DESUWOW

Développement de compétences professionnelles pour l'utilisation des déchets solides urbains et des déchets organiques dans l'agriculture

2020-1-UK01-KA202-079054

IO1- Kit de Formation

Reconnaissance
Ce document a reçu un financement de la Commission européenne dans le cadre de la convention de subvention—2020-1-UK01-KA202-079054, projet de partenariat stratégique ERASMUS+ « Développement des compétences professionnelles pour l'utilisation des déchets solides urbains et des déchets organiques dans l'agriculture ».

Clause de non-responsabilité
"Le soutien de la Commission européenne à la production de cette publication ne constitue pas une approbation du contenu qui reflète uniquement les opinions des auteurs, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qui s'y trouvent".

Copyright notice
© 2020 - 2022 DESUWOW Consortium

Contenu

Méthodologie de formation **5**
Discussion 5
Discussion de groupe 5
Étude de cas 5
Programme de formation en ligne **6**
Le groupe cible : 6
Objectifs du programme de formation : 6
Objectifs du manuel de formation : 7
Objectifs du cursus de formation : 7
Le responsable de la formation : 7
Méthodes d'apprentissage : 8
Visuel : Apprendre par le visuel 8
Kinesthésique : Apprentissage par le mouvement 9
Auditif : Apprendre en écoutant 9
Structure et contenu de la formation : 9
Durée : 12
Brise-glace : 12
Présentation: 13
Sources d'énergie conventionnelles **14**
Sources d'énergie renouvelables 18
Impacts environnementaux des sources d'énergie renouvelables 19
Aperçu du règlement de l'UE sur l'énergie 20
Contexte 24
Introduction à la biomasse 25
Types et caractéristiques de la biomasse 25
Bois et sous-produits agricoles 25
Déchets 26
Gaz de décharge et biogaz 26
Alcool Carburant 27
Éthanol 27
Biodiesel 28
Utilisation de la biomasse comme ressource énergétique 29
Introduction à l'utilisation de la biomasse 32
Méthodes de prétraitement de la biomasse 32
Prétraitement d'extrusion 33
Prétraitement acide 33
Prétraitement alcalin 34
Prétraitement Organosolv 34
Prétraitement liquide ionique 35
Prétraitement par explosion à la vapeur 35

Prétraitement par explosion de fibres d'ammoniac (AFEX) 36
Prétraitement de l'eau chaude liquide (LHW) 36
Prétraitement biologique 37
Présentation des méthodes de conversion de la biomasse 38
Combustion directe 38
Gazéification 38
Pyrolyse 38
Digestion anaérobie 39
Liquéfaction 39
Liquéfaction indirecte 39
Liquéfaction directe 40
Hydrolyse - Fermentation Liquéfaction 40
Liquéfaction thermodynamique 40
Pyrolyse 40
Hydrothermique 40
Aperçu des types de bioénergie 42
Bioénergie 42
Biocarburant 42
Biogaz 43
Flux de production de la bioénergie 44
Défis de la production de bioénergie 44
Défis opérationnels : 45
Défis économiques : 45
Défis sociaux : 45
Défis politiques : 46
Politique et réglementation de l'UE en matière de bioénergie 46
Types de processus de conversion de la biomasse 49
Production de chaleur et d'électricité 49
Production de biocarburants 50
Biodiesel 50
Technologies de production de biodiesel 51
Utilisation directe (dilution) ou mélange 51
Pyrolyse 51
Micro-émulsification 52
Transestérification 52
Bioéthanol 56
Processus de production de bioéthanol 57
Processus de prétraitement 57
Hydrolyse 58
Processus de fermentation 59
Production de biogaz 60
Processus de prétraitement 61
Technologies de digestion anaérobie 62
Contexte 65
Aspect environnemental 65
Aspect économique 67
Aspect social 68

Méthodologie de formation

Tout au long du programme de formation, diverses méthodes de formation peuvent être utilisées. L'intention est de profiter de chaque occasion pour familiariser les participants avec différentes méthodes. La plupart des sessions sont basées sur les contributions des participants. Le rôle principal du ou des responsables de la formation est de susciter ces contributions par des questions tactiques et en animant des discussions.

Naturellement, un formateur expérimenté ne sera pas d'accord avec l'approche suggérée dans toutes les sessions - de nombreuses possibilités sont ouvertes à un participant créatif et il est important que le formateur choisisse les méthodes qu'il préfère et qu'il estime être les meilleures. De plus, de nombreuses questions et problèmes qui ne sont pas mentionnés dans le manuel nécessiteront probablement une attention pendant le programme de formation - il ne sera donc pas possible de suivre strictement les guides de session. Le manuel doit être considéré comme une source d'idées et d'informations plutôt qu'un plan défini.

Certaines méthodes de formation peuvent être mises en œuvre pendant le programme de formation :

Discussion

Cette méthode peut être utilisée pour permettre la participation et apporter des connaissances plus approfondies aux participants afin de mieux comprendre le contexte du sujet. Les participants peuvent poser leurs questions aux orateurs ou développer une petite et brève discussion pendant la session.

Un sujet approprié et des informations transversales pour la session de discussion sont importants pour maintenir l'intérêt des participants à apprendre et à écouter.

Discussion de groupe

Les méthodes de discussion de groupe peuvent aider à développer et à échanger des connaissances, des idées et aussi des perspectives entre les participants pour mieux comprendre le sujet. De plus, grâce à des petits groupes, les participants peuvent établir une communication plus efficace et augmenter leur confiance. Après chaque discussion de groupe, les participants doivent « rapporter » les résultats de leur discussion avec une présentation, un discours ou toute autre forme de rapport.

Sur certains points, la discussion de groupe peut échouer en raison de la participation de chaque participant dans un groupe car ils ne parviennent pas à discuter de manière efficace du sujet. Le responsable de la formation doit considérer cela comme un point à surveiller et interroger régulièrement chaque groupe sur les progrès de la discussion.

Étude de cas

La méthode d'étude de cas est un peu similaire à la discussion de groupe, mais l'étude de cas définit des sujets spécifiques qu'ils devront analyser, résoudre et évaluer les causes

pour obtenir un résultat qu'ils pourront présenter aux autres groupes ou participants. Cette étude de cas peut être créée en petit groupe ou individuellement, cela dépend du nombre de participants.

Avant de créer l'activité d'étude de cas, le responsable de la formation doit avoir les réponses à l'avance, car le résultat des groupes peut être erroné en raison du manque de leurs connaissances et informations sur certains sujets particuliers.

De nos jours, en raison des restrictions COVID-19, certains des programmes de formation doivent être mis en œuvre en ligne, mais en fonction de la progression de la maladie, le programme de formation peut également être mis en œuvre hors ligne.

Programme de formation en ligne

Le programme de formation en ligne est quelque chose qui est considérablement meilleur pour des raisons de sécurité à mettre en œuvre pendant cette situation COVID-19. Certains guides peuvent être utilisés pour cette méthode :

- Le programme de formation en ligne peut être mis en œuvre dans certaines applications de plateforme en ligne comme Zoom
- Pour faire une discussion de groupe, les organisateurs peuvent créer des salles de sous-commission qui séparent les participants en petits groupes
- Pendant la discussion de groupe dans la salle de sous-commission, les organisateurs peuvent mettre une minuterie qui peut être un rappel à tous les participants pour accélérer la discussion
- Parfois, des problèmes de connexion peuvent retarder le programme, les organisateurs doivent créer une estimation du temps libre entre les sessions
- Même pendant la session en ligne, il est important d'inclure les activités de brises glace et « d'energizer » dans le programme car cela permettra de rafraîchir les participants et peut "réveiller" les participants pendant le programme
- Un ou deux membres organisateurs devraient assumer la responsabilité de preneurs de notes. La connexion Internet des participants peut avoir quelques problèmes, les notes pendant les sessions de jour seront très utiles pour que les participants relisent et réévaluent.

Curriculum

Le groupe cible :

Le programme de formation décrit dans ce manuel est destiné aux personnes qui ont besoin d'une formation de base et d'une introduction sur l'utilisation de la biomasse et les énergies renouvelables pour leur futur travail ; qui peuvent travailler dans ces domaines.

Pour bénéficier de la formation, les participants doivent avoir un intérêt et/ou peuvent avoir une connaissance de base de la biomasse et de l'énergie, et d'autres sujets connexes dans

lesquels ils sont spécialisés (par exemple : durabilité, gestion de projet, agriculture, foresterie, communications, politique publique, etc).

Objectifs du programme de formation :

En réalité, DESUWOW a ses propres objectifs et c'est pour cette raison qu'il est important de mettre en œuvre le programme de formation. Les objectifs sont :

- Développement d'un programme et d'un programme de formation innovants et modernes
- Identifier et analyser les besoins et compétences ciblés
- Réalisation d'un ensemble d'essais pilotes ciblés et transfert de contenu d'apprentissage en ligne
- Développer de nouvelles compétences professionnelles liées à l'énergie de biomasse
- Promouvoir les exigences de l'UE en matière de SER
- Sensibilisation et transfert d'innovation pour la réutilisation des déchets dans l'UE
- Promouvoir l'innovation, l'entrepreneuriat et l'emploi dans les zones rurales - soutenir l'amélioration de la qualité de vie dans les zones rurales et réduire la migration
- Promouvoir la conscience environnementale

Outre les objectifs ci-dessus, l'autre objectif du programme de formation est de donner aux participants des connaissances de base sur la biomasse et les énergies renouvelables, son utilisation et ses principes.

En particulier, la formation devrait améliorer les capacités des participants :

- Penser de manière créative pour lutter contre les problèmes environnementaux liés aux énergies renouvelables et à la biomasse
- Organiser et contribuer efficacement au développement des connaissances et aux débats liés aux questions environnementales
- Mener des sessions de formation en petits groupes en tant que groupe de renforcement des capacités
- Évaluer les résultats et l'efficacité du programme de formation

Objectifs du Manuel de Formation :

Le manuel de formation vise à fournir des approches créatives sur la livraison des connaissances et à accroître la sensibilisation liée à la biomasse et aux énergies renouvelables aux participants intéressés ou travaillant professionnellement dans les domaines connexes. Le manuel de formation est destiné à être utilisé uniquement par le ou les animateurs de formation (les participants à la formation ne doivent pas avoir le manuel).

Le manuel décrit comment la formation peut être dispensée, session par session. Chaque session commence par des informations sur les objectifs, la durée et le matériel nécessaire. Des documents pour les participants sont inclus et peuvent être reproduits au besoin.

Objectifs du Cursus de Formation :

Le programme a été développé comme un outil de formation pour former des leaders qui transmettront leurs connaissances aux participants. Il utilise des techniques participatives basées sur une variété de cadres théoriques pour s'assurer que les participants ont confiance en leurs capacités et sont capables de mettre en œuvre les idées créatives acquises lors du programme de formation dans leurs futurs travaux et/ou innovations.

Le Responsable Formation :

La ou les personnes en charge de la formation doivent être formées, qualifiées et/ou expérimentées dans les domaines de l'environnement, de la durabilité, des activités de jeunesse et/ou de l'énergie. Un bon formateur doit être :

- **Un facilitateur** : un animateur de formation doit être capable de créer et d'établir une relation de collaboration et d'apprentissage avec les participants. Il/elle/ils peut créer des déclarations positives et des renforcements pour les participants, y compris donner des commentaires ou corriger les participants quand il le faut.

- **Inclusif** : l'animateur doit être en mesure de maintenir et de créer un environnement inclusif pour que tous les participants se sentent en sécurité et à l'aise pendant le programme, quelles que soient leurs races, leurs préférences sexuelles et leurs religions. Il/elle/ils peut développer la confiance et l'ouverture avec les participants, afin que les participants se sentent à l'aise pour parler honnêtement, et que toutes les opinions différentes soient respectées.

- **Inclure tous les participants dans la discussion :** Parfois, les participants ont des difficultés à exprimer leurs pensées et leurs opinions dans le forum, un animateur de formation doit être sensible à cette situation et trouver un moyen de s'assurer que tous les participants peuvent être impliqués dans la discussion. Interroger les participants individuellement peut les aider à s'exprimer et à inclure leur opinion dans la discussion - il est également important de poser quelques questions spécifiques, comprenant notamment leurs expériences sur les terrains, leur opinion sur la situation, etc.

- **Une bonne écoute** : l'animateur doit être plus flexible et écouter ce que les participants souhaitent pendant le programme, il peut y avoir plus de discussion si les participants en ont besoin, etc.

- **Honnête :** Un animateur de formation doit être honnête avec les participants au sujet de ses limites, y compris ses connaissances, ses expériences, etc. Au lieu de prétendre que l'animateur connaît toutes les réponses à la question, mieux vaut interroger un autre participant qui peut connaître la réponse.

- **Bonne gestion du temps** : l'animateur doit être capable de gérer le temps, savoir quand changer de sujet, quand mettre fin à une discussion, quand interrompre quelqu'un qui a parlé trop longtemps et quand laisser le silence continuer encore un peu.

Méthodes D'apprentissage :

L'animateur doit être conscient que les participants peuvent apprendre de différentes manières, comme :

- Visuel
- Mouvement (kinesthésique)
- Auditif (Audition)

Chaque participant apprend de différentes manières, y compris les récepteurs sensoriels dominants qui fonctionnent en eux - expliqué ci-dessus. L'animateur peut demander ou voter sur les méthodes d'apprentissage qui fonctionnent le plus efficacement avec les participants.

Visuel : Apprendre par la vue

Il existe deux types d'apprenants visuels, il peut être linguistique et spatial. Les apprenants visuo-linguistiques préfèrent apprendre à travers une langue écrite, comme la lecture et l'écriture. Par contre les apprenants visuo-spatiaux, eux préfèrent utiliser des types de langage plus graphiques comme des graphiques, des vidéos ou d'autres supports graphiques.

Pour soutenir les apprenants visuo-linguistiques, le programme devrait :

- Fournir des documents de présentation écrits
- Donner des devoirs écrits.

Pour soutenir les apprenants visuo-spatiaux, le programme devrait :

- Utiliser des graphiques, des illustrations, des tableaux, etc. pendant la présentation ou l'explication
- Fournir des informations écrites avec des graphiques ou des illustrations
- Fournir des documents pour lire et prendre des notes - y compris les grandes lignes du programme, les ordres du jour, etc.

Kinesthésique : Apprendre par le mouvement

Les participants avec des récepteurs sensoriels kinesthésiques dominants peuvent facilement perdre leur concentration lorsqu'il y a trop peu de mouvement pendant le programme. Les participants à kinesthésie dominante peuvent prendre des notes lorsque le responsable de la formation ou d'autres personnes donnent des explications et/ou une présentation.
Pour soutenir les apprenants kinesthésiques, le programme devrait :

- Fournir des activités pour garder les participants éveillés et en mouvement - comme des brise-glace, « des energizers », etc.
- Fournir des surligneurs, des marqueurs de couleur pour les garder concentrés car ils aiment utiliser les couleurs pendant leur processus d'apprentissage
- Laissez les participants transférer des informations ou des connaissances sur un autre support, comme un tableau.

Auditif : Apprendre en écoutant

Certains peuvent être plus auditifs. L'animateur doit soutenir et animer un programme plus centré sur la parole et la communication.

Pour soutenir les apprenants auditifs, le programme devrait :

- Fournir un résumé du programme ou de tout nouveau sujet de chaque session, sur les attentes, l'ordre du jour et les points clés
- Organiser des séances de « brainstorming », des discussions de groupe, etc.
- Développer une conversation entre les participants et l'animateur.
- Demander aux participants « d'exprimer » leurs questions au lieu de les écrire sur papier.

Structure et Contenu de la Formation:

La formation est divisée en six thèmes. Cela doit être considéré comme un « schéma modèle » ou une suggestion, qui doit être adaptée pour répondre aux besoins réels des participants. Des sujets et des sessions peuvent être ajoutés ou supprimés selon les besoins et on peut accorder plus ou moins de temps à n'importe quelle partie du programme de formation, le temps pour les exercices pratiques peut être augmenté, etc.

Voici le contenu de la formation :

A4/1 - Introduction - Sources d'énergie
A4/2 - Biomasse pour les ressources énergétiques
A4/3 - Modes d'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques
A4/4 - Production d'énergie à partir de la biomasse
A4/5 - Processus de conversion de la biomasse
A4/6 - Aspects de durabilité de la biomasse pour la production d'énergie

Vous trouverez ci-dessous le détail du contenu de la formation, y compris la durée, les mots-clés et les objectifs. Cela aidera les animateurs à mieux comprendre le contenu et à mieux le transmettre aux participants.

A4/1 - Introduction sources d'énergie	
Durée	2 heures (y compris les discussions de groupe et
Points clés	Énergie, énergie renouvelable, énergie fossile, électricité, énergie verte
Objectifs	● Comprendre la définition et pouvoir donner des explications sur l'énergie en général ● Comprendre la différenciation entre énergie fossile et énergie renouvelable ● Connaître l'importance des énergies renouvelables ● Connaître la réglementation énergétique dans l'Union européenne
Description	L'énergie est l'un des principaux composants qui est très essentiel pour soutenir les vies humaines. Le passage de l'énergie des ressources fossiles vers les énergies renouvelables est une nécessité. Cela permettra de mieux comprendre les énergies propres et renouvelables. Comme la ressource énergétique est très importante à connaître, il faut savoir aussi si elle est renouvelable ou non ? Produit-il des gaz à effet de serre élevés?

A4/2 - Biomasse pour les ressources énergétiques	
Durée	2 heures (y compris les discussions de groupe et questions-réponses)
Points clés	Biomasse,agriculture, déchets, durabilité
Objectifs	● Comprendre la définition et l'explication de la biomasse ● Connaître et savoir explorer les types de biomasse ● Comprendre les caractères de la biomasse ● Connaître les avantages de l'utilisation de la biomasse pour l'énergie
Description	La biomasse est l'une des sources qui peut être utilisée comme ressource d'énergie renouvelable. La biomasse peut provenir de produits forestiers et même de déchets solides municipaux qui seront plus durables et circulaires s'ils peuvent être utilisés pour autre chose comme de l'énergie plutôt que d'être stockée dans la décharge, ce qui peut créer plus de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

A4/3 - Modes d'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques	
Durée	2.5 heures(y compris les discussions de groupe et questions-réponses)
Points clés	Utilisation de la biomasse, énergie, développement durable
Objectifs	● Comprendre et examiner l'utilisation de la biomasse ● Connaître les méthodes concernant l'utilisation de la biomasse ● Examiner les avantages et désavantages de l'utilisation de la biomasse
Description	La biomasse est un produit assez polyvalent qui peut être utilisé pour différents types d'utilisations énergétiques comme le biogaz et le biocarburant. On peut également l'utiliser à des fins électriques ou comme carburants pour véhicules.

A4/4 - Production d'énergie à partir de la biomasse	
Durée	2 heures (y compris discussion de groupe et questions-réponses)
Mots clés	Production d'énergie, énergie renouvelable, développement durable, bioénergie, biocarburants
Objectifs	● Connaître les types d'énergie pouvant être produits à partir de la biomasse ● Comprendre le schéma de production de biomasse pour chaque utilisation d'énergie en général ● Connaître les enjeux de la production d'énergie à partir de la biomasse ● Comprendre la réglementation de l'Union européenne relative à la production d'énergie à partir de la biomasse
Description	La production d'énergie à partir de la biomasse est un moyen durable de produire de l'énergie renouvelable et neutre en émission de carbone. La production d'énergie peut prendre la forme de biogaz, de carburant liquide et

	d'électricité. Il existe différents types de production d'énergie à partir de la biomasse qui peuvent être mis en œuvre en fonction de la qualité et des types de biomasse elle-même et des défis des systèmes utilisés dans le processus.

A4/5 - Processus de conversion de la biomasse	
Durée	2.5heures (y compris les discussions de groupe et questions -réponses)
Mots clés	Production de biomasse, gazéification, combustion, rajoutez-en
Objectifs	● Connaître le processus de production de la biomasse à l'énergie ● Comprendre le schéma de production de biomasse ● Explorer comment réduire les émissions et/ou les déchets pendant la production ● Comprendre les caractères particuliers de chaque processus de production
Description	Il existe certains processus de conversion de la biomasse en énergie comme la combustion, la gazéification, etc. Les processus de conversion sont importants à comprendre car chaque processus a des mécanismes et des caractères différents. De plus, différents types d'utilisation de la biomasse utilisent des méthodes et des systèmes différents.

A4/6 - Aspects de durabilité de la biomasse pour la production d'énergie	
Durée	2.5heures (y compris discussions de groupe et questions-réponses)
Mots clés	Durabilité, production d'énergie, impact environnemental, impact économique, impact social
Objectifs	● Comprendre les perspectives de durabilité de l'utilisation de la biomasse pour la production d'énergie ● Comprendre les avantages et les impacts de la biomasse pour la conversion énergétique ● Explorer les défis à résoudre liés à la durabilité
Description	Fournir des informations sur l'importance des aspects bioénergétiques pour la durabilité, y compris les aspects économiques, environnementaux et sociaux.

Durée:

Mener le programme de formation tel que suggéré dans ce manuel de formation et utiliser tout le matériel fourni prendrait environ 20 heures (3 à 5 jours). Après les ajustements au plan et aux séances individuelles, le temps réel nécessaire peut être calculé.

Ice-Breakers:

Brises-glaces:

- **Tous mes voisins….**

Tous les participants doivent former un cercle. Une personne est au milieu et doit dire quelque chose sur elle-même avec comme début de phrase "Tous mes voisins". Par exemple, la personne dira "Tous mes voisins ont… un chat" - toutes les personnes du cercle qui ont un chat doivent changer de place avec une personne au milieu du cercle. La dernière personne qui n'a pas trouvé de place dans le cercle doit recommencer et dire "Tous mes voisins ont...". C'est un jeu dynamique qui aide les participants à mieux se connaître.

- **Deux vérités, un mensonge**

Divisez tout le monde en groupes de 3 à 5 personnes. Chaque personne du groupe doit dire aux autres deux vérités et un mensonge sur elle-même. Les autres membres du groupe doivent alors deviner quelle affirmation est fausse. Une fois terminé, les groupes peuvent choisir leur meilleur "menteur", qui peut ensuite essayer de tromper le reste des groupes. Cet exercice aide les gens à réaliser à quel point il est difficile de connaître une personne uniquement à partir de son apparence extérieure et de ce qu'elle dit.

- **Les sons des animaux**

Préparez des feuilles de papier et écrivez les noms des animaux (poulet, vache, mouton, chèvre,...) - il devrait toujours y avoir au moins 2 ou 3 feuilles avec le même animal dessus. Distribuez-le aux participants. Demandez aux participants de faire le bruit de leur animal, tout le monde en même temps. Les personnes qui font les mêmes sons doivent former un groupe. C'est un exercice amusant qui fait disparaître la timidité des participants. Il peut également être utilisé pour former des groupes pour d'autres activités de groupe.

- **Lecture d'esprit**

Demandez à chaque membre du groupe de :

-Choisir un nombre entre 1 et 10 et ne rien dire.
-Multiplier ce nombre par 9.
-Si ce nombre comporte 2 chiffres, additionnez-les.
-Soustraire 5 de ce nombre.
-Associez ce résultat à une lettre de l'alphabet (1 = A, 2 = B, 3 = C, etc.).
-Penser à un pays commençant par cette lettre.
-Pensez à un animal commençant par la deuxième lettre de ce pays.

Et puis demander "Combien de personnes pensaient à un éléphant gris au Danemark?"

- **Bandeau**

Les participants forment des groupes de deux, et l'une des paires a un bandeau sur les yeux. L'autre doit guider la personne aux yeux bandés dans la pièce et autour des obstacles dans la pièce, tels que des tables, des chaises, un tableau. Après 5 minutes, le couple change de rôle et le leader devient la personne aux yeux bandés.

Cet exercice aide les gens à se faire confiance, mais il aide également les participants à réaliser ce qu'est d'être dans une situation vulnérable.

1- L'énergie et Ses Ressources

Objectif : Apporter des informations et une meilleure compréhension aux participants sur l'énergie et ses ressources. Cette section se concentrera sur la durabilité et les énergies renouvelables.

— — — — —

Introduction

Avant de commencer le contenu sur l'énergie et ses ressources, les formateurs peuvent organiser un court brainstorming pour rappeler aux participants l'énergie elle-même.

Il Activité:
Énumérez les idées de quand et où nous utilisons l'énergie
Réponse : Nous utilisons de l'énergie tout le temps, même pendant nos activités quotidiennes comme marcher, courir, faire du vélo, parler, etc. Et nous utilisons également de l'énergie pour soutenir nos activités quotidiennes, comme les carburants pour nos véhicules, l'électricité pour les appareils électroménagers et les lumières, etc.

