

SESSION 2011

CAPET
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP

Section : BIOTECHNOLOGIES
Option : BIOCHIMIE – GÉNIE BIOLOGIQUE

ÉCRIT 2
ETUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ
OU D'UNE ORGANISATION

Durée : 5 heures

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout matériel électronique (y compris la calculatrice) est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

Bioéthanol

En réponse aux instabilités d'approvisionnement en carburants et aux efforts de réduction des émissions de CO₂, le bioéthanol est devenu aujourd'hui un des carburants les plus prometteurs. Les sources de biomasse dont il est issu sont diverses. (Annexe 1)

Les procédés sont multiples ; il est possible de proposer un diagramme de production de bioéthanol à partir du blé. (Annexe 2)

Analyser en détail, les étapes conduisant à la production de sucres fermentescibles et celles qui conduisent à la production de bioéthanol en insistant sur les caractéristiques technologiques de l'hydrolyse enzymatique et de la conduite et de la fermentation.

Préciser les objectifs recherchés et indiquer les techniques conduisant à l'amélioration des souches industrielles de *Saccharomyces*.

Présenter différentes méthodes de dosage du bioéthanol susceptibles d'être utilisées pour suivre la production au laboratoire. En analyser les caractéristiques technologiques ; préciser pour chaque exemple retenu, le protocole expérimental susceptible d'être mis en œuvre.

1. INTRODUCTION

Ces dernières années, principalement en réponse aux instabilités d'approvisionnement en carburants et aux efforts de réduction des émissions de CO₂, le bioéthanol (comme le biodiesel) est devenu aujourd'hui un des carburants les plus prometteurs et est considéré comme l'unique alternative, à court et moyen terme, aux carburants fossiles en Europe et dans le monde. L'actuel engagement de l'UE grâce à la directive 2003/30/EC sur la promotion des biocarburants pour le transport fixe un objectif de 5,75 % de l'ensemble des carburants pour le transport d'ici à 2010. Le récent cahier de route de la Commission Européenne a maintenant augmenté cette part à 10% d'ici 2020.

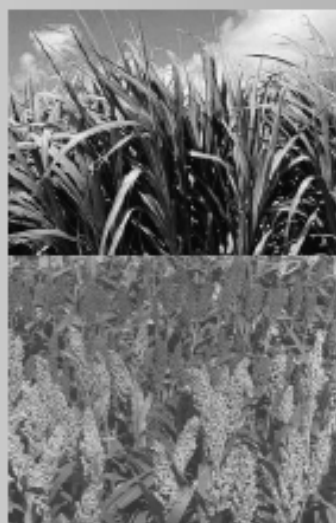
Nous assistons actuellement à une forte attention politique et médiatique focalisée sur les biocarburants et les sujets concernant la sécurité alimentaire, le prix des aliments, les effets sur la biodiversité et les avantages perçus sur l'émission de CO₂ face aux carburants d'origine fossile.

Considérant que les agriculteurs et les opérateurs agricoles adoptent des modes de production de cultures énergétiques durable à l'aide d'une gestion et d'une planification durable ainsi que l'usage si possible des résidus d'usines à déchets pour la fourniture d'énergie nécessaire à la production d'éthanol, alors il ne devrait pas y avoir d'effet environnemental négatif. D'autre part, la création d'emploi et le développement de l'économie rurale est un bénéfice non négligeable de la production de biocarburants. Les problèmes de prix des aliments et des évolutions du marché ne peuvent pas être facilement définis comme lié au seul facteur biocarburant. Ainsi, le prix du pétrole peut affecter celui des biocarburants. Le marché mondial du prix du sucre a créé un impact sur le prix et le niveau de production du bioéthanol.

Le bioéthanol est reconnu comme une alternative valable car les cultures sources peuvent être cultivées de manière durable sous presque tous les climats du monde. De plus, l'usage de bioéthanol contribue à réduire les émissions de CO₂. En effet, les émissions sont stoppées puisque durant la phase de croissance des cultures, le CO₂ est absorbé par la plante et l'oxygène est relâché dans les mêmes volumes que le CO₂ produit durant la combustion du carburant. Cela crée un large avantage sur les carburants fossiles qui émettent du CO₂ ainsi que d'autres éléments polluants. Dans les années 70, le Brésil et les USA initièrent une production massive de Bioéthanol produit respectivement à partir de canne à sucre et de maïs. Des productions à petite échelle ont vu le jour plus récemment en Espagne, France, Suède principalement à partir de blé et de betterave sucrière.

Ces dernières années le concept de bio raffinerie a émergé. Il s'agit par lequel il est possible d'intégrer des procédés et technologies de conversion de la biomasse afin de produire une variété de produits incluant carburant, énergie, produits chimiques, alimentation animale. De cette manière il est possible de tirer profit des différences naturelles de la composition chimique et structurale des ressources en Biomasse.

