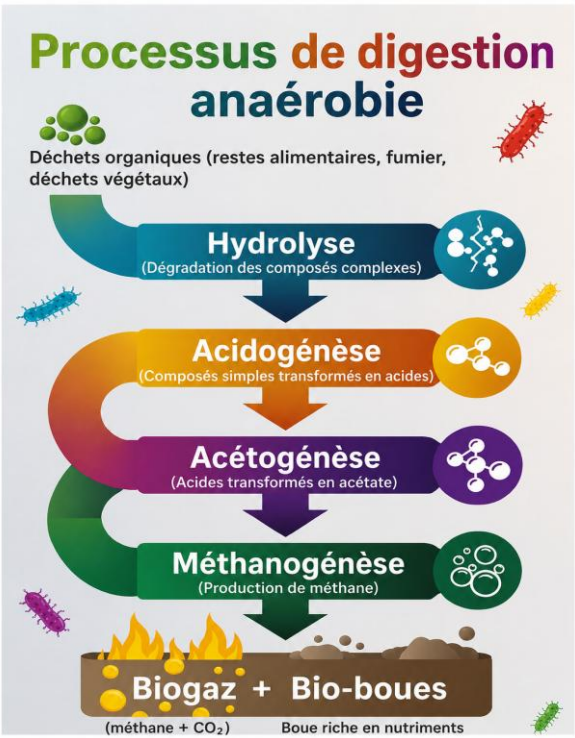


Figure 2.1 Schéma de la digestion anaérobie

2.3. Conditions requises pour une digestion anaérobie efficace

Pour que les quatre étapes fonctionnent correctement, les conditions suivantes doivent être maintenues.

a. Température

- plage mésophile : 30–40 °C ;
- plage thermophile : 50–60 °C.

b. pH

- plage idéale : 6,8–7,5.

c. Absence d'oxygène

- l'oxygène inhibe les micro-organismes anaérobies.

d. Nutriments suffisants

Les micro-organismes ont besoin de :

- carbone ;
- azote ;
- phosphore ;
- oligoéléments minéraux.

e. Mélange approprié

Le mélange permet :

- de répartir les nutriments ;
- d'éviter la formation d'une croûte flottante ;
- d'améliorer la production de gaz.

Tableau 2.6 — Facteurs affectant les différentes étapes de la digestion anaérobie

Facteur	Effet
Basse température	Ralentit l'activité microbienne
Acidité élevée	Inhibe les méthanogènes
Produits chimiques toxiques	Réduisent les populations microbiennes
Suralimentation	Provoque une accumulation d'acides
Absence de mélange	Digestion non uniforme

2.4. Résumé du chapitre

La digestion anaérobie est un processus biologique qui transforme des déchets organiques en produits utiles : le biogaz et le bioslurry. Ce processus comprend quatre étapes interdépendantes : hydrolyse, acidogenèse, acétogenèse et méthanogenèse. Pendant l'hydrolyse, les substances organiques complexes sont décomposées en composés plus simples pouvant être utilisés par les micro-organismes. Lors de l'acidogenèse, ces composés simples sont convertis en acides organiques, alcools, hydrogène et dioxyde de carbone. L'acétogenèse transforme ensuite ces produits en acide acétique, hydrogène et dioxyde de carbone, qui constituent des substrats essentiels pour les micro-organismes producteurs de méthane.

Enfin, la méthanogenèse convertit ces intermédiaires en un biogaz riche en méthane, principal produit énergétique de la digestion anaérobie. Pour optimiser la production de biogaz, il est indispensable de maintenir des conditions de fonctionnement adaptées à l'activité microbienne et à la stabilité du procédé.

Questions de révision de fin de chapitre

I. Questions à choix multiple

1. Quelle étape amorce la dégradation des matières organiques complexes ?
 - A. Méthanogenèse
 - B. Acétogenèse
 - C. Hydrolyse
 - D. Fermentation
2. Quelle étape produit des acides gras volatils ?
 - A. Hydrolyse
 - B. Acidogenèse
 - C. Méthanogenèse
 - D. Gazéification
3. L'acide acétique est principalement produit à quelle étape ?
 - A. Hydrolyse
 - B. Acidogenèse
 - C. Acétogenèse
 - D. Combustion
4. Quels micro-organismes produisent le méthane ?
 - A. Bactéries hydrolytiques
 - B. Bactéries acidogènes
 - C. Bactéries acétogènes
 - D. Méthanogènes
5. Quel est le produit énergétique utile final de la digestion anaérobie ?
 - A. Oxygène
 - B. Azote
 - C. Biogaz riche en méthane
 - D. Vapeur

II. Questions à réponse courte

1. Définissez la digestion anaérobie.
2. Citez dans l'ordre les quatre étapes de la digestion anaérobie.
3. Quels sont les principaux produits de l'acidogenèse ?
4. Pourquoi l'acétogenèse est-elle importante ?
5. Expliquez le rôle des méthanogènes dans la production de biogaz.

Composants d'une installation de biogaz

3.1. Introduction

Une installation de biogaz est un système conçu pour convertir les déchets organiques en biogaz par digestion anaérobie. Pour fonctionner efficacement, elle comprend plusieurs composants interconnectés qui assurent le déplacement des matières premières, la digestion des matières organiques, le stockage du biogaz et l'utilisation du gaz produit. Les principaux composants sont :

1. le digesteur ;
2. les ouvrages d'entrée et de sortie ;
3. les systèmes de stockage du gaz ;
4. les canalisations et appareils à gaz.

Chaque composant joue un rôle essentiel dans l'efficacité de la production et la sécurité de l'exploitation.

3.2. Digesteur

Le digesteur est le cœur d'une installation de biogaz. Il s'agit d'une enceinte étanche à l'air dans laquelle des matières organiques se décomposent en l'absence d'oxygène pour produire du biogaz et du bioslurry.

Le digesteur :

- fournit un environnement contrôlé pour la digestion anaérobie ;
- retient la matière première pendant une durée suffisante pour permettre l'activité microbienne ;
- facilite la dégradation de la matière organique ;
- produit du biogaz et un lisier riche en éléments nutritifs.

Caractéristiques d'un bon digesteur

Un digesteur correctement conçu doit :

- être étanche au gaz et à l'eau ;
- résister à la pression interne ;
- résister à la corrosion et aux fuites ;
- maintenir des conditions de température stables ;
- être durable et facile à entretenir.

Les matériaux de construction courants comprennent :

- la maçonnerie en briques ;
- le béton armé ;
- l'acier ;
- les matières plastiques et la fibre de verre.

Types de digesteurs

a. Digesteur à dôme fixe

Le gaz est stocké sous un dôme fixe situé au-dessus de la chambre de digestion.

Avantages :

- longue durée de vie ;
- faible maintenance ;
- absence de pièces mobiles.

Inconvénients :

- pression du gaz susceptible de varier ;
- construction nécessitant une main-d'œuvre qualifiée.

b. Digesteur à cloche flottante

Une cloche mobile flotte sur le lisier et stocke le gaz produit.

Avantages :

- pression de gaz constante ;
- suivi facile du volume de gaz.

Inconvénients :

- besoins de maintenance plus élevés ;
- risque de corrosion de la cloche.

c. Digesteur tubulaire ou à ballon

Construit à partir de matières plastiques ou caoutchouteuses souples.

Avantages :

- faible coût ;
- installation facile.

Inconvénients :

- durée de vie plus courte ;
- vulnérabilité aux dommages physiques.

3.3. Ouvrages d'entrée et de sortie

Les structures d'entrée et de sortie permettent l'introduction des matières dans le digesteur et l'évacuation du digestat.

Ouvrage d'entrée

L'entrée sert à introduire la matière première préparée dans le digesteur. Les principaux composants comprennent :

- une cuve de mélange ;
- une conduite ou un canal d'alimentation.

Fonctions :

- permettre une alimentation uniforme en matières organiques ;
- faciliter le mélange des déchets avec de l'eau ;
- prévenir les obstructions dans le digesteur.

Bonnes pratiques :

- alimenter régulièrement le digesteur ;
- retirer les pierres et matières non biodégradables avant l'alimentation ;
- respecter le rapport recommandé entre matière première et eau.

Ouvrage de sortie

La sortie permet au lisier digéré de quitter le digesteur à mesure que de nouvelles matières premières y entrent. Elle :

- maintient un niveau approprié de lisier dans le digesteur ;
- évacue le digestat stabilisé ;
- donne accès au bioslurry pour son utilisation agricole.

Le bioslurry évacué peut être utilisé comme :

- engrais organique ;
- amendement du sol ;
- ingrédient de compost.

Il est riche en éléments nutritifs pour les plantes, notamment en azote, phosphore et potassium.

3.4. Systèmes de stockage du gaz

Les systèmes de stockage recueillent et conservent le biogaz produit dans le digesteur jusqu'à son utilisation. Ils permettent de stocker le biogaz en sécurité, de réguler l'alimentation en gaz et de maintenir une pression adaptée aux usages finaux.

a. Stockage sous dôme fixe

Le gaz s'accumule sous un dôme fixe faisant partie intégrante du digesteur.

Avantages :

- durable ;
- faible maintenance ;
- absence de pièces mobiles.

b. Stockage à cloche flottante

Le gaz est stocké dans une cloche mobile qui monte et descend en fonction de la production de gaz.

Avantages :

- pression presque constante ;
- indication visuelle facile de la quantité de gaz.

c. Poches de gaz externes

Poches de stockage souples raccordées au digesteur.

Avantages :

- installation simple ;
- capacité de stockage supplémentaire.

Inconvénients :

- sensibilité aux perforations et aux intempéries.

Considérations de sécurité

Les systèmes de stockage du gaz doivent :

- être étanches ;
- être protégés contre la chaleur excessive et les flammes ;
- intégrer des dispositifs de décharge de pression lorsque cela est nécessaire ;
- être inspectés régulièrement afin de détecter les dommages et les fuites.

3.5. Canalisations et appareils

3.5.1. Réseau de canalisations

Le réseau de canalisations transporte le biogaz du digesteur ou du stockage jusqu'au point d'utilisation.

Les matériaux courants comprennent :

- tubes en PVC ;
- tubes en polyéthylène (PE) ;
- tubes en acier galvanisé.

Critères de conception

- Les canalisations doivent être étanches au gaz.
- Leur longueur doit être réduite autant que possible afin de limiter les pertes de pression.
- Une pente appropriée doit être maintenue pour permettre l'évacuation des condensats.
- Les raccords doivent être correctement étanchés.

Dispositifs de contrôle du gaz

- Vannes de gaz : régulent le débit et permettent d'isoler des parties du système pendant la maintenance.
- Pots de purge / pièges à eau : recueillent l'humidité qui se condense dans les conduites de gaz.
- Régulateurs de pression : maintiennent une pression stable pour les appareils.

Appareils fonctionnant au biogaz

Le biogaz peut alimenter plusieurs types d'appareils :

- cuisinières au biogaz : pour la cuisson dans les ménages et les institutions ;
- lampes au biogaz : pour l'éclairage lorsque l'électricité n'est pas disponible ;
- chauffe-eau au biogaz : pour produire de l'eau chaude à usage domestique ou commercial ;
- moteurs et groupes électrogènes au biogaz : pour convertir le biogaz en énergie mécanique ou électrique.

3.5.2. Maintenance des canalisations et appareils

La maintenance régulière doit comprendre :

- la recherche de fuites de gaz ;
- le nettoyage des brûleurs et des buses ;
- l'évacuation de l'eau accumulée dans les pièges à eau ;
- l'inspection des vannes et raccords ;
- le remplacement des conduites et raccords endommagés.

Une maintenance appropriée améliore l'efficacité, la sécurité et la durée de vie des équipements.

3.6. Résumé du chapitre

Une installation de biogaz comprend plusieurs composants essentiels qui fonctionnent ensemble pour produire, stocker et utiliser le biogaz. Le digesteur constitue la chambre principale dans laquelle se déroule la digestion anaérobie. Les ouvrages d'entrée et de sortie permettent le déplacement des matières premières et du bioslurry, tandis que les systèmes de stockage recueillent et conservent le biogaz produit. Les réseaux de canalisations et les appareils transportent et utilisent le gaz pour la cuisson, l'éclairage, le chauffage et la production d'électricité. Une conception, une installation et une maintenance appropriées de ces composants sont indispensables à l'exploitation sûre et efficace d'une installation de biogaz.

Questions de révision de fin de chapitre

1. Quelle est la fonction principale d'un digesteur dans une installation de biogaz ?
2. Expliquez les différences entre un digesteur à dôme fixe et un digesteur à cloche flottante.
3. Quelles sont les fonctions des ouvrages d'entrée et de sortie ?
4. Pourquoi les systèmes de stockage du gaz sont-ils importants dans les installations de biogaz ?
5. Quel est le rôle des pièges à eau dans les canalisations de biogaz ?
6. Citez quatre appareils courants pouvant utiliser le biogaz.
7. Décrivez les principales pratiques de maintenance des canalisations et des appareils au biogaz.

BM-B3-4

Facteurs influençant la production de biogaz

4.1. Introduction

La production de biogaz dépend de l'activité des micro-organismes qui décomposent la matière organique dans des conditions anaérobies. Ces micro-organismes sont très sensibles à leur environnement ; toute condition défavorable peut réduire la production de gaz, voire interrompre le processus de digestion. Plusieurs facteurs influencent le rendement et la stabilité de la production de biogaz. Les plus importants sont :

1. la température ;
2. le pH ;
3. le temps de séjour ;
4. la qualité des matières premières.

La compréhension et la maîtrise de ces facteurs sont essentielles pour maximiser le rendement en biogaz et maintenir un processus de digestion sain.

4.2. Température

La température influence directement la croissance et l'activité des micro-organismes responsables de la digestion anaérobie. Des températures stables favorisent une digestion efficace, tandis que des variations brusques peuvent perturber les populations microbiennes et réduire la production de gaz.

4.2.1. Plage psychrophile

- Inférieure à 20 °C.
- Activité microbienne lente.
- Faible production de biogaz.

4.2.2. Plage mésophile

- 30–40 °C.
- Plage de fonctionnement la plus courante.
- Digestion stable et efficace.
- Température optimale d'environ 35 °C.

4.2.3. Plage thermophile

- 50–60 °C.
- Digestion plus rapide et production de gaz plus élevée.
- Nécessite un contrôle et une gestion rigoureux.

Effets des fluctuations de température

Des variations brusques peuvent :

- réduire l'activité microbienne ;
- ralentir la digestion ;
- diminuer la production de méthane ;
- déstabiliser le procédé.

Pour maintenir des températures favorables :

- isoler le digesteur ;
- construire le digesteur sous terre lorsque cela est possible ;
- éviter l'introduction de matières extrêmement froides ou chaudes ;
- maintenir un programme d'alimentation régulier.

4.3. pH

Le pH est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité. Il influence fortement la survie et l'activité des micro-organismes de la digestion anaérobie.

L'échelle de pH va de 0 à 14 :

- pH inférieur à 7 : acide ;
- pH égal à 7 : neutre ;
- pH supérieur à 7 : alcalin.

4.3.1. Plage optimale de pH

Les bactéries productrices de méthane fonctionnent le mieux entre pH 6,8 et 7,5. Cette plage offre des conditions favorables à la méthanogenèse et à une production stable de biogaz.

4.3.2. Effets du pH

Lorsque le digesteur devient trop acide :

- la production de méthane diminue ;
- l'activité microbienne ralentit ;

- des acides organiques s'accumulent ;
- le processus de digestion peut échouer.

Des conditions excessivement alcalines peuvent :

- inhiber la croissance microbienne ;
- réduire l'efficacité de la digestion ;
- affecter la disponibilité des nutriments.

4.3.3. Gestion du pH

Les bonnes pratiques comprennent :

- éviter la suralimentation du digesteur ;
- alimenter régulièrement le digesteur ;
- maintenir des mélanges appropriés de matières premières ;
- surveiller périodiquement le pH ;
- ajouter des substances tampons lorsque cela est nécessaire.

4.4. Temps de séjour

Le temps de séjour, également appelé temps de séjour hydraulique (TSH ; HRT dans la source), est la durée moyenne pendant laquelle la matière première reste dans le digesteur. Il est généralement exprimé en jours.

Un temps de séjour suffisant permet aux micro-organismes :

- de décomposer complètement la matière organique ;
- de produire suffisamment de méthane ;
- de stabiliser le lisier digéré.

Le temps de séjour dépend de la température, du type de matière première et de la conception du digesteur. Les valeurs typiques vont de 20 à 60 jours. Les climats chauds nécessitent généralement des temps de séjour plus courts que les climats froids.

4.4.1. Effets du temps de séjour

Si la matière première quitte le digesteur trop rapidement :

- une partie de la matière organique reste non digérée ;
- la production de méthane diminue ;
- le rendement en biogaz est réduit.

Des temps de séjour excessivement longs peuvent :

- nécessiter des digesteurs plus grands ;

- augmenter les coûts de construction ;
- réduire l'efficacité du système.

4.4.2. Gestion du temps de séjour

Pour maintenir un temps de séjour approprié :

- alimenter le digesteur de manière régulière ;
- éviter la surcharge ;
- utiliser un digesteur correctement dimensionné ;
- respecter les recommandations d'exploitation.

4.5. Qualité des matières premières

La qualité des matières premières désigne les caractéristiques des matières organiques utilisées pour produire du biogaz. Leur quantité et leur qualité influencent fortement le rendement en gaz et l'efficacité de la digestion.

Une bonne matière première doit :

- être biodégradable ;
- contenir suffisamment de matière organique ;
- être exempte de substances toxiques ;
- présenter une teneur en humidité appropriée.

Les matières premières courantes comprennent :

- le fumier animal ;
- les résidus de cultures ;
- les déchets alimentaires ;
- les sous-produits agricoles ;
- les déchets organiques ménagers.

4.5.1. Facteurs influençant la qualité des matières premières

a. Rapport carbone/azote (C:N)

- Le rapport C:N influence la croissance des micro-organismes producteurs de biogaz.
- Le rapport C:N idéal est compris entre 20:1 et 30:1.
- Si le rapport est trop élevé ou trop faible, le mélange de plusieurs matières premières (codigestion) peut permettre d'atteindre un meilleur équilibre.

b. Teneur en humidité

- Les micro-organismes ont besoin de suffisamment d'eau pour décomposer les matières organiques.
- Une humidité insuffisante ralentit la digestion.

- Une humidité excessive dilue les nutriments et réduit l'efficacité de production du biogaz.

c. Absence de matières toxiques

- Les matières premières doivent être exemptes de substances nocives telles que les pesticides, les détergents, les métaux lourds et d'autres produits chimiques.
- Ces substances peuvent tuer ou inhiber les micro-organismes et réduire la production de biogaz.

4.6. Amélioration de la production de biogaz

Une production efficace de biogaz peut être obtenue en :

- maintenant une température stable ;
- maintenant le pH dans la plage optimale ;
- assurant un temps de séjour suffisant ;
- utilisant des matières premières de bonne qualité ;
- appliquant de bonnes pratiques d'alimentation et de maintenance.

Ces mesures contribuent à maintenir une activité microbienne stable et à maximiser la production de méthane.

4.7. Résumé du chapitre

La production de biogaz dépend de plusieurs facteurs importants, notamment la température, le pH, le temps de séjour et la qualité des matières premières. La température influence l'activité microbienne et la vitesse de digestion, tandis que le pH affecte la survie et l'efficacité des bactéries productrices de méthane. Un temps de séjour suffisant assure une digestion complète de la matière organique, et des matières premières de bonne qualité fournissent les nutriments nécessaires à une production efficace de biogaz. Une gestion appropriée de ces facteurs est indispensable pour obtenir un fonctionnement stable et maximiser le rendement en biogaz.

Questions de révision de fin de chapitre

1. Pourquoi la température est-elle importante dans la digestion anaérobie ?
2. Quelle est la plage de pH optimale pour les bactéries productrices de méthane ?
3. Définissez le temps de séjour et expliquez son importance.
4. Quels problèmes peuvent apparaître si le temps de séjour est trop court ?
5. Citez quatre caractéristiques d'une bonne matière première pour le biogaz.
6. Quel est le rapport C:N idéal pour la digestion anaérobie ?
7. Comment les opérateurs peuvent-ils améliorer l'efficacité de la production de biogaz ?