L'énergie est un élément important et vital pour de nombreux secteurs, en particulier pour l'économie. La disponibilité à long terme des ressources énergétiques est importante pour assurer l'équilibre entre les compromis économiques et les aspects environnementaux, et cela peut conduire à certains problèmes qui ont des implications majeures pour les futures communautés, l'économie et la durabilité, telles que les demandes d'énergie propre, la réduction des gaz les émissions, la maîtrise des gaz à effet de serre, mais aussi les performances économiques en matière de conversion et de transitions énergétiques. Les sources renouvelables et durables nécessaires pour fournir une énergie verte produisant peu de carbone à zéro émission. Cependant, le renforcement des capacités et la sensibilisation des populations aux énergies renouvelables et à la consommation responsable est une nécessité.
Il existe différents types de formes d'énergie :

- Lumière (énergie rayonnante)
- Chaleur (énergie thermique)
- Mécanique
- Chimique
- Électrique
- Nucléaire

En fonction des sources d'énergie, il existe principalement 2 types :

- Sources conventionnelles ou référées à des sources non renouvelables, comme le charbon, le gaz naturel, le pétrole, le nucléaire
- Sources renouvelables, comme la biomasse/les déchets, le vent, l'hydroélectricité, le solaire, la géothermie

D'après le rapport de l'AIE sur les statistiques clés de l'énergie mondiale 2020, la consommation d'énergie finale totale (TFC) mondiale en 2018 est de 40,8 % du pétrole, 10 % du charbon, 10,2 % des biocarburants et des déchets, 19,3 % de l'électricité, 16,2 % de gas naturelle et 3,5 % d'autres sources. Comme le montrent les données, la majorité de la consommation d'énergie finale provient toujours de sources de combustibles fossiles qui ne sont ni renouvelables ni durables. À l'échelle mondiale, l'utilisation de la biomasse pour l'énergie est encore assez faible, mais la biomasse est l'une des sources renouvelables pour l'énergie propre future.

D'après les données du bilan énergétique publiées via Eurostat par l'Union européenne pour les périodes 2019-2020, le gaz forme la majorité des sources d'énergie passant par les ménages, tandis que les énergies renouvelables augmentent chaque année. Comme le montre la figure 1.1 ci-dessous, le pétrole et les sources pétrolières diminuent - il n'atteint pas encore zéro, mais il progresse chaque année. La figure ci-dessous peut être incluse dans la diapositive de présentation à montrer aux participants, pour leur fournir des informations sur l'énergie - les combustibles liés à la consommation des ménages.

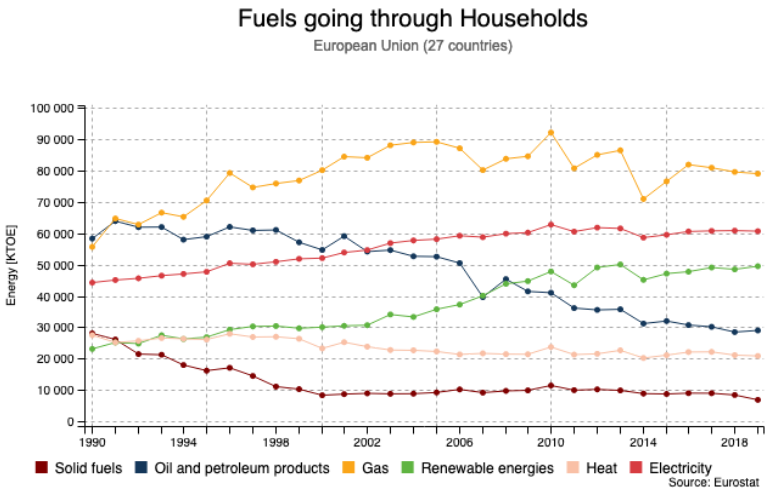


Figure 1.1. Fuels going through household (Eurostat, 2019)
Graphique 1.1. Combustibles utilisé par les ménages (Eurostat, 2019)

Sources D'énergie Conventionnelles

Les sources d'énergie conventionnelle sont généralement qualifiées de sources non renouvelables et non durables car elles disposent de ressources limitées qui peuvent s'épuiser. Ce type d'énergie créera des dommages pour l'environnement, la santé humaine, des risques pour la sécurité et des coûts de stockage à long terme.
Il existe différentes sources d'énergie conventionnelles :

- Sources de production minière, comme le charbon, le pétrole, le gaz naturel. Cette source d'énergie conventionnelle est généralement appelée combustibles fossiles qui sont en fait classés comme énergie non renouvelable car il faut de nombreuses années pour reproduire naturellement cette source. Les combustibles fossiles sont des ressources énergétiques dérivées de restes altérés d'organismes vivants enfouis par les sédiments et exposés à des pressions et des températures élevées pendant des millions d'années (Gerali, 2020).
- Source nucléaire - cette source d'énergie provient de la séparation des atomes d'uranium et de plutonium. Pour produire l'énergie nucléaire, il faut une exploitation minière qui peut faire référence à une activité non renouvelable, mais la production d'énergie nucléaire peut être qualifiée d'énergie propre et durable, car il s'agit d'un type d'énergie à zéro émission, elle produit un minimum de déchets et d'énergie dense.

Il A savoir sur le nucléaire :
1 pastille d'uranium (~ 1 pouce de hauteur) = 17 000 pieds cubes de gaz naturel = 120 gallons de pétrole = 1 tonne de charbon (US Department of Energy)

Impacts Environnementaux des Sources D'énergie Conventionnelles

Comme les sources d'énergie conventionnelle sont non renouvelables et proviennent des activités minières, il y a des impacts environnementaux - en particulier des industries de production de combustibles fossiles. Les impacts environnementaux seront séparés en trois aspects différents - l'air, l'eau et le sol. Les industries contiennent les industries du charbon et des mines et les raffineries de pétrole.

Tableau 1. Impacts environnementaux des sources d'énergie fossiles

Industrie	Air	Eau	Sol
Production charbonnière et minière	Pollution par la poussière - Cette pollution peut se produire lors de l'extraction, du transport et du stockage des produits miniers Il existe un risque d'explosions et d'incendies pendant le processus d'extraction, ce qui peut entraîner une pollution de l'air Émission de dioxyde de carbone et de dioxyde de soufre dans l'atmosphère provenant du processus de combustion qui agissent comme des gaz à effet de serre	Contamination de l'eau de mine très acide à la surface et à l'eau souterraine qui peut avoir des impacts négatifs sur l'écosystème aquatique et ainsi que sur les communautés qui utilisent l'eau directement	Il y aura une perturbation de la surface du sol ainsi qu'une érosion et un envasement des rivières Dégradation des terres en raison de grands terrils
Traitement du pétrole/raffinerie	Les émissions de dioxyde de soufre (SO2), d'oxydes d'azote (NOx), de sulfure d'hydrogène (H2S), d'hydrocarbures (OH), de monoxyde de carbone (CO), de dioxyde de carbone (CO2), de particules, d'autres composés organiques toxiques et de mauvaises	Utilisation de grandes quantités d'eau pour le refroidissement - si vous utilisez des ressources en eau douce, cela peut entraîner une pénurie d'eau dans des zones particulières Émissions de hydrocarbures,	Boues de déchets dangereux provenant du traitement des effluents tels que les goudrons et les catalyseurs usés qui peuvent polluer le sol

	odeurs pouvant causer la pollution de l'air et aura également des effets négatifs sur la santé humaine Il existe des risques d'explosions et d'incendies provenant de la production	caustiques, pétrole, chrome et effluents de gaz Caoutchoucs aux ressources en eau de surface et souterraines	

Avantages des Sources D'énergie Conventionnelles

Les sources d'énergie conventionnelle sont beaucoup utilisées en raison des avantages qu'elles procurent. Voici quelques avantages des sources d'énergie conventionnelles.

1. Technologiquement efficace

Les sources d'énergie conventionnelles sont très efficaces et, par conséquent, elles sont utilisées à la fois à des fins résidentielles et commerciales. Considérez les sources d'énergie conventionnelles telles que le charbon, le gaz naturel et le pétrole, et comparez-les aux sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie éolienne ou solaire. Les sources d'énergie conventionnelles fournissent plus d'énergie en raison de systèmes et de technologies bien développés. En conséquence, ils restent la principale source de production d'électricité à l'échelle mondiale.

2. Source bien connue

Contrairement aux nouvelles technologies de source d'énergie renouvelable, l'information de la technologie de production d'énergie conventionnelle est bien distribuée et annoncée aux communautés - elle nous est plus familière dans la vie quotidienne. Considérez le bois de chauffage, qui provient à la fois des forêts naturelles et des plantations. Les habitants des zones rurales les utilisent quotidiennement à diverses fins, comme la cuisine. En raison de sa facilité d'accès, c'est une source d'énergie bien connue. La majorité des nations en dépendent pour répondre à leurs besoins en électricité.

3. La disponibilité des sources

L'abondance des sources d'énergie conventionnelles est largement disponible. En conséquence, il est facilement disponible toute l'année. Lorsqu'il s'agit d'énergies renouvelables, les ressources sont dépendantes. Considérez l'énergie solaire, qui dépend du soleil, et l'énergie éolienne, qui dépend du vent. En ce qui concerne les sources d'énergie conventionnelles, il n'y a pas une telle dépendance. Vous pouvez les utiliser à tout moment de l'année. De plus, ils sont faciles à transporter, et leur présence en grand nombre simplifie les choses.

4. Systématiquement rentable

Nous savons tous à quel point les sources d'énergie conventionnelles sont abondantes et existent depuis longtemps, il n'est donc pas surprenant qu'elles soient très rentables. De nombreuses réserves d'énergie conventionnelles ont été découvertes au cours des siècles, les rendant facilement disponibles pour la consommation. Les fournisseurs de sources d'énergie conventionnelles disposent d'un stock abondant leur permettant de répondre aux demandes énergétiques des consommateurs.

5. Pratique

Les sources d'énergie conventionnelles peuvent être trouvées partout dans le monde, elles peuvent être facilement transportées à travers les frontières et sont assez simples à utiliser. Certaines personnes ont du mal à faire fonctionner de nouvelles machines ou d'autres sources d'énergie, alors elles s'en tiennent aux sources d'énergie conventionnelles. En plus de leur utilité, ces sources sont relativement simples à stocker, ce qui en fait un choix populaire auprès du grand public. Les personnes qui vivent dans des zones où il est difficile d'accéder à des sources d'énergie renouvelables peuvent facilement utiliser des sources d'énergie conventionnelles.

Inconvénients des Sources D'énergie Conventionnelles

En plus des avantages, nous devons faire face aux conséquences qui accompagnent les sources d'énergie conventionnelles. Voici quelques inconvénients des sources d'énergie conventionnelles.

1. Dépendance

Comme nous sommes encore assez dépendants des ressources énergétiques conventionnelles, et par conséquent, la transition vers des sources d'énergie renouvelables devient plus difficile. Or, les ressources énergétiques conventionnelles mettent des siècles à se constituer, et notre taux de consommation s'est accru à mesure que la population et les besoins (ménagers et industriels) augmente également. S'il n'y a pas de mesures nécessaires maintenant vers les énergies renouvelables, nous manquerons de sources d'énergie conventionnelles, et leur taux de formation plus lent aggraverait les choses (en particulier les activités domestiques et industrielles).

2. Problèmes de santé

Lorsque des sources d'énergie conventionnelles sont utilisées, elles émettent des gaz nocifs pour la santé humaine. Ces gaz étaient autrefois appelés émissions de gaz à effet de serre. Les problèmes respiratoires sont le type de problème le plus fréquemment observé lors de l'utilisation de sources d'énergie conventionnelles. La combustion de sources d'énergie conventionnelles pollue l'air, l'eau et la terre. Les personnes qui travaillent dans l'industrie minière font face à des dangers plus importants, car elles sont exposées au risque d'accidents du travail.

1. Produire des sous-produits dangereux

Il existe un certain nombre de sous-produits de la production d'énergie conventionnelle qui causent des problèmes environnementaux et de santé humaine. Par exemple, lorsque le charbon est brûlé, des cendres volantes sont produites comme sous-produit. Il met en

danger les travailleurs des centrales au charbon ainsi que les résidents qui vivent à proximité des sites d'élimination des cendres de charbon et contribue également à la pollution de l'air. De plus, lorsque le bois de chauffage est brûlé de manière incontrôlable et sans systèmes efficaces, de la fumée est produite qui contient du dioxyde de carbone, de l'eau et d'autres produits chimiques nocifs. Le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et les autres sous-produits des sources d'énergie conventionnelles sont dangereux pour la santé humaine.

2. Sources non renouvelables

Nous avons peut-être rencontré des campagnes encourageant les gens à passer de l'énergie conventionnelle aux sources d'énergie renouvelables. Des initiatives similaires visent à sensibiliser le public à l'épuisement des sources d'énergie conventionnelles. Ces sources d'énergie s'amenuisent progressivement et les générations futures en subiront les conséquences. Par conséquent, il est essentiel de l'utiliser à bon escient, en gardant à l'esprit qu'il faut des milliards d'années pour se former.

3. Nuisance à l'environnement

Comme mentionné ci-dessus, les sources d'énergie conventionnelles libèrent des sous-produits nocifs dans l'environnement, ce qui met en danger la vie de millions de personnes. Les conséquences d'accidents tels que le déversement du contenu des pétroliers et des cargos dans les plans d'eau sont particulièrement meurtrières. Il met en danger la santé des animaux. De plus, les humains qui entrent en contact avec elle sont blessés. Les oxydes libérés par la combustion des sources d'énergie conventionnelles convertissent la pluie en pluie acide, causant des dommages à la fois à la faune et aux humains. D'autres effets négatifs comprennent les émissions de gaz à effet de serre, la pollution, la production de déchets et l'appauvrissement de la couche d'ozone.

II Activité:

Créez un groupe de 4-5 personnes pour en savoir plus sur les secteurs minier et pétrolier en fonction des pays et des impacts sur l'environnement et le social, et pourquoi le passage des combustibles fossiles aux énergies renouvelables est important - laissez-les le présenter aux autres - Cela peut être une présentation, une pièce de théâtre ou toute autre forme d'explication créative.

Sources D'énergie Renouvelables

L'énergie renouvelable est l'une des sources d'énergie produites par les sources et processus naturels et renouvelables qui peuvent être renouvelés naturellement et constamment. Les sources d'énergie renouvelables peuvent inclure la lumière du soleil, le vent, l'eau, les marées et la biomasse. L'énergie renouvelable est principalement convertie en plusieurs produits tels que la chaleur, l'électricité et différents types de carburant utilisé pour le transport.

L'énergie renouvelable est l'une des sources potentielles et sera une source d'énergie importante pour l'avenir afin de produire une énergie à faible émission de carbone qui soit réellement durable sur le plan environnemental. Avec le développement rapide, certaines technologies sont utilisées pour la conversion des énergies renouvelables comme l'hydroélectricité, les éoliennes, le photovoltaïque, la biomasse et la combustion des

déchets. Les principales sources d'énergie renouvelables avec leur utilisation sous différentes formes sont écrites ci-dessous :

Tableau 2. Les ressources énergétiques renouvelables et les options de conversion

Ressource d'énergie	**Option de conversion et d'utilisation de l'énergie**
Hydroélectricité	Production d'électricité
Biomasse	Production de chaleur et d'électricité, pyrolyse, gazéification, digestion
Géothermie	Chauffage urbain, production d'électricité, hydrothermie, roche chaude
Solaire	Système solaire domestique, séchoirs solaires, cuiseurs solaires
Solaire directe	Production d'énergie photovoltaïque, thermique, chauffe-eau
Vent	Production d'électricité, éolienne, moulin à vent
Vague	Différents modèles
Tidal /marée	Barrage, courant de marée

Selon le rapport 2021 de l'État de l'Union de l'énergie, les énergies renouvelables ont dépassé les combustibles fossiles en tant que source d'énergie de l'UE en 2020. Les énergies renouvelables ont fourni 38 % de la source d'électricité de l'UE, les combustibles fossiles 37 % et le nucléaire 25 %. Cependant, certains États membres de l'Union européenne ont la possibilité de ne pas répondre aux attentes d'utilisation d'énergies renouvelables d'au moins 22 % de l'électricité totale.

Les problèmes environnementaux, le changement climatique et la sécurité énergétique sont les facteurs qui affectent la demande d'énergie renouvelable à l'échelle mondiale. La prise de conscience de la combustion des combustibles fossiles et de ses impacts sur l'environnement et le changement climatique augmente d'année en année. Le développement d'un secteur des énergies renouvelables présente certains avantages :

- Créer des opportunités locales de création d'emplois et de revenus
- Utiliser les ressources naturelles locales telles que le vent, le soleil, l'eau, la biomasse et la géothermie
- Diminuer le pourcentage des besoins en énergies fossiles et ses importations
- En tant qu'énergie utilisée localement, elle créera un coût énergétique stable pour les régions car elle ne dépendra pas des coûts énergétiques mondiaux

II Activité:

Pour rappeler les ressources énergétiques expliquées précédemment, les animateurs peuvent poser aux participants une question sur d'autres formes d'énergie et des exemples de celles-ci.

Question : Existe-t-il d'autres formes d'énergie ?

Réponse : Oui, il existe 7 formes d'énergie :

- Énergie mécanique (énergie cinétique), exemple : éolienne, centrale hydroélectrique, cyclisme, etc. ; sa contrepartie est l'énergie stockée (énergie potentielle), exemple : eau dans le canal, roue hydraulique, énergie hydroélectrique
- Énergie rayonnante ou lumière du soleil ou solaire
- Énergie sonore
- Énergie chimique
- Énergie thermique
- Énergie électrique
- Énergie nucléaire

Impacts Environnementaux des Sources D'énergie Renouvelables

Les projets d'énergie renouvelable ont également contribué à améliorer les impacts environnementaux tels que la réduction du dioxyde de carbone, éveillant les communautés au changement climatique. L'étude a observé de très faibles impacts sur les personnes vivant dans une zone particulière, le tourisme, le coût de l'approvisionnement énergétique et les impacts sur l'éducation. Des impacts significatifs ont été observés dans l'amélioration du niveau de vie, la création de liens sociaux et le développement communautaire.Ils ont également observé que les projets d'énergie renouvelable sont complexes à installer et sont sensibles à l'environnement local et aux conditions. Leur prévision, leur exécution et leur planification nécessitent plus de considération et de connaissances par rapport à d'autres projets. Les deux principaux aspects de l'environnement sont la pollution de l'air et de l'eau, normalement créée par l'eau rejetée par les maisons, les industries et la pluie polluée, et le rejet d'huiles et de liquides usagés contenant des produits chimiques toxiques et des métaux lourds comme le mercure, le plomb, etc. Parallèlement à la pollution de l'eau, les ressources naturelles peuvent être maintenues et l'effet de serre et la pollution de l'air peuvent être atténués par l'utilisation appropriée des sources d'énergie renouvelables, comme indiqué dans le tableau 3.

Tableau 3. Résumé des effets environnementaux

Catégorie d'impact	Relation avec les sources conventionnelles	Commentaires
Exposition à des produits chimiques nocifs		
Emission de Hg, Cd et autres éléments toxiques	Réduction des émissions	Émission réduite de quelques centaines de fois.
Émissions de particules	Réduction des émissions	Beaucoup moins d'émissions
Expositions aux gaz nocifs		
Emission de CO_2	Réduction des émissions	Grand avantage
Pluies acides,SO, NOx	Réduction des émissions	Réduit plus de 25 fois

Autres gaz à effets de serre	Réduction des gaz à effet de serre	Grand avantage-réchauffement global
Autres		
Jaillit de combustions fossiles	Élimination totale ou partielle des marées noires	Déversement de combustible lourd et autres produits pétroliers
Qualité de l'eau	Amélioration de la qualité de l'eau	Réduction de la pollution d'eau
Érosion du sol	Moins de perte de la surface de sol	Dans la plupart des cas il n'y a pas de pénétration profonde dans la terre

II Fait : selon le rapport 2021 de l'état de l'union de l'énergie, les énergies renouvelables ont dépassé les combustibles fossiles en tant que source d'énergie de l'UE en 2020. Les énergies renouvelables ont fourni 38 % de la source d'électricité de l'UE, les combustibles fossiles 37 % et le nucléaire 25 %. Cependant, certains États membres de l'Union européenne ont la possibilité de ne pas répondre aux attentes d'utilisation d'énergies renouvelables d'au moins 22 % de l'électricité totale.

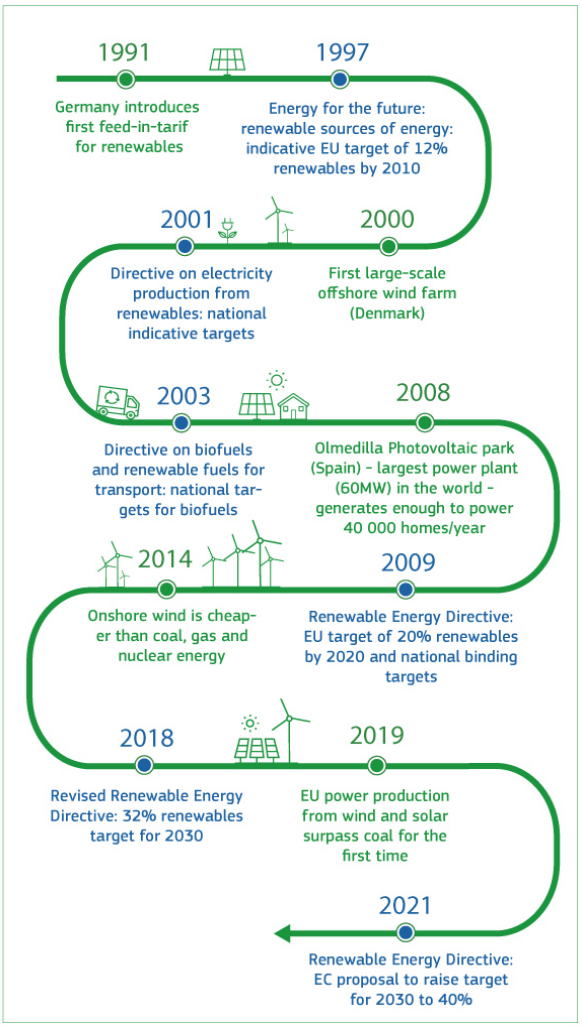
|| Activité:
Créez un sondage en ligne qui peut être utilisé par les participants pour répondre à la question ci-dessous :
"Combien de pourcentage pensez-vous des sources d'énergie renouvelables utilisées comme source d'énergie de l'UE en 2020 ?"
Réponse : En 2020, 38 % d'énergie renouvelable, 37 % de combustibles fossiles et 25 % de nucléaire (rapport de l'état de l'union de l'énergie 2021).

Aperçu du règlement de l'UE sur l'énergie

La politique énergétique de l'UE accorde une grande priorité à l'utilisation croissante des énergies renouvelables, en raison de l'importante contribution qu'elles peuvent apporter à l'amélioration de la sécurité et de la diversification de l'approvisionnement énergétique, à la protection de l'environnement et à la cohésion sociale et économique.

En 1997, l'UE a convenu d'une stratégie et d'un objectif visant à doubler la part des énergies renouvelables dans la consommation intérieure brute d'énergie, de 6 % à 12 % d'ici 2010. En 2001, les États membres ont convenu d'objectifs nationaux (non contraignants) pour la production d'électricité à partir de sources renouvelables. , de faire passer la proportion globale d'électricité produite à partir de sources renouvelables dans l'UE de 13,9 % en 1997 (3,2 % hors grande hydraulique) à 22,1 % d'ici 2010 (12,5 % hors grande hydraulique).

Vous trouverez ci-dessous la chronologie des énergies renouvelables dans l'Union européenne (UE, 2021):



La Commission européenne a proposé une révision de la directive en juillet 2021, dans le cadre du paquet à livrer sur le Green Deal européen. Le Green Deal européen (EGD) fixe l'objectif de devenir climatiquement neutre en 2050 d'une manière qui contribue à l'économie, à la croissance et à l'emploi européens. Cet objectif nécessite une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 55 % d'ici 2030, comme l'a confirmé le Conseil européen de décembre 2020. La Commission propose donc de restaurer les forêts, les sols, les zones humides et les tourbières d'Europe. Cela augmentera l'absorption de CO2 et rendra notre environnement plus résistant au changement climatique

Ce programme Green Deal de la Commission européenne soutient la gestion de la circularité et de la durabilité qui :

1. Améliore les conditions de vie
2. Maintient une qualité de vie
3. Crée Des emplois de qualité
4. Fournit des sources d'énergie durables

II Activité:

Développez une discussion d'environ 10 à 15 minutes avant d'expliquer davantage le contenu avec les participants sur la manière de promouvoir efficacement les énergies

renouvelables et d'être en mesure de sensibiliser la communauté aux énergies renouvelables - en particulier l'électricité.