Le document publié par la Commission Européenne "[An EU strategy for biofuel](#)" rappelle ce concept de bio raffinerie dans le 7ème Programme Cadre (FP7) et fait partie des priorités. Le Project RESTMAC (création de marchés pour les Technologies Européennes d'Energies Renouvelables - Campagne de promotion des technologies RES) a pour objectif de développer et employer une approche thématique compréhensible et bien conçue afin d'encourager la consommation sur le marché des technologies RES sélectionnées. Dans le cadre du projet RESTMAC, cette brochure présentera des informations concernant la production de bioéthanol et de ces coproduits. Elle se focalisera aussi sur l'usage et son développement en Europe.



2. PRODUCTION DE BIOÉTHANOL



L'usine Abengoa's Ecocarburantes Española à Cartagène, Espagne, produit 100 millions de litres de bioéthanol

La production de bioéthanol par les moyens traditionnels ou Bioéthanol de 1ère génération se base sur les cultures d'amidon comme le Maïs ou le blé et des cultures de sucre comme la canne à sucre ou la betterave sucrière (cf. les photos de cultures page suivante).

Cependant les cultures de sucre alternatives comme le Sorgho sucrier ouvre de nouvelles possibilités en Europe, spécialement dans les régions les plus chaudes et sèches comme le Sud et l'Est de l'Europe. Le Sorgho sucrier nécessite moins d'eau et de nutriments et possède une concentration en sucres fermentescibles plus importante que la canne à sucre, ainsi qu'une période de croissance plus courte. Dans quelques régions, comme l'Afrique, cela se traduit par 2 récoltes annuelles pour la même culture. De plus, le développement de technologies basées sur la lignocellulose implique que non seulement les cultures riches en amidon et en sucre peuvent être utilisées mais également la biomasse à base de bois et les résidus forestiers. Ce développement est connu sous le nom de biocarburant de 2nd génération. Ce procédé est encore coûteux en comparaison à la production traditionnelle de bioéthanol. Le bioéthanol, ou plutôt l'éthanol, vient lui-même de la famille chimique des alcools et possède une structure C_2H_5OH . C'est un liquide incolore à forte odeur.

Selon la biomasse utilisée, les différentes phases de production de bioéthanol sont :

1. Stockage
2. Broyage de la canne et extraction du jus
3. Dilution
4. Hydrolyse de l'amidon et de la biomasse ligneuse
5. Fermentation avec des levures et enzymes
6. Stockage du CO₂ et récupération de l'éthanol
7. Évaporation
8. Distillation
9. Traitement des eaux usées
10. Stockage du carburant

Canne à sucre

Aujourd'hui les procédés de mouture (couper la canne en morceaux réguliers) et le raffinage du sucre brut sont habituellement effectués ensemble sur le même site. Durant la mouture, la canne à sucre est lavée, coupée et tranchée par des couteaux pivotants. La canne tranchée (20-25cm) alimente un moulin combiné qui écrase et extrait le jus de la canne à sucre. Le jus est filtré et pasteurisé (traitement de chaleur afin de tuer les impuretés micro bactériennes). La bagasse, matière résiduelle de la canne, peut être brûlée afin de produire de la chaleur et de la vapeur pour un circuit autoalimenté. La canne à sucre est filtrée pour rejeter la vinasse (le liquide non alcoolique noir/rouge non désiré). La vinasse est considérée un produit résiduel gênant et comme un risque environnemental du fait de sa viscosité et sa forte acidité. Les usages de la vinasse sont la combustion ou comme fertilisant riche en potasse.

Une fois la vinasse retirée, le sirop est ensuite évaporé



Südzucker Bioethanol, basé à Mannheim, Allemagne, produit de l'E85 à partir de leur récente installation (Fév. 2006) à Zeitz qui coûte 200 millions d'Euros. Elle produit 260 millions de litres de bioéthanol par an à partir de source à haute valeur protéinique, principalement le blé.

et cristallisé par refroidissement. Cela crée des cristaux clairs et de la mélasse. La mélasse est séparée des cristaux par centrifugation. D'autres procédés de pasteurisation et de fermentation ont lieu avant distillation à un plus haut degré d'alcool. La fermentation prend normalement entre 4 et 12 heures.

Cultures Céréalières

Pour les cultures d'amidon (céréales) la procédure est similaire aux cultures sucrières mais un procédé d'hydrolyse est ajouté afin de casser les polymères en monomères qui peuvent être cassés en simples sucres de composition C₆. Après la mouture des graines, l'amidon libéré est dilué dans l'eau afin d'ajuster le volume de sucre dans le mou. La mixture est cuite avec des levures et tout l'amidon soluble se dissout dans l'eau. A l'aide d'autres hydrolyses acides ou d'enzymes, l'amidon est converti en sucre. Le liquide fermenté et non raffiné connu sous le nom de "bière" est produit et suite aux différents stades d'évaporation et de distillation l'éthanol qualité combustible est produit.