BM-B3-5

Applications du biogaz

5.1. Introduction

Le biogaz est une source d'énergie renouvelable polyvalente qui peut être utilisée dans de nombreuses applications domestiques, agricoles et commerciales. Le méthane contenu dans le biogaz brûle de manière propre et efficace, ce qui permet de remplacer des combustibles traditionnels tels que le bois de feu, le charbon de bois, le kérosène et les combustibles fossiles.

5.2. Applications du biogaz

Les applications les plus courantes du biogaz comprennent :

- la cuisson ;
- l'éclairage ;
- le chauffage ;
- la production d'électricité à petite échelle.

Ces applications améliorent l'accès à l'énergie tout en réduisant les impacts environnementaux et les dépenses énergétiques des ménages.

5.2.1. Biogaz pour la cuisson

La cuisson est l'utilisation la plus répandue du biogaz, en particulier dans les ménages ruraux et les institutions. Le biogaz brûle avec une flamme bleue propre et produit peu de fumée.

Cuisinières au biogaz : des cuisinières spécialement conçues sont utilisées pour cuire les aliments, faire bouillir de l'eau et préparer des aliments pour animaux.

Avantages :

- réduction de la dépendance au bois de feu et au charbon de bois ;
- amélioration de la qualité de l'air intérieur ;
- réduction du temps consacré à la collecte du bois de feu ;
- diminution de la déforestation ;
- source d'énergie pratique et fiable.

Pratiques de sécurité :

- assurer une ventilation suffisante ;

- rechercher régulièrement les fuites de gaz ;
- maintenir les brûleurs propres ;
- fermer les vannes de gaz lorsque les appareils ne sont pas utilisés.

5.2.2. Biogaz pour l'éclairage

Le biogaz peut être utilisé dans des lampes à gaz spécialement conçues. Ces lampes produisent une lumière vive en brûlant le biogaz de manière contrôlée.

Les principaux composants d'une lampe au biogaz sont :

- le brûleur ;
- le manchon ;
- la vanne de réglage du gaz.

Avantages :

- éclairage dans les zones non électrifiées ;
- réduction de la dépendance aux lampes à kérosène ;
- diminution de la pollution de l'air intérieur ;
- amélioration des activités domestiques et communautaires après la tombée de la nuit.

Limites :

- nécessité d'un gaz de bonne qualité ;
- remplacement périodique possible des manchons ;
- efficacité généralement inférieure à celle des systèmes modernes d'éclairage électrique.

5.2.3. Biogaz pour le chauffage

La combustion du biogaz produit de la chaleur qui peut être utilisée pour divers usages domestiques et commerciaux.

Applications :

- chauffage de l'eau : pour les ménages, les institutions et les petites industries ;
- chauffage des locaux : pour les habitations, les serres et les bâtiments d'élevage.

5.2.4. Utilisations agricoles du biogaz

La chaleur issue du biogaz peut servir à :

- sécher les cultures ;
- chauffer les poulaillers ;
- maintenir la température des serres.

Avantages :

- source de chaleur renouvelable ;

- réduction de la consommation de combustibles fossiles ;
- amélioration de l'autonomie énergétique.

5.3. Production d'électricité à petite échelle

Le biogaz peut servir à produire de l'électricité en alimentant des moteurs à combustion interne couplés à des générateurs.

Fonctionnement

1. Le biogaz est produit et collecté.
2. Le gaz est épuré si nécessaire.
3. Un moteur fonctionnant au biogaz brûle le gaz.
4. Le moteur entraîne un générateur.
5. De l'électricité est produite pour l'utilisation finale.

L'électricité produite peut alimenter des habitations, des écoles, des centres de santé, des exploitations agricoles et de petites entreprises.

Avantages

- Fournit une électricité locale fiable.
- Réduit la dépendance au gazole.
- Utilise des ressources disponibles localement.
- Soutient le développement rural.

Limites

- Nécessite un investissement dans les équipements.
- Exige une maintenance régulière.
- La qualité du gaz peut devoir être améliorée avant utilisation.

5.4. Avantages de l'utilisation du biogaz

Avantages environnementaux

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- Amélioration de la gestion des déchets.
- Réduction de la déforestation.

Avantages économiques

- Réduction des coûts énergétiques.

- Réduction des dépenses consacrées aux combustibles conventionnels.
- Création de possibilités de revenus supplémentaires.

Avantages sociaux

- Amélioration des conditions sanitaires.
- Meilleur assainissement.
- Accroissement de l'accès à l'énergie.
- Amélioration de la qualité de vie.

Considérations de sécurité

Bien que le biogaz soit généralement sûr lorsqu'il est correctement manipulé, des précautions sont nécessaires. Les utilisateurs doivent :

- inspecter régulièrement les conduites de gaz et les vannes ;
- réparer immédiatement les fuites ;
- éloigner les flammes des zones de stockage du gaz ;
- assurer une ventilation appropriée ;
- respecter les instructions du fabricant pour les appareils.

Une exploitation sûre protège les utilisateurs et améliore la fiabilité du système.

5.5. Résumé du chapitre

Le biogaz est un combustible renouvelable polyvalent utilisable pour la cuisson, l'éclairage, le chauffage et la production d'électricité à petite échelle. Son utilisation réduit la dépendance aux combustibles traditionnels tout en apportant des bénéfices environnementaux, économiques et sociaux. Le biogaz contribue au développement durable en améliorant l'accès à l'énergie, en réduisant les déchets et en diminuant les émissions de gaz à effet de serre. Une manipulation, une maintenance et des pratiques de sécurité appropriées sont indispensables à une utilisation efficace et sûre de l'énergie du biogaz.

Questions de révision de fin de chapitre

1. Pourquoi la cuisson est-elle l'application la plus courante du biogaz ?
2. Quels sont les avantages de l'utilisation du biogaz pour l'éclairage ?
3. Citez trois applications de chauffage utilisant le biogaz.
4. Décrivez comment le biogaz peut être utilisé pour produire de l'électricité.
5. Quels sont les principaux avantages de l'utilisation du biogaz ?
6. Quelles précautions de sécurité doivent être respectées lors de l'utilisation d'appareils au biogaz ?
7. Comment le biogaz contribue-t-il à la durabilité environnementale ?

BM-B4

Fondamentaux de la gazéification de la biomasse et des biocarburants

Objectifs d'apprentissage

À l'issue de ce cours, les apprenants seront capables de :

- Expliquer les principes de la gazéification de la biomasse.
- Décrire la production et l'utilisation du gaz de synthèse.
- Identifier les principaux types de biocarburants.
- Comprendre les voies de production de base des biocarburants.

BM-B4-1

Introduction à la gazéification de la biomasse

Objectifs d'apprentissage

À la fin de ce chapitre, les apprenants seront capables de :

- Définir la gazéification de la biomasse et expliquer son importance en tant que technologie d'énergie renouvelable.
- Décrire les principes et les objectifs de la gazéification de la biomasse.
- Expliquer le procédé de base de gazéification et ses produits.
- Identifier les principaux types de gazéificateurs et leurs caractéristiques.
- Comparer les avantages et les limites des différentes conceptions de gazéificateurs.

1.1. Introduction

L'augmentation de la demande énergétique, combinée aux préoccupations liées au changement climatique et à l'épuisement des ressources fossiles, a renforcé l'intérêt pour les technologies d'énergie renouvelable. La gazéification de la biomasse est l'une de ces technologies : elle convertit la biomasse en un gaz combustible propre et polyvalent appelé gaz de synthèse (syngas).

La gazéification de la biomasse offre une méthode efficace de valorisation des résidus agricoles, des déchets forestiers, des déchets animaux et d'autres matières organiques à des fins de production d'énergie. Contrairement à la combustion directe, la gazéification transforme la biomasse solide en un combustible gazeux pouvant être utilisé pour le chauffage, la production d'électricité ainsi que la fabrication de biocarburants et de produits chimiques.

En tant que technologie d'énergie renouvelable, la gazéification de la biomasse contribue au développement durable en réduisant la dépendance aux combustibles fossiles et en favorisant l'utilisation de ressources disponibles localement.

1.2. Qu'est-ce que la gazéification de la biomasse ?

La gazéification de la biomasse est un procédé thermochimique qui convertit des matières contenant du carbone en un mélange gazeux combustible par oxydation partielle à haute température. Le procédé se déroule dans un gazéifieur, où la biomasse réagit avec une quantité contrôlée d'oxygène, d'air, de vapeur ou une combinaison de ces agents. Contrairement à la combustion complète, la gazéification utilise une quantité limitée d'oxygène, ce qui permet de transformer la biomasse en gaz combustible plutôt que de la brûler entièrement.

Les matières couramment utilisées comprennent :

- le bois et les copeaux de bois ;
- les résidus agricoles ;
- les tiges et pailles de cultures ;
- les balles de riz ;
- les rafles de maïs ;
- les coques de noix de coco ;
- la sciure ;
- le fumier animal ;
- les déchets organiques municipaux.

Le choix de la matière première influence les performances du gazéifieur et la qualité du gaz de synthèse.

1.3. Principes et objectifs de la gazéification de la biomasse

1.3.1. Principes de la gazéification

La gazéification repose sur la conversion de la biomasse solide en gaz combustibles au moyen de réactions thermiques et chimiques contrôlées. Le procédé se déroule généralement à des températures comprises entre 700 °C et 1 200 °C, avec une quantité limitée d'oxygène.

La biomasse traverse plusieurs étapes :

1. Séchage : l'humidité est éliminée par évaporation de l'eau contenue dans la matière première. Le séchage améliore l'efficacité de la gazéification et prépare la biomasse aux réactions suivantes.

2. Pyrolyse : la biomasse se décompose en l'absence d'oxygène. Les produits comprennent :

- du charbon (char) ;
- des goudrons ;
- des gaz volatils.

La pyrolyse décompose les composés organiques complexes en substances plus simples.

3. Oxydation (zone de combustion) : une partie de la biomasse brûle avec une quantité limitée d'oxygène. Cette étape produit de la chaleur et fournit l'énergie nécessaire aux réactions de gazéification. Les produits typiques comprennent le dioxyde de carbone (CO_2) et la vapeur d'eau (H_2O).

4. Réduction : les produits chauds de la combustion réagissent avec le charbon pour former des gaz combustibles.

Les principaux gaz produits sont :

- le monoxyde de carbone (CO) ;
- l'hydrogène (H_2) ;
- le méthane (CH_4).

Ces gaz constituent le gaz de synthèse, principal produit de la gazéification.

1.3.2. Objectifs de la gazéification de la biomasse

Les principaux objectifs sont :

- Production d'énergie : convertir la biomasse en un combustible gazeux utile pour le chauffage et la production d'électricité.
- Amélioration de l'efficacité du combustible : accroître l'efficacité de conversion énergétique par rapport à la combustion directe de la biomasse.
- Valorisation des déchets : convertir les résidus agricoles et forestiers en produits énergétiques utiles.
- Réduction des impacts environnementaux : réduire le brûlage à l'air libre de la biomasse et les émissions de gaz à effet de serre.
- Production de combustibles renouvelables : produire un gaz de synthèse pouvant servir à fabriquer des biocarburants et des produits chimiques industriels.

1.4. Produits de la gazéification

Le principal produit de la gazéification de la biomasse est le gaz de synthèse.

Tableau 1.1 — Composition typique du gaz de synthèse issu de la gazéification de biomasse

Composant	Plage typique (%)
Monoxyde de carbone (CO)	15–30
Hydrogène (H ₂)	10–25
Méthane (CH ₄)	1–10
Dioxyde de carbone (CO ₂)	5–15
Azote (N ₂)	Variable

Utilisations du gaz de synthèse

Le gaz de synthèse peut être utilisé pour :

- la cuisson et le chauffage ;
- les applications thermiques industrielles ;
- la production d'électricité ;
- la production de biocarburants liquides ;
- la fabrication de produits chimiques.

1.5. Types de gazéificateurs

Les gazéificateurs sont classés en fonction de la direction de l'écoulement de l'air et du déplacement de la biomasse dans le réacteur. Les principaux types sont :

1. gazéificateur à tirage ascendant ;
2. gazéificateur à tirage descendant ;
3. gazéificateur à tirage transversal ;
4. gazéificateur à lit fluidisé.

1.6. Gazéificateur à tirage ascendant

Dans un gazéificateur à tirage ascendant, la biomasse est introduite par le haut tandis que l'air entre par le bas. Le gaz circule vers le haut à travers le lit de biomasse et sort par la partie supérieure.

Principe de fonctionnement

- La biomasse descend.
- L'air monte.
- Les gaz chauds traversent la biomasse fraîche avant de quitter le réacteur.

Avantages

- Rendement thermique élevé.

- Adapté à la biomasse à forte teneur en humidité.
- Construction simple.

Inconvénients

- Teneur élevée en goudrons dans le gaz de synthèse.
- Nécessité fréquente d'un traitement supplémentaire du gaz.

Applications

- Chauffage industriel.
- Production d'énergie thermique.

1.7. Gazéifieur à tirage descendant

Dans un gazéifieur à tirage descendant, la biomasse et l'air se déplacent tous deux vers le bas dans le réacteur. Le gaz produit sort par le bas.

Principe de fonctionnement

Le gaz traverse une zone de combustion très chaude, ce qui contribue à craquer et à réduire les composés goudronneux.

Avantages

- Faible teneur en goudrons.
- Gaz de synthèse plus propre.
- Adapté aux moteurs.

Inconvénients

- Nécessite une biomasse relativement sèche.
- Tolère moins bien les variations de matière première.

Applications

- Production d'électricité à petite échelle.
- Systèmes énergétiques ruraux.
- Moteurs à gaz.

1.8. Gazéifieur à tirage transversal

Dans un gazéifieur à tirage transversal, l'air entre par un côté et le gaz sort par le côté opposé. L'écoulement de l'air traverse horizontalement le lit de combustible.

Avantages

- Démarrage rapide.

- Conception compacte.
- Réponse rapide aux variations de charge.

Inconvénients

- Flexibilité limitée vis-à-vis des combustibles.
- Les températures élevées peuvent endommager certains composants.

Applications

- Systèmes énergétiques à petite échelle.
- Usages industriels spécialisés.

1.9. Gazéifieur à lit fluidisé

Les gazéifieurs à lit fluidisé contiennent un lit de particules inertes, comme du sable, maintenues en suspension par un flux ascendant d'air ou de vapeur. La biomasse se mélange étroitement aux particules fluidisées.

Avantages

- Répartition uniforme de la température.
- Rendement élevé.
- Adapté aux applications de grande échelle.
- Capable de traiter une grande variété de matières premières.

Inconvénients

- Exploitation plus complexe.
- Coûts d'investissement plus élevés.
- Nécessite des opérateurs qualifiés.

Applications

- Production industrielle d'électricité.
- Systèmes de cogénération de chaleur et d'électricité.
- Installations de production de biocarburants.

Tableau 1.2 — Comparaison des principaux types de gazéifieurs

Type de gazéifieur	Production de goudrons	Flexibilité de la matière première	Complexité	Échelle typique
Tirage ascendant	Élevée	Élevée	Faible	Petite à moyenne
Tirage descendant	Faible	Moyenne	Moyenne	Petite
Tirage transversal	Moyenne	Faible	Faible	Petite
Lit fluidisé	Faible	Élevée	Élevée	Moyenne à grande

Avantages de la gazéification de la biomasse

a. Avantages environnementaux

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- Meilleure gestion des déchets.
- Pollution atmosphérique plus faible que le brûlage à l'air libre.

b. Avantages économiques

- Utilisation de ressources locales.
- Réduction des coûts de combustible.
- Création d'emplois.

c. Avantages énergétiques

- Production d'énergie renouvelable.
- Amélioration de l'efficacité énergétique.
- Production décentralisée et fiable d'électricité.

1.10. Résumé du chapitre

La gazéification de la biomasse est un procédé thermochimique qui convertit la biomasse en un gaz combustible appelé gaz de synthèse par oxydation partielle à haute température. Le processus comprend les étapes de séchage, pyrolyse, oxydation et réduction, qui transforment la biomasse solide en un combustible gazeux utile. Les principaux objectifs sont la production d'énergie, la valorisation des déchets, la protection de l'environnement et la production de combustibles renouvelables.

Les principaux types de gazéificateurs sont les modèles à tirage ascendant, descendant et transversal ainsi que les gazéificateurs à lit fluidisé, chacun présentant des caractéristiques, des avantages et des applications propres. La gazéification joue un rôle important dans les systèmes énergétiques durables en transformant des ressources renouvelables de biomasse en produits énergétiques de valeur.

Questions de révision de fin de chapitre

1. Qu'est-ce que la gazéification de la biomasse ?
2. Expliquez les quatre principales étapes du processus de gazéification.
3. Qu'est-ce que le gaz de synthèse et quels sont ses principaux composants ?
4. Quels sont les principaux objectifs de la gazéification de la biomasse ?
5. Comparez les gazéificateurs à tirage ascendant et à tirage descendant.
6. Quels sont les avantages des gazéificateurs à lit fluidisé ?
7. Citez cinq matières premières couramment utilisées pour la gazéification.
8. Décrivez trois avantages de la gazéification de la biomasse comme technologie d'énergie renouvelable.

Étapes du processus de gazéification

Objectifs d'apprentissage

À la fin de ce chapitre, les apprenants seront capables de :

- Décrire les quatre principales étapes de la gazéification de la biomasse.
- Expliquer les transformations physiques et chimiques qui se produisent à chaque étape.
- Identifier les produits formés pendant le séchage, la pyrolyse, l'oxydation et la réduction.
- Comprendre l'importance de chaque étape dans la production du gaz de synthèse.
- Relier les étapes de gazéification aux performances et au rendement global du gazéifieur.

2.1. Introduction

La gazéification de la biomasse est un procédé thermochimique complexe qui convertit la biomasse solide en un gaz combustible appelé gaz de synthèse. Cette conversion ne se produit pas en une seule étape ; elle se déroule au moyen d'une succession d'étapes interdépendantes à l'intérieur du gazéifieur.

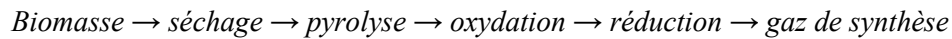
Chaque étape joue un rôle déterminant dans la transformation de la biomasse brute en gaz combustible utile. Le rendement de la gazéification dépend du bon déroulement de toutes les étapes dans des conditions de fonctionnement appropriées. Les quatre principales étapes sont :

1. séchage ;
2. pyrolyse ;
3. oxydation ;
4. réduction.

Bien qu'elles soient décrites séparément, ces étapes se produisent souvent simultanément dans différentes zones du gazéifieur.

2.2. Vue d'ensemble des étapes de gazéification

Le processus commence lorsque la biomasse entre dans le gazéifieur et se poursuit par plusieurs transformations thermiques et chimiques.



Au cours de ces étapes :

- l'humidité est éliminée ;
- les composés organiques se décomposent ;
- de la chaleur est produite ;
- des réactions chimiques produisent des gaz combustibles.

Le produit final est le gaz de synthèse, qui peut être utilisé pour le chauffage, la production d'électricité et la fabrication de biocarburants.

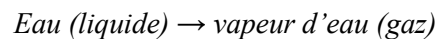
2.3. Étape de séchage

Le séchage est la première étape de la gazéification ; l'humidité contenue dans la biomasse est éliminée par la chaleur. La biomasse fraîche contient souvent des quantités importantes d'eau qui doivent être évaporées avant que la gazéification puisse se dérouler efficacement.

Plage de température : le séchage se déroule généralement entre 100 °C et 200 °C. À ces températures, l'eau s'évapore alors que la structure de la biomasse reste globalement inchangée.

Description du processus

Lorsque la biomasse entre dans le gazéifieur, la chaleur provenant des zones de réaction inférieures provoque l'évaporation de l'humidité.