References

CAN Europe, 2021. The Revision of the Renewable Energy Directive: An Opportunity to Boost Ambition and Accelerate Deployment of Renewable Energy. https://caneurope.org/content/uploads/2021/05/CAN_briefing_REDrevision_210507.pdf

Ciucci, Matteo., 2021. Renewable Energy. https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/70/renewable-energy

Cruciani, Michel., 2017. The Landscape of Renewable Energies in 2030. https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/the_landscape_of_renewable_energies_in_europe_in_2030.pdf

ECOTEC, 2002. Renewable Energy Sector in the EU: its Employment and Export Potential. https://ec.europa.eu/environment/enveco/eco_industry/pdf/ecotec_renewable_energy.pdf

Ellaban,Omar., Abu-Rub, Haitham., & Blaabjerg, Frede., 2014. Renewable Energy Resources: Current Status, Future Prospects and Their Enabling Technology. https://oglethorpe.edu/wp-content/uploads/2020/01/renewable-sustainable-reviews.pdf

European Commission, 2016. Internal Market in Electricity. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:en0016

European Commission, 2021. 'Fit for 55': Delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to Climate Neutrality. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN

European Commission, 2021. Delivering European Green Deal. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en

European Commission, 2021. European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541

European Commission, 2021. Renewable Energy Directive. https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en#2021-revision-of-the-directive-

European Union, 2018. Regulation (EU) 2018/842. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0842&from=EN

EUROSTAT, 2022. Renewable Energy Statistics. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics

IPCC, 2018. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SRREN_Full_Report-1.pdf

IRENA, 2018. Renewable Energy Prospects for the European Union. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap-EU_2018_summary.pdf?la=en&hash=818E3BDBFC16B90E1D0317C5AA5B07C8ED27F9EF

Nitsch, Joachim., Krewitt, Wolfram., & Langniss, Ole., 2003. Renewable Energy in Europe. https://www.dlr.de/tt/en/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Europe.pdf

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy USA, 2014. Renewable Energy Activities: Choices for Tomorrow. https://www.energy.gov/eere/education/downloads/renewable-energy-activities-choices-tomorrow

RES Legal, 2018. Legal Sources on Renewable Energy. http://www.res-legal.eu/

Sahana, 2021. Advantages and Disadvantages of Conventional Sources of Energy. https://www.techquintal.com/advantages-and-disadvantages-of-conventional-sources-of-energy/

European Commission, 2021. Renewable Energy Directive - Target and Rules. https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/directive-targets-and-rules_en

2 - Biomasse pour les Ressources Energétiques

Objectifs : Cette section fournira des explications sur la biomasse et son potentiel de conversion en l'une des ressources énergétiques renouvelables. Cette section donnera quelques informations sur les caractéristiques et les types de biomasse pour développer une meilleure compréhension pour les participants.

— — — — —

Arrière plan

La Commission européenne a préparé le paquet Fit-for-55, qui est une série de propositions législatives visant à atteindre l'objectif climatique accru de l'Union européenne de 55 % de réduction des émissions d'ici 2030. Le paquet comprend un objectif plus élevé en matière d'énergies renouvelables et de nouvelles règles pour soutenir l'expansion des énergies renouvelables. L'Union européenne (UE) a fixé des objectifs ambitieux en matière de climat et d'énergie pour 2030, y compris un objectif à l'échelle de l'UE pour les énergies renouvelables de 32 % à 40 % de la consommation finale d'énergie.

En 2020, la part des énergies renouvelables dans l'Union européenne est de 21,3 % (Agence européenne pour l'environnement, 2021). Ce chiffre signifie que l'UE a atteint l'objectif de 20 % de part d'énergie renouvelable pour 2020 selon l'estimation de l'Agence européenne pour l'environnement. L'amélioration et les progrès constants de la production d'énergie renouvelable sont une nécessité car le nouvel objectif de consommation finale d'énergie pour les énergies renouvelables est de 40 % en 2030. Selon la fiche d'information sur l'énergie de l'UE, 75 % des émissions totales de gaz à effet de serre dans l'UE proviennent des secteurs concernant l'énergie, donc avec l'augmentation de la production d'énergie renouvelable réduira les émissions de GES elle-même.

La biomasse est l'une des ressources énergétiques renouvelables qui peuvent soutenir le Green Deal et l'objectif climatique de l'UE dans le secteur de l'énergie. Selon Scarlat et. Al. (2019), la biomasse pour l'énergie (bioénergie) reste la principale source d'énergie

renouvelable dans l'UE, avec une part de près de 60 % et le secteur du chauffage et du refroidissement est le plus grand utilisateur final, utilisant environ 75 % de toute la bioénergie . L'approvisionnement primaire de la production de bioénergie provient de l'approvisionnement direct en bois comme la foresterie et les terres boisées. Cependant, en 2021, la Commission européenne a créé une révision de la directive sur les énergies renouvelables qui comprend également la réglementation de la production durable de bioénergie.

Les critères renforcés pour la bioénergie durable conformément à la stratégie de l'UE en matière de biodiversité pour 2030 sont les suivants :

- Interdire l'approvisionnement en biomasse pour la production d'énergie à partir des forêts primaires, des tourbières et des zones humides
- Pas de soutien à la biomasse forestière dans les installations exclusivement électriques à partir de 2026
- Interdire les incitations financières nationales pour l'utilisation de grumes de sciage ou de placage, de souches et de racines pour la production d'énergie
- Exiger que toutes les installations de chaleur et d'électricité à base de biomasse respectent des seuils minimaux d'économie de gaz à effet de serre
- Appliquer les critères de durabilité de l'UE aux petites installations de chaleur et d'électricité (égales ou supérieures à 5 MW)

II Activité:
Créer une courte discussion (10 minutes) sur l'énergie de la biodiversité de l'UE afin de renforcer une production de bioénergie plus durable. Est-il important de préserver la biodiversité dans le cadre de la production d'énergie ? La prise en compte de la biodiversité sera-t-elle un « fardeau » pour la production de bioénergie ?
Réponse : Référez-vous à la stratégie de l'UE en matière de biodiversité, qui est importante pour préserver la biodiversité. Il existe également des sources alternatives qui peuvent soutenir la production de bioénergie en dehors de l'approvisionnement direct en bois provenant de la forêt primaire, des terres boisées et des tourbières ; elles seront expliquées dans le chapitre suivant.

Introduction à la Biomasse

La biomasse est une ressource diversifiée qui comprend outre la biomasse et les résidus de l'industrie du travail du bois, les cultures énergétiques, les résidus agricoles et les effluents agro-alimentaires, le fumier ainsi que la fraction organique des déchets solides municipaux, les ordures ménagères triées et les boues d'épuration.
La biomasse est organique, ce qui signifie qu'elle est constituée de matériaux provenant d'organismes vivants, tels que les plantes et les animaux. La biomasse comprend un large éventail de matières premières, telles que la biomasse issue de l'agriculture (résidus de récolte, bagasse, déchets animaux, cultures énergétiques, etc.), de la foresterie (résidus d'exploitation forestière, sous-produits de la transformation du bois, liqueur noire de l'industrie de la pâte à papier, bois de chauffage , etc.), et d'autres types de déchets biologiques (déchets alimentaires, déchets de l'industrie alimentaire, fraction organique des déchets solides municipaux, etc.)

La biomasse pour l'énergie doit être produite, transformée et utilisée de manière durable et efficace afin d'optimiser les économies de gaz à effet de serre et de maintenir les services écosystémiques, le tout sans provoquer de déforestation ou de dégradation des habitats ou de perte de biodiversité. La performance environnementale d'une chaîne de valeur bioénergétique dépend fortement des différentes étapes de la filière, de la culture et de la récolte des matières premières au traitement, à la conversion et à la distribution des vecteurs bioénergétiques, jusqu'à l'utilisation finale de l'énergie. Par conséquent, la durabilité doit être évaluée au cas par cas.

Types et Caractéristiques de la Biomasse

Les ressources de biomasse qui sont disponibles sur une base renouvelable et qui sont utilisées soit directement comme combustible, soit converties en une autre forme ou un autre produit énergétique sont communément appelées « matières premières ». Les matières premières de la biomasse comprennent les cultures énergétiques dédiées, les résidus de cultures agricoles, les résidus forestiers, les algues, les résidus de transformation du bois, les déchets municipaux et les déchets humides (déchets de cultures, résidus forestiers, herbes cultivées à cet effet, cultures énergétiques ligneuses, algues, déchets industriels, solides municipaux triés). (MSW), déchets de bois urbains et déchets alimentaires).

1. Bois et sous-produits agricoles

L'approvisionnement en biomasse domestique à des fins énergétiques du secteur forestier s'élevait à plus de 60 % en 2016, dont 32,5 % étaient constitués par l'approvisionnement direct en biomasse ligneuse des forêts et autres terres boisées, et 28,2 % par l'approvisionnement indirect en bois. Les cultures agricoles et les sous-produits agricoles représentaient 27 % de l'approvisionnement domestique en biomasse, les déchets (municipaux, industriels, etc.) 12 % (Centre de connaissances de la Commission européenne sur la bioéconomie, 2019). La biomasse agricole est la matière dérivée d'organismes biologiques tels que le maïs, la paille, les plantes, les déchets animaux, les abats et les graminées vivaces. Comme les autres types de biomasse, la biomasse agricole peut être transformée en énergie. Cela garantit l'utilisation la plus optimale de la biomasse car les déchets et la pollution sont réduits. De plus, l'utilisation des résidus et sous-produits agricoles peut redynamiser les économies rurales et garantir leur indépendance énergétique.

Les principales ressources de biomasse de bois et de sous-produits agricoles sont les suivantes :

- les résidus de bois de chauffage et de biomasse ligneuse provenant des opérations d'exploitation forestière (peuvent se produire sous forme d'éclaircie dans les jeunes peuplements ou de coupe dans les vieux peuplements pour le bois);
- résidus de transformation du bois provenant des industries du bois et de l'ameublement (sciage, contreplaqué, panneau de bois, élément de construction, ameublement, revêtement de sol, etc.) ;
- cultures agricoles et résidus de l'agro-industrie;

- déchets de bois urbains (matériaux ligneux collectés après des projets de construction ou de démolition, palettes de bois rejetées et tout autre déchet de construction et de démolition à base de bois).

Cependant, sur la base de la stratégie de l'UE pour la biodiversité à l'horizon 2030, l'approvisionnement en biomasse pour la production d'énergie directement à partir des forêts primaires - comme l'approvisionnement direct en bois, ainsi que la biomasse provenant des tourbières et des zones humides sont interdits.

2. Déchets

Les contraintes de durabilité pour l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques peuvent réduire la disponibilité de la biomasse pour la production d'énergie. Dans ce contexte, l'utilisation de déchets ou de flux résiduels de matières biologiques pourrait apporter une contribution significative à la production de bioénergie et, en même temps, minimiser les impacts associés à l'enfouissement. La valorisation énergétique des déchets a commencé il y a longtemps avec la construction du premier incinérateur de déchets en 1885 aux États-Unis. En 2016, le nombre d'installations WtE pour MSW a atteint 1618 usines dans le monde, dont 512 usines en Europe, 822 usines au Japon, 88 aux États-Unis et 166 en Chine (Scarlat et. al., 2019). Aussi, selon Scarlat et. Al. (2019), en 2016, il y avait 512 centrales en Europe, avec 251 centrales de cogénération, 161 centrales électriques et 94 centrales thermiques, qui fournissent une capacité totale d'incinération de 93 millions de tonnes.

Les procédés de conversion des déchets en énergie (WtE), en tant que source d'énergie renouvelable, devraient jouer un rôle de plus en plus important dans la gestion durable des déchets solides municipaux (MSW) au niveau mondial. On estime que le résultat du processus réduit d'environ 10 à 15 % les émissions mondiales de GES grâce à une meilleure gestion des déchets solides (recyclage, détournement des déchets des décharges et récupération d'énergie à partir des déchets)

Il Fait:

Une tonne de déchets contient à peu près autant d'énergie calorifique que 250 kg de charbon. Les ordures ne sont pas toutes de la biomasse; peut-être la moitié de son contenu énergétique provient des plastiques, qui sont fabriqués à partir de pétrole et de gaz naturel.

3. Gaz d'enfouissement et biogaz

Les usines de production de biogaz pour le traitement de la biomasse des déchets humides, provenant des usines de traitement des eaux usées et de la récupération des gaz de décharge se développent dans un certain nombre de pays. Le biogaz est produit dans les usines de digestion anaérobie, à partir du traitement des eaux usées et de la récupération des sites d'enfouissement. En Europe, le biogaz est principalement produit à partir de la fermentation anaérobie dans des digesteurs anaérobies utilisant des déchets agricoles, du fumier et des cultures énergétiques, avec environ 74 % de la production énergétique primaire de biogaz.

La valorisation du biogaz en biométhane de meilleure qualité est également en augmentation, pour une utilisation comme carburant automobile ou pour l'injection dans le réseau de gaz naturel. La production de biogaz a connu une croissance significative ces dernières années en Europe, principalement grâce aux régimes de soutien favorables en place dans plusieurs États membres de l'Union européenne

Examiner les sources de biogaz (gaz de décharge, boues d'épuration, digestion anaérobie ou procédés thermochimiques). La plus grande quantité de biogaz provient de la digestion anaérobie en Allemagne, en Italie, en République tchèque et en France, suivie du biogaz provenant de la récupération des gaz de décharge au Royaume-Uni, en Italie, en France et en Espagne. Le biogaz des digesteurs anaérobies prédomine en Allemagne, en Italie, au Danemark, en République tchèque et en Autriche. Le biogaz de décharge domine également le marché au Portugal, en Estonie, en Irlande ou en Grèce et au Royaume-Uni, tandis que le biogaz issu du traitement des eaux usées prédomine dans quelques pays, comme la Suède, la Pologne et la Lituanie.

II Raconter l'histoire pour une meilleure compréhension :
Les bactéries et les champignons ne sont pas des mangeurs difficiles. Ils mangent des plantes et des animaux morts, les faisant pourrir ou se décomposer. Un champignon sur une bûche pourrie convertit la cellulose en sucres pour se nourrir. Bien que ce processus soit ralenti dans une décharge, une substance appelée gaz méthane est toujours produite lorsque les déchets se décomposent. Les réglementations exigent que les décharges collectent le gaz méthane pour des raisons de sécurité et environnementales. Le gaz méthane est incolore et inodore, mais il n'est pas inoffensif. Le gaz peut provoquer des incendies ou des explosions s'il s'infiltre dans les maisons voisines et s'enflamme. Les décharges peuvent collecter le méthane, le purifier et l'utiliser comme combustible. Le méthane peut également être produit en utilisant l'énergie des déchets agricoles et humains. Les digesteurs de biogaz sont des conteneurs ou des fosses hermétiques doublés d'acier ou de briques. Les déchets mis dans les conteneurs sont fermentés sans oxygène pour produire un gaz riche en méthane. Ce gaz peut être utilisé pour produire de l'électricité, ou pour cuisiner et s'éclairer.

4. Alcool Carburant

a. Éthanol

L'éthanol est un carburant à base d'alcool (alcool éthylique) fabriqué en fermentant les sucres et les amidons trouvés
dans les plantes puis en les distillant. Toute matière organique contenant de la cellulose, de l'amidon ou du sucre peut être transformé en éthanol. Ces dernières années, l'intérêt pour l'éthanol issu de la biomasse renouvelable en tant que carburant automobile a augmenté à l'échelle mondiale, en raison de son potentiel à réduire à la fois la dépendance aux combustibles fossiles et les impacts environnementaux. Les nouvelles technologies produisent de l'éthanol à partir de la cellulose contenue dans les fibres ligneuses des arbres, des graminées et des résidus de cultures

Les principaux marchés de production et de consommation sont les É.-U, le Brésil suivis de l'UE- en 2008, près du quart (21 %) de la demande brésilienne de carburants pour le

transport routier était satisfaite par des biocarburants, alors que cette part n'était que de 4 % aux États-Unis et d'environ 3 % dans l'UE.
En 2019, la quasi-totalité de l'essence vendue aux États-Unis contient environ 10 % d'éthanol et est connue sous le nom de E10.

Le bioéthanol à base de cultures s'est avéré quelque peu controversé en raison des préoccupations concernant les bilans énergétiques, les émissions de CO2 du cycle de vie et la concurrence avec la production alimentaire. Pour répondre à ces préoccupations, le bioéthanol peut être dérivé d'une grande variété de flux de résidus et de déchets - soit en captant des flux de déchets riches en sucre ou en amidon, soit en utilisant des fractions de déchets de cultures (ce que l'on appelle la biomasse lignocellulosique). L'utilisation de la biomasse ligno-cellulosique est encore à un stade de développement relativement précoce, mais l'éthanol à base de déchets peut être raffiné à partir d'un certain nombre de déchets et de résidus industriels et municipaux à l'échelle commerciale aujourd'hui

Selon Hirschnitz-Garbers et Gosens (2015), si nous comparons l'éthanol à base de blé (récolte) et l'essence ordinaire, dans le scénario de demande « élevée » d'un approvisionnement maximal en matières premières de 65 000 millions de litres (Ml), la bio-l'éthanol permettrait d'économiser 1 405 pétajoules (PJ) d'énergie, ce qui équivaut à économiser 9,3 % de toute la consommation énergétique actuelle des transports de l'UE. 17 Les économies d'émissions de GES seraient égales à 110 millions de tonnes (Mt) d'équivalent CO2 par rapport à l'essence et à 75,5 MT d'équivalent CO2 par rapport à l'éthanol à base de blé. Les avantages supplémentaires de la production de carburant à partir de déchets sont que la collecte des matières premières et la conversion du carburant ont tendance à être très localisées et, par conséquent, offrent des opportunités d'emploi locales.

II Qu'est-ce qu'un matériau lignocellulosique ?

La matière lignocellulosique (bois) est une ressource naturelle provenant des tiges et des racines des arbres et des plantes ligneuses constituée de tissus cassants et fibreux. Matériaux lignocellulosiques, y compris les déchets de bois, agricoles ou forestiers (Nakarmi, 2022 ; Dotan, 2014).

a. Biodiesel

Le biodiesel (FAME ; ester méthylique d'acide gras) et le diesel renouvelable (HVO ; huile végétale hydrotraitée) sont des alternatives renouvelables au carburant diesel d'origine fossile. Le biodiesel est un carburant fabriqué en faisant réagir chimiquement de l'alcool avec des huiles végétales, des graisses animales ou des graisses, telles que la graisse de restaurant recyclée. Bien que souvent fabriqués à partir de matières premières identiques, les processus utilisés pour fabriquer le FAME et le HVO sont différents, avec des utilisations finales différentes.
Selon l'European Biodiesel Board (2022), l'utilisation du biodiesel émet entre 65 et 90 % moins de CO2 que le diesel fossile, chaque kilogramme de biodiesel utilisé réduisant les émissions de CO2 d'environ 3 kg. Les moteurs utilisant du biodiesel émettent également beaucoup moins de polluants, les émissions de particules d'échappement, de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures étant toutes réduites. De plus, le biodiesel ne contient pratiquement pas de soufre, de sorte qu'il peut réduire les niveaux de soufre dans

l'approvisionnement en carburant diesel du pays, même par rapport aux carburants à faible teneur en soufre d'aujourd'hui et aux propriétés autolubrifiantes naturelles qui réduisent les émissions de métaux associées à l'usure du moteur.

La directive actuelle sur les énergies renouvelables permet de cultiver des cultures de biodiesel sur des terres qui seraient autrement retirées de la production, fournissant des revenus supplémentaires aux agriculteurs et encourageant une utilisation efficace des ressources existantes. De plus, chaque kilo de biodiesel produit par les cultures générant deux kilos de protéines végétales, l'utilisation du biodiesel soutient l'indépendance de l'UE en matière d'approvisionnement en denrées alimentaires et en aliments pour animaux. L'UE important près des deux tiers des protéines végétales utilisées dans l'agriculture, les coproduits végétaux du biodiesel constituent une base d'approvisionnement interne sûre et aident à équilibrer cette dépendance aux importations.

Dans l'UE, le biodiesel représente une importante source d'énergie renouvelable. L'industrie remonte à 1992, lorsqu'en réponse aux signaux positifs des institutions de l'UE, la production européenne de biodiesel à l'échelle industrielle a commencé. Au fur et à mesure que l'ambition des objectifs en matière de changement climatique s'est accrue, l'industrie européenne du biodiesel a fait de même. Aujourd'hui, l'UE est le leader mondial de la production et de l'utilisation de biodiesel et de diesel renouvelable dans les transports. Près de 200 usines sont en activité dans l'UE, produisant environ 13 millions de tonnes de biodiesel par an. La majeure partie est consommée en France, en Allemagne, en Espagne, en Suède et en Italie, qui en 2018 représentaient ensemble les deux tiers du marché européen du biodiesel ; d'autres marchés sont plus petits mais en croissance.

Il Fait:

La production européenne de diesel vert contribue à réduire le déficit annuel de l'UE en diesel de plus de 17 millions de tonnes, évitant ainsi des dépenses de plus de 10 milliards d'euros en diesel fossile rien qu'en 2018. Le biodiesel soutient la plupart des plus de 248 000 emplois liés à l'industrie européenne des biocarburants.

Il Activité:

Séparez les participants en 5 groupes pour discuter des types de biomasse allant du bois et des produits agricoles au biodiesel. Laissez-les découvrir: (2 heures)

- La définition et/ou l'explication de base du sujet de chaque groupe
- Processus de fabrication de base
- Statut de l'UE sur le sujet de chaque groupe
- Avantages de l'utilisation du matériel du sujet de chaque groupe

Après cela, laissez les participants présenter les résultats devant d'autres participants et laissez la discussion se dérouler en 10-15 minutes pour chaque groupe.

Utilisation de la Biomasse comme Ressource Energétique

Dans l'UE-28, l'énergie produite à partir de la biomasse a augmenté de 466 PJ (13 %) au cours de cette décennie, principalement en raison d'une extension rapide du secteur des industries de l'électricité et du chauffage. En 2019, la biomasse représente au total près de 3 % de toute la production d'électricité et 19 % de la production de chaleur dérivée dans l'UE,

restant un pourcentage relativement modéré de toute l'électricité renouvelable, mais un contributeur très essentiel à la chaleur dérivée d'origine renouvelable.

La bioénergie peut jouer un rôle important dans la réalisation des objectifs de l'UE en matière d'énergies renouvelables d'ici 2030 et au-delà. Des opportunités d'augmenter l'utilisation de la bioénergie sont observées, par ex. sur le terrain en utilisant des résidus agricoles, des sous-produits et des déchets. La bioénergie peut également jouer un rôle important en tant que vecteur énergétique flexible pour équilibrer les systèmes électriques et permettre ainsi des parts plus élevées de sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie éolienne et solaire. Lorsqu'elle garantit des aspects environnementaux tels que la préservation de la biodiversité ou le maintien des services écosystémiques, la bioénergie peut contribuer, entre autres, à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à la durabilité et au développement rural.

La demande de l'UE en énergies renouvelables devrait augmenter considérablement avec l'élimination progressive des combustibles fossiles dans le bouquet énergétique de l'UE et les objectifs fixés pour les sources d'énergie renouvelables. Le secteur de l'énergie est de loin le plus grand utilisateur de résidus et de sous-produits de la transformation interne du bois dans l'UE, et le secteur du chauffage et du refroidissement la plus grande utilisation finale de la bioénergie en général, utilisant environ 75 % de toute la bioénergie consommée. La bioélectricité et les carburants de transport représentent respectivement 13 % et 12 % (JRC, 2018). D'ici 2050, la consommation d'énergie issue de la biomasse devrait augmenter à un rythme soutenu, les estimations variant d'un quasi-doublement (Material Economics, 2021) à un triplement (Faij et al., 2018). Lorsque l'utilisation des matériaux est incluse, le chiffre de la consommation augmente encore avec une augmentation de 50 % de la seule consommation de matériaux prévue, car ils remplacent d'autres matériaux à plus forte intensité de carbone.

La biomasse solide est la plus importante pour la production d'électricité dans les pays nordiques, comme la Finlande et le Danemark, où elle contribue à plus de 10 % de la production électrique totale. Cependant, la source d'électricité renouvelable la plus largement utilisée au Danemark est le vent. Dans les régions méditerranéennes, comme l'Espagne, la demande de biomasse pour l'énergie est souvent beaucoup plus faible pour la production d'électricité mais reste importante pour la chaleur. En Finlande, la biomasse solide primaire détient la plus grande part des sources d'énergie renouvelables (après l'hydroélectricité) avec une augmentation de la production de 39 % entre 2000 et 2018.

Bien gérées, les filières bioénergétiques peuvent permettre de réaliser d'importantes économies de gaz à effet de serre, tout en garantissant la sécurité alimentaire et en protégeant les écosystèmes et les services qu'ils fournissent de la déforestation, de la dégradation des habitats et de la perte de biodiversité. La production de bioénergie peut également offrir d'importantes possibilités d'offrir des avantages sociaux, environnementaux et économiques et de contribuer au développement rural. D'autres utilisations possibles de la biomasse (par exemple pour l'alimentation humaine et animale, les produits du bois, etc.) doivent également être envisagées pour garantir la durabilité de l'approvisionnement en matières premières dans une perspective globale de bioéconomie.