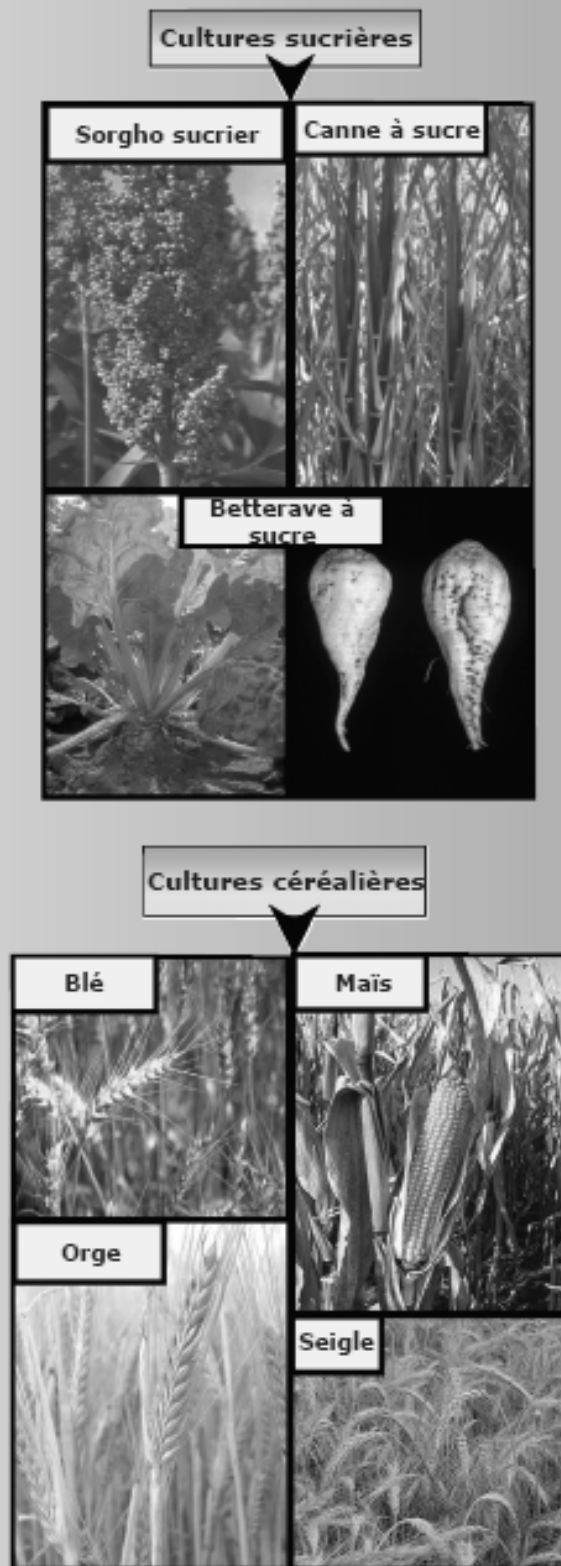
Bioéthanol ligno cellulosique

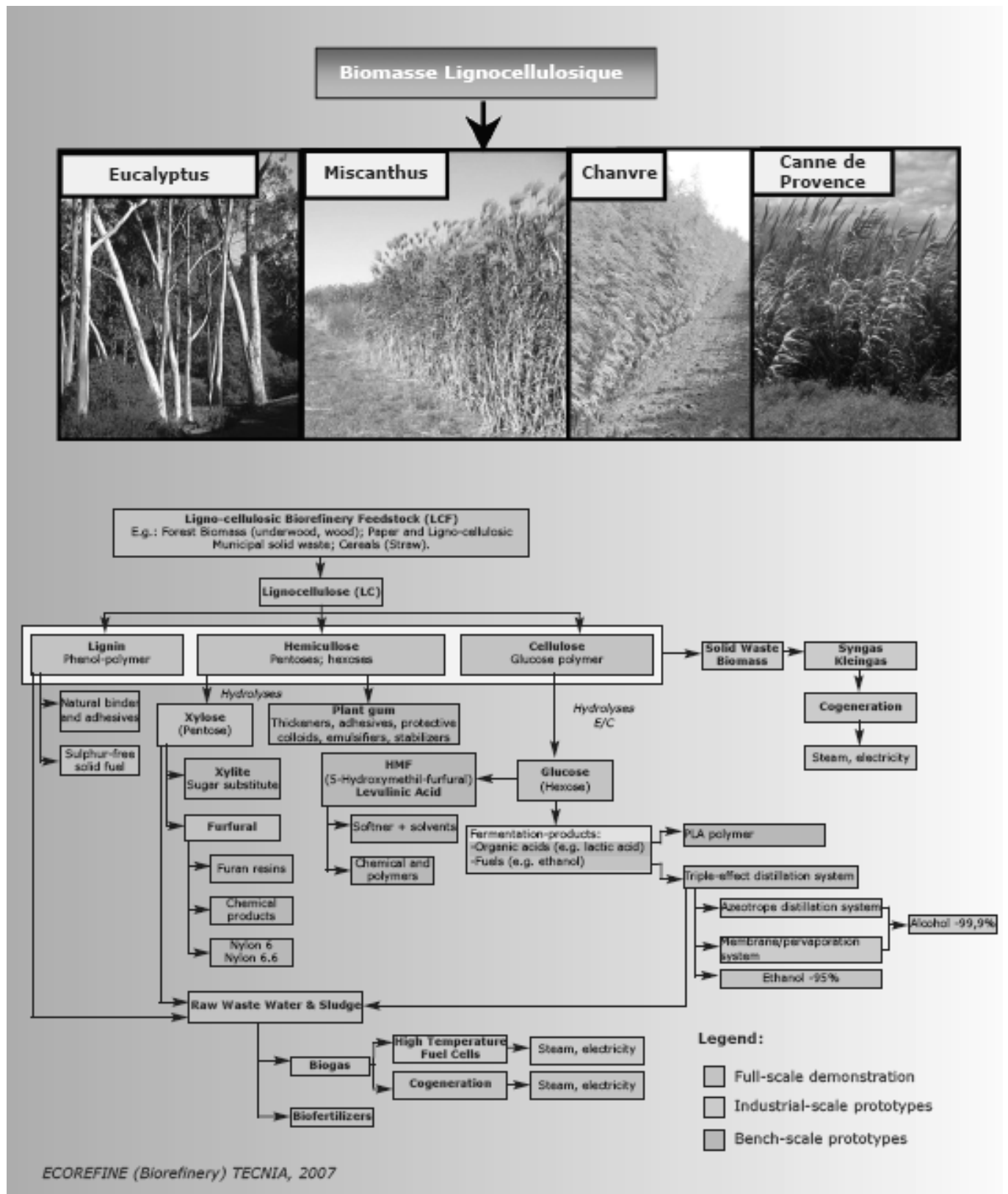
La différence dans les différentes phases du procédé entre la ressource en amidon et la lignocellulose est la phase d'hydrolyse plus compliquée, parce que la lignocellulose contient des polymères carbohydratés appelés cellulose. La cellulose est composée de longues chaînes de glucose. Ainsi un lot d'enzymes plus complexe est requis. C'est pourquoi la production de bioéthanol à partir de lignocellulose requiert plus de technique et est donc plus coûteuse. La recherche tente actuellement d'améliorer les méthodes de prétraitement comme l'explosion à la vapeur, explosion à la vapeur d'ammoniac, procédés acides et enzymes de synthèse plus efficace. Les ressources les plus populaires pour le bioéthanol lignocellulosique sont les arbres à croissance rapide et les herbes comme l'eucalyptus, le chanvre et le miscanthus (cf. page suivante).

Un autre sujet de développement est la technologie de fractionnement afin d'utiliser d'autres biomasses plus variées comme les résidus de culture agricole et forestières et les déchets urbains. La structure chimique des résidus de cultures agricoles et forestières est très variable ce qui crée une complexité en plus comparé à l'homogénéité des culture d'amidon et de sucre.

Le concept de bio raffinerie est considéré comme une entreprise très prometteuse. Le diagramme sur la page suivante montre la complexité et le potentiel conséquent disponible d'un point de vue de la production. Le potentiel de production de coproduits et produits chimiques à partir de la production de bioéthanol a suscité un intérêt général.

Une production compétitive à grande échelle semble aujourd'hui possible d'ici 8-12 ans. Beaucoup d'investissements vont dans l'étude enzymatique afin de casser le matériel cellulosique et le séparer de la lignine. Syngenta, une entreprise Suisse, a signé un contrat de 10 ans pour 16 millions de dollars avec une compagnie américaine, Diversa, pour la recherche et le développement d'enzymes pour la production de biocarburants (Bioenergy Busines, Feb. 2007).





Biogas

- High Temperature Fuel Cells → Steam, electricity
- Cogeneration → Steam, electricity

Biofertilizers

Legend:

- Full-scale demonstration
- Industrial-scale prototypes
- Bench-scale prototypes

ANNEXE 2

Diagramme du procédé de fabrication du bioéthanol à partir de blé selon le process de type A