Aucune décomposition chimique importante n'a lieu à cette étape.

Le séchage est important parce que :

- un excès d'humidité réduit le rendement de la gazéification ;
- l'eau absorbe de la chaleur nécessaire à d'autres réactions ;
- une biomasse humide produit un gaz de synthèse de moindre qualité ;
- une biomasse sèche se gazéifie plus efficacement.

Effets d'une forte teneur en humidité

Une humidité excessive peut entraîner :

- une baisse de la température du gazéifieur ;
- une réduction de la production de gaz de synthèse ;
- de mauvaises caractéristiques de combustion ;
- une augmentation des pertes énergétiques.

Teneur en humidité recommandée : pour la plupart des gazéifieurs, la teneur en humidité de la biomasse devrait généralement être inférieure à 20 %. Un séchage approprié améliore les performances du gazéifieur et la qualité du combustible.

2.4. Étape de pyrolyse

La pyrolyse est la décomposition thermique de la biomasse en l'absence d'oxygène. Les composés organiques complexes se décomposent en produits plus simples.

Plage de température : généralement 200–600 °C.

Les principaux constituants de la biomasse concernés sont :

- la cellulose ;
- l'hémicellulose ;
- la lignine.

Ils se décomposent en :

- charbon (char) ;
- goudrons ;
- gaz volatils.

a. Charbon (char)

Résidu solide riche en carbone.

- Contient la majeure partie du carbone fixe.
- Sert de combustible aux réactions ultérieures de gazéification.

b. Goudrons

Mélange de composés organiques condensables.

- Collants et de composition complexe.
- Peuvent provoquer des problèmes d'exploitation s'ils ne sont pas correctement gérés.

c. Gaz volatils

Ils comprennent notamment :

- hydrogène (H₂) ;

- monoxyde de carbone (CO) ;
- méthane (CH₄) ;
- dioxyde de carbone (CO₂).

Ces gaz contribuent à la formation du gaz de synthèse.

La pyrolyse est essentielle parce qu'elle :

- décompose la biomasse en produits réactifs ;
- produit les gaz et le char nécessaires aux réactions suivantes ;
- amorce la conversion du combustible.

2.5. Étape d'oxydation

L'oxydation est l'étape au cours de laquelle une partie de la biomasse et du char réagit avec l'oxygène. Elle est également appelée zone de combustion.

Plage de température : généralement 700–1 500 °C. Il s'agit souvent de la zone la plus chaude du gazéifieur.

L'objectif principal de l'oxydation est de fournir la chaleur nécessaire au procédé de gazéification. Cette chaleur entraîne les réactions de séchage, de pyrolyse et de réduction.

Réactions principales

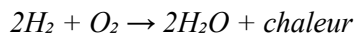
a. Combustion du carbone



b. Combustion partielle



c. Combustion de l'hydrogène



Les principaux produits de l'oxydation sont :

- dioxyde de carbone (CO₂) ;
- vapeur d'eau (H₂O) ;
- énergie thermique.

L'oxydation :

- fournit la chaleur au gazéifieur ;
- maintient des températures de fonctionnement élevées ;
- favorise l'efficacité des réactions de gazéification.

Sans oxydation suffisante, la gazéification ne peut pas se poursuivre efficacement.

2.6. Étape de réduction

La réduction est la dernière étape de la gazéification. Les produits de combustion réagissent avec le char chaud pour produire des gaz combustibles. Cette étape transforme des gaz non combustibles en composants de combustible utiles.

Plage de température : généralement 800–1 100 °C.

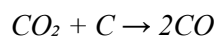
Le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau chauds produits lors de l'oxydation réagissent avec le char pour produire :

- du monoxyde de carbone ;
- de l'hydrogène ;
- du méthane.

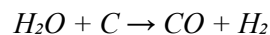
Ces gaz constituent les principaux composants du gaz de synthèse.

Réactions de réduction importantes

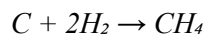
1. Réaction de Boudouard



2. Réaction eau-gaz



3. Réaction de méthanation



Produits de la réduction

- Monoxyde de carbone (CO).
- Hydrogène (H₂).
- Méthane (CH₄).

La réduction est l'étape principale de production du gaz, car elle :

- crée des gaz combustibles ;
- améliore le contenu énergétique du gaz de synthèse ;
- détermine en grande partie la qualité globale du gaz.

2.7. Formation du gaz de synthèse

Le gaz de synthèse est le produit gazeux final de la gazéification.

Tableau 2.1 — Composition typique du gaz de synthèse

Composant	Plage typique (%)
Monoxyde de carbone (CO)	15–30
Hydrogène (H ₂)	10–25
Méthane (CH ₄)	1–10
Dioxyde de carbone (CO ₂)	5–15
Azote (N ₂)	Variable

Facteurs influençant la qualité du gaz de synthèse

- Type de matière première.
- Teneur en humidité.
- Conception du gazéifieur.
- Température de fonctionnement.
- Agent gazéifiant utilisé : air, oxygène ou vapeur.

2.8. Relation entre les étapes de gazéification

Les quatre étapes fonctionnent ensemble comme un processus intégré.

Fonctions des étapes de gazéification

Étape	Fonction principale
Séchage	Élimine l'humidité
Pyrolyse	Produit du char, des goudrons et des gaz
Oxydation	Produit de la chaleur
Réduction	Produit des gaz combustibles

Un problème à l'une des étapes peut affecter l'ensemble du processus et réduire la qualité du gaz de synthèse.

2.9. Importance de la compréhension des étapes de gazéification

La connaissance de ces étapes aide les opérateurs à :

- améliorer le rendement du gazéifieur ;
- sélectionner des matières premières adaptées ;
- diagnostiquer les problèmes d'exploitation ;
- optimiser la production de gaz de synthèse ;
- améliorer la sécurité et la fiabilité du système.

2.10. Résumé du chapitre

La gazéification de la biomasse se déroule en quatre étapes interdépendantes : séchage, pyrolyse, oxydation et réduction. Le séchage élimine l'humidité de la biomasse. La pyrolyse décompose la biomasse en char, goudrons et gaz volatils. L'oxydation produit la chaleur nécessaire à la gazéification par des réactions de combustion contrôlées. Lors de la réduction, les produits de combustion réagissent avec le char chaud pour former des gaz combustibles tels que le monoxyde de carbone, l'hydrogène et le méthane.

Ensemble, ces étapes produisent le gaz de synthèse, un combustible polyvalent utilisable pour la chaleur, la production d'électricité et la production de biocarburants. La compréhension des étapes du processus est essentielle pour optimiser les performances du gazéifieur et maximiser le rendement de conversion énergétique.

Questions de révision

1. Quelles sont les quatre principales étapes de la gazéification de la biomasse ?
2. Pourquoi le séchage est-il important avant les réactions de gazéification ?
3. Quels produits se forment pendant la pyrolyse ?
4. Quel est l'objectif principal de l'étape d'oxydation ?
5. Quelle étape produit la majeure partie des gaz combustibles du gaz de synthèse ?
6. Citez trois gaz importants produits pendant l'étape de réduction.
7. Comment une forte teneur en humidité affecte-t-elle l'efficacité de la gazéification ?
8. Expliquez comment les quatre étapes de gazéification fonctionnent ensemble pour produire du gaz de synthèse.

Suivi des performances et analyse du rendement

3.1. Introduction

L'Afrique de l'Ouest dispose d'abondantes ressources de biomasse provenant de l'agriculture, de la foresterie, de l'élevage et des industries agroalimentaires. Les matières premières courantes comprennent les balles de riz, les rafles de maïs, les tiges de mil, les résidus de sorgho, les coques d'arachide, les tiges de coton, les cabosses de cacao, les résidus de palmier à huile, les coques de noix de cajou et le fumier animal.

La figure 3.1 illustre la chaîne d'approvisionnement : collecte de la biomasse dans les exploitations, transport vers les installations de transformation, stockage, conversion énergétique et distribution de l'électricité aux consommateurs ruraux. À mesure que les gouvernements et les partenaires de développement investissent davantage dans les systèmes d'énergie renouvelable, le suivi efficace des performances et l'analyse du rendement sont indispensables pour maintenir la viabilité technique et la durabilité économique des projets de biomasse.

Dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest, les installations de biomasse sont situées dans des zones rurales où l'assistance technique et les services de maintenance peuvent être limités. Les opérateurs doivent donc suivre attentivement les performances afin de maximiser la production d'énergie et de limiter les interruptions.

Chaîne d'approvisionnement des ressources de biomasse

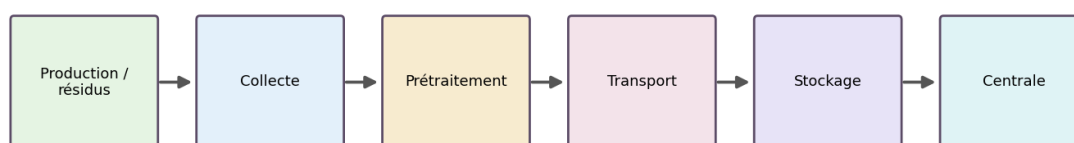


Figure 3.1 Chaîne d'approvisionnement des ressources de biomasse en Afrique de l'Ouest

3.2. Indicateurs de performance de l'installation

3.2.1. Efficacité d'utilisation des matières premières

Pour les installations de biomasse en Afrique de l'Ouest, l'efficacité d'utilisation de la matière première est particulièrement importante, car la disponibilité de la biomasse varie selon les saisons. Exemples :

- les gazéificateurs à balles de riz du nord du Nigeria et du Mali suivent les taux de consommation de balles ;
- les systèmes de gazéification de coques de noix de cajou en Côte d'Ivoire et en Guinée-Bissau évaluent le rendement de conversion du combustible ;
- les systèmes alimentés par des coques de palmiste au Ghana et au Nigeria évaluent la production d'énergie par kilogramme de biomasse.

3.2.2. Facteur de capacité

Dans les mini-réseaux ruraux ouest-africains, les activités agricoles saisonnières influencent souvent la demande d'électricité. Par exemple :

- pendant les saisons de récolte, les unités de mouture et de transformation alimentées par biomasse peuvent augmenter fortement la consommation d'électricité ;
- pendant les saisons sèches, les pompes d'irrigation peuvent créer des charges plus élevées.

L'analyse du facteur de capacité aide à déterminer si les systèmes installés répondent correctement à la demande communautaire.

3.3. Collecte de données et suivi

Outre les paramètres de suivi standard, les opérateurs doivent suivre :

- la disponibilité saisonnière de la biomasse ;
- la distance de transport des matières premières ;
- la teneur en humidité pendant la saison des pluies ;
- les conditions de stockage du combustible ;
- les temps d'arrêt des groupes électrogènes causés par la poussière et les températures élevées.

3.4. Optimisation de l'exploitation

En raison des régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest, le stockage des matières premières constitue une préoccupation majeure. Les pratiques recommandées comprennent :

- des structures de stockage couvertes ;
- des plateformes de stockage surélevées ;
- le suivi de l'humidité ;
- la densification des matières premières lorsque cela est possible.

Par exemple, les balles de riz collectées pendant la récolte au Sénégal et au Mali peuvent être stockées afin d'assurer l'exploitation des systèmes énergétiques à biomasse tout au long de l'année.

Maintenance préventive

Les systèmes de biomasse en Afrique de l'Ouest fonctionnent souvent dans des zones éloignées où les pièces de rechange sont difficiles à obtenir. Les opérateurs doivent donc :

- conserver un stock de pièces de rechange critiques ;
- former des techniciens locaux ;
- mettre en œuvre des programmes de maintenance préventive.

Cela réduit la dépendance à des prestataires éloignés et limite les temps d'arrêt.

3.5. Considérations relatives à l'intégration au réseau

De nombreux pays d'Afrique de l'Ouest poursuivent l'extension de l'accès à l'électricité au moyen d'une combinaison de :

- l'extension du réseau national ;
- mini-réseaux ;
- systèmes renouvelables autonomes.

Les centrales à biomasse peuvent fonctionner :

- hors réseau ;
- raccordées au réseau ;
- en configuration hybride avec des systèmes solaires photovoltaïques.

Exemples :

- projets d'électrification rurale au Sénégal ;
- systèmes électriques agro-industriels à biomasse au Ghana ;
- centrales à balles de riz au Nigeria.

BM-B4-4

Systèmes énergétiques décentralisés et ruraux à biomasse

4.1. Introduction

L'accès à l'énergie moderne demeure l'un des principaux défis de développement dans de nombreuses régions d'Afrique de l'Ouest. Si les taux d'électrification urbaine ont nettement progressé, beaucoup de communautés rurales continuent de disposer d'un approvisionnement en électricité limité ou peu fiable. Parallèlement, l'Afrique de l'Ouest produit d'importantes quantités de résidus agricoles et de déchets organiques pouvant être convertis en énergie utile. Les systèmes énergétiques décentralisés à biomasse offrent une possibilité d'améliorer les moyens de subsistance ruraux tout en réduisant la dépendance aux combustibles fossiles importés et aux combustibles traditionnels issus de la biomasse.

Tableau 4.1 — Matières premières courantes en Afrique de l'Ouest

Matière première	Principaux pays producteurs
Balles de riz	Nigeria, Sénégal, Mali
Rafles de maïs	Ghana, Nigeria, Bénin
Coques d'arachide	Sénégal, Gambie, Niger
Tiges de coton	Mali, Burkina Faso
Cabosses de cacao	Ghana, Côte d'Ivoire
Coques de palmiste	Nigeria, Ghana
Coques de noix de cajou	Côte d'Ivoire, Guinée-Bissau
Fumier animal	Dans toute la région

Ces ressources peuvent fournir un approvisionnement fiable en combustible pour des systèmes énergétiques décentralisés.

4.2. Applications de mini-réseaux

Plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest ont mis en œuvre des projets de mini-réseaux ruraux alimentés par des technologies d'énergie renouvelable. Les mini-réseaux à biomasse peuvent être particulièrement adaptés :

- aux communautés rizicoles ;
- aux centres de transformation agroalimentaire ;
- aux zones d'élevage ;
- aux coopératives rurales.

Exemples :

- systèmes énergétiques alimentés par des balles de riz au service de communautés agricoles ;
- mini-réseaux hybrides biomasse-solaire soutenant les entreprises rurales ;
- installations de cogénération à biomasse dans l'agro-industrie.

Mini-réseau communautaire à biomasse

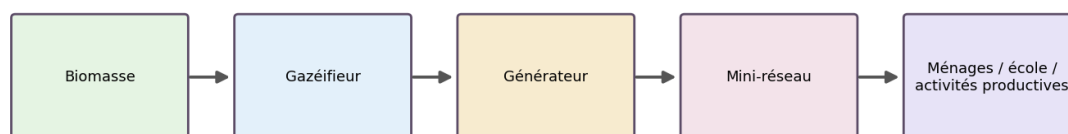


Figure 4.1 Mini-réseau communautaire à biomasse pour un village rural d'Afrique de l'Ouest

4.3. Systèmes de biomasse à l'échelle communautaire

En Afrique de l'Ouest, la participation communautaire détermine souvent la réussite d'un projet. Les structures de propriété courantes comprennent :

- les coopératives d'agriculteurs ;
- les comités énergétiques villageois ;
- les groupements de femmes ;
- les associations agricoles ;
- les organisations de développement communautaire.

Ces structures améliorent la responsabilisation et la durabilité à long terme.

Exemple : communautés de rizeries

Dans les régions rizicoles du Sénégal, du Mali et du Nigeria :

- les balles de riz peuvent alimenter des gazéificateurs ;
- l'électricité peut alimenter les rizeries ;
- l'électricité excédentaire peut desservir les ménages et entreprises voisins.

Cela crée une économie rurale circulaire dans laquelle les déchets agricoles deviennent une ressource énergétique utile.

4.4. Utilisation productive de l'énergie

4.4.1. Applications agricoles en Afrique de l'Ouest

L'accès à l'énergie peut améliorer sensiblement la productivité agricole.

a. Irrigation : l'électricité produite à partir de biomasse peut alimenter des pompes d'irrigation dans :

- le nord du Ghana ;
- le nord du Nigeria ;
- la vallée du fleuve Sénégal ;
- le bassin du fleuve Niger.

b. Transformation agroalimentaire : l'énergie de la biomasse peut soutenir :

- la mouture du riz ;
- la transformation du manioc ;
- l'extraction d'huile d'arachide ;
- la production d'huile de palme ;
- la transformation du beurre de karité.

Ces activités augmentent la valeur ajoutée et les revenus ruraux.

4.4.2. Autonomisation économique des femmes

Un approvisionnement fiable en énergie peut soutenir les entreprises gérées par des femmes, notamment :

- la conservation des aliments ;
- la mouture des céréales ;
- le stockage frigorifique ;
- la fabrication à petite échelle.

Cela contribue à un développement rural inclusif en matière de genre.

4.5. Difficultés en Afrique de l'Ouest

Les difficultés régionales comprennent :

- Disponibilité saisonnière de la biomasse : l'approvisionnement peut varier entre les saisons de récolte.
- Faiblesse des infrastructures rurales : le mauvais état des routes augmente les coûts de transport.
- Contraintes de financement : de nombreuses communautés rencontrent des difficultés pour obtenir les capitaux nécessaires aux projets.
- Déficiences de capacité technique : la disponibilité limitée d'opérateurs et de techniciens formés peut compromettre la durabilité des projets.
- Questions politiques et réglementaires : certains pays développent encore les cadres réglementaires applicables aux mini-réseaux et aux producteurs indépendants d'électricité.

4.6. Stratégies pour une mise en œuvre durable

Dans le contexte ouest-africain, les projets réussis devraient inclure :

1. Évaluation des ressources de biomasse : déterminer la disponibilité à long terme des matières premières avant le développement du projet.
2. Participation communautaire : associer les responsables locaux, les groupes d'agriculteurs et les utilisateurs finaux pendant tout le cycle de vie du projet.
3. Systèmes énergétiques hybrides : associer la biomasse au solaire photovoltaïque et au stockage sur batteries afin d'améliorer la fiabilité.
4. Renforcement des capacités locales : former des opérateurs, des techniciens et des entrepreneurs locaux.
5. Politiques favorables : encourager l'électrification rurale au moyen d'incitations et de programmes d'énergie renouvelable.

Étude de cas : gazéification des balles de riz pour l'électrification rurale

Une communauté rizicole produit de grandes quantités de balles de riz comme sous-produit de la mouture. Au lieu de les éliminer, les balles sont utilisées comme combustible dans un gazéifieur de biomasse pour produire de l'électricité. L'électricité produite alimente la rizerie, les ménages voisins, un centre de santé et de petites entreprises. Le projet réduit les coûts énergétiques, améliore la gestion des déchets, crée des emplois et renforce le développement économique local.

Ce type d'exemple correspond étroitement aux conditions rencontrées dans les régions rizicoles du Nigeria, du Sénégal, du Mali, de la Guinée et de la Sierra Leone, ce qui rend la formation plus pertinente et pratique pour les participants d'Afrique de l'Ouest.

Évaluation des ressources et dimensionnement du système

5.1. Introduction

L'une des étapes les plus importantes du développement d'un projet énergétique à biomasse consiste à vérifier que des ressources suffisantes de biomasse sont disponibles et que le système énergétique est correctement dimensionné pour répondre à la demande locale.

En Afrique de l'Ouest, plusieurs projets de biomasse ont échoué en raison d'évaluations insuffisantes des ressources, d'une mauvaise compréhension de leur disponibilité saisonnière ou d'un dimensionnement inadapté. Une évaluation précise des ressources et une estimation correcte de la demande contribuent à assurer la fiabilité technique, la viabilité financière et la durabilité environnementale des systèmes.

Ce chapitre examine les méthodes de cartographie des ressources de biomasse, d'évaluation de la demande, de sélection des technologies et de dimensionnement des systèmes dans le contexte des systèmes énergétiques ruraux et décentralisés d'Afrique de l'Ouest.