II Activité:

Créer une activité qui fait la liste des avantages de l'utilisation de la biomasse.

— — — — —

References:

Andersen, S. P., B. Allen and G. C. Domingo, 2021. Biomass in the EU Green Deal: Towards consensus on the use of biomass for EU bioenergy Policy report, Institute for European Environmental Policy (IEEP). https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/a14e272d-c8a7-48ab-89bc-31141693c4f6/Biomass%20in%20the%20EU%20Green%20Deal.pdf?v=63804370211

Banja, M., Sikkema, R., Jegard, M., Motola, V. & Dallemand, J.. 2019. Biomass for Energy in the EU-The Support Framework. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC113715

Bentsen, Niclas S., & Felby, Claus., 2012. Biomass for Energy in the European Union - A Review of Resource Assessments. https://www.researchgate.net/publication/224870026_Biomass_for_energy_in_the_European_Union_-_A_review_of_resource_assessments

Bioenergy Europe, 2021. Bioenergy. https://bioenergyeurope.org/about-bioenergy.html

Dotan, Ana., 2014. Biobased Thermosets. https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3107-7.00015-4

ETIP Bioenergy, 2020. Bioenergy in Europe. https://etipbioenergy.eu/images/ETIP_B_Factsheet_Bioenergy%20in%20Europe_rev_feb2020.pdf

European Biodiesel Board, 2021. Biodiesel. https://ebb-eu.org/about-biodiesel/

European Commission, 2017. Sustainable and Optimal Use of Biomass for Energy in the EU Beyond 2020. https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/biosustain_report_final.pdf

European Commission, 2019. Brief on biomass for energy in the European Union. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7931acc2-1ec5-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-228478685

European Commission, 2020. EU Climate Target Plan 2030: Building a Modern, Sustainable and Resilient Europe. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_1609

European Commission, 2021. European Green Deal: Commission Proposes Transformation of EU Economy and Society to Meet Climate Ambitions. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541

European Commission, 2021. Facts and Figures of Bioenergy in the EU. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news/environmental-sustainability-energy-generation-forest-biomass-2021-01-26_en

European Commission, Camia, A., Giuntoli, J., Jonsson, R., et al., 2021. The use of woody biomass for energy production in the EU. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7120db75-6118-11eb-8146-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-228484245

European Parliament, 2015. Biomass for Electricity and Heating: Opportunities and Challenges. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568329/EPRS_BRI(2015)568329_EN.pdf

Hamelinck, Carlo., et. al., 2021. The Role of Biodiesel in EU Climate Action. https://ebb-eu.org/wp-content/uploads/2021/11/21_1116_sGU-for-EBB_Roadmap.pdf

Hirschnitz-Garbers, Martin., & Gossens, Jorrit., 2015. Producing Bio-ethanol from Residues and Wastes. https://ec.europa.eu/environment/integration/green_semester/pdf/Recreate_PB_2015_SEI.PDF

Kiss, Imre.,Alexa, Vasile., & Sarosi, Joszef., 2016. Biomass from Wood Processing Industries as an Economically Viable and Environmentally Friendly Solution. https://www.researchgate.net/publication/325338570_Biomass_from_Wood_Processing_Industries_as_an_Economically_Viable_and_Environmentally_Friendly_Solution

Nakarmi, Amita., et. al., 2022. Applications of Conventional and Advanced Technologies for Phosphorus Remediation from Contaminated Water. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823137-1.00007-5

Scarlat, Nicolae., Dallemand, Jean-Francois., & Fahl, Fernando., 2018. Biogas: Developments and Perspectives in Europe.

European Commission, 2020. The European Climate Law: Factsheet. https://ec.europa.eu/clima/system/files/2020-09/factsheet_ctp_en.pdf

European Commission, 2021. 2030 Climate Target Plan. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en

European Commission, 2021. Agricultural Biomass. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/sustainability/economic-sustainability/bioeconomy/agricultural-biomass_en

European Commission, 2021. Biodiversity Strategy 2030. https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030_en

European Commission, 2021. Biofuels. https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/biofuels_en

European Commission, 2021. Biomass. https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/biomass_en#documents

European Commission, 2021. Energy Factsheet. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_21_3672

European Commission, 2021. ENSPRESO - an open data, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials. https://data.jrc.ec.europa.eu/collection/id-00138

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811830301X

Scarlat, Nicolae., Dallemand, Jean-Francois., & Fahl, Fernando., 2018. Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s12649-018-0297-7.pdf

State of Green, 2021. Agricultural Biomass. https://stateofgreen.com/en/sectors/clean-energy-sources-sector/bioenergy/agricultural-biomass/

Tzelepi V, Zeneli M, Kourkoumpas D-S, Karampinis E, Gypakis A, Nikolopoulos N, Grammelis P., 2020. Biomass Availability in Europe as an Alternative Fuel for Full Conversion of Lignite Power Plants: A Critical Review. Energies. https://doi.org/10.3390/en13133390

Wind Europe, 2021. It's official: The EU Commission wants 30 GW a Year of New Wind up to 2030. https://windeurope.org/newsroom/press-releases/its-official-the-eu-commission-wants-30-gw-of-new-wind-a-year-up-to-2030/

Zoghlami, Aya., & Paes, Gabriel., 2019. Lignocellulosic Biomass: Understanding Recalcitrance and Predicting Hydrolysis. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2019.00874/full

3 - Méthodes D'utilisation de la Biomasse à des Fins Energétiques

Objectifs : Cette section explique les méthodes d'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques en fournissant des explications de base et certains avantages et inconvénients des méthodes.

Introduction de L'utilisation de la Biomasse

L'énergie de la biomasse est la ressource énergétique la plus renouvelable au monde. Comme une grande usine de l'industrie chimique solaire, il se répand dans les plantes partout sur terre et dans l'eau à travers le monde qui transfèrent continuellement l'énergie

solaire en énergie chimique qui est stockée dans la partie interne des plantes sous forme de matière organique. Ainsi, une sorte d'énergie renouvelable abondante - l'énergie de la biomasse est composée.

La ressource énergétique de la biomasse présente de nombreux avantages tels qu'une capacité de ressource plus vaste, un prix inférieur, une composition en soufre moindre, une teneur en cendres moindre et la caractéristique renouvelable. D'autre part, il présente également des aspects défavorables tels qu'une teneur en eau plus élevée, une puissance thermique unitaire plus faible, un volume important, des ressources décentralisées et inadaptées à la collecte, au stockage et au transport. Mais ces inconvénients peuvent être surmontés. Tant que des mesures appropriées sont adoptées, en tenant compte des conditions locales, en utilisant la science et la technologie disponibles, en sélectionnant un programme technique raisonnable, en adoptant des techniques avancées, en développant de nouvelles méthodes de conversion d'énergie et en prêtant attention à l'efficacité de l'utilisation de l'énergie et à l'économie du système biologique, alors les ressources de la biomasse peuvent être utilisées efficacement.

Il y a quelques siècles, la biomasse était la ressource énergétique la plus importante. À l'heure actuelle, avec la science et la technologie avancées, l'énergie fournie par la biomasse est encore supérieure à celle de l'énergie hydraulique et de l'énergie nucléaire. Selon Eurostat (2018), la Lettonie (29%), la Finlande (24%), la Suède (20%), la Lituanie (17%) et le Danemark (15%) avaient la plus grande part de bois et de produits du bois dans la consommation intérieure brute de l'énergie.
Au moyen du transfert, la biomasse peut être convertie en énergie thermique utile, en électricité et en combustibles pour l'énergie. Les principales méthodes de conversion sont:

1. Combustion directe
2. Gazéification
3. Liquéfaction de la biomasse.

Méthodes de Prétraitement de la Biomasse

Les produits bioénergétiques comme le bioéthanol et le biodiesel peuvent être produits à partir de la biomasse lignocellulosique obtenue à partir de plantes qui sont des bioressources renouvelables considérablement importantes. Le terme « biomasse lignocellulosique » est défini comme la lignine, la cellulose et l'hémicellulose qui constituent la paroi cellulaire végétale.

L'objectif principal du processus de prétraitement est de déconstruire la structure complexe de la biomasse comprenant la lignine, l'hémicellulose et la cellulose afin que chaque biopolymère puisse être utilisé efficacement pour produire des carburants, de l'énergie et des matériaux chimiques. Plusieurs méthodes de prétraitement de la biomasse sont disponibles, y compris physiques, chimiques, physico-chimiques et biologiques, certaines d'entre elles sont répertoriées comme suit :

1. Méthodes physiques consistant en l'extrusion, broyage à boulets, broyeur à disque humide, prétraitement aux micro-ondes.
2. Méthodes chimiques consistant en un prétraitement acide, un prétraitement alcalin, un prétraitement organosolv, un prétraitement par ozonolyse.

3. Méthodes physico-chimiques qui consiste en une explosion de vapeur, une explosion de fibres d'ammoniac, de l'eau chaude liquide, une explosion de dioxyde de carbone, une oxydation humide.
4. Méthodes biologiques qui consiste en des champignons de pourriture blanche, des champignons de pourriture brune, des champignons de pourriture molle.

Prétraitement D'extrusion

Le traitement par extrusion est l'une des méthodes prometteuses de prétraitement physique pour la déconstruction de la biomasse lignocellulosique. L'extrusion est définie comme une opération de création d'objets d'un profil de section fixe en les forçant à travers une filière de la section souhaitée. Le matériau subira une expansion lorsqu'il sortira de la matrice.

Il existe certains avantages et limitations du prétraitement par extrusion de la biomasse,
Avantages :

- Facile sur la surveillance et le contrôle des processus.
- Aucune formation de composés inhibiteurs due à la dégradation des sucres.
- Adaptabilité pour la modification de processus.
- Débit continu et élevé
- Pas besoin de laver la biomasse prétraitée si l'extrusion est réalisée sans ajout chimique.
- Peut être combiné avec d'autres méthodes de prétraitement pour de meilleurs résultats.

Limites

- Manque de données pour l'analyse économique.
- Processus qui utilise beaucoup d'énergie
- Mauvais écoulement pendant le traitement continu entraînant la combustion du matériau.

Prétraitement Acide

Le prétraitement acide est le procédé de prétraitement de la biomasse lignocellulosique le plus étudié et le plus utilisé. L'objectif principal du procédé de prétraitement acide est d'hydrolyser la fraction hémicellulosique de la biomasse lignocellulosique. L'efficacité de cette méthode de prétraitement est généralement renforcée par l'augmentation de la proportion d'hémicellulose et de fractions extractives dans la biomasse.

Le prétraitement acide de la biomasse présente certains avantages et limites, comme suit:
Avantages

- Vitesse de réaction élevée pour solubiliser la fraction hémicellulosique de la biomasse, rendant ainsi la fraction cellulosique accessible aux enzymes cellulases
- Une méthode de déconstruction peut être conçue pour le traitement de la biomasse afin de générer des hydrolysats d'hémicellulose séparés (après prétraitement) et des hydrolysats de cellulose (après hydrolyse enzymatique).
- Réduction des coûts pour les enzymes xylanases : l'hémicellulose est largement hydrolysée pendant le prétraitement en fonction du type de matière première et des conditions de traitement ; par conséquent, les enzymes xylanases à coût élevé ne sont généralement pas nécessaires pour l'hydrolyse.

Limites

- Les inhibiteurs, tels que le furfural et l'hydroxyméthylfurfural (HMF), produits à partir de la dégradation des sucres, nécessitent une étape de détoxification supplémentaire pour rendre les sucres libérés fermentables.
- Besoin de récipients en acier inoxydable coûteux en raison de la nature corrosive de l'acide.
- Coût supplémentaire pour l'alcali pour neutraliser l'acide après le prétraitement.
- Préoccupation environnementale due à l'utilisation excessive de produits chimiques

Prétraitement Alcalin

Le prétraitement alcalin est une autre méthode de prétraitement de la biomasse lignocellulosique largement étudiée et largement utilisée. Ce processus est similaire à un processus de prétraitement acide, mais généralement effectué à une température plus basse. Alors que le prétraitement acide solubilise la fraction hémicellulosique de la biomasse, l'objectif du processus de prétraitement alcalin est de solubiliser la fraction lignine de la biomasse lignocellulosique. Comme dans le processus de prétraitement acide, le processus de prétraitement alcalin solubilise également la plupart des extraits de la biomasse.
Il existe certains avantages et limitations du prétraitement alcalin de la biomasse
Avantages

- Délignification efficace
- Dégradation plus faible du sucre par rapport au prétraitement à l'acide dilué en raison de la température de traitement plus basse ; possible de prétraiter à température ambiante en utilisant un temps plus long.
- La lignine et les autres extraits peuvent être séparés avant l'hydrolyse enzymatique sans perte de glucides ; grande possibilité d'obtenir de la lignine réactive pour une application de grande valeur.

Limites:

- Excès de composés phénoliques dû à la dégradation de la lignine, qui sont des inhibiteurs potentiels de l'hydrolyse enzymatique des polymères de sucre.
- Coût supplémentaire pour les enzymes hydrolytiques de l'hémicellulose en plus des enzymes cellulases.
- Coût supplémentaire pour l'acide pour neutraliser l'alcali après le prétraitement.

Prétraitement Organosolv

Organosolv est une méthode prometteuse de prétraitement de la biomasse, dans laquelle la biomasse est mélangée à un solvant organique sélectionné, avec ou sans catalyseur supplémentaire (acide ou alcalin) et chauffée à une température et une durée appropriées. Divers solvants organiques ou mélanges de solvants peuvent être utilisés ; y compris les solvants à bas point d'ébullition, tels que l'éthanol, le méthanol et l'acétone ; des solvants à point d'ébullition élevé, tels que le glycérol, l'éthylène glycol et l'alcool tétrahydrofurfurylique ; et d'autres classes de solvants organiques, tels que les acides organiques, les phénols, les cétones et le diméthylsulfoxyde.

Le prétraitement organosolv de la biomasse présente certains avantages et limites
Avantages

- La lignine extraite est relativement de haute pureté, de faible poids moléculaire et sans soufre, ce qui permet une application de grande valeur de la lignine.
- Les trois polymères - cellulose, hémicellulose et lignine - peuvent être séparés en différents flux.
- Il peut être combiné avec d'autres procédés de prétraitement pour une hydrolyse efficace de la biomasse.

Limites

- Coût élevé du solvant : Le processus de recyclage est également énergivore. Un solvant supplémentaire est nécessaire pour éviter la précipitation de la lignine due au lavage à l'eau.
- Formation de composés inhibiteurs, tels que le furfural et le HMF, en raison de la dégradation des sucres lors de l'utilisation d'un catalyseur acide.
- Le solvant résiduel sera inhibiteur pour l'hydrolyse enzymatique et les organismes fermentaires.
- Préoccupations environnementales et sanitaires dues à l'utilisation de liquides organiques volatils à haute température.

Prétraitement Liquide Ionique

Il s'agit d'une approche relativement nouvelle pour le prétraitement de la biomasse, dans laquelle toute la biomasse est dissoute dans un liquide ionique sélectionné et les polymères glucidiques sont précipités en ajoutant des anti-solvants appropriés ; séparant ainsi la lignine et les glucides.

Il existe certains avantages et limitations du prétraitement liquide ionique de la biomasse
Avantages:

- Les liquides ioniques, considérés comme des solvants verts, sont stables jusqu'à 300 C ; ont une volatilité extrêmement faible avec un impact minimal sur l'environnement.
- Possibilité de séparer chacun des biopolymères : cellulose, hémicellulose et lignine.
- Un liquide ionique avec des propriétés souhaitables peut être synthétisé.

Limites:

- Le coût des liquides ioniques est encore très élevé.
- De nombreux liquides ioniques sont toxiques pour les enzymes hydrolytiques et les organismes en fermentation.
- Le coût de la récupération des solvants est fastidieux et coûteux.
- Difficile de manipuler la boue de biomasse visqueuse avec un liquide ionique pendant le prétraitement à une température supérieure à 150 C.

Prétraitement par Explosion à la Vapeur

Le prétraitement par explosion à la vapeur est un procédé de prétraitement physico-chimique largement étudié. Dans ce processus, la biomasse broyée et préconditionnée est traitée avec de la vapeur saturée à haute température (160-290 C) et haute pression (0,7 et 4,8 MPa) pendant quelques secondes à plusieurs minutes avant que la pression ne soit relâchée de manière explosive. Cette méthode est plus efficace dans la biomasse feuillue et herbacée mais nécessite l'ajout d'un catalyseur acide pour un prétraitement efficace du bois résineux en raison de la présence d'une plus faible quantité de groupes acétyle dans l'hémicellulose de résineux.

Le prétraitement par explosion à la vapeur de la biomasse présente certains avantages et limites

Avantages:

- Pas d'utilisation de produits chimiques et donc pas de coûts de recyclage et environnementaux.
- Dilution relativement moindre de l'hémicellulose libérée.
- La biomasse à haute granulométrie peut être utilisée, ce qui entraîne d'importantes économies d'énergie. La réduction de taille représente environ un tiers de l'ensemble du processus de prétraitement.

Limites:

- Une déconstruction incomplète du complexe lignine-glucide peut conduire à la condensation et à la précipitation de la lignine soluble ; entraînant ainsi une efficacité réduite de l'hydrolyse de la biomasse.
- Une température élevée (environ 270 C) est la meilleure pour améliorer la digestibilité de la cellulose ; cependant, cela conduit à la formation de composés inhibiteurs - le furfural et le HMF.
- Les acides faibles et les composés phénoliques, tels que les acides acétique, formique et lévulinique, générés au cours de ce processus sont inhibiteurs pour l'hydrolyse enzymatique et la fermentation ultérieure.

Prétraitement par Explosion de fibres D'ammoniac (AFEX)

La méthode AFEX est un procédé de prétraitement physico-chimique alcalin. Sa méthode de traitement est similaire à celle de l'explosion à la vapeur mais fonctionne à plus basse température. Dans ce procédé, la biomasse est mélangée à de l'ammoniac anhydre liquide (0,3 à 2 kg/kg de biomasse sèche) ; cuit à 60–90 ◦C et à une pression supérieure à 3 MPa pendant 10–60 min. Le rapport optimal entre l'ammoniac et la biomasse, ainsi que la température, la pression et le temps de cuisson dépendent du type de matériaux de biomasse lignocellulosique. La méthode AFEX est très efficace pour les cultures herbacées et les résidus agricoles, mais relativement moins efficace pour la biomasse ligneuse. AFEX est également considéré comme une méthode réalisable pour le prétraitement de la biomasse herbacée afin d'extraire des protéines pour l'alimentation animale ainsi que la génération de sucre pour la production de biocarburants.

Le prétraitement par explosion de fibres d'ammoniac de la biomasse présente certains avantages et limites:

Avantages:

- Aucune formation de composés inhibiteurs comme le furfural et le HMF à partir de la dégradation du sucre en raison du fonctionnement à basse température.
- Haute sélectivité pour la délignification
- Facile à recycler en raison de la nature volatile de l'ammoniac: une récupération de 99 % de l'ammoniac est possible.
- L'ammoniac résiduel peut servir de source d'azote pour les organismes pendant la fermentation.

Limites:

- Excès d'eau car les fragments phénoliques des lignines doivent être lavés pour éviter une inhibition lors de l'hydrolyse enzymatique et de la fermentation.
- Le recyclage de l'ammoniac est très coûteux pour un traitement à l'échelle commerciale.
- Inefficace pour la biomasse à haute teneur en lignine, comme les déchets de bois résineux et de journaux.
- Préoccupation environnementale due à l'utilisation de produits chimiques volatils.

Prétraitement de l'eau Chaude Liquide (LHW)

Différentes terminologies sont utilisées dans la littérature pour décrire ce processus, notamment la solvolyse, l'hydrothermolyse, le fractionnement aqueux et l'aquasolv. Ce procédé est comparable au prétraitement à l'acide dilué sans utiliser d'acide. Dans ce processus, la suspension de biomasse dans l'eau est cuite à température élevée (160-240 C) pendant différentes périodes de temps en fonction du type de biomasse, pour solubiliser la fraction hémicellulosique de la biomasse conduisant à une partie enrichie en cellulose.

Il existe certains avantages et limitations du prétraitement à l'eau chaude liquide de la biomasse.
Avantages:
- Aucune utilisation de produits chimiques supplémentaires
- Pas besoin d'utiliser des matériaux coûteux et résistants à la corrosion pour les réacteurs de prétraitement.
- Des particules de grande taille peuvent être utilisées, ce qui conduit à des économies d'énergie, ce qui est nécessaire pour réduire la taille de la biomasse en particules fines.
- Possibilité de récupérer séparément les flux cellulose et hémicellulose.
- Formation minimale de composés inhibiteurs.

Limites:
- Le flux de xylose est de très faible concentration et nécessite donc une opération supplémentaire coûteuse d'évaporation de l'eau pour obtenir une concentration de sucre appropriée pour la fermentation.
- Coût élevé car une température de prétraitement élevée est requise.
- Ne convient pas à la biomasse à haute teneur en lignine.

Prétraitement Biologique

Le prétraitement biologique implique l'utilisation de micro-organismes pour dégrader la lignine de la biomasse et rendre les polymères glucidiques sensibles à l'hydrolyse enzymatique. Parmi divers organismes capables de produire des enzymes pour dégrader la lignine et les polymères glucidiques de la biomasse, les champignons de la pourriture blanche, de la pourriture brune et de la pourriture molle sont importants. Les champignons de la pourriture blanche sont les plus efficaces pour le prétraitement de la biomasse en raison de leur efficacité enzymatique et de leur économie. Les champignons de la pourriture brune dégradent la cellulose, tandis que les champignons de la pourriture blanche et de la pourriture molle dégradent à la fois la lignine et la cellulose. Le système enzymatique ligninolytique des champignons de la pourriture blanche se compose principalement de peroxydase de lignine (LiP), de peroxydase de manganèse (MnP) et de laccase.

Sur la base des modèles de production d'enzymes, les champignons de la pourriture blanche pourraient être classés en trois groupes :

- Groupe de la lignine-manganèse peroxydase - P. chrysosporium et Phlebia radiata.
- Groupe des laccases de peroxydase de manganèse - Dichomitus squalens et Rigidoporus lignosus.
- Groupe des laccases de la lignine peroxydase - Phlebia ochraceofulva et Junghuhnia separabilima.

Le prétraitement biologique de la biomasse présente certains avantages et limites
Avantages:

- Aucun composé inhibiteur n'est produit.
- Le procédé est respectueux de l'environnement.

Limites:

- Processus très lent; le temps de séjour est généralement compris entre 10 et 14 jours.
- Un grand espace est nécessaire pour effectuer le processus.
- Un contrôle strict de la température est nécessaire, ce qui entraîne une augmentation des coûts de traitement.
- Cellulose crystallinity could not be reduced. La cristallinité de la cellulose n'a pas pu être réduite.

Présentation des méthodes de conversion de la biomasse

Combustion Directe

Combustion directe
La combustion est le moyen le plus courant et le plus traditionnel de produire de la chaleur à partir de la biomasse. Dans les pays en développement, l'efficacité thermique de la combustion directe de la biomasse est généralement de 10 à 15 %. Après transformation, les rendements thermiques des foyers en Chine rurale sont d'environ 30%, et les meilleurs peuvent atteindre jusqu'à 50%. Le poêle est composé d'une chambre de combustion, d'un anneau coupe-feu, d'un passage de circulation des fumées, d'une cheminée, d'une porte de poêle, d'une grille et d'une entrée d'air. Les points clés de la conception sont d'augmenter l'intensité du rayonnement thermique et de la réflexion dans la chambre de combustion et de réduire la perte de combustion complète dans le poêle intérieur et la perte thermique de fumée.

Certains pays européens avancés adoptent des équipements de combustion à haut rendement tels que les équipements de combustion à lit sulfurisé. Dans l'équipement, le bois est découpé en petits morceaux qui traversent ensuite le lit sulfuré en un temps très court. Après combustion, les morceaux de bois incomplètement brûlés sont renvoyés vers le lit sulfuré depuis le système d'évacuation des fumées. Les chaudières commercialisées de petite et moyenne taille développées par ces pays utilisent le bois et les résidus comme combustible. Leur efficacité peut atteindre 50% - 60%. Aux Pays-Bas, il existe environ 1,75 million de poêles à bois avec des spécifications de 5 à 20 kW et 600 000 foyers à bois pour le chauffage domestique et l'approvisionnement en eau chaude. Leurs rendements

thermiques peuvent atteindre plus de 50 %. L'efficacité thermique des chaudières modèles à lit fixe brûlant de l'herbe et fabriquées par l'Angleterre et le Danemark est de 60 %.