5.2. Évaluation des ressources de biomasse

L'évaluation des ressources de biomasse consiste à identifier, quantifier et évaluer les ressources disponibles pour la production d'énergie. L'objectif est de déterminer :

- la quantité de biomasse disponible ;
- la disponibilité saisonnière ;
- l'accessibilité des ressources ;
- les usages concurrents de la biomasse ;
- la durabilité à long terme.

Les économies d'Afrique de l'Ouest dépendent fortement de l'agriculture, qui produit de grandes quantités de résidus adaptés à la production d'énergie.

Tableau 5.1 — Principales ressources de biomasse en Afrique de l'Ouest

Ressource de biomasse	Principaux pays producteurs
Balles de riz	Nigeria, Sénégal, Mali
Résidus de maïs	Ghana, Nigeria, Bénin
Coques d'arachide	Sénégal, Gambie, Niger
Tiges de coton	Mali, Burkina Faso
Cabosses de cacao	Ghana, Côte d'Ivoire
Coques de palmiste	Nigeria, Ghana
Coques de noix de cajou	Côte d'Ivoire, Guinée-Bissau
Fumier d'élevage	Dans toute la région

5.3. Cartographie des ressources de biomasse

La cartographie des ressources consiste à identifier la répartition géographique des ressources de biomasse et à estimer leur disponibilité dans une zone donnée. Elle soutient :

- le choix du site ;
- la planification de l'approvisionnement en matières premières ;
- l'estimation des coûts de transport ;
- les décisions de dimensionnement.

5.3.1. Étapes de la cartographie

Étape 1 — Identifier les sources de ressources :

- exploitations agricoles ;
- unités de transformation agroalimentaire ;
- élevages ;
- activités forestières ;
- flux de déchets municipaux.

Étape 2 — Estimer les quantités disponibles :

- statistiques de production agricole ;
- enquêtes de terrain ;
- entretiens avec les agriculteurs ;
- bases de données publiques.

Étape 3 — Évaluer le rayon de collecte : il faut déterminer la distance de transport économiquement acceptable. En Afrique de l'Ouest rurale, les coûts de transport peuvent fortement affecter la viabilité d'un projet en raison :

- du mauvais état des infrastructures routières ;
- des limitations saisonnières d'accès routier ;
- du coût des carburants.

Étape 4 — Évaluer la durabilité : tous les résidus de biomasse ne doivent pas être retirés des exploitations. Une partie est nécessaire pour :

- améliorer la fertilité du sol ;
- nourrir les animaux ;
- lutter contre l'érosion.

Seule la biomasse excédentaire doit être considérée pour la production d'énergie.

5.4. Évaluation de la demande

L'évaluation de la demande estime la quantité d'énergie nécessaire aux utilisateurs desservis par le système proposé. La figure 5.1 illustre les demandes énergétiques des ménages, des activités commerciales, des institutions et des usages productifs au sein d'une communauté rurale.

Évaluation de la demande énergétique communautaire

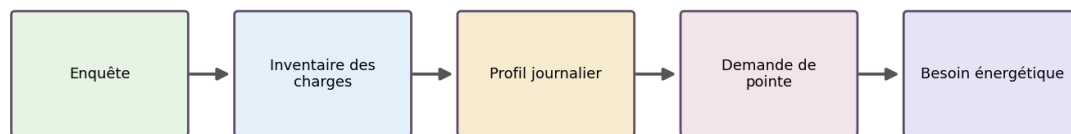


Figure 5.1 Évaluation de la demande énergétique communautaire

Types de demande énergétique

1. Demande des ménages :

- éclairage ;

- recharge de téléphones ;
- ventilateurs ;
- télévision ;
- réfrigération.

2. Demande institutionnelle :

- écoles ;
- centres de santé ;
- bâtiments communautaires ;
- systèmes d'approvisionnement en eau.

3. Demande commerciale :

- magasins ;
- restaurants ;
- ateliers ;
- installations de télécommunications.

4. Demande productive : particulièrement importante en Afrique de l'Ouest. Exemples :

- pompage d'irrigation ;
- mouture du riz ;
- transformation du manioc ;
- extraction d'huile de palme ;
- installations frigorifiques ;
- mouture des céréales.

5. Variations saisonnières de la demande : la demande énergétique varie souvent selon :

- les saisons agricoles ;
- les besoins d'irrigation ;
- les périodes de récolte ;
- les conditions climatiques.

L'évaluation doit tenir compte de ces fluctuations.

5.5. Sélection de la technologie

Le choix d'une technologie appropriée est essentiel à la réussite du projet. Il doit tenir compte :

- de la disponibilité des ressources ;
- de la demande énergétique ;
- des capacités techniques ;
- des ressources financières.

Options technologiques

a. Gazéification de la biomasse — adaptée à :

- des résidus agricoles secs ;
- des mini-réseaux ruraux ;
- la production d'électricité.

Matières premières courantes :

- balles de riz ;
- rafles de maïs ;
- coques d'arachide.

b. Systèmes de biogaz — adaptés à :

- fumier animal ;
- déchets organiques ;
- installations institutionnelles.

Applications courantes :

- cuisson ;
- chauffage ;
- production d'électricité à petite échelle.

c. Systèmes de combustion directe — adaptés à :

- chauffage industriel ;
- industries agroalimentaires ;
- production de vapeur.

Matières premières courantes :

- résidus de bois ;
- résidus de palme ;
- bagasse.

Tableau 5.2 — Critères de sélection technologique

Critère	Élément à considérer
Disponibilité de la matière première	Quantité et fiabilité
Demande énergétique	Électricité, chaleur ou les deux
Complexité technique	Disponibilité des compétences locales
Coût d'investissement	Financement disponible
Besoins de maintenance	Capacité locale
Impact environnemental	Émissions et durabilité

5.6. Dimensionnement du système

Le dimensionnement détermine la capacité de l'installation énergétique à biomasse nécessaire pour répondre à la demande. La figure 5.2 relie la disponibilité des ressources, l'évaluation de la demande, le choix technologique et le dimensionnement final.



Figure 5.2 Processus de dimensionnement d'un système à biomasse

Un dimensionnement approprié assure :

- un fonctionnement fiable ;
- une utilisation efficace des ressources ;
- une durabilité économique.

5.6.1. Facteurs affectant la taille du système

a. Disponibilité de la biomasse : la matière première disponible limite la capacité du système. Celui-ci ne doit pas consommer davantage de biomasse que la quantité pouvant être fournie de manière durable.

b. Demande énergétique : la capacité doit correspondre :

- à la demande actuelle ;
- à la croissance future ;
- aux pointes de charge.

c. Heures de fonctionnement : le nombre d'heures de fonctionnement par jour influence la capacité requise.

Exemple : un village consomme 200 kWh/jour. Si le système fonctionne 10 heures/jour :

$$\text{Capacité requise} = 200 \text{ kWh} \div 10 \text{ h} = 20 \text{ kW}$$

Une capacité supplémentaire peut être prévue pour absorber la croissance future de la demande.

5.7. Étude de cas ouest-africaine

Mini-réseau à biomasse pour une communauté rizicole

Une communauté du nord du Nigeria produit de grandes quantités de balles de riz lors des opérations de mouture.

Évaluation des ressources :

- 1 500 tonnes de balles de riz par an.

Évaluation de la demande :

- 150 ménages ;
- une école ;
- un centre de santé ;
- trois rizeries.

Technologie sélectionnée :

- gazéifieur à balles de riz.

Taille du système :

- mini-réseau de 100 kW.

Le projet fournit une électricité fiable tout en valorisant des déchets agricoles auparavant éliminés.

5.8. Résumé du chapitre

L'évaluation des ressources et le dimensionnement sont des étapes fondamentales du développement d'un projet énergétique à biomasse. La cartographie des ressources aide à déterminer la disponibilité et la durabilité de l'approvisionnement, tandis que l'évaluation de la demande estime les besoins énergétiques actuels et futurs. Le choix de la technologie dépend des caractéristiques des ressources, des besoins énergétiques, des capacités techniques et des considérations financières. Un dimensionnement approprié assure un fonctionnement fiable, une utilisation efficace des ressources et une durabilité à long terme. En Afrique de l'Ouest, les projets réussis doivent tenir compte de la disponibilité saisonnière des matières premières, des cycles de production agricole et des usages productifs de l'énergie.

Questions de révision

1. Qu'est-ce que l'évaluation des ressources de biomasse ?
2. Pourquoi la cartographie des ressources est-elle importante ?
3. Quels facteurs influencent la disponibilité de la biomasse en Afrique de l'Ouest ?
4. Quels types de demande énergétique doivent être pris en compte pendant la planification d'un projet ?
5. Quels critères doivent guider le choix de la technologie ?
6. Comment détermine-t-on la capacité du système ?
7. Pourquoi faut-il tenir compte des variations saisonnières lors du dimensionnement ?
8. Décrivez la relation entre la disponibilité de la biomasse et la taille du système.

Évaluation technico-économique et socioéconomique

6.1. Introduction

Les projets énergétiques à biomasse doivent être techniquement solides, financièrement viables et socialement acceptables. Un projet techniquement performant peut néanmoins échouer si ses coûts sont trop élevés ou si le soutien de la communauté est insuffisant. Les évaluations technico-économiques et socioéconomiques aident les décideurs à déterminer si un projet est faisable et durable sur le long terme. En Afrique de l'Ouest, elles sont particulièrement importantes parce que de nombreux projets desservent des communautés rurales disposant de ressources financières limitées et de structures sociales spécifiques.

6.2. Évaluation technico-économique

L'évaluation technico-économique associe l'évaluation des performances techniques à l'analyse économique afin de déterminer la viabilité d'un projet. Elle considère :

- la disponibilité des ressources ;
- les performances de la technologie ;
- les coûts d'investissement ;
- les coûts d'exploitation ;
- le potentiel de recettes.

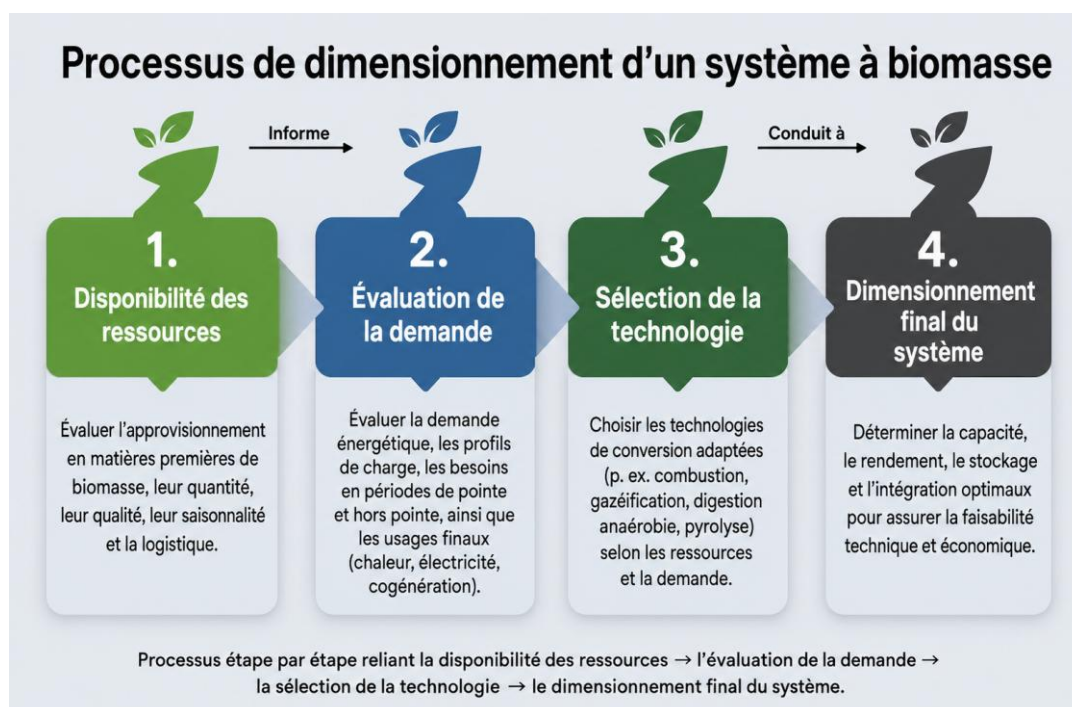


Figure 6.1 Cadre d'évaluation technico-économique

Objectifs

L'évaluation technico-économique permet :

- de comparer les options technologiques ;
- d'estimer la rentabilité du projet ;
- d'évaluer les risques d'investissement ;
- de soutenir les décisions de financement.

6.3. Analyse coûts-avantages

L'analyse coûts-avantages compare les coûts du projet aux bénéfices attendus sur sa durée de vie. La figure 6.2 compare les coûts et les bénéfices sur la durée de vie du système.

6.3.1. Coûts du projet

a. Coûts d'investissement : achat des équipements, travaux de génie civil, installation, raccordement au réseau et formation.

b. Coûts d'exploitation :

- collecte des matières premières ;
- main-d'œuvre ;
- maintenance ;
- pièces de rechange ;
- transport.

6.3.2. Bénéfices du projet

a. Bénéfices directs :

- vente d'électricité ;
- vente de chaleur ;
- économies de combustible.

b. Bénéfices indirects :

- réduction de la consommation de gazole ;
- réduction de l'utilisation du bois de feu ;
- amélioration de la productivité agricole ;
- création d'emplois.

Exemple : projet de gazéification des balles de riz

Coûts :

- équipements et installation ;
- transport des matières premières ;
- salaires des opérateurs.

Bénéfices :

- recettes de vente d'électricité ;
- réduction des achats de gazole ;
- revenus supplémentaires issus de la transformation agroalimentaire.

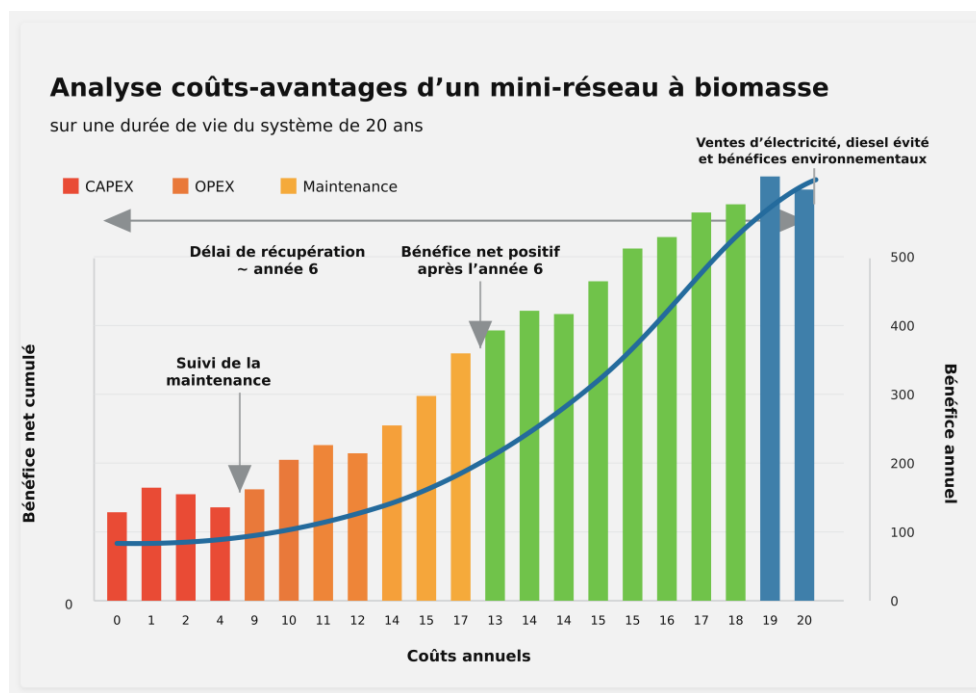


Figure 6.2 Analyse coûts-avantages d'un mini-réseau à biomasse

6.4. Faisabilité financière

La faisabilité financière évalue si les recettes du projet sont suffisantes pour couvrir l'investissement et les coûts d'exploitation.

Principaux indicateurs financiers

- Valeur actualisée nette (VAN ; NPV dans la source) : mesure la rentabilité en comparant les coûts et bénéfices actualisés. Une VAN positive indique un projet financièrement attractif.
- Taux de rentabilité interne (TRI ; IRR dans la source) : représente le taux de rendement attendu du projet. Des valeurs de TRI plus élevées indiquent généralement un potentiel d'investissement plus intéressant.
- Délai de récupération : durée nécessaire pour récupérer l'investissement initial. Des délais plus courts sont généralement préférables.
- Coût actualisé de l'énergie (LCOE) : mesure le coût moyen de production de l'électricité sur la durée de vie du projet. Il est utile pour comparer les systèmes de biomasse avec :

- les groupes électrogènes diesel ;
- les systèmes solaires photovoltaïques ;
- l'électricité du réseau.

6.5. Évaluation socioéconomique

De nombreux bénéfices des projets de biomasse dépassent les seuls retours financiers directs. L'évaluation socioéconomique examine les impacts sur :

- les communautés ;
- les moyens de subsistance ;
- l'emploi ;
- le développement social.

6.5.1. Avantages économiques des projets de biomasse

1. Création d'emplois : des emplois sont créés dans :

- la collecte de biomasse ;
- le transport ;
- l'exploitation de l'installation ;
- les services de maintenance.

2. Développement des entreprises locales : un approvisionnement fiable en énergie soutient :

- les activités de mouture ;
- la transformation alimentaire ;
- les services de réfrigération ;
- la petite industrie.

6.5.2. Avantages sociaux

1. Amélioration de l'éducation

L'électricité permet :

- l'éclairage des écoles ;
- l'accès aux ordinateurs ;
- l'apprentissage numérique.

2. Amélioration des soins de santé

L'énergie permet :

- la réfrigération des vaccins ;
- le fonctionnement des équipements médicaux ;
- l'amélioration des services des centres de santé.

3. Bénéfices pour les femmes

Les femmes bénéficient souvent :

- d'une réduction de la collecte du bois de feu ;
- de nouvelles possibilités d'activité économique ;
- de meilleures conditions de travail.

6.6. Modèles de participation communautaire

La participation communautaire constitue un facteur majeur de réussite des projets ruraux de biomasse en Afrique de l'Ouest. Les projets disposant d'une forte appropriation locale atteignent généralement une meilleure durabilité à long terme.

6.6.1. Comités énergétiques villageois

Des représentants de la communauté gèrent l'exploitation du système, la collecte des recettes et la planification de la maintenance. Ce modèle est courant dans de nombreux projets d'électrification rurale.

6.6.2. Modèles de propriété coopérative

Des groupes d'agriculteurs ou des coopératives communautaires possèdent et exploitent conjointement l'installation.

Avantages :

- responsabilité partagée ;
- responsabilisation locale ;
- meilleure acceptation.

6.6.3. Partenariats public-privé (PPP)

Les partenariats entre :

- les pouvoirs publics ;
- les investisseurs privés ;
- les communautés

peuvent mobiliser des compétences techniques et des financements.

6.6.4. Entreprises communautaires

Des entreprises locales exploitent les systèmes de biomasse tout en fournissant des services énergétiques à la communauté. Cette approche favorise l'entrepreneuriat et le développement économique local.

6.7. Difficultés en Afrique de l'Ouest

Les difficultés courantes comprennent :

- un accès limité au financement ;

- des coûts initiaux d'investissement élevés ;
- des capacités techniques insuffisantes ;
- un approvisionnement irrégulier en matières premières ;
- des obstacles institutionnels et réglementaires.

Ces facteurs doivent être pris en compte pendant l'évaluation du projet.

6.8. Bonnes pratiques pour des projets durables

Les projets de biomasse réussis comprennent souvent :

- une forte mobilisation de la communauté ;
- une gouvernance transparente ;
- des accords fiables d'approvisionnement en matières premières ;
- des programmes de formation des opérateurs ;
- une planification de la durabilité financière ;
- un suivi et une évaluation continus.

6.9. Étude de cas ouest-africaine

Mini-réseau communautaire à balles de riz

Une coopérative d'agriculteurs d'une région rizicole développe un mini-réseau fondé sur la gazéification de la biomasse.

Caractéristiques principales :

- propriété communautaire ;
- matières premières fournies par les rizeries locales ;
- électricité vendue aux ménages et aux entreprises ;
- recettes utilisées pour la maintenance et les extensions futures.

Résultats :

- réduction de la consommation de gazole ;
- augmentation de l'emploi local ;
- amélioration de l'accès à l'électricité ;
- renforcement de la participation communautaire.

6.10. Résumé du chapitre

Les évaluations technico-économiques et socioéconomiques permettent de déterminer la faisabilité et la durabilité des projets énergétiques à biomasse. L'analyse coûts-avantages compare les coûts et les bénéfices, tandis que l'évaluation de la faisabilité financière utilise des indicateurs tels que la VAN, le TRI, le délai de récupération et le LCOE. Les évaluations socioéconomiques prennent en compte la création d'emplois, l'amélioration des moyens de subsistance, l'éducation, les soins de santé et les effets sur l'égalité entre les femmes et les hommes.

En Afrique de l'Ouest, les modèles de participation tels que les coopératives, les comités énergétiques villageois et les partenariats public-privé jouent un rôle déterminant dans la réussite des projets. Une évaluation efficace soutient une prise de décision éclairée et augmente la probabilité de durabilité à long terme.

Questions de révision

1. Qu'est-ce qu'une évaluation technico-économique ?
2. Quels coûts doivent être inclus dans une analyse coûts-avantages ?
3. Expliquez le rôle de la VAN et du TRI.
4. Qu'est-ce que le coût actualisé de l'énergie (LCOE) ?
5. Pourquoi les évaluations socioéconomiques sont-elles importantes ?
6. Comment l'énergie de la biomasse peut-elle contribuer au développement rural ?
7. Quels modèles de participation communautaire sont couramment utilisés en Afrique de l'Ouest ?
8. Quels facteurs influencent la durabilité à long terme des projets énergétiques à biomasse ?

BM-B5

Installation, exploitation, maintenance et sécurité des systèmes de biomasse

Objectifs d'apprentissage

À l'issue de ce cours, les apprenants seront capables de :

- Installer des systèmes énergétiques à biomasse conformément aux spécifications techniques.
- Exploiter et surveiller les systèmes de biomasse de manière sûre et efficace.
- Effectuer la maintenance courante et préventive.
- Diagnostiquer les défauts du système et effectuer le dépannage.
- Appliquer les normes relatives à la santé et à la sécurité au travail ainsi qu'à l'environnement.

BM-B5-1

Procédures d'installation et mise en service

1.1. Introduction

Le bon fonctionnement d'un système énergétique à biomasse commence par une installation et une mise en service correctes. Même un système bien conçu peut ne pas fonctionner efficacement si les procédures d'installation ne sont pas correctement suivies. L'installation comprend la préparation du site, l'assemblage et le positionnement des équipements, le raccordement des composants du système et la vérification de la conformité aux spécifications techniques. La mise en service consiste à vérifier que tous les composants fonctionnent correctement et que le système atteint les performances prévues avant son exploitation à pleine échelle.

En Afrique de l'Ouest, les activités d'installation se déroulent souvent dans des zones rurales et périurbaines où il faut tenir compte des limitations des infrastructures, des conditions climatiques et des difficultés logistiques. Les installateurs doivent donc adapter les procédures techniques aux conditions locales tout en maintenant les exigences de qualité et de sécurité.

1.2. Vue d'ensemble de l'installation d'un système énergétique à biomasse

Le processus d'installation comprend généralement :

1. la préparation du site ;
2. la livraison et l'inspection des équipements ;
3. l'installation des équipements ;
4. les raccordements mécaniques et électriques ;
5. les essais du système ;
6. la mise en service ;
7. la remise de l'installation et la formation des opérateurs.

Chaque étape contribue à la fiabilité et à la sécurité à long terme du système énergétique à biomasse. La figure 1.1 présente l'enchaînement depuis l'évaluation et la préparation du site jusqu'à la livraison des équipements, l'installation, les essais, la mise en service et la remise finale.

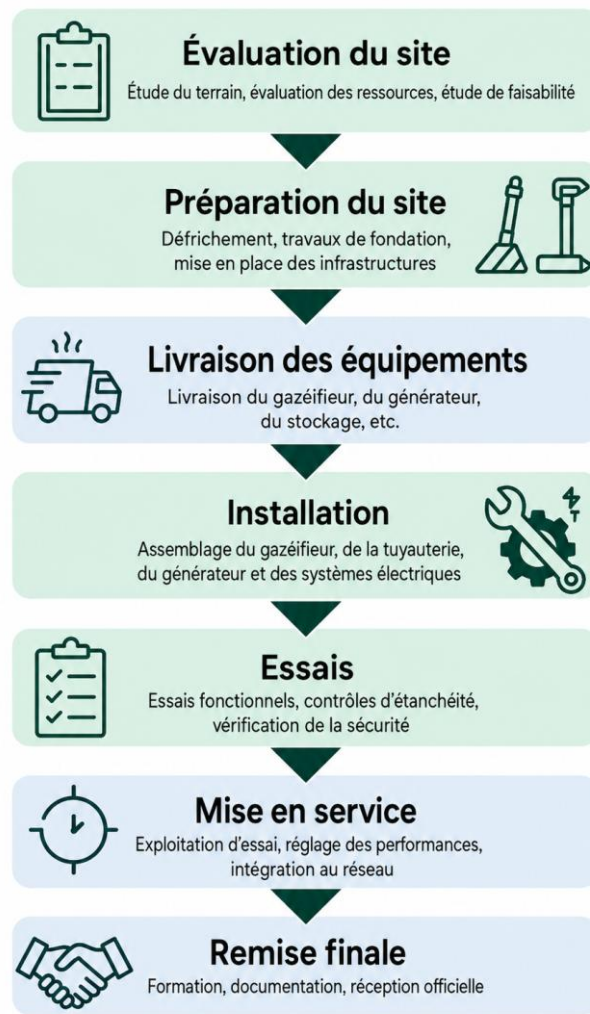


Figure 1.1 Processus d'installation d'un système énergétique à biomasse

1.3. Préparation du site

La préparation du site regroupe toutes les activités nécessaires pour rendre un emplacement adapté à l'installation et à l'exploitation d'un système énergétique à biomasse. Une préparation correcte du site réduit les futurs problèmes d'exploitation et favorise un fonctionnement sûr du système.

1.4. Considérations relatives au choix du site

1.4.1. Disponibilité de la biomasse

Le site doit être situé à proximité de ressources fiables en biomasse afin de réduire les coûts de transport. En Afrique de l'Ouest, on peut notamment citer :

- les centres de décorticage et de transformation du riz au Nigeria, au Sénégal, en Sierra Leone et au Mali ;
- les zones de transformation du cacao au Ghana et en Côte d'Ivoire ;
- les régions productrices d'huile de palme au Ghana et au Nigeria ;
- les zones cotonnières du Burkina Faso et du Mali ;
- les zones d'élevage dans l'ensemble de la région du Sahel.

1.4.2. Accessibilité

Le site doit rester accessible toute l'année. Les facteurs à prendre en compte comprennent :

- l'état des routes ;

- les inondations saisonnières ;
- le transport des matières premières ;
- la livraison des équipements et des pièces de rechange.

Dans de nombreuses régions d'Afrique de l'Ouest, les routes peuvent devenir difficiles d'accès pendant la saison des pluies, ce qui rend le choix du site particulièrement important.

1.4.3. Proximité des utilisateurs d'énergie

L'implantation du système à proximité des consommateurs réduit :

- les pertes de transport d'électricité ;
- les coûts de distribution ;
- les besoins en infrastructures.

Les consommateurs potentiels comprennent :

- les villages ;
- les installations agroalimentaires ;
- les écoles ;
- les centres de santé ;
- les petites industries.

1.4.4. Considérations environnementales

Le site doit :

- éviter les zones écologiquement sensibles ;
- réduire au minimum les effets sur les écosystèmes locaux ;
- disposer d'un drainage adéquat ;
- prévenir la contamination des sources d'eau.

1.5. Travaux de génie civil et préparation des infrastructures

1.5.1. Défrichage et préparation du terrain

Avant l'installation :

- retirer la végétation ;
- enlever les débris ;
- niveler le terrain ;
- repérer l'emplacement des équipements.

1.5.2. Construction des fondations

Les équipements de biomasse nécessitent des fondations stables capables de supporter :

- les gazéificateurs ;
- les groupes électrogènes ;

- les digesteurs ;
- les structures de stockage des matières premières ;
- les équipements auxiliaires.

Les fondations doivent être conçues conformément aux spécifications du fabricant.

1.5.3. Systèmes de drainage

Un drainage approprié est particulièrement important en Afrique de l'Ouest en raison des fortes pluies saisonnières.

Les systèmes de drainage doivent :

- prévenir les inondations ;
- protéger les équipements ;
- réduire l'érosion des sols.

1.5.4. Installations de stockage des matières premières

Les structures de stockage doivent :

- protéger la biomasse de la pluie ;
- limiter l'absorption d'humidité ;
- réduire la dégradation des matières premières.

Les structures courantes comprennent :

- des hangars couverts ;
- des plates-formes de stockage surélevées ;
- des entrepôts ventilés.

1.6. Installation des équipements

a. Inspection des équipements

Avant l'installation :

- vérifier les équipements par rapport aux documents de livraison ;
- rechercher les dommages dus au transport ;
- confirmer la présence de tous les composants.

Tout équipement endommagé doit être réparé ou remplacé avant de poursuivre l'installation.

b. Positionnement des équipements

Les principaux équipements doivent être installés conformément aux plans d'implantation approuvés.

c. Systèmes de gazéification de la biomasse

Les principaux éléments peuvent comprendre :

- l'unité de manutention des matières premières ;
- le réacteur de gazéification ;

- le système d'épuration du gaz ;
- le groupe moteur-générateur ;
- le tableau de commande.

La figure 1.2 présente un plan de site comprenant le stockage des matières premières, le gazéifieur, le système d'épuration du gaz, le local du groupe électrogène, la salle de commande, le réseau de distribution et les utilisateurs d'énergie voisins tels que les ménages, les écoles et les installations agroalimentaires.

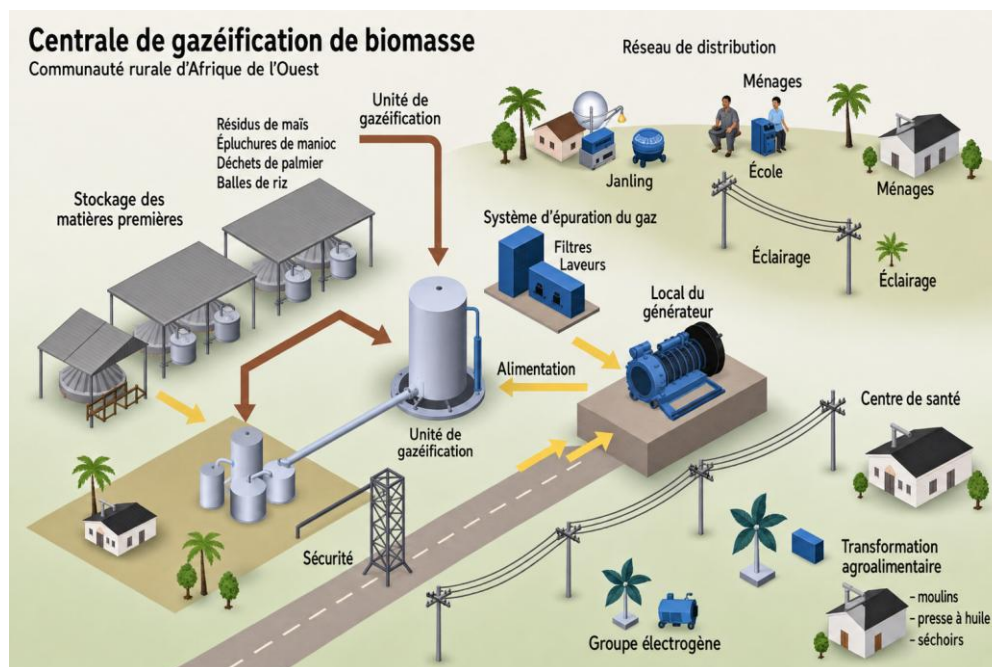


Figure 1.2 Implantation type d'une centrale de gazéification de biomasse pour une communauté rurale d'Afrique de l'Ouest

d. Systèmes de biogaz

Les principaux éléments comprennent :

- le digesteur ;
- l'unité de stockage du gaz ;
- le réseau de tuyauterie ;
- les équipements d'utilisation du gaz.

Installation mécanique

L'installation mécanique comprend :

- l'alignement des équipements ;
- l'assemblage des structures ;
- la fixation et l'ancrage ;
- l'installation des machines tournantes.

Un bon alignement évite :

- les vibrations excessives ;
- l'usure prématurée ;
- les défaillances mécaniques.

1.7. Installation électrique

Composants électriques

Les composants courants comprennent :

- les générateurs ;
- les moteurs ;
- les tableaux de commande ;
- les dispositifs de protection ;
- les lignes de distribution.

Câblage et raccordements

Les installateurs doivent :

- suivre les schémas électriques ;
- utiliser des sections de câble approuvées ;
- assurer une mise à la terre correcte ;
- protéger les câbles contre les dommages physiques.

Mise à la terre

Une mise à la terre efficace est essentielle pour :

- la sécurité du personnel ;
- la protection des équipements ;
- la protection contre la foudre.

Cet aspect est particulièrement important dans les régions où les orages sont fréquents, notamment les zones côtières et tropicales d'Afrique de l'Ouest.

1.8. Instrumentation et systèmes de commande

L'instrumentation permet de surveiller et de commander les performances du système. Les instruments courants comprennent :

- les capteurs de température ;
- les manomètres ;
- les débitmètres ;
- les voltmètres ;
- les ampèremètres ;
- les analyseurs de gaz.

Tous les instruments doivent être correctement installés et étalonnés avant la mise en service.

1.9. Inspection préalable à la mise en service

Avant la mise en service, une inspection complète doit être effectuée.

Systèmes mécaniques

Vérifier :

- l'alignement des équipements ;
- le serrage des boulons ;
- les niveaux de lubrification ;
- l'intégrité structurelle.

Systèmes électriques

Vérifier :

- la conformité du câblage ;
- la qualité de l'isolation ;
- l'efficacité de la mise à la terre.

Systèmes de sécurité

Vérifier :

- les dispositifs d'arrêt d'urgence ;
- les extincteurs ;
- les panneaux d'avertissement ;
- la disponibilité des équipements de protection individuelle (EPI ; PPE dans la source).

1.10. Essais du système

Les essais vérifient que les composants et sous-systèmes individuels fonctionnent correctement avant le démarrage complet du système.

a. Essais mécaniques

Ces contrôles portent notamment sur :

- le mouvement des équipements ;
- les niveaux de vibration ;
- les niveaux de bruit ;
- la recherche de fuites.

b. Essais électriques

Ces essais comprennent :

- les tests de continuité ;
- les mesures de résistance d'isolement ;
- les mesures de tension ;
- la vérification des systèmes de protection.

c. Essais d'étanchéité

Pour les systèmes de gazéification et de biogaz :

- les conduites de gaz doivent être testées ;
- les raccordements doivent être contrôlés afin de détecter les fuites ;

- des essais de pression doivent être réalisés.

1.11. Procédures de mise en service

La mise en service consiste à démontrer que le système installé fonctionne en toute sécurité et conformément aux spécifications de conception.

Mise en service à froid

Elle est réalisée sans introduire de matière première de biomasse. Les activités comprennent :

- l'inspection des équipements ;
- la vérification des instruments ;
- les essais fonctionnels ;
- les contrôles du système de commande.

Mise en service à chaud

Elle est réalisée avec une alimentation en biomasse. Les activités comprennent :

- le démarrage initial ;
- l'alimentation en combustible ;
- la stabilisation du procédé ;
- la surveillance des performances.

Vérification des performances

Les paramètres suivants doivent être évalués :

- le débit de consommation de biomasse ;
- la qualité du gaz de synthèse (syngas) ;
- la production d'énergie ;
- le rendement du système ;
- les niveaux d'émissions.

Les résultats doivent être comparés aux spécifications de conception.

1.12. Documentation et remise de l'installation

Après une mise en service réussie, la documentation doit comprendre :

- les rapports d'installation ;
- les résultats d'essais ;
- les dossiers de mise en service ;
- les manuels des équipements ;
- les programmes de maintenance ;
- les procédures de sécurité.

Formation des opérateurs

Les opérateurs doivent être formés à :

- l'exploitation du système ;
- les procédures de sécurité ;
- la maintenance courante ;
- les interventions d'urgence ;
- le dépannage.

Le renforcement des capacités est particulièrement important pour les projets ruraux d'Afrique de l'Ouest, où l'assistance technique peut être limitée.

1.13. Difficultés courantes d'installation en Afrique de l'Ouest

a. Contraintes liées aux infrastructures

Elles peuvent comprendre :

- le mauvais accès routier ;
- les services de transport limités ;
- l'alimentation électrique peu fiable.

b. Conditions climatiques

Les facteurs environnementaux comprennent :

- les températures élevées ;
- les pluies saisonnières ;
- l'exposition à la poussière et au sable ;
- l'humidité élevée dans les régions côtières.

c. Insuffisances des capacités techniques

Certains projets sont confrontés à une pénurie de :

- techniciens qualifiés ;
- outils spécialisés ;
- personnel de maintenance.

La formation de techniciens locaux peut améliorer considérablement la durabilité du projet.

d. Difficultés de la chaîne d'approvisionnement

Les problèmes courants comprennent :

- les retards de livraison des équipements ;
- les pénuries de pièces de rechange ;
- les difficultés d'importation.

La planification du projet doit prévoir des mesures de contingence pour faire face à ces risques.

1.14. Bonnes pratiques pour une installation réussie

Une installation réussie d'un système de biomasse doit mettre l'accent sur :

- une évaluation approfondie du site ;
- une manutention correcte des équipements ;
- le respect des spécifications techniques ;
- un contrôle qualité rigoureux ;
- des essais complets ;
- une formation adéquate des opérateurs ;
- une gestion efficace de la sécurité.

Ces pratiques améliorent la fiabilité et les performances à long terme.

1.15. Résumé du chapitre

L'installation et la mise en service sont des étapes essentielles du développement des systèmes énergétiques à biomasse. La préparation du site comprend le choix d'un emplacement adapté, la préparation des infrastructures et la garantie d'un accès adéquat aux ressources de biomasse et aux utilisateurs d'énergie. L'installation des équipements comprend les travaux mécaniques, électriques et d'instrumentation réalisés selon les spécifications techniques. Les essais du système vérifient le bon fonctionnement des composants individuels, tandis que la mise en service confirme que le système complet fonctionne de manière sûre et efficace dans les conditions d'exploitation.

En Afrique de l'Ouest, les projets d'installation réussis doivent prendre en compte les difficultés liées au climat, aux infrastructures, à la logistique et aux capacités techniques. Une planification correcte, un contrôle qualité rigoureux et la formation des opérateurs contribuent fortement à la réussite du projet à long terme.

Questions de révision

1. Pourquoi la préparation du site est-elle importante avant l'installation d'un système de biomasse ?
2. Quels facteurs faut-il prendre en compte lors du choix d'un site de projet énergétique à biomasse en Afrique de l'Ouest ?
3. Décrivez les principales activités liées à l'installation des équipements.
4. Pourquoi une mise à la terre correcte est-elle essentielle lors de l'installation électrique ?
5. Quel est l'objectif des inspections préalables à la mise en service ?
6. Distinguez la mise en service à froid de la mise en service à chaud.
7. Quels paramètres de fonctionnement doivent être vérifiés pendant la mise en service ?
8. Identifiez quatre difficultés courantes rencontrées lors de l'installation de projets énergétiques à biomasse en Afrique de l'Ouest.
9. Pourquoi la formation des opérateurs constitue-t-elle un élément important de la remise du projet ?
10. Comment un stockage correct des matières premières peut-il améliorer les performances du système à long terme ?