Gazéification

Pyrolysis

La gazéification par pyrolyse de la biomasse est l'une des technologies optimales d'utilisation de la biomasse. Dans les équipements de gazéification, la biomasse est transformée en gaz combustible de haute qualité par action thermochimique à haute température. Le gaz peut être utilisé pour le séchage, le chauffage, l'isolation thermique et la production d'électricité.

Grâce à l'équipement de gazéification, presque toute la biomasse peut être transformée en combustible gazeux qui se compose principalement de CO, CO2, H2 et CH4. L'autre partie de l'énergie de la biomasse est utilisée pour réaliser l'action de gazéification. L'efficacité de la gazéification du bois est de 60% - 80%. La pyrolyse permet au taux de récupération d'énergie du riz d'atteindre plus de 94% et la valeur thermique du gaz combustible obtenu est de 2,5*10 kJ/m³. La valeur thermique du gaz combustible obtenu à partir de la pyrolyse du fumier de bétail est de 1,7*104 kJ/m³. L'efficacité de la gazéification des déchets multiples est supérieure à 80 %. La valeur thermique du gaz combustible peut être augmentée en ajoutant de l'hydrogène pendant le traitement de pyrolyse de la biomasse.

Depuis les années 1970, certains pays européens ont commencé à étudier les équipements de gazéification à fonctions multiples, adaptés à différents besoins et adoptant des techniques de pyrolyse à haute température. Deux types d'équipements de gazéification ont été développés :

- **Chambre de gazéification à lit coulissant**

La biomasse glisse lentement du haut de la chambre de gazéification lors de la gazéification. L'oxydant s'écoule vers le haut depuis le bas de la chambre de gazéification et traverse la biomasse pour la gazéifier. La température du gaz de sortie peut atteindre 600 ° C et il n'y a pas de goudron dans le gaz.

- **Chambre de gazéification à lit sulfuré**

La biomasse broyée (d'une taille de quelques mm) est introduite dans la chambre de gazéification et gazéifiée en traversant le matériau du flotteur. Le gaz a une température élevée qui atteint environ 800 C. Le gazéifieur à lit sulfurisé est principalement adapté à la biomasse.

Digestion anaérobie

Avec la technologie de digestion anaérobie, le gaz combustible est obtenu pendant le traitement des déchets organiques et le résidu digéré peut être transformé en fourrage ou en engrais, ce qui est couramment développé en raison d'avantages économiques, environnementaux et écologiques évidents.

Certains pays en voie de développement comme la Chine et l'Inde étendent et utilisent cette technologie dans les zones rurales. La technologie des digesteurs de taille familiale de la Chine occupe la première position dans le monde. Jusqu'à présent, il existe 4,75 millions de digesteurs de petite taille qui produisent 1,04 milliard de mètres cubes de biogaz par an. De plus, toutes les usines de biogaz à moyenne et grande échelle d'une capacité électrique de 2077 kW en Chine peuvent produire 29,1 millions de mètres cubes de biogaz par an.

Sur les aspects de traitement des eaux usées multi-industries et des déchets organiques, certains pays adoptent des techniques très performantes, telles que : filtre anaérobie, UASB et lit sulfuré. La France et le Japon utilisent et étendent des équipements de digestion anaérobie à haut rendement qui adoptent une technologie adhérente à haute densité pour traiter les eaux usées organiques sur le marché international. Son efficacité est dix fois supérieure à celle des méthodes traditionnelles. La technologie de digestion sèche et les techniques de digestion anaérobie en deux étapes ont fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années et peuvent être utilisées pour traiter les déchets solides.

|| Fait:
Selon le niveau technologique actuel, 10 m³ de biogaz peuvent être produits à partir d'une tonne de déchets, 35 m³ de biogaz à partir d'une tonne d'excréments humains et d'urine et 5 à 50 m³ de biogaz à partir d'une tonne d'eaux usées organiques à haute concentration.

Liquéfaction

Il existe 2 types différents de méthodes de liquéfaction pour la conversion de la biomasse en biocarburants :

1. Liquéfaction indirecte
2. La liquéfaction directe, qui consiste en 2 types de méthodes différentes:
    a. Hydrolyse- fermentation-liquéfaction
    b. Liquéfaction thermodynamique, qui s'est séparée en 2 types de méthodes différentes:
        i. Méthode de pyrolyse
        ii. Méthode hydrothermale

Liquéfaction İndirecte

La liquéfaction indirecte est une technologie prometteuse, qui se divise en deux étapes. La première étape est un processus de gazéification thermochimique. Dans ce processus, le gaz de synthèse est produit après la réaction de la matière première avec l'air ou la vapeur. Dans le gaz de synthèse, les substances primaires sont le CO, le CO2, le H2 et le H2O. La deuxième étape est le processus bien établi Fischer-Tropsch (F-T). Au cours du processus F–T, le mélange serait utilisé pour produire une gamme de produits chimiques, notamment l'alcool méthylique, l'éther diméthylique et l'alcool éthylique, alors qu'il existe peu de recherches sur les alcools supérieurs dérivés du gaz de synthèse de la biomasse. Les plus grands défis sont la conception du nouveau réacteur catalytique pour une échelle généralement plus petite des processus de conversion de la biomasse et des catalyseurs pour des produits chimiques spécifiques en fonction du rapport molaire de H2 à CO. Nous

prenons la synthèse de l'alcool éthylique comme exemple pour introduire la liquéfaction indirecte.

Liquéfaction Directe

Hydrolyse - Fermentation -Liquéfaction

Au cours des dernières décennies, l'alcool éthylique a attiré beaucoup d'attention en tant qu'alternative potentielle aux combustibles fossiles. Actuellement, la fermentation de la biomasse est la principale technologie industrielle pour produire de l'alcool éthylique, dont les matières premières primaires sont le glucose (obtenu à partir du maïs) et le saccharose (obtenu à partir de la canne à sucre et de la betterave). Il y a les mêmes effets négatifs sur la production d'alcool éthylique utilisant de l'amidon ou du sucre comme matière première, ce qui concurrencerait directement la production alimentaire. Jusqu'à présent, la paille de maïs était considérée comme une matière première possible pour la production d'alcool éthylique.

Une fois la biomasse transportée vers l'usine de production, elle serait stockée dans l'entrepôt pour éviter la fermentation et la contamination bactérienne. Ensuite, la matière première serait prétraitée pour la rendre plus accessible à l'extraction. Dans le processus de fermentation, de l'hydrolysat, des levures, des nutriments et d'autres ingrédients seraient ajoutés. La fermentation est généralement exécutée à 25–30 ◦C et le temps de réaction approprié durerait de 6 à 72 h.

Liquéfaction Thermodynamique

En général, il existe deux types de liquéfaction thermodynamique de la biomasse en fonction de des conditions opératoires : liquéfaction par pyrolyse et liquéfaction hydrothermale.

Pyrolyse

Dans la liquéfaction par pyrolyse, il pourrait être divisé en pyrolyse lente, pyrolyse rapide et pyrolyse éclair. La pyrolyse lente est généralement exécutée à une température de réaction, une vitesse de chauffage et une longue période, ce qui produit un peu de bio-huile. Dans le procédé de pyrolyse flash, le temps de réaction est seulement ou inférieur à plusieurs secondes avec une vitesse de chauffage très élevée et une petite taille de particules, et le produit principal est le gaz de synthèse. La pyrolyse rapide se déroule également à une vitesse de chauffage élevée (inférieure à celle de la pyrolyse flash) et à un temps de séjour court de la vapeur. Le produit favorable dans le processus est la bio-huile. Les biohuiles de pyrolyse pourraient être directement brûlées dans des chaudières ou valorisées pour produire des carburants et des produits chimiques de valeur en utilisant les méthodes suivantes : extraction, émulsification, estérification/alcoolisation, fluides supercritiques, hydrotraitement, craquage catalytique et reformage à la vapeur.

Hydrothermique

La liquéfaction hydrothermale de la biomasse est l'une des méthodes efficaces pour traiter la biomasse à haute teneur en eau par rapport à la liquéfaction par pyrolyse. Cette liquéfaction de la biomasse n'est pas affectée par le niveau de teneur en eau et les types de biomasse à forte conversion et produits relativement purs. Les propriétés appropriées pour la liquéfaction de la biomasse sont démontrées, y compris une densité élevée, une bonne

chaleur, une capacité de transfert de masse, une décomposition rapide et une extraction dans des conditions hydrothermales. Il s'agit d'une technologie respectueuse de l'environnement, et l'hétéroatome de la biomasse pourrait être converti en sous-produits indésirables.

|| Activité:

Dans cette section, le formateur peut créer un jeu de puzzle, qui répartit les participants en 2 groupes différents, et laisser chaque groupe mettre chaque nom de méthode parmi les méthodes de prétraitement de la biomasse et de méthodes de conversion de la biomasse sur un tableau fourni par l'organisateur.

— — — — —

References

Aftab, M. N. , Iqbal, I., Riaz, F., Karadag, A., & Tabatabaei, M., 2019. Different Pretreatment Methods of Lignocellulosic Biomass for Use in Biofuel Production. https://www.intechopen.com/chapters/67131

Cătuţi, Mihnea., Elkerbout, Milan., Alessi, Monica., & Egenhofer, Christian., 2020. Biomass and Climate Neutrality. https://www.ceps.eu/wp-content/uploads/2020/08/PI2020-19_Biomass-and-climate-neutrality.pdf

Grande, Lucía., Pedroarena, Ivan., Korili, Sophia A., & Gil, Antonio., 2021. Hydrothermal Liquefaction of Biomass as One of the Most Promising Alternatives for the Synthesis of Advanced Liquid Biofuels: A Review. https://doi.org/10.3390/ma14185286 https://doi.org/10.3390/cleantechnol3010014

Mandø, M., 2013. Direct combustion of biomass. https://doi.org/10.1533/9780857097439.2.61

McKinsey & Company, 2010. Transformation of Europe's Power System until 2050. https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/dotcom/client_service/epng/pdfs/transformation_of_europes_power_system.ashx

Mengjie, Wang., & Suzhen, Ding., 1994. A Potential Renewable Energy Resource Development and Utilization of Biomass Energy. https://www.fao.org/3/t4470e/t4470e0n.htm

Omer, A., 2012. Biomass energy resources utilisation and waste management.. https://www.scirp.org/html/16-3000138_16848.htm

Pang, Shusheng, 2019. Advances in Thermochemical Conversion of Woody Biomass to Energy, Fuels and Chemicals. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.004

Segneanu, A. et al., 2013. Biomass Extraction Methods. https://www.intechopen.com/chapters/44370

UNIDO, 2007. Industrial Biotechnology and Biomass Utilisation. https://www.unido.org/sites/default/files/2009-04/Industrial_biotechnology_and_biomass_utilisation_0.pdf

US Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2021. Bioenergy Basics. https://www.energy.gov/eere/bioenergy/bioenergy-basics

Zhang, S., Yang, X., Zhang, H., Chu, C., Zheng, K., Ju, M., & Liu, L., 2019. Liquefaction of Biomass and Upgrading of Bio-Oil: A Review. http://dx.doi.org/10.3390/molecules24122250

Zheng, J., & Rehmann, L., 2014. Extrusion pretreatment of lignocellulosic biomass: a review. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4227255/

4 - **Production D'énergie à partir de la Biomasse**

Objectif: Informer et comprendre les types d'énergie pouvant être produits à partir de la biomasse, le schéma de production de bioénergie pour chaque utilisation en général, mieux comprendre les enjeux de la production d'énergie à partir de la biomasse, et la réglementation de l'Union européenne relative à la production d'énergie à partir de biomasse.

— — — — —

Aperçu des types de bioénergie

Bioénergie

Simplement, la bioénergie est un type d'énergie qui se développe à partir d'organismes vivants comme les plantes, le fumier animal, les eaux usées domestiques, les déchets, etc. Il existe différents types de bioénergie, il y a la combustion directe, les biocarburants et le biogaz qui peuvent être utilisés comme électricité, chaleur, gaz et carburant à certaines fins.

Biocarburant

Les biocarburants ou encore appelés agrocarburants sont des carburants liquides dérivés de la biomasse agricole ou forestière, soit de la biomasse fraîche, soit des déchets organiques. Bien que les combustibles fossiles aient leur origine dans la biomasse ancienne, ils ne sont pas considérés comme des agrocarburants selon la définition généralement acceptée car ils contiennent du carbone qui est hors du cycle du carbone depuis très longtemps. Les agrocarburants sont principalement utilisés dans le secteur des transports, notamment le biodiesel (agrodiesel) et le bioéthanol (agroéthanol).

- **Biodiesel** ou aussi appelé agrodiesel fabriqué à partir d'huiles végétales extraites de colza, de soja, huile de palme, tournesol et d'algues, entre autres. Les graisses animales de l'industrie de la viande ainsi que l'huile de cuisson usagée des restaurants et les sous-produits de la production d'acides gras oméga-3 à partir

d'huile de poisson peuvent également être utilisés comme matière première pour l'agrodiesel. L'agrodiesel peut être utilisé comme carburant pour les véhicules sous sa forme pure, mais il est généralement mélangé avec du diesel fossile. L'agrodiesel est l'agrocarburant liquide le plus répandu en Europe, où il est utilisé pour atteindre les objectifs obligatoires en matière d'énergie renouvelable dans le secteur des transports. Il est également utilisé dans les centrales thermiques et électriques comme substitut du pétrole fossile. Le colza, le soja et l'huile de palme sont les cultures les plus utilisées pour produire de l'agrodiesel à l'échelle industrielle.

- L'éthanol (ainsi que le propanol et le butanol) est produit par la fermentation du sucre en alcools qui peuvent être utilisés comme carburant, principalement dans les véhicules. Le **bioéthanol** ou agroéthanol est le plus utilisé. Une gamme de cultures à forte teneur en sucre et/ou en amidon telles que la canne à sucre, le maïs, la betterave à sucre, le blé, le manioc et le sorgho doux sont utilisées comme matière première pour la production d'agroéthanol, le sucre et le maïs étant les plus populaires pour un usage industriel. L'agroéthanol produit à partir de sucres et d'amidons facilement dégradables est dit de première génération. Celle-ci est généralement dérivée de cultures vivrières et entre donc directement en concurrence avec la production alimentaire. Afin d'éviter la concurrence avec les aliments, de nombreuses expériences ont été menées pour produire des enzymes capables de décomposer les parois cellulaires de la lignine, de la cellulose ou de l'hémicellulose à partir par ex. des arbres ou de la paille. L'agroéthanol basé sur ces sources non alimentaires est appelé deuxième génération. Ce n'est pas économiquement viable à l'heure actuelle, même si l'industrie prétend être (presque) prête à le produire depuis une décennie.

Biogaz

Le Biogaz est produit lorsque des micro-organismes digèrent des matières organiques dans des conditions anaérobies (c'est-à-dire en l'absence d'oxygène). Le biogaz est composé d'environ ⅔ de méthane et ⅓ de dioxyde de carbone et éventuellement de petites quantités d'autres gaz. Le fumier animal, le lisier, les déchets organiques des ménages et de l'industrie et les résidus de l'agriculture sont les principales sources de production de biogaz. Dans l'agriculture industrielle, le biogaz est considéré comme un moyen viable d'éviter les odeurs gênantes et de réduire les émissions de méthane des réservoirs à lisier tout en produisant de l'énergie et en fournissant des revenus supplémentaires aux agriculteurs. Cependant, pour une production économiquement viable, il faut ajouter du matériel végétal provenant de déchets ou de résidus de culture. Lorsque des cultures telles que le maïs sont ajoutées (ce qui est fréquemment le cas en Europe), la comptabilité des émissions du cycle de vie a montré que la production est problématique en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Le biogaz peut être utilisé comme carburant de transport ou en remplacement du gaz naturel dans la production de chaleur et d'électricité. Les sous-produits peuvent être utilisés comme engrais sur les sols agricoles.

|| Fait:

Le méthane est le deuxième GES anthropique le plus abondant après le dioxyde de carbone (CO_2), représentant environ 20 % des émissions mondiales. Le méthane est plus de 25 fois plus puissant que le dioxyde de carbone pour piéger la chaleur dans l'atmosphère (EPA, 2021). Environ 60 % des émissions mondiales de méthane sont dues aux activités humaines.

Il existe différentes catégories de biomasse utilisées pour la production d'énergie. Un grand nombre de technologies différentes transforment les matériaux en énergie solide, gazeuse ou liquide. La combustion directe est le processus le plus simple.

Matière première de la biomasse	Exemples	Formes d'énergie primaire
Cultures vivrières		
Cultures sucrières	● Canne à sucre ● Maïs	● Agroéthanol de 1ère génération ● Biogaz
Cultures oléagineuses	● Colza ● Huile de palme ● Soja	● Biodiesel de première génération
Culture énergétique		
Production monoculturelle spécifiquement pour l'utilisation de l'énergie	● Saule ● Eucalyptus ● Graminées	● Agroéthanol de seconde génération ● Chaleur ● Electricité
Résidus végétaux		
Résidus agricoles	● Straw, husks, leaves ● Pailles,coques,feuilles	● Chaleur ● Electricité ● Agroéthanol de seconde génération ● Biogaz
Résidus forestiers	● Branches ● Cime d'arbres ● Elagage des arbres	
Résidus industriels		
İndustrie alimentaire	● Molasses, Bagasse ● Mélasse,bagasse	● Agroéthanol de seconde génération
	● Graisses animales ● Huiles usagées	● Agrodiesel de seconde génération
İndustrie du bois	● Copeaux et granulés de bois(provenant de la fabrication de meubles et)	● Chaleur ● Electricité
Déchets		
Agriculture industrielle	● Boue ● Fumier	● Biogaz
Ménagers	● Boue d'épuration	

Flux de production de Bioénergie

Il existe différentes méthodes qui peuvent être utilisées dans la production de bioénergie. Les méthodes dépendent de l'utilisation de la biomasse elle-même, pour produire du biocarburant, il existe différentes méthodes de production de biogaz, et vice versa.

Les méthodes peuvent également être différentes en fonction des matériaux utilisés dans la production. Comme il existe différents types de méthodes de prétraitement pour différents types ou caractéristiques de biomasse. Comme expliqué dans le module 3 dans le kit du manuel de formation, il existe également différents types de méthodes de conversion de l'utilisation de la biomasse en énergie, il y a la combustion directe qui servait à créer de la chaleur, la gazéification qui servait à créer du biogaz et la liquéfaction qui servait à créer du biocarburant.

De manière plus simple, le flux de production de bioénergie peut être expliqué comme ceci :

Biomasse >>> Préparation (processus de prétraitement et de conversion en produit (formes commerciales) comme le biocarburant et le biogaz) >>> Produit >>> Vente et distribution >>> Conversion (biodiesel, bioéthanol, biogaz) en énergie >>> Bioénergie (chaleur et électricité)

Défis de la production de bioénergie

Selon l'Association européenne de l'industrie de la biomasse, il existe certains défis liés à la bioénergie, en particulier la chaîne d'approvisionnement en biomasse liée à différentes matières premières qui peuvent être classées en défis opérationnels, économiques, sociaux et politiques et réglementaires.

Défis Opérationnels:

- **Indisponibilité des matières premières** - La gestion inefficace des ressources et l'approche de non-intervention du gouvernement sont les principaux facteurs qui entravent l'expansion de l'industrie de la biomasse.
- **Disponibilité régionale et saisonnière de la biomasse et problèmes de stockage** - Les résultats des variations saisonnières peuvent avoir un impact sur la production et le stockage de la biomasse. De plus, ces problèmes affectent le prix. Comme la densité énergétique de la biomasse est faible, l'acquisition de terres pour la récolte et le stockage est difficile.
- **Pression sur la section de transport** - En raison de l'humidité de la biomasse, le transport de la biomasse humide depuis la plantation vers le site de production devient plus coûteux et défavorable avec l'augmentation de la distance.
- **Inefficacité des installations de conversion, technologie de base et pénurie d'équipements** - Les obstacles techniques résultent de l'absence de normes sur les systèmes et équipements bioénergétiques, en particulier là où les sources d'énergie sont si diverses. Un prétraitement approprié est requis pour prévenir la biodégradation et la perte de pouvoir calorifique car cela augmente non seulement le coût de production mais également l'investissement en équipement.

- **Chaîne industrielle immature** - Il est pratiquement impossible d'obtenir des contrats à long terme pour un approvisionnement constant en matières premières à un prix raisonnable. La faible capacité à réaliser des bénéfices est également une raison pour laquelle de nombreuses entreprises en amont manquent de forces motrices dans la réforme technologique.

Défis Economiques:

- **Coût d'acquisition des matières premières** - Certaines des ressources de biomasse sont dispersées et afin de réduire les coûts de transport, les projets de biomasse sont désireux d'occuper des terres proches de la source, ce qui conduit à la centralisation des projets de biomasse.
- **Limitation des canaux de financement et investissement élevé et coût du capital** - En raison du capital décentralisé, de la faible rentabilité, des fluctuations fréquentes des prix internationaux du pétrole brut et du risque de marché élevé, les investisseurs ont rarement pris une initiative dans l'industrie de la production d'électricité à partir de la biomasse. La production d'électricité à partir de la biomasse est soumise à des contraintes d'investissements excessifs et de coûts d'exploitation élevés. Les technologies de prétraitement de la biomasse ont des coûts supplémentaires, que les agriculteurs dispersés et les petites entreprises de carburant peuvent ne pas être en mesure de supporter.

Défis Sociaux:

- **Décision conflictuelle** - La prise de décision sur la sélection du fournisseur, de l'emplacement, des itinéraires et des technologies est cruciale et nécessite une communication appropriée. En renforçant le leadership et en mettant en œuvre les responsabilités, les parties prenantes doivent être pleinement conscientes de la richesse économique, environnementale et sociale de l'utilisation des ressources.
- **Problèmes d'utilisation des terres** - Les problèmes d'utilisation des terres entraînent la perte de la préservation des écosystèmes et des habitations des peuples autochtones.
- **Impact sur l'environnement** - La plantation de biomasse épuise les nutriments du sol, favorise la dégradation esthétique et augmente la perte de biodiversité. D'autres impacts sociaux résultent de l'installation de fermes énergétiques dans les zones rurales, comme un besoin accru de services, une augmentation des embouteillages, etc. Les impacts sociaux négatifs potentiels semblent suffisamment forts pour ignorer les avantages de la création d'emplois nouveaux et permanents.

Défis Politiques:

- **Politiques** - À l'heure actuelle, le gouvernement subventionne le prix du carburant domestique, ce qui rend le coût de production d'électricité à partir de sources conventionnelles inférieur au coût de production d'électricité à partir de carburants renouvelables.
- **Système** - Il n'y a pas de règles spécifiques pour réglementer le travail d'utilisation des ressources de biomasse, et il n'y a pas de sanctions spécifiques pour ne pas utiliser un comportement qui devrait être utilisé de manière exhaustive.

- **Réglementation** - Il n'y a pas de mécanisme spécial pour gérer le développement de l'industrie des ressources de la biomasse et pas de département spécialisé pour gérer la mise en œuvre des normes et politiques nationales pertinentes.

|| Activité:
Comme mentionné ci-dessus à propos des défis de la production de bioénergie, discutez avec les participants de la manière de les résoudre à partir de leurs expériences et spécialisations. Il n'y a rien de mal ou de bien dans la solution. Cette discussion vise à élever la pensée analytique et créative des participants sur la résolution de problèmes.

Politique et réglementation de l'UE en matière de bioénergie

Selon la Commission européenne, la bioénergie est le résultat de la conversion des ressources de la biomasse, telles que les arbres, les plantes, les résidus agricoles/forestiers et les déchets urbains, en énergie et en vecteurs énergétiques, notamment la chaleur, l'électricité et les carburants de transport. Comme la biomasse peut repousser, elle est considérée comme une énergie renouvelable.
Il existe un certain nombre de directives qui couvraient les utilisations de la biomasse et des biocarburants dans l'UE, notamment la directive ILUC 2015/1513/UE, la directive sur les énergies renouvelables (UE) 2018/2001, la directive sur les énergies renouvelables 2009/28/CE (RED), la directive sur la qualité des carburants 2009/30/CE (FQD) et l'ancienne Directive Biocarburants 2003/30/CE.
La directive 2018/2001 sur les énergies renouvelables explique les critères de durabilité de la biomasse à grande échelle pour la production de chaleur et d'électricité, y compris les biocarburants et les bioliquides pour le transport. Dans la directive est également ajouté d'autres nouveaux critères:

- Déchets et résidus agricoles, nécessitant la preuve de la protection de la qualité du sol et du carbone du sol, et pour la biomasse agricole, nécessitant la preuve que la matière première ne provient pas de forêts à forte biodiversité
- La biomasse forestière, exigeant des générateurs de bioénergie qu'ils démontrent que le pays d'origine a mis en place des lois a) évitant le risque d'exploitation non durable et b) comptabilisant les émissions provenant de l'exploitation forestière. Si de telles preuves ne peuvent pas être fournies, les producteurs de bioénergie doivent démontrer la conformité à la durabilité au niveau de la zone d'approvisionnement en biomasse.
- Les nouvelles usines de biocarburants doivent produire au moins 65 % d'émissions directes de gaz à effet de serre (GES) en moins que l'alternative aux combustibles fossiles. Les nouvelles centrales thermiques et électriques à base de biomasse doivent produire au moins 70 % (80 % en 2026) moins d'émissions de GES que l'alternative aux combustibles fossiles
- Bioélectricité, exigeant que les centrales à grande échelle (plus de 50 MW) appliquent une technologie de cogénération hautement efficace, ou appliquent les meilleures techniques disponibles (MTD) ou atteignent une efficacité de 36 % (pour les centrales de plus de 100 MW-), ou utilisent la technologie de capture et de stockage du carbone.