BM-B5-2

Exploitation et surveillance du système

Objectifs d'apprentissage

À la fin de ce chapitre, les apprenants seront capables de :

- Appliquer les procédures opératoires normalisées aux systèmes énergétiques à biomasse.
- Exploiter les systèmes de gazéification de biomasse et de production d'électricité à partir de biomasse de manière sûre et efficace.
- Utiliser les systèmes d'instrumentation et de surveillance pour évaluer les performances de l'installation.
- Enregistrer et interpréter les données d'exploitation.
- Identifier les anomalies de fonctionnement et prendre des mesures correctives.
- Appliquer des pratiques de surveillance adaptées aux systèmes énergétiques décentralisés à biomasse en Afrique de l'Ouest.

2.1. Introduction

Une exploitation et une surveillance correctes sont essentielles pour assurer des performances sûres, efficaces et fiables des systèmes énergétiques à biomasse. Même les systèmes bien conçus et correctement installés peuvent présenter de mauvaises performances s'ils ne sont pas exploités selon des procédures établies.

L'exploitation du système comprend la maîtrise de l'alimentation en matières premières de biomasse, le maintien de conditions de procédé appropriées, la gestion des équipements de production d'électricité et la garantie d'un fonctionnement sûr de l'installation. La surveillance comprend la collecte, l'enregistrement et l'analyse des données d'exploitation afin d'évaluer les performances du système et de repérer les problèmes potentiels. En Afrique de l'Ouest, de nombreux systèmes énergétiques à biomasse fonctionnent dans des environnements ruraux et décentralisés où l'assistance technique peut être limitée. Les opérateurs doivent donc être capables de gérer les opérations quotidiennes, de surveiller l'état du système et de réagir aux difficultés d'exploitation.

2.2. Importance de l'exploitation et de la surveillance du système

Une exploitation et une surveillance efficaces permettent de :

- maximiser la production d'énergie ;
- améliorer le rendement du système ;
- réduire la consommation de combustible ;
- prévenir les dommages aux équipements ;
- réduire au minimum les temps d'arrêt ;
- améliorer la sécurité au travail ;
- prolonger la durée de vie des équipements ;
- soutenir la maintenance préventive.

Une surveillance régulière permet aux opérateurs de détecter les problèmes avant qu'ils ne se transforment en défaillances majeures.

2.3. Vue d'ensemble du fonctionnement d'un système énergétique à biomasse

Un système énergétique à biomasse type comprend :

- les systèmes de stockage et de manutention de la biomasse ;
- les équipements de préparation des matières premières ;
- le gazéifieur ou l'unité de combustion ;
- le système d'épuration du gaz ;
- le générateur ou l'équipement de conversion de puissance ;
- le système de distribution électrique ;
- les systèmes de surveillance et de commande.

Les opérateurs doivent veiller à ce que tous les composants fonctionnent ensemble de manière efficace. La figure 2.1 présente le flux du procédé depuis le stockage de la biomasse et la préparation des matières premières jusqu'au gazéifieur ou à l'unité de combustion, au système d'épuration du gaz, au générateur et au réseau de distribution d'électricité.

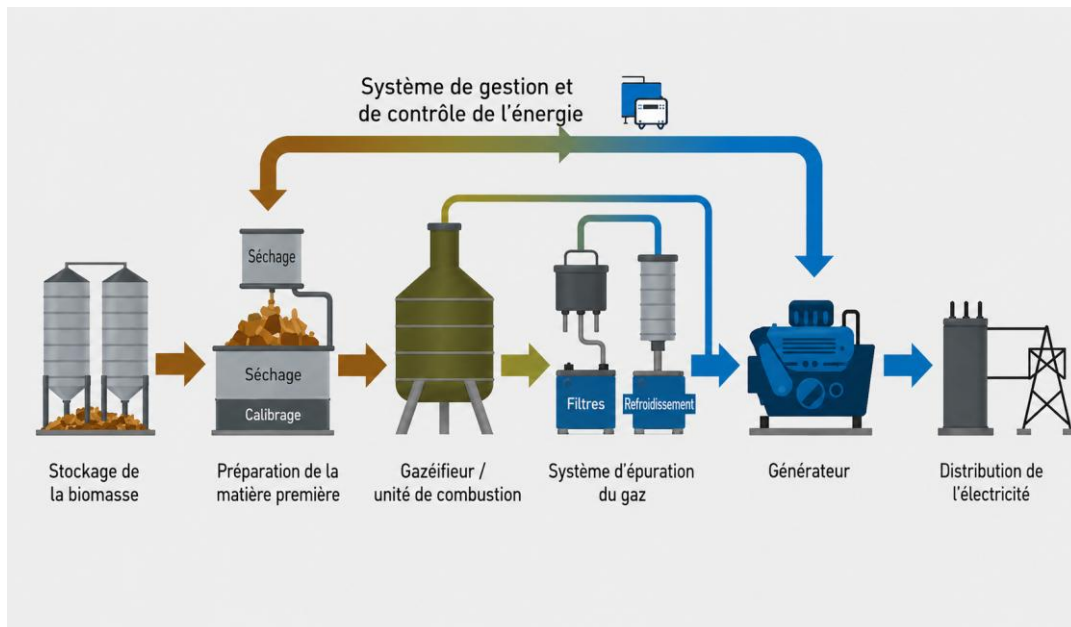


Figure 2.1 Flux de fonctionnement d'un système énergétique à biomasse

2.4. Procédures d'exploitation

Les procédures d'exploitation sont des instructions étape par étape qui guident les opérateurs dans l'exploitation sûre et efficace des systèmes énergétiques à biomasse. Les procédures opératoires normalisées (SOP dans la source) contribuent à assurer la cohérence, la sécurité et la fiabilité. Avant de démarrer le système, les opérateurs doivent effectuer une inspection approfondie.

2.4.1. Inspection des matières premières

Vérifier :

- la disponibilité des matières premières ;
- leur teneur en humidité ;
- l'absence de contaminants ;
- la granulométrie appropriée.

En Afrique de l'Ouest, les matières premières telles que les balles de riz, les rafles de maïs, les coques d'arachide, les coques de palmiste et les tiges de coton doivent être contrôlées afin de détecter l'absorption d'humidité pendant la saison des pluies.

2.4.2. Inspection des équipements

- Inspecter les systèmes d'alimentation, les réacteurs, les convoyeurs, les moteurs, les ventilateurs, les vannes et les réseaux de tuyauterie.
- Rechercher les raccords desserrés, l'usure excessive, les fuites et les obstructions.

2.4.3. Inspection de sécurité

S'assurer que les extincteurs sont disponibles, que les systèmes d'arrêt d'urgence sont opérationnels, que les EPI sont disponibles et que les zones de travail sont propres et sûres.

2.5. Procédures de démarrage

Systemes de gazéification

Les activités courantes de démarrage comprennent :

Étape 1 — Préparer le réacteur

- Retirer les cendres résiduelles.
- Vérifier l'état du réacteur.
- Contrôler les voies de circulation de l'air.

Étape 2 — Procéder à l'allumage

- Introduire le matériau d'allumage.
- Établir la zone de combustion.

Étape 3 — Démarrer l'alimentation en air

- Activer les soufflantes.
- Établir un débit d'air approprié.

Étape 4 — Introduire la matière première de biomasse

- Alimenter progressivement le système en biomasse.
- Surveiller la montée en température.

Étape 5 — Stabiliser le procédé

Surveiller :

- la température du réacteur ;
- la qualité du gaz ;
- les niveaux de pression.

Attendre que les conditions de fonctionnement soient stables avant de raccorder les charges. La figure 2.2 présente les principaux points de surveillance, notamment le stockage des matières premières, les zones du réacteur, l'unité d'épuration du gaz, le générateur et le tableau de commande électrique.

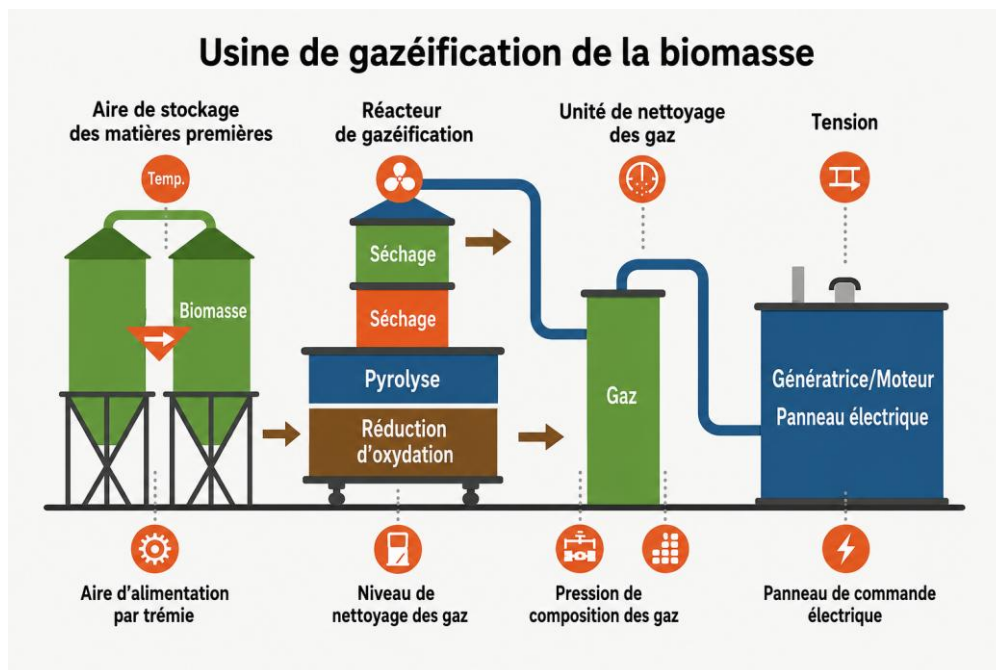


Figure 2.2 Points de surveillance de l'opérateur dans une installation de gazéification de biomasse

2.6. Procédures de fonctionnement normal

Pendant le fonctionnement, les opérateurs doivent surveiller et maîtriser les paramètres suivants.

a. Alimentation en matières premières

Maintenir :

- un débit d'alimentation régulier ;
- une qualité homogène des matières premières ;
- des niveaux de stockage suffisants.

Une alimentation irrégulière peut réduire la qualité du gaz et le rendement du système.

b. Maîtrise du débit d'air

Le rapport air/combustible influence fortement les performances de gazéification. Un débit d'air correct permet :

- de stabiliser la température du réacteur ;
- d'assurer une conversion efficace ;
- de réduire la formation de goudrons.

c. Gestion de la température

Les opérateurs doivent maintenir les températures dans les plages recommandées.

Tableau 2.1 — Températures types de gazéification

Zone du procédé	Température type
Séchage	100–200 °C
Pyrolyse	200–600 °C
Oxydation	700–1 500 °C
Réduction	800–1 100 °C

d. Gestion de la charge

Les générateurs doivent fonctionner dans les limites de charge recommandées. Une surcharge peut entraîner :

- une diminution du rendement ;
- des dommages aux équipements ;
- une instabilité de l'alimentation électrique.

2.7. Procédures d'arrêt

a. Arrêt planifié

Les étapes comprennent :

1. arrêter l'alimentation en biomasse ;
2. laisser se consumer le combustible déjà présent dans le réacteur ;
3. réduire progressivement le débit d'air ;
4. arrêter les générateurs ;
5. isoler les systèmes électriques ;
6. mettre les équipements en sécurité.

b. Arrêt d'urgence

Un arrêt d'urgence peut être nécessaire en cas de :

- feu ;
- fuite de gaz ;
- défaillance d'un équipement ;
- défaut électrique.

Les opérateurs doivent appliquer immédiatement les procédures d'intervention d'urgence.

2.8. Instrumentation et surveillance

L'instrumentation désigne les dispositifs utilisés pour mesurer et surveiller les conditions de fonctionnement. La surveillance permet aux opérateurs d'évaluer les performances et d'identifier les conditions anormales. Elle aide également à :

- maintenir la stabilité du procédé ;
- améliorer le rendement ;
- détecter précocement les défauts ;
- assurer une exploitation sûre ;
- soutenir la planification de la maintenance.

2.8.1. Instruments de surveillance courants

1. Capteurs de température : utilisés pour surveiller les zones du réacteur, la température des gaz et la température du moteur. La température est l'un des indicateurs les plus importants des performances du système.
2. Manomètres : mesurent la pression du réacteur, du gaz et des conduites. Une pression anormale peut signaler un colmatage ou une fuite.
3. Débitmètres : mesurent les débits d'alimentation en biomasse, d'air et de gaz. Ces mesures contribuent à optimiser le fonctionnement du système.
4. Analyseurs de gaz : utilisés pour déterminer la composition du gaz de synthèse. Les gaz habituellement surveillés comprennent le monoxyde de carbone (CO), l'hydrogène (H₂), le méthane (CH₄) et le dioxyde de carbone (CO₂).
5. Instruments électriques : surveillent la tension, le courant, la puissance de sortie et la fréquence. Ces mesures sont essentielles pour les systèmes raccordés au réseau et les mini-réseaux.

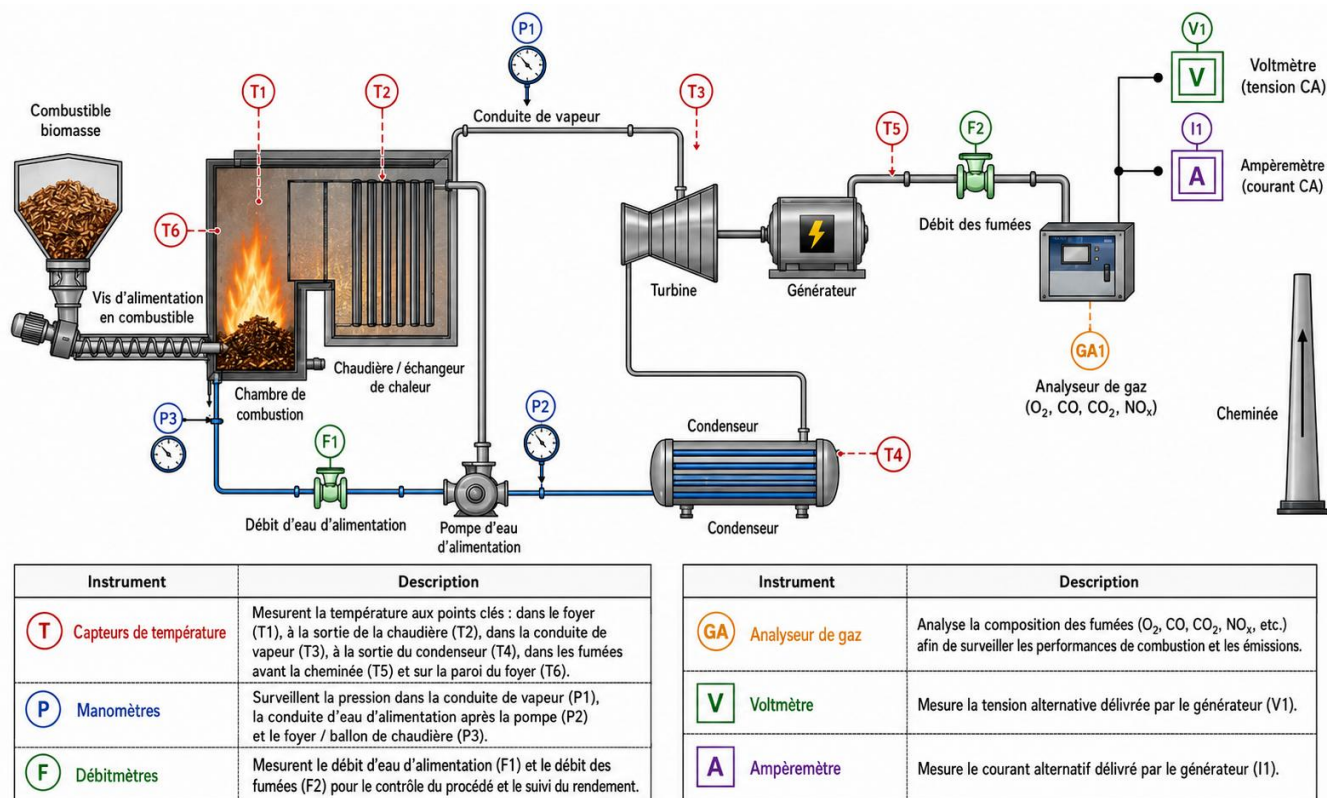


Figure 2.3 Instrumentation type utilisée dans les systèmes énergétiques à biomasse

2.8.2. Paramètres de surveillance

Les principaux paramètres d'exploitation sont présentés au tableau 2.2.

Tableau 2.2 — Paramètres d'exploitation et leurs objectifs

Paramètre	Objectif
Débit d'alimentation en biomasse	Évaluer l'alimentation en combustible
Teneur en humidité	Évaluer la qualité des matières premières
Température du réacteur	Surveiller le procédé de conversion
Composition du gaz	Évaluer la qualité du combustible gazeux
Production électrique	Mesurer la production
Consommation de combustible	Évaluer le rendement
Heures de fonctionnement	Planifier la maintenance
Temps d'arrêt	Analyser les performances

2.9. Enregistrement des performances et journaux d'exploitation

2.9.1. Enregistrement des performances

L'enregistrement des performances consiste à documenter les données d'exploitation pour permettre leur analyse ultérieure et soutenir la prise de décision. Des données précises contribuent à améliorer le rendement, à faciliter le dépannage, à programmer la maintenance et à évaluer les performances du projet.

Tableau 2.3 — Exemple de relevé quotidien des performances

Paramètre	Relevé quotidien
Date	_____
Type de matière première	_____
Biomasse consommée (kg)	_____
Heures de fonctionnement	_____
Électricité produite (kWh)	_____
Température du réacteur (°C)	_____
Temps d'arrêt (heures)	_____
Observations	_____

La figure 2.7 illustre le cycle d'enregistrement des performances et d'analyse des données.

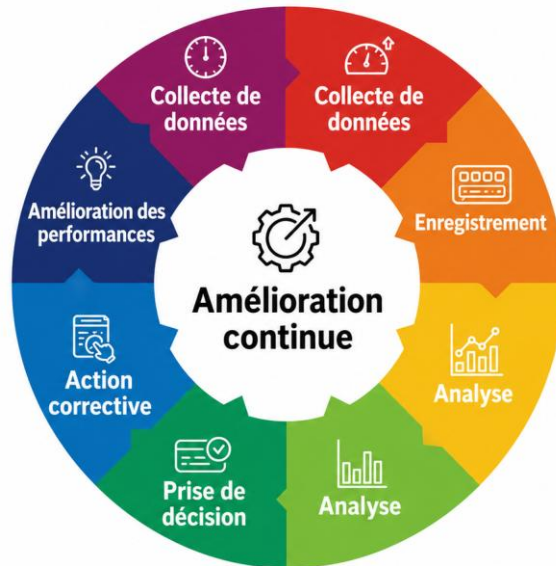


Figure 2.7 Cycle d'enregistrement des performances et d'analyse des données

2.9.2. Journaux d'exploitation

Les opérateurs doivent tenir des relevés quotidiens concernant :

- a. Informations sur les matières premières : type de biomasse, quantité consommée et teneur en humidité.
- b. Conditions de fonctionnement : températures, pressions et débits d'air.
- c. Production d'énergie :
 - électricité produite ;
 - heures de fonctionnement ;
 - demande de pointe.
- d. Événements du système :
 - arrêts ;
 - défauts des équipements ;
 - activités de maintenance.

2.10. Analyse et interprétation des données

Les données collectées doivent être analysées régulièrement. Les opérateurs doivent évaluer :

1. Tendances

Exemples :

- augmentation de la consommation de combustible ;
- diminution de la puissance produite ;
- fluctuations de température.

2. Indicateurs d'efficacité

Par exemple :

- consommation de biomasse par kWh ;
- facteur de capacité ;
- disponibilité du système.