Il existe une autre réglementation complémentaire établie par la législation de l'UE sur le climat et l'environnement pour s'assurer que tous les secteurs contribuent à l'objectif de

réduction des émissions de l'UE pour 2030, y compris le secteur de l'utilisation des terres. Ce règlement est le Règlement sur l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (LULUCF) 2018/841.

En dehors de cela, la Commission européenne a lancé le Green Deal qui fait partie de la stratégie de mise en œuvre de l'Agenda 2030 des Nations Unies et des objectifs de développement durable, ainsi que des autres priorités annoncées dans les orientations politiques de la présidente von der Leyen. Selon la communication de la Commission européenne, dans le cadre du Green Deal, la Commission recentrera le processus de coordination macroéconomique du Semestre européen afin d'intégrer les objectifs de développement durable des Nations unies, de placer la durabilité et le bien-être des citoyens au centre de la politique économique, et le développement durable objectifs de développement au cœur de l'élaboration et de l'action des politiques de l'UE.

Certains points doivent être atteints dans le cadre du plan Green Deal européen:

- Concevoir un ensemble de politiques profondément transformatrices, qui consiste à :
    - Accroître l'ambition climatique de l'UE pour 2030 et 2050 - prévoit d'augmenter l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'UE pour 2030 d'au moins 50 % et vers 55 %. Ce point est lié à l'actuel plan Fit for 55 de la Commission européenne.
    - Fournir une énergie propre, abordable et sûre
    - Mobiliser l'industrie pour une économie propre et circulaire
    - Construire et rénover de manière économe en énergie et en ressources.
    - Accélérer la transition vers une mobilité durable et intelligente.
    - Concevoir un système alimentaire équitable, sain et respectueux de l'environnement.
    - Préserver et restaurer les écosystèmes et la biodiversité.
    - Une ambition zéro pollution pour un environnement sans produits toxiques.
- Intégrer la durabilité dans toutes les politiques de l'UE
    - Poursuivre la finance et les investissements verts et assurer une transition juste.
    - Verdir les budgets nationaux et envoyer les bons signaux de prix.
    - Mobiliser la recherche et favoriser l'innovation - une partie de ce plan est Horizon Europe, un programme qui joue un rôle central dans la mobilisation des investissements nationaux publics et privés.
    - Activer l'éducation et la formation.
    - Un serment vert : "ne pas nuire" - L'objectif est de garantir que toutes les initiatives du Green Deal atteignent leurs objectifs de la manière la plus efficace et la moins contraignante possible et que toutes les autres initiatives de l'UE respectent le serment vert de "ne pas nuire".

En 2021, le Conseil européen a également lancé le paquet "Fit for 55" établissant une série de propositions touchant tous les pans de l'économie européenne et visant à favoriser la course de l'UE vers 55 % de réduction des émissions de GES d'ici 2030. Le paquet Fit for 55 comprend les propositions législatives et initiatives politiques suivantes:

- Système d'échange de quotas d'émission de l'UE
- Objectif de réduction des émissions des États membres

- Émissions et absorptions liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie
- Energie Renouvelable
- Efficacité Énergétique
- Infrastructure de carburants alternatifs
- Normes d'émission de CO2 pour les voitures et les camionnettes
- Fiscalité de l'énergie
- Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières
- Carburants d'aviation durables
- Plus verts dans le transport maritime
- Social Pour le Climat

|| Activité:
Moment ciné!
Film: https://burnedthemovie.com/the-film/
Après cela, faites une discussion avec les participants. Le film peut être séparé en 2 parties pour éviter l'ennui, quelques « energizers »au milieu pourraient aider.

— — — — —

References

Andrew Agbontalor Erakhrumen, 2011. Global Increase in the Consumption of Lignocellulosic Biomass as Energy Source: Necessity for Sustained Optimisation of Agroforestry Technologies. https://www.researchgate.net/publication/258403229_Global_Increase_in_the_Consumption_of_Lignocellulosic_Biomass_as_Energy_Source_Necessity_for_Sustained_Optimisation_of_Agroforestry_Technologies

Bioenergy Europe, 2021. Fit for 55, No Space for Subsidiarity: a Top-down Approach to Sustainability Will Not Enable a Renewable Future - Press Release. https://bioenergyeurope.org/index.php?option=com_content&view=article&id=322

Danish Energy Agency, 2018. Biomass. https://ens.dk/en/our-responsibilities/bioenergy/solid-biomass

Danish Energy Agency, 2020. Biomass Analysis. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasseanalyse_final_ren_eng.pdf

ETIP Bioenergy, 2021. Biofuels Policy Legislation.

European Commission, 2019. The European Green Deal. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2

European Commission, 2021. Energy. https://energy.ec.europa.eu/index_en

European Council, 2021. EU Plan for a Green Transition. https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/eu-plan-for-a-green-transition/

Institute for European Environmental Policy, 2021. Building Consensus on Sustainable use of Biomass for EU Bioenergy. https://ieep.eu/news/building-consensus-on-sustainable-use-of-biomass-for-eu-bioenergy

Jorgensen, Kaj., Van-Djik, Annemarije., 2003. Overview of Biomass for Power Generation in Europe. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.552.30&rep=rep1&type=pdf

Kalt, Gerald., 2012. Bioenergy in the Context of the EU 2020- and 2050-Policy Targets: Technology Priorities, Opportunities and

https://www.etipbioenergy.eu/markets-policies/biofuels-policy-legislation

European Biomass Industry Association, 2018. Bioenergy-related Policy. https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/policy/

European Biomass Industry Association, 2021. Challenges Related to Biomass. https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biomass-resources/challenges-related-to-biomass/

European Commission, 2010. Greening Our Energy Supply: The Role of Bioenergy from Forestry and Agriculture. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/sustainability_and_natural_resources/documents/leaflet-greening-our-energy-supply_en.pdf

European Commission, 2018. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC

Barriers. https://www.researchgate.net/publication/259156881_Bioenergy_in_the_context_of_the_EU_2020-_and_2050-policy_targets_Technology_priorities_opportunities_and_barriers

Maier, Jürgen, 2007. The Challenge of Sustainable Bioenergy: Balancing Climate Protection, Biodiversity and Development Policy. https://www.globalnature.org/bausteine.net/f/6703/Maier-Juergen-engl.pdf?fd=2

Transnational Institute, 2016. Bioenergy in the EU. https://www.tni.org/files/publication-downloads/bioenergy_in_the_eu.pdf

United States Environmental Protection Agency, 2021. Importance of Methane. https://www.epa.gov/gmi/importance-methane

5 - Technologies de Conversion de la Biomasse

Objectif: Fournir des informations et une compréhension sur le processus de conversion de la biomasse plus en détail, y compris les avantages et les limites de chaque processus.

— — — — —

Types de processus de conversion de la biomasse

Il existe certains types de conversion de la biomasse en énergie, il y a la production de chaleur et d'électricité, les biocarburants et la production de biogaz. Ces produits sont produits par différentes méthodes basées sur les types et les caractéristiques de la biomasse.

Production de chaleur et d'électricité

La combustion directe est la méthode la plus courante pour convertir la biomasse en énergie utile. Toute la biomasse peut être brûlée directement pour chauffer les bâtiments et l'eau, pour la chaleur des procédés industriels et pour produire de l'électricité dans les turbines à vapeur. La combustion directe est le moyen le plus simple et le plus ancien de produire de l'électricité à partir de la biomasse. Les systèmes à combustion directe (ou «à feu direct») brûlent la biomasse dans des chaudières pour produire de la vapeur à haute pression. La vapeur fait tourner une turbine reliée à un générateur, le même type de générateur électrique à vapeur utilisé dans les centrales électriques à combustibles fossiles. Lorsque la turbine tourne, le générateur tourne et de l'électricité est produite.

Biomasse >>> Chaudière >>> Vapeur >>> Turbine >>> Électricité

Certains pays européens avancés adoptent des équipements de combustion à haut rendement tels que les équipements de combustion à lit sulfurisé. Dans l'équipement, le bois est découpé en petits morceaux qui traversent ensuite le lit sulfuré en un temps très court. Après combustion, les morceaux de bois incomplètement brûlés sont renvoyés vers le lit sulfuré depuis le système d'évacuation des fumées. Les chaudières commercialisées de petite et moyenne taille développées par ces pays utilisent le bois et les résidus comme combustible. Leurs efficacités peuvent atteindre 50% - 60%

Les dispositifs utilisés pour la combustion directe des combustibles solides issus de la biomasse vont des petits poêles domestiques (1 à 10 kW) aux plus grandes chaudières utilisées dans les centrales électriques et les centrales de cogénération (> 5 MW). Les dispositifs intermédiaires couvrent les petites chaudières (10 à 50 kW) utilisées dans le chauffage des maisons unifamiliales, les chaudières de taille moyenne (50 à 150 kW) utilisées pour le chauffage des maisons multifamiliales ou des bâtiments et les grandes chaudières (150 à plus de 1 MW) utilisées pour le chauffage urbain. Cependant, la co-combustion dans les centrales électriques à combustible fossile offre les avantages des centrales de grande taille (> 100 MWe) qui ne sont pas applicables à la combustion dédiée à la biomasse en raison de la disponibilité limitée de la biomasse locale.

Selon l'Association européenne de l'industrie de la biomasse, il existe des fours les plus fréquemment utilisés pour la combustion de la biomasse :

Type	Gamme de taille typique	Carburants	Ash (%)cendres	Water Content (%) Teneur en eau
Poêles à bois	2 - 10 kW	Bûches de bois secs	<2	5 - 20
Chaudière à bûches	5 - 50 kW	Bûches de bois,résidus de bois collants	<2	5 - 30
Poêles et chaudières à	2 - 25 kW	Granulé de bois	<2	8 - 10

granulés				
Fourneaux à chargeur mécanique	20 kW - 2.5 MW	Copeaux et résidus de bois	<2	5 - 50
Fourneà grille mobile	150 kW - 15 MW	Combustibles ligneux, surtout la biomasse	<50	5 - 60
Pré-four avec grille	20 kW - 1.5 MW	Dry wood (residues)/bois sec	<5	5 - 35
Chargeur mécanique avec grille mobile	2 - 5 MW	Copeaux de bois,haute teneur en eu	<50	40 - 65
Brûle cigare	3 - 5 MW	Pailles	<5	20
Lit fluidisé stationnaire	5 - 15 MW	Various biomass, d < 10 mm/biomasses diverses	<50	5 - 60
Lit fluidisé circulant	15 - 100 MW	Various biomass, d < 10 mm	<50	5 - 60
Chambre de combustion	5 - 10	Various biomass, d < 5 mm	<5	<20

Les fours à chargeur mécanique sont principalement utilisés pour les copeaux de bois et les combustibles similaires avec une teneur en cendres relativement faible, tandis que les fours à grille peuvent également être utilisés pour une teneur élevée en cendres et en eau. Les chaudières à lit fluidisé fixe ou bouillonnant (SFB) ainsi que les chaudières à lit fluidisé circulant (CFB) sont utilisées pour des applications à grande échelle et souvent utilisées pour les déchets de bois ou les mélanges de bois et de déchets industriels, par ex. de l'industrie des pâtes et papiers.

Production de Biocarburants

Biodiesel

Le biodiesel est un carburant diesel alternatif obtenu à partir de sources renouvelables. Le biodiesel est un ester monoalkylique dérivé de graisses animales ou de certains types d'huiles, y compris les huiles végétales de cuisson. Les substances d'origine animale et végétale sont classées comme sources d'énergie de la biomasse. Selon Rajaluigam (2016), le carbone sera neutre lorsque le biodiesel est utilisé comme carburant, car pendant le processus de combustion, la quantité d'émission de carbone est égale à un animal ou une

plante absorbée pendant toute sa durée de vie. Ainsi, l'émission sera faible dans la combustion verte du biocarburant.

Selon Aktas (2020), le biodiesel est produit en faisant réagir des huiles végétales ou animales avec un alcool et un catalyseur. C'est aussi un carburant diesel non toxique, biodégradable et renouvelable. Comme le biodiesel est constitué d'esters monoalkyliques, le biodiesel ne contient pas d'huile, mais peut cependant être utilisé comme carburant, soit pur, soit en mélange avec du gazole de n'importe quelle proportion (Ölmez, 2005).
Selon Aktas (2020), certaines sources d'huile peuvent être utilisées dans la production de biodiesel :

- Huiles Végétales : Tournesol, Soja, Colza, Carthame, Coton, Palme
- Huiles de récupération : sous-produits de l'industrie des huiles végétales
- Huiles de récupération de l'origine des déchets urbains et industriels
- Huiles animales : huiles de givre, huiles de poisson et huiles de volaille
- Huiles végétales usagées : huiles de cuisson usagées

Technologies de production de biodiesel
Technologies de production de biodiesel
Technologies de production de biodiesel

Technologies de production de biodiesel

Certaines technologies courantes permettent d'utiliser des types de matières premières à base d'huile et de graisse comme carburant dans les moteurs diesel, généralement appelés biodiesel. Les technologies sont l'utilisation directe ou le mélange d'huiles, la pyrolyse, la microémulsion et la transestérification. La transestérification est la méthode que divers chercheurs préfèrent utiliser pour la production de biodiesel en raison d'une production de meilleure qualité.

Utilisation directe (dilution) ou mélange

Le processus de dilution est un processus de dilution des huiles végétales et usées par mélange avec un solvant ou un carburant diesel dans certaines proportions. Les utilisations directes d'huiles végétales ont généralement été considérées comme non satisfaisantes et peu pratiques pour les moteurs diesel directs et indirects. Les huiles utilisées dans la méthode de dilution de la production de biodiesel ; l'huile d'arachide, l'huile de colza, l'huile de tournesol et les huiles usagées. La viscosité élevée, la composition acide, la teneur en acides gras libres, ainsi que la formation de gomme due à l'oxydation et à la polymérisation pendant le stockage et la combustion, les dépôts de carbone et l'épaississement de l'huile lubrifiante sont des problèmes évidents.

Pour éviter de tels problèmes, les sources de carburant alternatives sont directement mélangées avec des carburants fossiles conventionnels. Ce type de mélange améliorera la qualité du carburant, réduira la consommation de carburant fossile, etc., il est donc également préférable comme moyen le plus pratique d'utiliser des carburants alternatifs tels que les biocarburants. Les mélanges d'huile bio et de diesel seront dans différents ratios comme 10:1, 10:2, 10:3, etc., (Mende, 2015).

Pyrolyse

Le mot « pyrolyse » est dérivé de pyro (qui peut être interprété comme « feu ») et lyse (qui est interprété comme « séparation »). Par conséquent, la pyrolyse peut être simplement définie comme la décomposition ou la désintégration de composés organiques à des températures très élevées, aidée soit par la présence d'un catalyseur approprié, soit par l'absence d'air. La pyrolyse est effectuée dans une plage de température de 400 à 600 °C. Le processus produit des gaz, de la bio-huile et un charbon en fonction de la vitesse de pyrolyse. Selon Gebremariam (2017), en fonction des conditions opératoires, le procédé de pyrolyse peut être divisé en trois sous-classes : la pyrolyse conventionnelle, la pyrolyse rapide et la pyrolyse flash. La pyrolyse rapide est celle utilisée pour la production de bio-huile.

Tableau .Classification des méthodes de pyrolyse (Czernik, 2004)

Méthode	**Température(°C)**	**Hériode**	**Taux de chaleur(°C/s)**	**Produits principaux**
Pyrolyse conventionnelle, lente	Med-high (400-500) Mi-élevé	Long 5-30 min Long	Low 10 Bas	● Gas/gaz ● Char ● Bio-oil (tar)/huiles bio
Pyrolyse rapide	Mi-élevé (400-650)	Short 0.5-2 s Court	High 100 Élevé	● Huiles bio ● Gases/gaz ● Char
Pyrolyse très rapide/éclair	High (700-1000) Élevé	Très court< 0.5 s	Low 10 Bas	● Huiles bio

Les matières organiques pouvant être pyrolysées comprennent les graisses animales, les huiles végétales, les triglycérides naturels. Les composants liquides des graisses pyrolysées et des triglycérides comprennent le biodiesel qui fonctionne de la même manière que le diesel pétrolier dans les moteurs diesel. Abbaszaadeh (2012) a également signalé que le carburant biodiesel produit par un processus de pyrolyse ou connu sous le nom de bio-huile convient aux moteurs diesel. Singh et Singh (2010), ont mentionné que la pyrolyse thermique des triglycérides présente plusieurs avantages tels qu'un coût de traitement inférieur, la simplicité, moins de déchets et aucune pollution. Un autre inconvénient de la pyrolyse est la nécessité d'un équipement de distillation pour la séparation des différentes fractions. De plus, le produit obtenu est similaire à l'essence contenant du soufre, ce qui le rend moins écologique (Ranganathan, 2018).

Micro-émulsification

Selon la définition de l'IUPAC, la micro-émulsion est une dispersion composée d'eau, d'huile et de tensioactif(s) qui est un système isotrope et thermodynamiquement stable avec un diamètre de domaine dispersé variant approximativement de 1 à 100 nm, généralement de

10 à 50 nm. Ma et al. (1999) ont expliqué que la formation de micro-émulsion est l'une des solutions potentielles pour résoudre le problème de la viscosité des huiles végétales.

Les composants d'une micro-émulsion de biodiesel comprennent du carburant diesel, de l'huile végétale, de l'alcool et un tensioactif et un améliorant de cétane dans des proportions appropriées. Des alcools tels que le méthanol et l'éthanol sont utilisés comme additifs abaissant la viscosité, des alcools supérieurs sont utilisés comme tensioactifs et des nitrates d'alkyle sont utilisés comme améliorants de cétane. Les micro-émulsions peuvent améliorer les propriétés de pulvérisation par vaporisation explosive des constituants à bas point d'ébullition dans les micelles. La micro-émulsion entraîne une réduction de la viscosité, une augmentation de l'indice de cétane et de bonnes caractéristiques de pulvérisation dans le biodiesel. Cependant, comme l'indique Parawira (2010), l'utilisation continue de diesel micro-émulsionné dans les moteurs entraîne des problèmes tels que le grippage des aiguilles d'injecteur, la formation de dépôts de carbone et une combustion incomplète.

Transestérification

La transestérification est la méthode la plus pratique pour produire du biodiesel à partir de types de matières premières d'huile et de graisse, qui ressemble chimiquement au diesel pétrolier. Avec cette méthode, les huiles et les graisses (triglycérides) sont converties en leurs esters alkyliques avec une viscosité réduite à des niveaux proches du carburant diesel. Ce produit est donc un carburant aux propriétés similaires au carburant diesel à base de pétrole, ce qui lui permet d'être utilisé dans les moteurs diesel pétroliers existants sans modifications.

Généralement, la transestérification est une réaction réversible, qui se déroule simplement essentiellement en mélangeant les réactifs habituellement sous chaleur et/ou pression. Cependant, si un type de catalyseur est ajouté à la réaction, le processus sera accéléré. Il existe un certain nombre de façons de produire la transestérification, comme la catalyse acide, la catalyse basique, la lipase catalysée, la supercritique, la nano catalyse et la catalyse liquide ionique

Transestérification catalysée par un acide

La transestérification catalysée par un acide a été la première méthode de l'histoire à produire du biodiesel (ester éthylique) à partir d'huile de palme en utilisant de l'éthanol et de l'acide sulfurique. Le processus catalysé par un acide est dû à la réaction d'un triglycéride (graisse/huile) avec un alcool en présence d'un catalyseur acide pour former des esters (biodiesel) et du glycérol. Cette méthode est pratique et économiquement viable dans la production de biodiesel à partir de ressources en huile ou en graisse à haute teneur en acides gras libres. Cependant, la réaction catalysée par un acide nécessite un temps de réaction plus long et une température plus élevée que la réaction catalysée par un alcali.

La transestérification catalysée par un acide commence par mélanger l'huile directement avec l'alcool acidifié, de sorte que la séparation et la transestérification se produisent en une seule étape, l'alcool agissant à la fois comme solvant et comme réactif d'estérification. La transestérification catalysée par un acide doit être effectuée en l'absence d'eau, afin d'éviter la formation compétitive d'acides carboxyliques qui réduisent les rendements en esters alkyliques. Étant donné que la transestérification est une réaction d'équilibre, il devrait

toujours y avoir plus d'alcool que l'huile pour favoriser la réaction directe pour une conversion complète de l'huile en ester alkylique. Cependant, plus d'alcool au-delà de l'optimum entraînera également des coûts supplémentaires lors de la séparation de plus de glycérol produit de l'ester alkylique et c'est pourquoi il devrait toujours y avoir une optimisation du rapport pour une production efficace.

L'acide sulfurique, l'acide sulfonique et l'acide chlorhydrique sont les catalyseurs acides habituels, mais le plus couramment utilisé est l'acide sulfurique. La méthode de transestérification catalysée par un acide présente des avantages et des inconvénients.

Les avantages sont:

- Donne un rendement relativement élevé
- Insensible à la teneur en FFA dans la matière première, donc méthode préférée si une matière première de qualité inférieure est utilisée
- L'estérification et la transestérification se produisent simultanément
- Less energy intensive/demande moins d'énergie

Les désavantages sont:

- La corrosivité des acides endommage les équipements
- Plus de quantité de glycérol libre dans le biodiesel
- Nécessite un fonctionnement à plus haute température mais moins que supercritique
- Séparation relativement difficile du catalyseur du produit
- A un taux de production plus lent (prend relativement plus de temps)

Transestérification catalysée par la base

Le processus de transestérification catalysé alcalin ou basique est la réaction d'un triglycéride (graisse/huile) avec un alcool en présence de catalyseurs alcalins tels que des alcoxydes et hydroxydes de métaux alcalins ainsi que des carbonates de sodium ou de potassium pour former des esters (biodiesel) et du glycérol. La transestérification catalysée par une base est beaucoup plus rapide que la transestérification catalysée par un acide et est moins corrosive pour les équipements industriels et est donc la plus souvent utilisée dans le commerce. Cependant, la présence d'eau et une quantité élevée d'acides gras libres dans une matière première entraînent une saponification de l'huile et, par conséquent, une réaction incomplète au cours du processus de transestérification alcaline avec formation ultérieure d'émulsion et difficulté de séparation du glycérol. Le principal inconvénient résultant de la réaction de saponification est la consommation de catalyseur et la difficulté accrue du processus de séparation, ce qui entraîne des coûts de production élevés.

Généralement, les catalyseurs basiques manifestent une activité catalytique beaucoup plus élevée que les catalyseurs acides dans la réaction de transestérification, mais sont sélectivement adaptés pour dériver du biodiesel uniquement à partir d'huiles raffinées ayant une faible teneur en acides gras libres (FFA) généralement inférieure à 0,5 %. La production efficace de biodiesel à l'aide de la transestérification catalysée par une base ne dépend pas seulement de la qualité de la matière première, elle dépend également des variables cruciales de l'opération de réaction telles que le rapport molaire alcool/huile, la température

de réaction, la vitesse de mélange, le temps de réaction, le type et concentration de catalyseur et également du type d'alcool utilisé (généralement du méthanol).

L'hydroxyde de sodium, l'hydroxyde de potassium et le méthylate de sodium sont des catalyseurs habituellement utilisés dans la transestérification catalysée par une base. L'hydroxyde de sodium est le plus souvent préférable en raison de son activité catalytique intermédiaire et d'un coût beaucoup plus faible. La méthode de transestérification catalysée par une base présente des avantages et des inconvénients.
Les avantages sont:

- Vitesse de réaction plus rapide que la transestérification catalysée par un acide
- La réaction peut se produire dans des conditions de réaction douces et moins intenses en énergie
- Les catalyseurs courants tels que NaOH et KOH sont relativement bon marché et largement disponibles
- Less corrosive moins corrosif

Les désavantages sont:

- Sensible à la teneur en FFA dans l'huile
- La saponification de l'huile est le principal problème en raison de la qualité de la matière première
- La récupération du glycérol est difficile
- Eaux usées alcalines
- Nécessite un Traitement

Transestérification catalysée par la lipase
Le processus de transestérification catalysé par la lipase est la réaction d'un triglycéride (graisse/huile) avec un alcool en présence de l'enzyme lipase comme catalyseur pour former des esters (biodiesel) et du glycérol. La transestérification catalysée par la lipase est l'autre voie de transestérification des huiles et des graisses pour la production de biodiesel à l'aide d'enzymes dans lesquelles il n'y a pas de problème de saponification, de purification, de lavage et de neutralisation, de sorte qu'il s'agit toujours d'une méthode préférée de ces points de vue. Cependant, les problèmes associés aux catalyseurs enzymatiques sont leur coût plus élevé et leur temps de réaction plus long.