3. Détection des défauts

Des tendances anormales peuvent indiquer :

- des problèmes de matières premières ;
- l'usure des équipements ;
- des fuites de gaz ;
- des défaillances d'instruments.

Une intervention précoce réduit les temps d'arrêt et les coûts de réparation.

2.11. Difficultés d'exploitation en Afrique de l'Ouest

Les difficultés courantes comprennent :

a. Variations saisonnières des matières premières

Les saisons des pluies augmentent souvent la teneur en humidité des matières premières.

b. Exposition à la poussière et au sable

Ce problème est particulièrement courant dans les régions sahéliennes. La poussière peut endommager les équipements, obstruer les filtres et réduire le rendement.

c. Assistance technique limitée

Les communautés éloignées peuvent disposer d'un accès limité à des techniciens spécialisés.

d. Instabilité du réseau

Lorsque les systèmes sont raccordés au réseau, une alimentation électrique instable peut perturber leur fonctionnement.

2.12. Bonnes pratiques pour une exploitation et une surveillance efficaces

Une exploitation réussie d'une installation à biomasse nécessite :

- une qualité constante des matières premières ;
- une inspection régulière des équipements ;
- une surveillance continue ;
- une tenue rigoureuse des relevés ;

- des mesures correctives prises en temps utile ;
- une formation appropriée des opérateurs ;
- le respect des procédures de sécurité.

Ces pratiques améliorent la fiabilité et la durabilité à long terme.

2.13. Résumé du chapitre

L'exploitation et la surveillance du système sont essentielles pour assurer une production d'énergie à partir de biomasse sûre, fiable et efficace. Les opérateurs doivent suivre les procédures établies pour le démarrage, le fonctionnement normal et l'arrêt, tout en surveillant en continu les variables essentielles du procédé telles que la température, la pression, la qualité du gaz et la production électrique. L'instrumentation fournit les informations nécessaires à l'optimisation des performances et à la détection des défauts. Un enregistrement précis des performances soutient la planification de la maintenance, le dépannage et l'amélioration du rendement.

Dans les systèmes énergétiques à biomasse d'Afrique de l'Ouest, une surveillance efficace est particulièrement importante en raison des difficultés liées à la variabilité des matières premières, aux conditions climatiques et à l'assistance technique limitée. Des pratiques appropriées d'exploitation et de surveillance contribuent de manière importante à la durabilité et à la réussite des projets énergétiques à biomasse.

Questions de révision

1. Pourquoi une exploitation correcte du système est-elle importante pour les systèmes énergétiques à biomasse ?
2. Quelles activités doivent être réalisées lors des inspections préalables au démarrage ?
3. Décrivez la procédure de démarrage type d'un système de gazéification de biomasse.
4. Pourquoi la surveillance de la température est-elle importante pendant le fonctionnement ?
5. Quelles sont les fonctions des analyseurs de gaz et des débitmètres ?
6. Quelles informations doivent figurer dans un journal quotidien des performances ?
7. Comment les relevés de performances peuvent-ils soutenir la planification de la maintenance ?
8. Identifiez quatre difficultés d'exploitation courantes rencontrées par les systèmes énergétiques à biomasse en Afrique de l'Ouest.
9. Quelles mesures doivent être prises lors d'un arrêt d'urgence ?
10. Expliquez comment la surveillance contribue à l'optimisation de l'exploitation et à la fiabilité du système.

Maintenance préventive et corrective

3.1. Introduction

La maintenance est essentielle pour assurer le fonctionnement fiable, efficace et sûr des systèmes énergétiques à biomasse. Une maintenance insuffisante entraîne souvent des pannes d'équipement, une baisse de la production énergétique, une hausse des coûts d'exploitation et une réduction de la durée de vie des équipements. En Afrique de l'Ouest, les systèmes énergétiques à biomasse fonctionnent fréquemment dans des zones éloignées où l'accès aux pièces de rechange et à l'assistance technique peut être limité. Des pratiques de maintenance efficaces sont donc indispensables à la durabilité du système à long terme.

Les activités de maintenance peuvent généralement être classées en deux catégories :

1. maintenance préventive ;
2. maintenance corrective.

Ces deux approches sont importantes pour maintenir les performances de l'installation.

3.2. Maintenance préventive

La maintenance préventive comprend des activités planifiées réalisées à intervalles réguliers afin d'éviter les défaillances avant qu'elles ne se produisent. La figure 3.1 illustre la planification, l'inspection, les activités de maintenance, la documentation et l'amélioration des performances sous la forme d'un cycle continu. L'objectif est de maintenir les équipements en bon état de fonctionnement et de réduire au minimum les pannes imprévues.

Une maintenance préventive efficace :

- améliore la fiabilité des équipements ;
- réduit les temps d'arrêt ;
- prolonge la durée de vie des équipements ;
- améliore la sécurité ;
- réduit les coûts de réparation ;
- améliore le rendement du système.

Exemples de maintenance préventive

- Lubrification des pièces mobiles.

- Nettoyage des filtres.
- Serrage des boulons et des raccords.
- Étalonnage des instruments.
- Élimination des dépôts de cendres.
- Inspection des systèmes électriques.

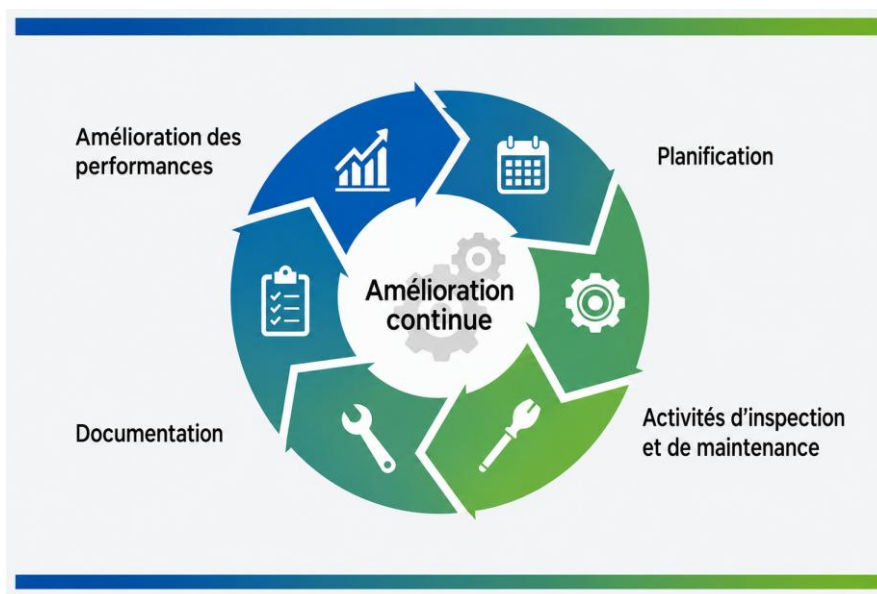


Figure 3.1 Cycle de maintenance préventive

3.3. Maintenance corrective

La maintenance corrective consiste à réparer ou à remplacer un équipement après l'apparition d'un défaut ou d'une défaillance. Elle permet de rétablir le système dans son état normal de fonctionnement. Parmi les exemples figurent :

- le remplacement des moteurs endommagés ;
- la réparation des fuites de gaz ;
- le remplacement des roulements usés ;
- la réparation des défauts électriques ;
- le remplacement des capteurs endommagés.

Toutefois, une dépendance excessive à la maintenance corrective peut entraîner :

- une augmentation des temps d'arrêt ;
- des coûts de réparation plus élevés ;
- des pertes de production ;
- des risques pour la sécurité.

Pour cette raison, la maintenance préventive est généralement privilégiée lorsque cela est possible.

3.4. Planification de la maintenance

La planification de la maintenance garantit que les activités sont organisées, réalisées en temps utile et efficaces. Une bonne planification aide les opérateurs à utiliser les ressources efficacement, à réduire les défaillances imprévues, à gérer les stocks de pièces de rechange et à programmer la maintenance sans perturber l'exploitation.

Il existe différents niveaux de programmation de la maintenance :

1. Maintenance quotidienne : inspections visuelles, nettoyage des zones de travail et surveillance des conditions de fonctionnement.
2. Maintenance hebdomadaire : vérification des systèmes de lubrification, nettoyage des filtres et inspection des composants mobiles.
3. Maintenance mensuelle : par exemple :
 - étalonnage des instruments ;
 - inspections électriques ;
 - contrôles détaillés des équipements.
4. Maintenance annuelle : révisions générales, remplacement de composants et évaluations des performances.

3.5. Planification de la maintenance en Afrique de l'Ouest

Des considérations particulières comprennent :

a. Planification saisonnière

La maintenance doit être programmée en tenant compte des saisons agricoles, de la disponibilité des matières premières et des saisons des pluies.

b. Gestion des pièces de rechange

En raison des limitations de la chaîne d'approvisionnement, les opérateurs doivent maintenir des stocks de pièces de rechange, identifier des fournisseurs locaux lorsque cela est possible et acheter à l'avance les composants critiques.

c. Développement des capacités locales

Les projets doivent former des techniciens locaux afin de réduire la dépendance aux experts extérieurs, d'améliorer les délais d'intervention et de renforcer la durabilité du projet.

3.6. Procédures d'inspection

L'inspection consiste à examiner systématiquement les équipements afin de repérer l'usure, les dommages ou les conditions anormales. Les inspections régulières constituent la base de la maintenance préventive.

a. Inspections mécaniques

Rechercher :

- l'usure ;
- la corrosion ;
- les vibrations ;

- les raccordements desserrés ;
- les fuites.

b. Inspections électriques

Inspecter :

- le câblage ;
- l'appareillage électrique ;
- les tableaux de commande ;
- les systèmes de mise à la terre.

c. Inspection des systèmes de gazéification

Surveiller :

- l'état du réacteur ;
- l'accumulation de cendres ;
- les systèmes de circulation de l'air ;
- les unités d'épuration du gaz.

d. Inspection du stockage de biomasse

Cette inspection est particulièrement importante en Afrique de l'Ouest en raison des pluies saisonnières. Rechercher :

- les infiltrations d'humidité ;
- les infestations par des organismes nuisibles ;
- la dégradation de la biomasse.

3.7. Remplacement des composants

Les composants se dégradent au fil du temps et doivent être remplacés afin de maintenir un fonctionnement fiable.

Les composants couramment remplacés comprennent :

- composants mécaniques : roulements, courroies, joints et vannes ;
- composants électriques : fusibles, relais, contacteurs et capteurs ;
- composants de gazéification : grilles, buses, filtres et cyclones.

Avant un remplacement, il convient de :

- arrêter l'équipement en toute sécurité ;
- isoler les sources d'énergie ;
- suivre les instructions du fabricant ;
- vérifier la compatibilité du composant.

3.8. Documentation de la maintenance

Les dossiers de maintenance doivent comprendre :

- les rapports d'inspection ;
- les réparations effectuées ;
- les pièces remplacées ;
- les dates de maintenance ;
- le personnel impliqué.

Une documentation correcte facilite la planification future et le dépannage.

Les difficultés courantes de maintenance peuvent comprendre :

- un accès limité aux pièces de rechange ;
- des coûts de transport élevés ;
- une pénurie de techniciens formés ;
- des conditions environnementales difficiles ;
- des budgets de maintenance limités.

Une planification efficace peut réduire les effets de ces difficultés.

3.9. Résumé du chapitre

La maintenance préventive et la maintenance corrective sont essentielles pour assurer un fonctionnement fiable des systèmes énergétiques à biomasse. La maintenance préventive vise à éviter les défaillances grâce à des activités planifiées, tandis que la maintenance corrective traite les défauts après leur apparition. Une planification efficace de la maintenance, des inspections de routine et le remplacement des composants en temps utile améliorent le rendement, réduisent les temps d'arrêt et prolongent la durée de vie des équipements. En Afrique de l'Ouest, les stratégies de maintenance doivent tenir compte des conditions saisonnières, de la disponibilité des pièces de rechange et des capacités techniques locales afin d'assurer une exploitation durable.

Questions de révision

1. Qu'est-ce que la maintenance préventive ?
2. En quoi la maintenance corrective diffère-t-elle de la maintenance préventive ?
3. Pourquoi la planification de la maintenance est-elle importante ?
4. Quelles activités sont généralement réalisées lors de la maintenance hebdomadaire ?
5. Quels composants doivent couramment être remplacés dans les systèmes de biomasse ?
6. Pourquoi la documentation est-elle importante dans la gestion de la maintenance ?
7. Quelles difficultés de maintenance sont courantes dans les projets de biomasse en Afrique de l'Ouest ?
8. Comment la formation de techniciens locaux peut-elle améliorer la durabilité du système ?

BM-B5-4

Dépannage et diagnostic des défauts

4.1. Introduction

Même les systèmes énergétiques à biomasse bien entretenus peuvent rencontrer des problèmes de fonctionnement. L'identification et la correction rapides des défauts sont essentielles pour maintenir une production énergétique fiable et éviter des temps d'arrêt coûteux. Le dépannage est le processus systématique qui consiste à identifier les causes des problèmes de fonctionnement et à mettre en œuvre des solutions. Un dépannage efficace exige des connaissances techniques, une observation attentive et l'utilisation d'outils de diagnostic appropriés.

En Afrique de l'Ouest, où l'assistance technique peut être limitée dans les zones éloignées, les opérateurs jouent souvent un rôle essentiel dans l'identification et la résolution des défauts.

4.2. Principes du dépannage

Un dépannage réussi suit un processus structuré, présenté ci-dessous étape par étape.

Étape 1 — Identifier le problème

Déterminer :

- ce qui s'est produit ;
- le moment où cela s'est produit ;
- les symptômes présents.

Étape 2 — Collecter les informations

Rassembler :

- les relevés d'exploitation ;
- les mesures des instruments ;
- l'historique de maintenance ;
- les observations des opérateurs.

Étape 3 — Analyser les causes possibles

Comparer les symptômes observés aux modes de défaillance connus.

Étape 4 — Mettre en œuvre les mesures correctives

Effectuer les réparations ou réglages appropriés.

Étape 5 — Vérifier les résultats

Confirmer que le problème a été résolu.

4.3. Problèmes de fonctionnement courants

a. Mauvaise qualité des matières premières

Symptômes :

- production de gaz réduite ;
- faible production d'énergie ;
- fonctionnement instable.

Causes possibles :

- teneur en humidité élevée ;
- granulométrie irrégulière ;
- biomasse contaminée.

b. Formation excessive de goudrons

Symptômes :

- conduites obstruées ;
- filtres encrassés ;
- mauvaises performances du moteur.

Causes possibles :

- température de gazéification trop basse ;
- mauvaise maîtrise du débit d'air ;
- caractéristiques inadaptées des matières premières.

c. Faible qualité du gaz de synthèse

Symptômes :

- puissance du moteur réduite ;
- consommation de combustible accrue ;
- fonctionnement difficile du moteur.

Causes possibles :

- mauvaises conditions dans le réacteur ;
- humidité excessive ;
- fuites d'air.

d. Accumulation importante de cendres

Symptômes :

- restriction du débit d'air ;
- baisse du rendement ;
- fluctuations de température.

Causes possibles :

- retrait tardif des cendres ;
- matières premières à forte teneur en cendres.

e. Problèmes du générateur

Symptômes :

- basse tension ;
- instabilité de fréquence ;
- arrêts inattendus.

Causes possibles :

- surcharge ;
- usure mécanique ;
- défauts électriques.

4.4. Problèmes courants des systèmes de biomasse

1. Matières premières humides pendant les saisons des pluies

Ce problème est particulièrement courant dans :

- l'Afrique de l'Ouest côtière ;
- les zones forestières ;
- les régions à forte pluviométrie.

Conséquences :

- diminution du rendement de gazéification ;
- augmentation de la formation de goudrons.

2. Contamination par la poussière et le sable

Ce problème est courant dans :

- les régions sahéliennes ;
- le nord du Ghana ;
- le nord du Nigeria ;
- le Niger ;
- le Mali.

Effets :

- obstruction des filtres ;
- usure des équipements ;
- dysfonctionnement des capteurs.

3. Problèmes de qualité de l'électricité

Les systèmes raccordés au réseau peuvent subir :

- des fluctuations de tension ;
- des variations de fréquence ;
- des conditions instables du réseau.

4.5. Outils et méthodes de diagnostic

Inspection visuelle

Il s'agit souvent de la première étape du dépannage. Rechercher :

- les fuites ;
- la corrosion ;
- les raccordements desserrés ;

- l'usure excessive.

Surveillance de la température

Des températures anormales peuvent indiquer :

- des problèmes de débit d'air ;
- des obstructions ;
- des dysfonctionnements du réacteur.

Mesures de pression

Les relevés de pression permettent d'identifier :

- les conduites obstruées ;
- le colmatage des filtres ;
- les fuites de gaz.

Analyse des gaz

Les analyseurs de gaz mesurent notamment :

- le monoxyde de carbone (CO) ;
- l'hydrogène (H₂) ;
- le méthane (CH₄) ;
- le dioxyde de carbone (CO₂).

Une mauvaise qualité du gaz signale souvent des problèmes de procédé.

Essais électriques

Les outils couramment utilisés comprennent :

- les multimètres ;
- les pinces ampèremétriques ;
- les contrôleurs d'isolement.

Ils servent à diagnostiquer :

- les problèmes de tension ;
- les déséquilibres de courant ;
- les défauts de câblage.

4.6. Méthodes de diagnostic des défauts, mesures correctives, rapports et documentation

4.6.1. Méthodes de diagnostic des défauts

Le diagnostic fondé sur les symptômes est l'une des méthodes utilisées. Il part des symptômes observés et remonte vers les causes possibles.

a. Faible puissance de sortie

Les causes possibles peuvent comprendre :

- une mauvaise qualité des matières premières ;

- une faible qualité du gaz ;
- des défauts du générateur.

b. Analyse des causes profondes

Elle vise à identifier la cause sous-jacente des problèmes récurrents afin d'éviter leur répétition.

c. Analyse des tendances

Elle utilise les relevés d'exploitation pour identifier :

- la baisse des performances ;
- la détérioration des équipements ;
- les défauts émergents.

La figure 4.4 présente un arbre de décision destiné à aider les opérateurs à identifier les causes probables d'une faible puissance de sortie, d'une mauvaise qualité du gaz ou d'un arrêt du système.

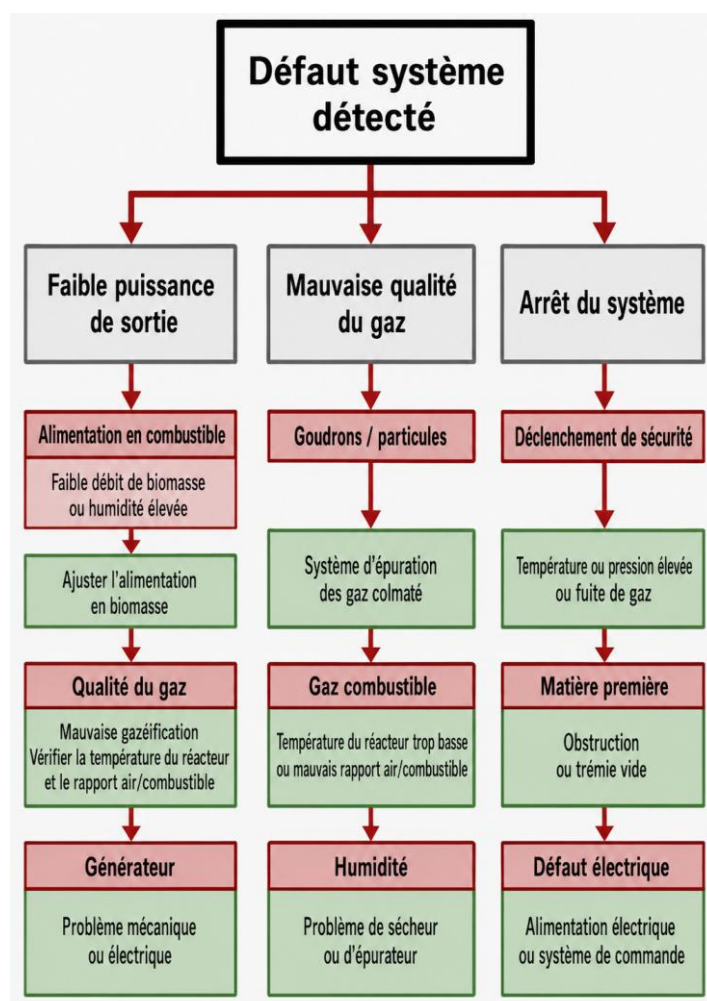


Figure 4.4 Arbre de décision pour le diagnostic des défauts

4.6.2. Mesures correctives

- Problèmes liés aux matières premières : sécher les matières premières, améliorer les pratiques de stockage et éliminer les contaminants.
- Problèmes de débit d'air : nettoyer les passages d'air, inspecter les soufflantes et régler les dispositifs de commande du débit d'air.
- Problèmes liés aux goudrons : augmenter la température de fonctionnement, améliorer la régulation du réacteur et nettoyer les filtres ainsi que les conduites.

- Problèmes électriques : resserrer les connexions, remplacer les composants endommagés et réparer les systèmes de mise à la terre.

4.6.3. Rapport et documentation des défauts

Les opérateurs doivent consigner :

- la description du défaut ;
- la date et l'heure ;
- les causes probables ;
- les mesures correctives ;
- les résultats.

Une bonne documentation améliore les futurs travaux de dépannage et la planification de la maintenance.

Un dépannage efficace nécessite :

- une investigation systématique ;
- une collecte précise des données ;
- des procédures de travail sûres ;
- une utilisation correcte des outils de diagnostic ;
- une formation continue des opérateurs.

Ces pratiques réduisent les temps d'arrêt et améliorent la fiabilité.

4.7. Résumé du chapitre

Le dépannage et le diagnostic des défauts sont des compétences essentielles pour les opérateurs de systèmes énergétiques à biomasse. Les problèmes de fonctionnement courants comprennent la mauvaise qualité des matières premières, la formation excessive de goudrons, la faible qualité du gaz de synthèse, l'accumulation de cendres et les défauts du générateur. Les outils de diagnostic tels que les capteurs de température, les manomètres, les analyseurs de gaz et les instruments d'essai électrique aident à identifier les problèmes. Les mesures correctives doivent traiter les causes profondes afin d'éviter la répétition des défaillances.

En Afrique de l'Ouest, les pratiques de dépannage doivent tenir compte des difficultés environnementales telles qu'une humidité élevée, la poussière et une assistance technique limitée. Un diagnostic efficace des défauts contribue à une production d'énergie à partir de biomasse sûre, fiable et efficace.

Questions de révision

1. Qu'est-ce que le dépannage ?
2. Décrivez les cinq étapes d'un processus systématique de dépannage.
3. Quelles sont les causes courantes d'une mauvaise qualité du gaz de synthèse ?
4. Comment une formation excessive de goudrons peut-elle affecter les systèmes de biomasse ?
5. Quels outils de diagnostic sont couramment utilisés dans les centrales à biomasse ?
6. Expliquez la différence entre le diagnostic fondé sur les symptômes et l'analyse des causes profondes.
7. Quelles mesures correctives peuvent être prises pour résoudre les problèmes de matières premières humides ?
8. Pourquoi la documentation des défauts est-elle importante ?
9. Quels facteurs environnementaux affectent couramment les systèmes de biomasse en Afrique de l'Ouest ?
10. Comment un dépannage efficace contribue-t-il à la fiabilité du système ?

Santé et sécurité au travail et pratiques environnementales

5.1. Introduction

La gestion de la santé, de la sécurité au travail et de l'environnement (SSTE ; OHSE dans la source) constitue un aspect fondamental de l'installation, de l'exploitation et de la maintenance des systèmes énergétiques à biomasse. Les installations énergétiques à biomasse présentent différents dangers, notamment les températures élevées, les machines en mouvement, les gaz combustibles, l'électricité, les poussières et l'exposition à des produits chimiques. Une gestion inadéquate de ces dangers peut entraîner :

- des blessures chez les travailleurs ;
- des dommages aux équipements ;
- des incendies et des explosions ;
- une pollution de l'environnement ;
- des effets sur la santé des communautés.

En Afrique de l'Ouest, où de nombreuses installations de biomasse fonctionnent dans des contextes ruraux et décentralisés, la sensibilisation à la sécurité et la protection de l'environnement sont particulièrement importantes en raison des ressources limitées d'intervention d'urgence et de la proximité des systèmes énergétiques avec les communautés. Une solide culture de sécurité protège les travailleurs, les communautés, les équipements et l'environnement, tout en favorisant un développement durable de l'énergie de la biomasse.

5.2. Santé et sécurité au travail dans les systèmes énergétiques à biomasse

La santé et la sécurité au travail (SST ; OHS dans la source) désignent les politiques, procédures et pratiques destinées à protéger les travailleurs contre les dangers professionnels et à assurer des conditions de travail sûres.

Les objectifs de la SST sont de :

- prévenir les accidents et les blessures ;
- protéger la santé des travailleurs ;
- réduire les risques d'exploitation ;
- améliorer la productivité au travail ;
- assurer le respect des exigences légales et réglementaires.

5.3. Identification des dangers

L'identification des dangers consiste à reconnaître les sources potentielles de blessures, de maladies, de dommages aux équipements ou d'atteintes à l'environnement. Il s'agit de la première étape de la gestion des risques.

Les dangers courants dans les systèmes énergétiques à biomasse comprennent les catégories suivantes.

1. Dangers physiques

Exemples :

- surfaces chaudes ;
- machines tournantes ;
- outils tranchants ;
- bruit et vibrations ;
- chute d'objets.

2. Risques d'incendie

Les matières de biomasse sont très combustibles. Les sources potentielles d'incendie comprennent :

- les flammes nues ;
- les défauts électriques ;
- les surfaces chaudes des équipements ;
- les étincelles produites par les machines.

3. Dangers liés aux gaz

Les systèmes de gazéification de biomasse et de biogaz produisent des gaz combustibles tels que :

- le monoxyde de carbone (CO) ;
- l'hydrogène (H₂) ;
- le méthane (CH₄).

Ces gaz peuvent provoquer des incendies, des explosions et une exposition toxique.

4. Dangers électriques

Ils peuvent être dus à :

- un câblage défectueux ;
- une isolation endommagée ;
- une mise à la terre incorrecte ;
- des conducteurs exposés.

5. Dangers ergonomiques

Les travailleurs peuvent être exposés :

- au levage de charges lourdes ;
- à des mouvements répétitifs ;
- à des postures de travail contraignantes.

6. Dangers biologiques

La manutention de la biomasse peut exposer les travailleurs :

- aux spores de moisissures ;
- aux bactéries ;
- aux particules de poussière ;
- aux contaminants provenant des déjections animales.

5.4. Évaluation des dangers et maîtrise des risques

Le processus d'évaluation des risques comprend les étapes suivantes :

Étape 1 — Identifier les dangers : déterminer ce qui pourrait causer un dommage.

Étape 2 — Évaluer les risques : évaluer la probabilité d'occurrence et la gravité des conséquences.

Étape 3 — Mettre en œuvre des mesures de maîtrise : appliquer des mesures destinées à réduire les risques.

Étape 4 — Surveiller et réexaminer : évaluer l'efficacité des mesures et les mettre à jour si nécessaire.

Une gestion efficace des risques suit la hiérarchie des mesures de maîtrise :

1. élimination ;
2. substitution ;
3. mesures techniques ;
4. mesures administratives ;
5. équipements de protection individuelle (EPI).

La mesure la plus efficace consiste à supprimer le danger lorsque cela est possible.

5.5. Sécurité incendie et mesures de prévention

Le feu constitue l'un des risques les plus importants dans les installations énergétiques à biomasse, car les matières de biomasse sont fortement combustibles.

Causes courantes d'incendie

- Défauts électriques.
- Élimination de cendres chaudes.
- Déversements de combustible.
- Surchauffe des équipements.
- Mauvaise tenue des locaux.

Mesures de prévention — bonne tenue des locaux

Maintenir les zones de travail propres en :

- retirant les déchets combustibles ;
- maîtrisant l'accumulation de poussières ;
- stockant correctement les matières premières de biomasse.

Maintenance des équipements

Une maintenance régulière contribue à prévenir :

- la surchauffe ;
- les défauts électriques ;
- les défaillances mécaniques.

Pratiques de stockage sûres

Les zones de stockage de biomasse doivent :

- être bien ventilées ;
- rester sèches ;
- être protégées des sources d'inflammation.

Matériel de lutte contre l'incendie

Le matériel courant comprend :

- des extincteurs à eau ;
- des extincteurs à poudre chimique ;
- des seaux de sable ;
- des couvertures anti-feu.

Le personnel doit être formé à leur utilisation correcte.

Procédures d'intervention d'urgence

Les travailleurs doivent connaître :

- les procédures d'alarme ;
- les itinéraires d'évacuation ;
- les points de rassemblement ;
- les contacts d'urgence.

5.6. Sécurité liée aux gaz

Les systèmes de gazéification et de biogaz produisent des gaz combustibles et potentiellement dangereux. La figure 5.1 illustre les conduites de gaz, les capteurs de détection de fuite, les systèmes de ventilation, les vannes d'arrêt d'urgence et les pratiques sûres de manipulation des gaz. Des pratiques appropriées de sécurité liées aux gaz sont essentielles.

1. Risques liés au monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone est incolore, inodore et hautement toxique. Les symptômes d'exposition comprennent :

- les maux de tête ;
- les vertiges ;
- les nausées ;

- la perte de connaissance.

2. Risques liés au méthane

Le méthane est très inflammable et peut former des mélanges explosifs avec l'air.

3. Prévention des fuites de gaz

Les opérateurs doivent :

- inspecter régulièrement les conduites ;
- vérifier les vannes et les raccords ;
- effectuer des essais d'étanchéité ;
- réparer immédiatement les fuites.

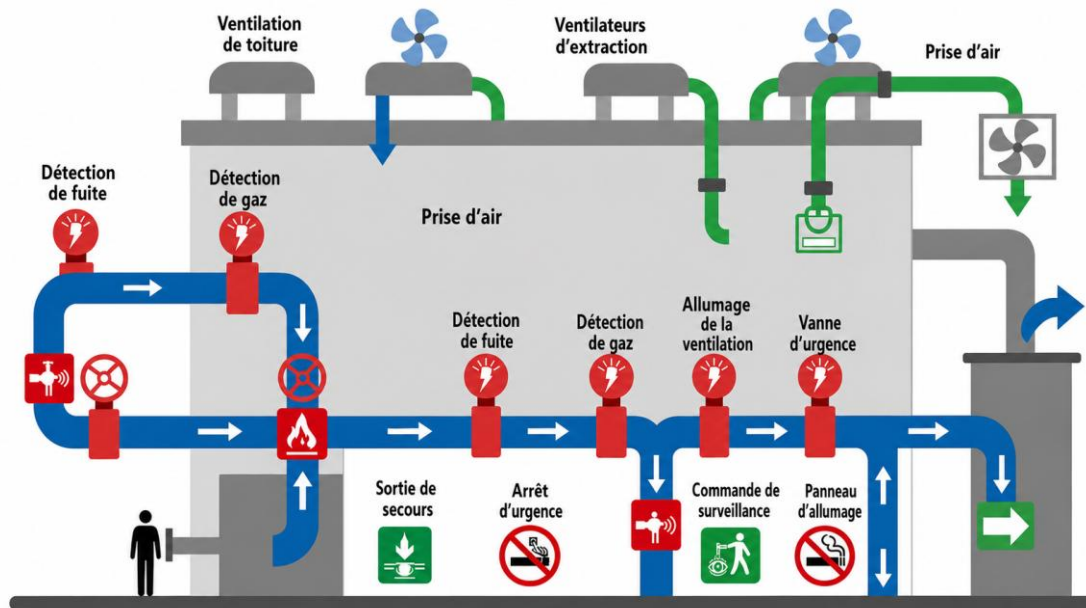


Figure 5.1 Système de sécurité des gaz et de ventilation

4. Exigences de ventilation

Les zones de travail doivent disposer d'une ventilation adéquate afin de :

- prévenir l'accumulation de gaz ;
- réduire les risques d'explosion ;
- protéger la santé des travailleurs.

5. Systèmes de détection de gaz

Lorsque cela est possible, les installations doivent être équipées de :

- détecteurs de monoxyde de carbone ;
- détecteurs de fuite de gaz ;
- systèmes d'alarme.

5.7. Équipements de protection individuelle (EPI)

Les EPI sont des vêtements et dispositifs de protection utilisés pour réduire l'exposition aux dangers professionnels. Ils contribuent à protéger les travailleurs contre les brûlures, l'exposition aux poussières, le contact avec des produits chimiques, le bruit, la chute d'objets et les dangers électriques.

La figure 5.2 représente un travailleur portant un casque de sécurité, des lunettes de protection, un appareil de protection respiratoire, des gants, une combinaison, une protection auditive et des chaussures de sécurité, avec l'indication de la fonction protectrice de chaque élément.

Les EPI courants dans les installations de biomasse comprennent :

- Casques de sécurité : protègent contre la chute d'objets et les blessures à la tête.
- Lunettes de sécurité : protègent les yeux contre la poussière, les particules projetées et les éclaboussures de produits chimiques.
- Protection respiratoire : les masques antipoussières ou appareils respiratoires protègent contre les poussières de biomasse, la fumée et les contaminants en suspension dans l'air. Ils sont particulièrement importants pendant la manutention des matières premières et l'élimination des cendres.
- Gants de protection : protègent les mains contre la chaleur, les arêtes vives et les produits chimiques.
- Chaussures de sécurité : protègent contre les glissades, la chute d'objets et les matériaux tranchants.
- Protection auditive : des bouchons d'oreille ou des casques antibruit doivent être utilisés à proximité des générateurs, des soufflantes et des machines industrielles.



Figure 5.2 EPI pour les travailleurs des installations énergétiques à biomasse

Gestion des EPI

Les employeurs doivent assurer :

- la disponibilité des EPI ;
- une formation appropriée ;
- une inspection régulière ;
- leur remplacement en temps utile.

5.8. Gestion des déchets de biomasse et exigences de conformité environnementale

Les projets énergétiques à biomasse doivent fonctionner de manière à réduire au minimum les impacts environnementaux tout en respectant les réglementations nationales. La gestion environnementale vise à protéger les ressources naturelles, réduire la pollution, favoriser l'utilisation durable des ressources et protéger la santé publique.

Émissions potentielles

Les émissions provenant de l'énergie de la biomasse peuvent comprendre :

- les particules ;
- le monoxyde de carbone ;
- les oxydes d'azote.

Une bonne maîtrise de la combustion, des systèmes d'épuration des gaz et une maintenance régulière constituent des mesures importantes pour améliorer la qualité de l'air.

Gestion des déchets

Les installations de biomasse produisent des déchets tels que :

- les cendres ;
- les lubrifiants usagés ;
- les filtres ;
- les composants endommagés.

Ces déchets doivent être gérés correctement par des méthodes telles que l'élimination sûre, le recyclage lorsque cela est possible et le respect des réglementations locales.

Utilisation des cendres

Dans de nombreuses communautés d'Afrique de l'Ouest, les cendres de biomasse peuvent, lorsque cela est approprié et sûr, être utilisées comme :

- amendement du sol ;
- complément d'engrais agricole ;
- additif au compost.

Protection des ressources en eau

Les opérateurs doivent prévenir :

- la contamination des sources d'eau par les combustibles ;
- les déversements de produits chimiques ;
- l'élimination inappropriée des eaux usées.

Une attention particulière doit être accordée à la protection :

- des puits ;
- des rivières ;
- des approvisionnements communautaires en eau.

Conformité environnementale en Afrique de l'Ouest

La plupart des pays d'Afrique de l'Ouest disposent de réglementations environnementales imposant notamment :

- des études d'impact environnemental (EIE ; EIA dans la source) ;

- des mesures de lutte contre la pollution ;
- des plans de gestion des déchets ;
- des normes de sécurité au travail.

La source cite, à titre d'exemples, les organismes ou autorités suivants :

- Environmental Protection Agency (EPA), Ghana ;
- National Environmental Standards and Regulations Enforcement Agency (NESREA), Nigeria ;
- Direction de l'Environnement, Sénégal ;
- autorités nationales chargées de l'environnement dans les États membres de la CEDEAO.

Les opérateurs doivent se familiariser avec les réglementations nationales applicables.

5.9. Santé communautaire et culture de sécurité

5.9.1. Santé communautaire

Les projets énergétiques à biomasse doivent tenir compte des impacts sur les communautés environnantes. Les mesures à prendre pendant la production d'énergie à partir de biomasse comprennent :

- la maîtrise des niveaux de bruit ;
- la gestion de la circulation liée au transport de la biomasse ;
- la prévention de la pollution de l'air ;
- le maintien de distances de sécurité appropriées.

Les programmes de sensibilisation communautaire peuvent améliorer la sécurité du public et l'acceptation des projets.

5.9.2. Culture de sécurité et amélioration continue

Une solide culture de sécurité nécessite :

- l'engagement de la direction ;
- la participation des travailleurs ;
- une formation continue ;
- le signalement des incidents ;
- des audits de sécurité réguliers.

Les organisations doivent encourager les travailleurs à signaler les dangers et les situations dangereuses sans crainte de sanction.

Les installations de biomasse performantes doivent :

- effectuer régulièrement des évaluations des risques ;
- maintenir des plans d'intervention d'urgence ;
- faire respecter le port des EPI ;

- réaliser des inspections de sécurité régulières ;
- entretenir les systèmes de protection incendie ;
- surveiller les performances environnementales ;
- assurer une formation continue du personnel.

Ces pratiques contribuent à garantir des opérations sûres et durables.

5.10. Résumé du chapitre

La gestion de la santé, de la sécurité au travail et de l'environnement constitue un élément essentiel de l'exploitation des systèmes énergétiques à biomasse. Les dangers courants comprennent les risques physiques, d'incendie, liés aux gaz, électriques, ergonomiques et biologiques. L'identification des dangers et l'évaluation des risques aident les opérateurs à mettre en œuvre des mesures de maîtrise appropriées. La prévention des incendies, les procédures de sécurité liées aux gaz et l'utilisation correcte des EPI sont essentielles pour protéger les travailleurs et les installations.

La conformité environnementale comprend la gestion des émissions, des déchets, des ressources en eau et des impacts sur les communautés conformément aux réglementations nationales. En Afrique de l'Ouest, de solides pratiques de sécurité et une gestion responsable de l'environnement sont particulièrement importantes, car de nombreux systèmes de biomasse fonctionnent dans des communautés rurales disposant de capacités d'intervention d'urgence limitées. Une gestion SSTE efficace contribue à un développement de l'énergie de la biomasse durable, sûr et responsable.

Questions de révision

1. Quel est l'objectif de la gestion de la santé et de la sécurité au travail dans les systèmes énergétiques à biomasse ?
2. Identifiez cinq dangers courants présents dans les installations énergétiques à biomasse.
3. Expliquez les étapes de l'identification des dangers et de l'évaluation des risques.
4. Quelles sont les causes courantes d'incendie dans les systèmes énergétiques à biomasse ?
5. Pourquoi le monoxyde de carbone est-il considéré comme particulièrement dangereux ?
6. Énumérez les principaux types d'EPI utilisés dans les installations énergétiques à biomasse et indiquez leur fonction.
7. Quelles mesures peuvent être prises pour prévenir les fuites de gaz et les explosions ?
8. Pourquoi la conformité environnementale est-elle importante pour les projets énergétiques à biomasse ?
9. Comment les cendres de biomasse peuvent-elles être valorisées utilement dans les communautés d'Afrique de l'Ouest ?
10. Quel rôle la culture de sécurité joue-t-elle dans l'amélioration de la sécurité au travail et des performances environnementales ?