Les lipases pour leur activité de transestérification sur différentes huiles peuvent être trouvées à partir de différentes sources. Capacité à utiliser tous les mono, di et triglycérides ainsi que les acides gras libres, faible inhibition du produit, activité et rendement élevés dans des milieux non aqueux, faible temps de réaction, réutilisation de l'enzyme immobilisée, résistance à la température et à l'alcool sont les caractéristiques les plus souhaitables de lipases pour la transestérification des huiles pour la production de biodiesel. Les enzymes sont généralement immobilisées pour une meilleure charge, activité et stabilité des enzymes. La sélection et la conception de la matrice de support sont importantes dans l'immobilisation des enzymes. A cet égard, il existe un certain nombre de façons d'immobiliser les enzymes.

La méthode de transestérification catalysée par la lipase présente des avantages et des inconvénients.
Les avantages sont:

- Insensible aux FFA et à la teneur en eau de l'huile, donc préféré lorsque des matières premières de qualité inférieure sont utilisées
- Elle est réalisée à basse température de réaction
- La purification nécessite une étape simple, en permettant une séparation facile du sous-produit, le glycérol
- Donne un produit de haute pureté (esters)
- Permet de réutiliser l'enzyme immobilisée

Les désavantages sont
- Le coût de l'enzyme est généralement très élevé
- Donne un rendement relativement faible
- Il faut un temps de réaction élevé
- Le problème de l'inactivation des lipases causée par le méthanol et le glycérol

Transestérification catalysée par un liquide ionique

Les liquides ioniques sont des sels organiques composés d'anions et de cations liquides à température ambiante. Les cations sont responsables des propriétés physiques des liquides ioniques (telles que le point de fusion, la viscosité et la densité), tandis que l'anion contrôle ses propriétés chimiques et sa réactivité. Leur avantage unique est que, bien que synthétisés, ils peuvent être modérés pour s'adapter aux conditions de réaction requises.

Parmi les différents types possibles de liquides ioniques pour la catalyse de la réaction de transestérification pour la production de biodiesel, les liquides ioniques composés du cation 1-n-butyl-3-méthylimidazolium sont les composés les plus étudiés et discutés. Guo et al. (2014) ont conclu que la transestérification catalysée par un liquide ionique s'est avérée efficace et rapide pour la préparation de biodiesel à partir d'huile de soja.

Les avantages de cette méthode sont:
- Facile à séparer les produits finaux grâce à la formation de biphasique.
- Efficace et gain de temps
- Lors de la préparation des catalyseurs, leurs propriétés peuvent être conçues pour répondre à un besoin particulier
- Le catalyseur peut être facilement séparé et réutilisé plusieurs fois
- Activité catalytique élevée, excellente stabilité

Les désavantages de cette méthode sont.
- Coût élevé de la production de liquide ionique
- Nécessite relativement plus d'alcool pour un rendement efficace

Bioéthanol

Le bioéthanol est considéré comme un substitut potentiel à l'essence conventionnelle et peut être utilisé directement dans les véhicules ou mélangé à l'essence, réduisant ainsi les émissions de gaz à effet de serre et la consommation d'essence. Le bioéthanol (E100) peut être utilisé en application directe. Cependant, il est difficile de démarrer le moteur car le moteur démarrera à basse température ou par temps froid, car l'E100 a besoin d'une chaleur plus élevée pour la vaporisation.

Les avantages du bioéthanol comprennent un indice d'octane élevé entraînant une efficacité et des performances accrues du moteur, un point d'ébullition bas, une large inflammabilité, un taux de compression et une chaleur de vaporisation plus élevés, un contenu énergétique comparable, un temps de combustion réduit et un moteur à mélange pauvre.

Certaines sources peuvent être utilisées dans la production de bioéthanol :

- La source de première génération provient de matières premières comestibles :
    - Corn maïs
    - Sugar cane canne à sucre
- La source de seconde génération provient de la lignocellulose comme matière première :
    - Switchgrass panic raide
    - Cornstalks maïs
    - Wood bois
    - Herbaceous crops cultures herbacées
    - Déchets et produit en papier
    - Résidus agricoles et forestiers
    - Déchets des usines de pâtes et papiers
    - Déchets solides municipaux
    - Déchets de l'industrie alimentaire
- La source de troisième génération provient des algues comme matière première, il existe des types d'algues à forte productivité :
    - Nannochloropsis Oculata
    - Tetraselmis suecica
    - Scenedesmus dimorphus
    - Porphyridium cruentum (eau de mer)
    - Porphyridium cruentum (eau douce)
    - Padina Tetrastromatica

Le bioéthanol peut être utilisé dans certaines applications telles que :

- Carburant pour le transport
- Combustible pour la production d'électricité à partir de la combustion thermique
- Matière première dans l'industrie chimique
- Carburant dans les systèmes de cogénération

Processus de production de bioéthanol

La production de bioéthanol comprenait le prétraitement, l'hydrolyse et la fermentation. Certains types de procédés de prétraitement sont généralement utilisés dans la production de bioéthanol, tels que le prétraitement traditionnel et les méthodes de prétraitement avancées pour la lignocellulose. Dans le processus d'hydrolyse, la biomasse lignocellulosique peut être catalysée soit avec des enzymes soit avec un acide. Dans les technologies de fermentation, il en existe certains types, tels que le processus de fermentation par lots, le processus de fermentation en continu, le processus de fermentation par lots alimentés, l'hydrolyse et la fermentation séparées (SHF), la saccharification et la fermentation simultanées (SSF), la saccharification et la cofermentation simultanées (SSCF) et bioprocédés consolidés (CBP).

Biomasse lignocellulosique >>> Prétraitement >>> Hydrolyse >>> Fermentation >>> Distillation >>> Bioéthanol/Ethanol

Processus de prétraitement

Le procédé de prétraitement de la biomasse lignocellulosique va permettre de séparer la cellulose qui se trouve généralement dans une matrice de polymères constituée d'hémicellulose et de lignine. Cette séparation de la cellulose facilite le processus d'hydrolyse - car il devient plus accessible et plus facile de produire des monomères de sucre lors de l'hydrolyse. S'il n'y a pas de prétraitement, le processus d'hydrolyse ne sera pas efficace car l'enzyme se liera simplement à la surface de la lignine.

Le processus de prétraitement présente certains avantages :

- Aide à prévenir la dégradation des sucres (pentoses)
- Assurer la viabilité de la production de bioéthanol, comme la taille du réacteur, les besoins en chaleur et en électricité
- Minimiser la formation d'inhibiteurs qui peuvent réduire le rendement de l'hydrolyse et de la fermentation du sucre en éthanol

Prétraitement traditionnel

Il existe 4 méthodes de prétraitement différentes telles que :

- Prétraitement physique - Dans le prétraitement physique, la biomasse lignocellulosique se décompose en petite taille, ce prétraitement implique la moulure, le broyage, l'extrusion et l'irradiation. Cette méthode augmentera la surface et la taille des pores de la biomasse, ce qui peut augmenter l'efficacité de l'hydrolyse enzymatique. Le prétraitement physique peut être combiné au prétraitement chimique pour augmenter l'efficacité de déconstruction de la lignocellulose (Edeh, 2020).
- Prétraitement chimique - Le prétraitement chimique comprend des méthodes acides, alcalines (bases) et oxydatives. Cependant, le prétraitement chimique est très sensible et sélectif avec les types de matières premières. Le prétraitement chimique est très efficace mais il nécessite des conditions de travail et un environnement particuliers, ainsi que les sous-produits de cette méthode nécessitant une élimination particulière.
- Prétraitement physico-chimique - Dans le traitement physico-chimique, on combine en fait à la fois des prétraitements physiques et chimiques.
- Prétraitement biologique - Dans le prétraitement biologique, des micro-organismes tels que la pourriture blanche, la pourriture brune, les champignons et les bactéries de la pourriture molle décomposent la biomasse lignocellulosique pour une hydrolyse ultérieure.

Prétraitement avancé

Ce traitement est généralement appelé prétraitement de fractionnement de la lignocellulose (Edeh, 2020). Ce traitement visait à réduire le coût du processus de prétraitement dans la production de bioéthanol. Ce processus est réalisé en utilisant des solvants cellulosiques

capables d'améliorer la séparation de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine dans la biomasse lignocellulosique.

Il existe 2 méthodes de traitement avancées différentes :

- Fractionnement à médiation acide - cette méthode utilise un solvant cellulosique comme l'acide phospholique, l'acétone ou l'éthanol, et fonctionne à 1 atm et 50 C pour séparer la biomasse lignocellulosique. Cette méthode est effectivement utilisée pour prétraiter certaines lignocelluloses telles que le bambou, les tiges de maïs, la canne à sucre, le panic raide et l'herbe à éléphant (Sathisuksanoh, 2011).
- Fractionnement à base de liquide ionique (ILF) - Les liquides ioniques sont simplement des solutions salines constituées d'une quantité importante de cations organiques et d'une petite quantité d'anions inorganiques sous forme de liquide à température ambiante. Cette méthode est utilisée pour fractionner la lignocellulose afin d'obtenir des matières premières spécifiques, purifiées et polymères, intactes et facilement séparables et utilisées comme coproduits à valeur ajoutée (Edeh, 2020

|| Fait:

Cependant, la méthode de prétraitement par explosion à la vapeur est fréquemment utilisée pour la biomasse lignocellulosique. Le prétraitement par explosion à la vapeur est un prétraitement physico-chimique qui présente des avantages tels qu'un faible investissement en capital, une efficacité énergétique élevée, un impact environnemental moindre et une récupération complète du sucre.

Hydrolyse

L'hydrolyse est un processus important dans la production de bioéthanol. L'hydrolyse se faisait autrefois après prétraitement de la biomasse lignocellulosique déjà décomposée en glucides polymères (cellulose et hémicellulose). Cette étape décompose les polymères glucidiques en monomères de sucre. Le procédé d'hydrolyse peut être utilisé avec une catalyse acide ou enzymatique.

L'hydrolyse catalysée par un acide est la méthode couramment utilisée dans la production de bioéthanol. Les acides fréquemment utilisés dans cette hydrolyse sont H2SO4 et HCl à haute concentration et basse température. Le résultat de cette méthode est une récupération de 90 % du sucre en peu de temps. Cependant, cette méthode présente certains avantages tels que le coût élevé, la difficulté de récupération, de contrôle et d'élimination de l'acide

L'hydrolyse catalysée par une enzyme est une autre méthode du processus d'hydrolyse pour la production de bioéthanol. Ce processus utilise des enzymes telles que Clostridium, cellulomonas, Erwinia, Thermonospora, Bacteroides, Bacillus, Ruminococcus, Acetovibrio et Streptomyces. D'autres comprennent des champignons tels que Trichoderma, Penicillium, Fusarium, Phanerochaete, Humicola et Schizophyllum sp. (Edeh, 2020). Et l'enzyme microbienne la plus couramment utilisée est Trichoderma sp. (Imran, 2016). Cette méthode présente des avantages tels qu'une récupération élevée du sucre. Cependant, certains facteurs affectent le résultat, tels que le pH, la charge enzymatique et le temps, la température et la concentration du substrat. L'inconvénient de cette méthode est le coût de production élevé, car les enzymes sont chères.

Processus de fermentation

La fermentation est un processus biologique qui convertit les sucres monomères issus de l'hydrolyse en éthanol, en acides et également en gaz. Cette méthode utilise des levures, des champignons et des bactéries. Dans ce processus, le micro-organisme le plus couramment utilisé est la levure, en particulier Saccharomyces cerevisiae, car ce micro-organisme a un rendement élevé en éthanol et des limites de tolérance élevées (Surendhiran, 2019).

Il existe certaines technologies sur le processus de fermentation pour produire du bioéthanol, telles que la fermentation discontinue, continue et à l'état solide, la saccharification et la fermentation simultanées (SSF), la saccharification et la co-fermentation simultanées (SSCF), la saccharification et la fermentation simultanées non isothermes, filtration et fermentation simultanées et bioprocédés consolidés

Processus de Fermentation Discontinue
Il s'agit du processus de fermentation le plus élémentaire dans la production de bioéthanol, car il est facile à contrôler et comporte plusieurs cuves. Le processus consiste à ajouter les substrats, le micro-organisme, le milieu de culture et les nutriments au début de l'opération dans un système fermé dans des conditions favorables à un moment prédéterminé. Les produits ne sont prélevés qu'à la fin du temps de fermentation. Cependant, les inconvénients de ce procédé sont un faible rendement, une longue durée de fermentation et une main-d'œuvre élevée, de sorte que ce procédé n'est pas attrayant pour la production commerciale.

Processus de Fermentation Continue
Ce procédé consiste à ajouter des substrats, du milieu de culture et des nutriments dans un fermenteur qui contient des micro-organismes actifs et à soutirer les produits en continu. Les avantages du processus de fermentation continue sont une productivité élevée, de petits volumes de fermenteur et un faible investissement et un faible coût d'exploitation (Jain, 2014). La longue durée de culture est l'inconvénient de ce processus car il s'agit d'un déclin potentiel de la capacité de la levure à supporter l'éthanol. Les avantages sont un faible investissement en capital, une productivité élevée et de petits volumes de fermenteur.

Processus de fermentation Fed-batch (discontinue)
Selon Edeh (2020), Chandel (2007) et Xiao (2019), le processus de fermentation discontinue est la combinaison de processus de fermentation discontinus et continus impliquant le chargement du substrat dans le fermenteur sans retirer le milieu. Comparé à d'autres procédés de fermentation, le procédé fed-batch a une productivité plus élevée, plus d'oxygène dissous dans le milieu, un temps de fermentation plus court et un effet toxique du milieu plus faible. L'inconvénient est que la productivité de l'éthanol est limitée par la concentration de la masse cellulaire et le débit d'alimentation.

Hydrolyse et Fermentation Séparées (SHF)
Selon Edeh (2020), Azhar (2017) et Tavva (2016), l'hydrolyse enzymatique est séparée de la fermentation permettant aux enzymes de fonctionner à haute température et aux micro-organismes de fermentation de fonctionner à température modérée pour des

performances optimales. Étant donné que les enzymes hydrolytiques et les organismes de fermentation fonctionnent dans leurs conditions optimales, on s'attend à ce que la productivité de l'éthanol soit élevée. Les inconvénients du SHF sont un coût d'investissement élevé d'autant plus que deux réacteurs sont nécessaires, l'exigence d'un temps de réaction élevé, et la possibilité de limiter les activités cellulaires par les sucres libérés lors de l'étape d'hydrolyse.

Saccharification et Fermentation Simultanées (SSF)
La saccharification et la fermentation simultanées (SSF) où la saccharification de la cellulose et la fermentation des sucres monomères sont réalisées simultanément dans le même réacteur (Rastogi, 2018). Selon Edeh (2020), l'inconvénient du SSF est la variation de la température optimale requise pour une performance efficace de la cellulase et des micro-organismes lors de l'hydrolyse et de la fermentation, respectivement.

Saccharification et Co-fermentation Simultanées (SSCF)
Il s'agit de réaliser l'hydrolyse et la saccharification dans la même unité avec co-fermentation des sucres pentoses. Habituellement, des souches de Saccharomyces cerevisiae génétiquement modifiées qui peuvent fermenter le xylose sont utilisées puisque la Saccharomyces cerevisiae normale ne peut pas fermenter le sucre pentose (Bondesson, 2016). Comme le SSF, le SSCF présente les avantages d'un coût inférieur, d'un rendement en éthanol plus élevé et d'un temps de traitement plus court (Chandel, 2007)

Bioprocédés Consolidés (CBP)
Selon Hasunuma (2012), ce processus nécessite que la production d'enzymes, l'hydrolyse et la fermentation soient réalisées dans une seule unité. Le microorganisme le plus utilisé dans ce processus est Clostridium thermocellum car il a la capacité de synthétiser la cellulase qui dégrade la lignocellulose en sucres monomères et produit de l'éthanol. Bien que le CBP en soit encore à ses balbutiements, les avantages suivants ont été identifiés : moins énergivore, coût de l'enzyme moins cher, faible coût d'investissement, moins de possibilité de contamination (Edeh, 2020)

|| Activité:
Développez la discussion avec les participants, il n'y a pas de bien ou de mal dans cette discussion. Comme la production de biocarburants nécessite des coûts de production plus élevés et des opérations complexes en général, qu'en pensent-ils ?
Mots clés : Plus de développement de la recherche, plus de participation au développement, réglementation gouvernementale, subsidiarité pour le développement.

Production de Biogaz

Selon l'Agence européenne pour l'environnement, le biogaz est un type de gaz, riche en méthane, qui est produit par la fermentation de déjections animales, d'eaux usées humaines ou de résidus de culture dans un récipient hermétique. Simplement, le biogaz est un carburant sous forme de gaz qui est produit par un processus anaérobie à partir de la biomasse. Le processus anaérobie dans la production de biogaz est le processus de méthanogenèse (production de méthane) sans la présence d'oxygène.

Le méthane est un gaz à effet de serre et aussi un hydrocarbure qui est un composant principal du gaz naturel. Cependant, le méthane peut être produit dans un processus anaérobie à partir de sources de biomasse telles que les déchets et les eaux usées - il ne provient donc pas uniquement du gaz naturel (combustible fossile).
On average, biogas contains: En moyenne, le biogaz contient :

- 55-80% methane (CH_4)
- 20-40% carbon dioxide (CO_2).
- Trace gases, including toxic hydrogen sulphide and nitrous oxide.
- 55-80% méthane (CH4)
- 20-40% de dioxyde de carbone (CO2).
- Gaz à l'état de traces, y compris le sulfure d'hydrogène toxique et l'oxyde nitreux.

Dans la production de méthane, il y a 4 étapes essentielles telles que l'hydrolyse, l'acidification, l'acétogénèse et la méthanogénèse. Ces étapes consistent dans le processus de digestion anaérobie. Dans le processus de digestion anaérobie, il existe 2 méthodes différentes, y compris le fonctionnement en une seule étape et le fonctionnement en deux étapes. Cependant, le monoétage est moins efficace, mais simple. De nombreux chercheurs ont recommandé le fonctionnement en deux étapes, car il est plus efficace en termes de temps de rétention de la production de biogaz

Selon la Commission européenne (2017), en Europe, les cultures énergétiques (principalement le maïs) fournissent environ la moitié de la production de biogaz (318 PJ, 7,6 Mtep), suivies par la mise en décharge (114 PJ, 2,7 Mtep), les déchets organiques (y compris les déchets municipaux) (86 PJ, 2,0 Mtep), boues d'épuration (57 PJ, 1,3 Mtep) et fumier (46 PJ, 1,1 Mtep).

|| Fait:
L'Allemagne est de loin le plus grand producteur de biogaz (311 PJ, ou 7,4 Mtep) dans l'UE, soit 50 % du total de l'UE 28, suivie de l'Italie et du Royaume-Uni (RU). Le biogaz provenant des décharges représentait 18 %, les boues d'épuration 9 %, tandis que 72 % du biogaz était produit dans d'autres digesteurs, principalement des usines agricoles et certains digesteurs de déchets organiques industriels. (CE, 2017)

Vous trouverez ci-dessous le schéma de flux de production de biogaz simple :

Matière première >>> Prétraitement >>> Processus de digestion anaérobie >>> Biogaz brut >>> Purification >>> Stockage >>> Distribution

Processus de prétraitement

Semblable au processus de production de bioéthanol, un prétraitement est nécessaire dans la production de biogaz. Dans la production de biogaz, le prétraitement vise à ouvrir la structure du substrat, ce qui peut augmenter le rendement en biogaz. Le prétraitement améliorera l'efficacité et la qualité du résultat de la digestion anaérobie. Il existe 5 méthodes de prétraitement différentes, telles que physique, chimique, thermique, biologique et combinée.

Méthodes de Prétraitement Physique

Dans le prétraitement physique, la structure de la biomasse sera décomposée en utilisant la force physique. Ce prétraitement est utilisé pour rendre la biomasse facilement traitée dans

le digesteur anaérobie car la biomasse est sensible aux processus microbiens et enzymatiques. Il existe différents types de méthodes de prétraitement physique telles que :

- Milling
- Cavitation
- Microwave irradiation
- Extrusion
- Fraisage
- Cavitation
- Irradiation micro-ondes
- Extrusion

Méthode de Prétraitement Thermique

Selon Edeh (2020), le prétraitement thermique améliore l'hydrolyse, avec un rendement accru en méthane lors de la digestion anaérobie ultérieure. Une large gamme de températures a été étudiée, allant de 60 à 270 °C, mais des températures supérieures à 200 °C se sont avérées responsables de la production de matières organiques solubles récalcitrantes ou d'intermédiaires toxiques/inhibiteurs pendant le processus de prétraitement (Wilson, 2009).

Méthodes de Prétraitement Chimique

Il existe certains types de méthodes de prétraitement chimique qui peuvent être utilisées dans le processus de production de biogaz, telles que :
Prétraitement acide
Prétraitement alcalin
Prétraitement oxydant
Prétraitement d'ozonation

- Acid Pretreatment
- Alkali Pretreatment
- Oxidative Pretreatment
- Ozonation Pretreatment

Méthode de Prétraitement Biologique

Le processus de prétraitement à médiation biologique est basé sur la fonction de multiples formes de microbes hétérotrophes (Edeh, 2020). Le prétraitement fongique améliore la dégradation de la lignine et de l'hémicellulose et entraîne donc une digestibilité accrue de la cellulose, qui est de préférence essentielle pour le processus de digestion anaérobie. Plusieurs classes de champignons, y compris les champignons de la pourriture brune, blanche et molle, ont été utilisées pour le prétraitement de la biomasse lignocellulosique pour la production de biogaz, les champignons de la pourriture blanche étant les plus efficaces.

Méthodes de Prétraitement Combinées

Il existe différents types de méthodes combinées de prétraitement telles que :

- Explosion de vapeur
- Physicochimique
- Expansion des fibres d'ammoniac

Technologies de digestion anaérobie

Le système de digestion anaérobie à plusieurs étages est plus efficace en termes de qualité et de performance du produit. Le système de digestion anaérobie à plusieurs étapes standard est un système à deux étapes acide/gaz (AG), dans lequel les étapes de formation d'acide (hydrolyse et fermentation d'acide volatil) sont physiquement séparées de l'étape de formation de gaz (formation de méthane) en étant conduit dans des réservoirs de digestion séparés. Afin de concevoir un digesteur anaérobie, nous devons répondre à trois exigences principales telles que : produire un volume élevé de biogaz de haute qualité ; capable de gérer en continu un taux de charge organique élevé ; et d'avoir un temps de rétention hydraulique court afin d'avoir un volume de réacteur plus petit.

La première étape, connue sous le nom de digesteur primaire ou de phase acide, consiste en l'hydrolyse et la première étape de production d'acide, au cours de laquelle les bactéries acidogènes convertissent la matière organique en composés solubles et en acides gras volatils. La deuxième étape, connue sous le nom de digesteur secondaire ou d'étape de méthane, consiste en une conversion supplémentaire de la matière organique en acide acétique par acétogénèse, ainsi qu'en l'étape de formation de méthane, dans laquelle les bactéries méthanogènes convertissent la matière soluble en biogaz.

Selon l'EPA (2006), la digestion anaérobie en plusieurs étapes présente des avantages par rapport aux procédés de digestion anaérobie en une seule étape, notamment :

- Les systèmes à plusieurs étages nécessitent moins de volume de digesteur pour gérer la même quantité de volume d'entrée car ils ont des temps de rétention plus courts et permettent des taux de chargement plus élevés que les systèmes à un étage.
- Les systèmes à plusieurs étapes ont atteint la réduction VS, ce qui permet un meilleur contrôle des odeurs.
- Un système à plusieurs étapes peut être configuré pour réduire les problèmes de mousse.
- Les systèmes multi-étages réduisent le court-circuit des solides en séparant les étages et en optimisant le temps de rétention dans chaque étage.

Désavantages:

- Les exigences de tuyauterie pour un système à plusieurs étages, son fonctionnement et sa maintenance sont plus complexes que celles d'un système à un étage.

Il existe différents types de digesteurs, qui sont principalement utilisés dans l'industrie impliquant des systèmes à plusieurs étages :

- Réacteurs à cuve agitée à flux continu (CSTR)
- Réacteurs à écoulement piston anaérobies ?(APFR)
- Réacteur de contact anaérobie (ACR)
- Biofilms
- Réacteurs discontinus
- Réacteur anaérobie à chicanes (ABR)
- Bioréacteur hybride
- Couverture de boue anaérobie à flux ascendant (UASB)

References

Achinas, Spyridon., Achinas, Vasileios., & Euverink, Gerrit Jan Willem., 2017. A Technological Overview of Biogas Production. http://www.engineering.org.cn/en/10.1016/J.ENG.2017.03.002

Aktas, Ezgi Sühel., Demir, Özlem., & Uçar, Deniz., 2020. A Review of The Biodiesel Sources and Production Methods. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/941575

Ayoola, A.A., et. al., 2020. Biodiesel Fuel Production Processes: A Short Review. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1107/1/012151/pdf

Azhar, Siti Hajar Mohd., et. al., 2017. Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405580816302424

Bondesson, PM., & Galbe, M., 2016. Process design of SSCF for ethanol production from steam-pretreated, acetic-acid-impregnated wheat straw. https://doi.org/10.1186/s13068-016-0635-6

Camia, A., Robert, N., Jonsson, K., Pilli, R., Garcia Condado, S., et. al., 2018. Biomass production, supply, uses and flows in the European Union: First results from an integrated assessment. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC109869

Chattopadhyay, Soham., & Sen, Ramkrishna., 2020. Materials and Methods for Biodiesel Production. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-38881-2_7

Dunford, Nurhan., 2016. Biodiesel Production Techniques. https://extension.okstate.edu/fact-sheets/biodiesel-production-techniques.html

Edeh, I., 2020. Bioethanol Production: An Overview. https://www.intechopen.com/chapters/74319

Environmental & Energy Study Institute, 2017. Fact Sheet Biogas: Converting Waste to Energy. https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogasconverting-waste-to-energy

Liu, Chen-Guang., et. al., 2019. Cellulosic ethanol production: Progress, challenges and strategies for solutions. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975019300382?casa_token=-1vuUsBucisAAAAA:NZegYefhU8CAW8lbn02a6jfX3mfim7geCUPr2NMMgUZLXzIcu26m_iuKgT0aF-Eh8fgCP2oUTA

M, Rastogi., & S, Shrivastava., 2018. Current Methodologies and Advances in Bio-ethanol Production. https://crimsonpublishers.com/jbb/fulltext/JBB.000505.php

Origin Energy, 2018. Biomass to Bioenergy. https://www.originenergy.com.au/blog/biomass-to-bioenergy/

Özçimen, D., & Yücel, S., 2011. Novel Methods in Biodiesel Production. https://www.intechopen.com/chapters/17489

Pasha, M.K., Dai, L., Liu, D., et. al., 2021. An overview to process design, simulation and sustainability evaluation of biodiesel production. https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-021-01977-z

Pietrangeli, B., & Lauri, R., 2018. Biogas Production Plants: A Methodological Approach for Occupational Health and Safety Improvement. https://www.intechopen.com/chapters/58439

Queensland Government, 2021. Biogas Production. https://www.business.qld.gov.au/industries/mining-energy-water/energy/renewable/projects-queensland/starting-biogas-project/biogas-production

Rajalingam, A., Jani, S. P., Kumar, A. Senthil., & Khan, M. Adam., 2016. Production Methods of Biodiesel. https://www.researchgate.net/publication/306140139_Production_methods_of_biodiesel

Ravindra, Pogaku., et. al., 2007. Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: an appraisal. https://academicjournals.org/journal/BMBR/article-abstract/3B685B910909

Roman, K., Barwicki, J., Hryniewicz, M., Szadkowska, D., & Szadkowski, J., 2021. Production of Electricity and Heat from Biomass Wastes Using a

EPA, 2006. Biosolids Technology Fact Sheet: Multi-Stage Anaerobic Digestion. https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-11/documents/multistage-anaerobic-digestion-factsheet.pdf

European Biogas Association, 2018. Overview on key EU policies for the biogas sector. https://www.europeanbiogas.eu/overview-on-key-eu-policies-for-the-biogas-sector/

European Biomass Industry Association, 2021. Combustion. https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/combustion/

European Commission, 2016. Optimal use of biogas from waste streams. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ce_delft_3g84_biogas_beyond_2020_final_report.pdf

Eyl-Mazzega, Marc-Antoine., & Mathieu, Carole., 2019. Biogas and Biomethane in Europe: Lessons from Denmark, Germany and Italy. https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/mathieu_eyl-mazzega_biomethane_2019.pdf

Gebremariam, Shemelis Nigatu., & Marchetti, J. M., 2017. Biodiesel Production Technologies: Review. https://www.researchgate.net/publication/316867804_Biodiesel_production_technologies_Review

Hasunuma, Tomohisa., Kondo, Akihiko., 2012. Consolidated bioprocessing and simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulose to ethanol with thermotolerant yeast strains. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.05.004

Imran, M., et. al., 2016. Cellulase Production from Species of Fungi and Bacteria from Agricultural Wastes and Its Utilization in Industry: A Review. https://doi.org/10.4236/aer.2016.42005

Jain, Anjali., & Chaurasia, Satyendra P., 2014. Bioethanol Production in Membrane Bioreactor (MBR) System: A Review. https://www.ripublication.com/ijerd_spl/ijerdv4n4spl_18.pdf

Janiszewska, Dorota., & Ossowska, Luiza., 2020. Biomass as the Most Popular Renevable Energy Source in EU. https://www.ersj.eu/journal/1640/download

Karuppiah, T., & Azariah, V. E., 2019. Biomass Pretreatment for Enhancement of Biogas Production. https://www.intechopen.com/chapters/65202

Converted Aircraft Turbine AI-20. https://doi.org/10.3390/pr9020364

Ryms, Michal., et. al., 2013. Methods of Liquid Biofuel Production - The Biodiesel Example. http://tchie.uni.opole.pl/PECO13_2/EN/RymsLewandowski_PECO13_2.pdf

Salihu, Aliyu., & Alam, Md. Zahangir., 2016. Pretreatment Methods of Organic Wastes for Biogas Production. https://scialert.net/fulltext/?doi=jas.2016.124.137

Sathitsuksanoh, N., Zhu, Z., Wi, S., Zhang, & YH., 2011. Cellulose solvent-based biomass pretreatment breaks highly ordered hydrogen bonds in cellulose fibers of switchgrass. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20967803/

Scarlat,Nicolae., Dallemand, Jean-François., & Fahl, Fernando., 2018. Biogas: Developments and perspectives in Europe. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811830301X

Surendhiran, Duraiarasan., & RazackSirajunnisa, Abdul., 2019. Role of Genetic Engineering in Bioethanol Production From Algae. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128137666000187

Tavva, S.S. Mohan Dev., et. al., 2016. Bioethanol production through separate hydrolysis and fermentation of Parthenium hysterophorus biomass. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115303517?casa_token=jhqY659ts1MAAAAA:Xg8LcA2aXteSxTL97PiRxQjqW88YEJS5nHfacIAiaB6X9_O3POjZGOSOG1R3uuGHYvVIPccfCQ

Teferra, Demsew., & Wubu, Wondwosen., 2018. Biogas for Clean Energy. https://www.researchgate.net/publication/330953118_Biogas_for_Clean_Energy/figures?lo=1

UN Climate Technology Centre & NEtwork, 2021. Biomass Combustion and Cofiring for Electricity and Heat. https://www.ctc-n.org/technologies/biomass-combustion-and-co-firing-electricty-and-heat

US. Environmental Protection Agency, 2007. Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/biomass_combined_heat_and_power_catalog_of_technologies_v.1.1.pdf

Kasinath, Arcana., et. al., 2021. Biomass in biogas production: Pretreatment and codigestion. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121007887

Korbag, I., et al., 2020. Recent Advances of Biogas Production and Future Perspective. https://www.intechopen.com/chapters/72920

Kucukkara, Berk., Yaldiz, Osman., Sozer, Salih., & Ertekin, Can., 2011. Biogas Production from Agricultural Wastes in Laboratory Scale Biogas Plant. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/118929

Lebuhn, M., Munk, B. & Effenberger, M., 2014. Agricultural biogas production in Germany - from practice to microbiology basics. https://energsustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/2192-0567-4-10

Viaspace, 2021. Direct Combustion in Biomass Power Plants. http://www.viaspacegreenenergy.com/direct-combustion.php

Wilson, Christopher., & Novak, John T., 2009. Hydrolysis of macromolecular components of primary and secondary wastewater sludge by thermal hydrolytic pretreatment. https://www.researchgate.net/publication/223004268_Hydrolysis_of_macromolecular_components_of_primary_and_secondary_wastewater_sludge_by_thermal_hydrolytic_pretreatment

6 - Aspects de Durabilité de la Biomasse pour la Production D'énergie

Objectif : Fournir des informations sur l'importance des aspects bioénergétiques pour la durabilité, y compris les aspects économiques, environnementaux et sociaux.

— — — — —

Arrière plan

La biomasse est une source d'énergie attrayante disponible en permanence sur Terre. La bioénergie peut devenir une source d'énergie propre, fiable et durable. En outre, la bioénergie joue un rôle clé dans la réalisation des objectifs climatiques et énergétiques de l'UE. Dans le cadre du Green Deal européen, la Commission européenne évoque les perspectives d'une dépendance accrue à l'égard des sources d'énergie issues de la biomasse - et donc de l'utilisation de la biomasse. Certains impacts sont liés à la production de bioénergie. La bioénergie peut aider à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES). En outre, cela apportera des avantages économiques à la société, comme la création de nouveaux emplois et des sources d'énergie abordables. Cependant, la durabilité ne concerne pas seulement l'aspect environnemental, elle concerne également les aspects sociaux et économiques.

Actuellement, aucun cadre n'explique explicitement ce qui constitue la durabilité, ce qui rend l'interprétation de la durabilité très subjective à la variété des différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement en biomasse. L'absence de cadre régissant l'utilisation de la biomasse reste un problème, en particulier pour donner des signaux de marché clairs aux fournisseurs et aux utilisateurs de biomasse, tout comme l'absence d'une terminologie commune liée à la durabilité (Biomass in the EU Green Deal, 2021).

Aspect Environnemental

Selon Institute for European Environmental Policy (2021), la durabilité environnementale s'entend donc dans le contexte de deux principes fondamentaux :

- Le premier est de reconnaître et de récompenser la biomasse laissée sous sa forme vivante (pour la résilience des écosystèmes et les puits de carbone naturels) comme apportant une contribution importante aux objectifs du pacte vert de l'UE ;
- Le second est l'endroit où la biomasse est récoltée et utilisée, pour assurer la protection des écosystèmes dont provient cette biomasse et sans lesquels il n'y aurait pas d'approvisionnement durable.

Sur la base de plusieurs évaluations existantes de la compréhension et de l'estimation de l'approvisionnement durable en biomasse (par exemple, Kluts et al., 2018 ; Faaij, 2018 ; Material Economics, 2021), les conditions suivantes doivent être prises en compte lors de la mobilisation des ressources en biomasse de manière durable :

- Disponibilité des terres et utilisations concurrentes des terres, ainsi que gestion des terres, telle que l'intensité de la production. Cela comprend les changements indirects d'utilisation des terres par déplacement. Les zones dédiées à la production de denrées alimentaires, d'aliments pour animaux et de fibres doivent être exclues.
- Impact sur les cycles du carbone, en supprimant la biomasse qui, autrement, continuerait à accumuler du carbone in situ.
- Impact sur d'autres objectifs environnementaux (autres que l'atténuation du climat) par la culture et l'extraction de la biomasse, tels que les besoins en eau pour la croissance, ou la perte de nutriments et de structure du sol où les résidus en excès sont éliminés.

La production de biomasse agricole peut entraîner des impacts négatifs sur les sols (par exemple, la perte de nutriments et de matière organique du sol, l'érosion, le drainage des tourbières), la disponibilité de l'eau (en particulier dans les zones où l'eau est rare) et la biodiversité. L'étude de la Commission européenne de 2013 a conclu que « des risques potentiels considérables pour la durabilité de la culture des biocarburants existent, en particulier les risques pour les sols, la qualité de l'eau et la disponibilité de l'eau ». L'utilisation de résidus agricoles (par exemple : la paille) peut également avoir des impacts négatifs sur les sols tels que la fertilité et la structure, et sur la biodiversité s'ils sont extraits en quantités excessives. D'autre part, l'utilisation des déchets pour produire du biogaz peut réduire considérablement les émissions de méthane et autres. C'est la raison pour laquelle le contrôle et la réglementation sont importants pour produire de la bioénergie.

Dans l'UE, les règles de conditionnalité dans le cadre de la politique agricole commune garantissent la mise en œuvre des exigences environnementales existantes et l'exigence de maintenir les terres dans de bonnes conditions agricoles et environnementales.

Selon la Commission européenne (2016), dans le scénario de référence, les États membres de l'UE seraient toujours en mesure d'introduire des critères de durabilité pour la biomasse solide et gazeuse au niveau national. D'autres politiques européennes et nationales liées à la protection de l'environnement resteraient en place, ainsi que le règlement de l'UE sur le bois pour réduire le risque d'utilisation de la biomasse forestière illégalement récoltée pour

l'énergie dans l'UE. Dans le même temps, les contrôles de légalité n'assurent pas automatiquement des garanties sur la biodiversité ou l'utilisation des terres.

Cependant, pour assurer la durabilité de la production de bioénergie, les critères renforcés conformément à la stratégie de l'UE en matière de biodiversité pour 2030 sont :

- Interdire l'approvisionnement en biomasse pour la production d'énergie à partir des forêts primaires, des tourbières et des zones humides
- Pas de soutien à la biomasse forestière dans les installations exclusivement électriques à partir de 2026
- Interdire les incitations financières nationales pour l'utilisation de grumes de sciage ou de placage, de souches et de racines pour la production d'énergie
- Exiger que toutes les installations de chaleur et d'électricité à base de biomasse respectent des seuils minimaux d'économie de gaz à effet de serre
- Appliquer les critères de durabilité de l'UE aux petites installations de chaleur et d'électricité (égales ou supérieures à 5 MW)

Selon Wang (2018), l'analyse du cycle de vie (ACV) est largement adoptée comme approche pour analyser l'impact environnemental que la bioénergie peut avoir. L'ACV est définie comme une méthode « du berceau à la tombe » normalement avec plusieurs indicateurs tels que le potentiel de réchauffement global (GWP), le potentiel d'acidification (AP) et le potentiel d'eutrophisation (EP), qui représentent différents aspects de l'évaluation de la durabilité environnementale et peuvent fournir une analyse complète. -analyse de simulation à grande échelle sur les impacts environnementaux et écologiques si les données collectées sont de haute qualité.

Aspect économique

Les méthodes d'évaluation économique de la production de bioénergie sont généralement l'analyse technico-économique, le bilan énergétique net, l'analyse du marché et l'analyse coûts-avantages (Wang, 2018). Le cœur de l'analyse technico-économique est le calcul du taux de rendement interne (TRI), de la valeur actuelle nette (VAN) et de la période de récupération actualisée, qui est adoptée par de nombreux chercheurs comme une préférence en raison de son seuil relativement bas et de son universalité. Hayashi et al. (2014) choisissent le bilan énergétique net comme l'un des indicateurs de leur analyse du Partenariat mondial sur la bioénergie (GBEP), qui contribue de manière significative à l'évaluation holistique de la bioénergie.

Dans l'évaluation économique, il est important de prendre en compte l'efficacité énergétique, car l'efficacité énergétique signifie une faisabilité économique élevée. Selon Wang (2018), en utilisant les méthodes d'évaluation économique et en considérant les résultats de recherche sur l'efficacité énergétique, de nombreuses études tirent leurs conclusions qui montrent une tendance convergente selon laquelle la bioénergie est économique

Selon la Commission européenne (2016), il existe certains impacts de l'aspect économique dans la production de bioénergie :

- Contribution à la valeur ajoutée brute - Cet impact positif sur la valeur ajoutée brute est une combinaison de:

    - un "effet de déploiement" positif : l'augmentation des autres sources d'énergie renouvelables entraîne davantage d'investissements et donc un impact positif plus important sur l'ensemble de l'économie
    - un "effet revenu" positif : les emplois supplémentaires créés par ce changement entraînent un revenu supplémentaire pour les ménages, qui est dépensé en consommation
    - un "effet indirect" négatif : d'autres sources d'énergie renouvelables nécessitent un niveau de soutien public plus élevé, soit directement par le biais de subventions, soit par le biais de tarifs de rachat. Cela peut impacter les consommateurs, si les tarifs de rachat leur sont directement répercutés par une hausse des prix de l'énergie, ou si les subventions sont financées par une hausse de la fiscalité : dans les deux cas, la consommation des ménages diminuerait. Un soutien accru pour d'autres énergies renouvelables peut également être mis à disposition en accordant moins de soutien public à d'autres secteurs, ce qui aura également un impact économique négatif.
- Impact sur les petites et moyennes entreprises (PME) - Les PME et les micro-entreprises sont largement représentées dans la chaîne de production et d'utilisation de la bioénergie à travers, en particulier, les petits propriétaires forestiers et les petites installations de bioénergie. Dans le scénario de référence, les PME du secteur forestier pourraient être concernées par les programmes nationaux. Il est toutefois peu probable que ces PME aient à se conformer à plusieurs régimes nationaux compte tenu de leur éventail probable d'activités.
- Impact sur le développement rural - Des impacts positifs sur le développement rural peuvent se produire dans les cas où une demande supplémentaire de bioénergie incite à une exploitation plus intensive des forêts de l'UE et à l'utilisation de matières premières agricoles de l'UE (plutôt que, par exemple, en augmentant les importations ou en détournant les résidus industriels d'autres utilisations). Cela sera principalement dicté par le marché et/ou par les programmes de subventions pertinents dans chaque région. Elle peut également être influencée au niveau de l'UE, par ex. appui à la mobilisation du bois dans le cadre des programmes de développement rural.
- Impact sur le marché intérieur et le commerce intra-UE
- Impact sur le commerce extérieur - diminution des importations en provenance des pays tiers pour toutes les options
- Innovation et recherche - Alors que la bioénergie a un angle d'innovation important (par exemple en ce qui concerne les biocarburants avancés pour le transport), les options politiques sont peu susceptibles de faire une différence fondamentale pour l'innovation et la recherche puisque les exigences de durabilité n'auraient un impact que sur des technologies (c'est-à-dire l'utilisation de la biomasse solide et gazeuse pour la chaleur et l'électricité).

Aspect Social

La mise en place de filières biomasse pour la production de bioénergie et/ou de biocarburants est souvent contrecarrée par l'opposition des acteurs publics et locaux, malgré une potentielle faisabilité technico-économique et normative (Sacchelli, 2016). Les projets de bioénergie affectent les communautés dans lesquelles ils sont mis en œuvre de diverses manières. Cela peut aller de l'amélioration de la qualité de l'eau à la création de nouveaux

emplois dans des régions économiquement défavorisées. Mckenzie (2004) a défini la durabilité sociale comme une condition qui améliore la vie au sein des communautés et un processus au sein des communautés qui peut atteindre cette condition. Selon Dale (2013), les aspects sociaux de la bioénergie durable impliquent de préserver les moyens de subsistance et un accès abordable à des aliments nutritifs, de garantir la fiabilité de l'approvisionnement énergétique et d'assurer la sécurité des personnes, des installations et des régions.
Les aspects sociaux des systèmes bioénergétiques, selon Segon et Domac (n.d.) peuvent être divisés en deux catégories :

- Lié au niveau de vie - Dans ce cas, le niveau de vie était lié au revenu du ménage, à l'éducation, à l'environnement et aux soins de santé, tandis que la cohésion sociale et la stabilité étaient définies en termes de paix et de relations communautaires, d'emploi, de stabilité de la population rurale, d'infrastructure et de soutien. pour les industries connexes.
- Contribuer à accroître la cohésion sociale et la stabilité.

Il y a quelques impacts sur l'aspect social (ERIA, 2008 ; EC, 2016) :

- Création d'emplois - L'emploi dans l'économie de la bioénergie est le plus important dans le secteur de la biomasse solide, où 306 800 Européens avaient un emploi en 2014. En outre, 110 350 personnes étaient employées dans le secteur des biocarburants, 66 200 dans le secteur du biogaz et 8 410 dans le secteur de déchets urbains renouvelables. Des impacts sur l'emploi se produiront également à la suite du léger passage de la bioénergie à d'autres énergies renouvelables dans les options politiques, en raison d'une intensité de main-d'œuvre plus élevée d'autres sources d'énergie renouvelables.
- Avantages pour la santé - des techniques de biomasse améliorées pour la cuisson et le chauffage domestique amélioreront la qualité de vie des femmes et des nourrissons. La réduction de l'incidence des maladies se traduira également par des avantages économiques en raison d'une diminution des hospitalisations et des journées de travail perdues et des dépenses en soins médicaux.
- Émancipation des femmes - Le développement de la bioénergie a le potentiel d'impliquer les femmes dans l'élevage de pépinières et la collecte de semences, ce qui pourrait conduire à une meilleure participation à l'économie du village.
- Amélioration possible de l'indice de développement humain (IDH) - Comme indiqué précédemment, le développement des programmes de bioénergie devrait augmenter l'emploi, ce qui améliorera les revenus des individus. Les gens peuvent utiliser un revenu supplémentaire pour subvenir à leurs besoins de base tels que l'éducation, les soins de santé et des aliments nutritifs.

|| Activité:
Faire une discussion avec les participants sur les impacts de la bioénergie dans les aspects sociaux, environnementaux et économiques. Séparez les participants des 3 groupes et laissez-les présenter les résultats avec les autres participants - cela peut être présenté avec une présentation, du théâtre ou autre chose.

— — — — —

References:

Ahmed, I., et. al., 2021. Socio-Economic and Environmental Impacts of Biomass Valorisation: A Strategic Drive for Sustainable Bioeconomy. https://www.mdpi.com/2071-1050/13/8/4200/htm

Climate-KIC, 2021. Material Economics (2021). EU Biomass Use In A Net-Zero Economy - A Course Correction for EU Biomass. ttps://www.climate-kic.org/wp-content/uploads/2021/06/MATERIAL-ECONOMICS-EU-BIOMASS-USE-IN-A-NET-ZERO-ECONOMY-ONLINE-VERSION.pdf

Cristobal, Garcia J., et. al., 2016. Environmental sustainability assessment of bioeconomy value chains. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC96980

Dale, V.H., 2013. Indicators for assessing socioeconomic sustainability of bioenergy systems: A short list of practical measures. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X12003652

Dunmade, I. S., 2019. Potential social lifecycle impact analysis of bioenergy from household and market wastes in African cities. https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2019/05/AR2019_Vol17No4_Dunmade.pdf

European Commission, 2016. Sustainability of Bioenergy. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_en_impact_assessment_part4_v4_418.pdf

European Commission, 2018. A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/edace3e3-e189-11e8-b690-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-149755478

Institute for European Environmental Policy, 2021. Policy Report: Biomass in the EU Green Deal. https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/a14e272d-c8a7-48ab-89bc-31141693c4f6/Biomass%20in%20the%20EU%20Green%20Deal.pdf?v=63804370211

Jack, M., & Hall, P., 2010. Large-scale forests for bioenergy: land-use, economic and environmental implications. https://www.fao.org/3/i1507e/i1507e06.pdf

McGill University, 2021. Socioeconomic and environmental impact of bioenergy. https://www.mcgill.ca/bioenergy/impact

Moosmann, D., Majer, S., & Ugarte, S. et al., 2020. Strengths and gaps of the EU frameworks for the sustainability assessment of bio-based products and bioenergy. https://energsustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-020-00251-8

NREL, 2021. Bioenergy Sustainability Analysis. https://www.nrel.gov/bioenergy/sustainability-analysis.html

Ravindranath, N. H., & Rao, K. Usha., 2005.Environmental Effects of Energy from Biomass and Municipal Wastes. https://www.eolss.net/sample-chapters/c09/E4-23-04-05.pdf

Sacchelli, S., 2016. Social, economic, and environmental impacts of biomass and biofuel supply chains. http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-366-9.00009-5

Spagnolo, Sofia., et. al., 2020. Sustainability assessment of bioenergy at different scales: An emergy analysis of biogas power production. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262034083X

Wang, J., Yang, Y., Bentley, Y., Geng, X., & Liu, X., 2018. Sustainability Assessment of Bioenergy from a Global Perspective: A Review. http://dx.doi.org/10.3390/su10082739

Working Group for Sustainable Biomass Utilisation Vision in East Asia, 2008. Social Aspects of Biomass Utilisation. https://www.eria.org/uploads/media/Research-Project-Report/ERIA_RPR_FY2007_6-3_Chapter_5.pdf

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Ce projet (Numéro de projet : **2020-1-UK01-KA202-079054**) a été financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication reflète uniquement les opinions de l'auteur, et la Commission ne peut être tenue responsable de toute utilisation qui pourrait en être faite des informations qui y sont contenues.