

LA BETTERAVE SUCRIERE, UNE PLANTE REVOLUTIONNAIRE !



Compte-rendu réalisé par :

BEAURAIN Noémie, BOULET Lucille, CREUTZER Gautier, HUET Wilayne et ROUSSEAU Estelle, encadrés par M. Boulanger Julien, professeur de sciences physiques au Collège Henri Matisse de Bohain en Vermandois

1^{ère} partie

Pourquoi cultive-t-on la betterave
sucrière ?

Tout ce que l'on peut obtenir à partir d'une betterave sucrière

I- Le sucre

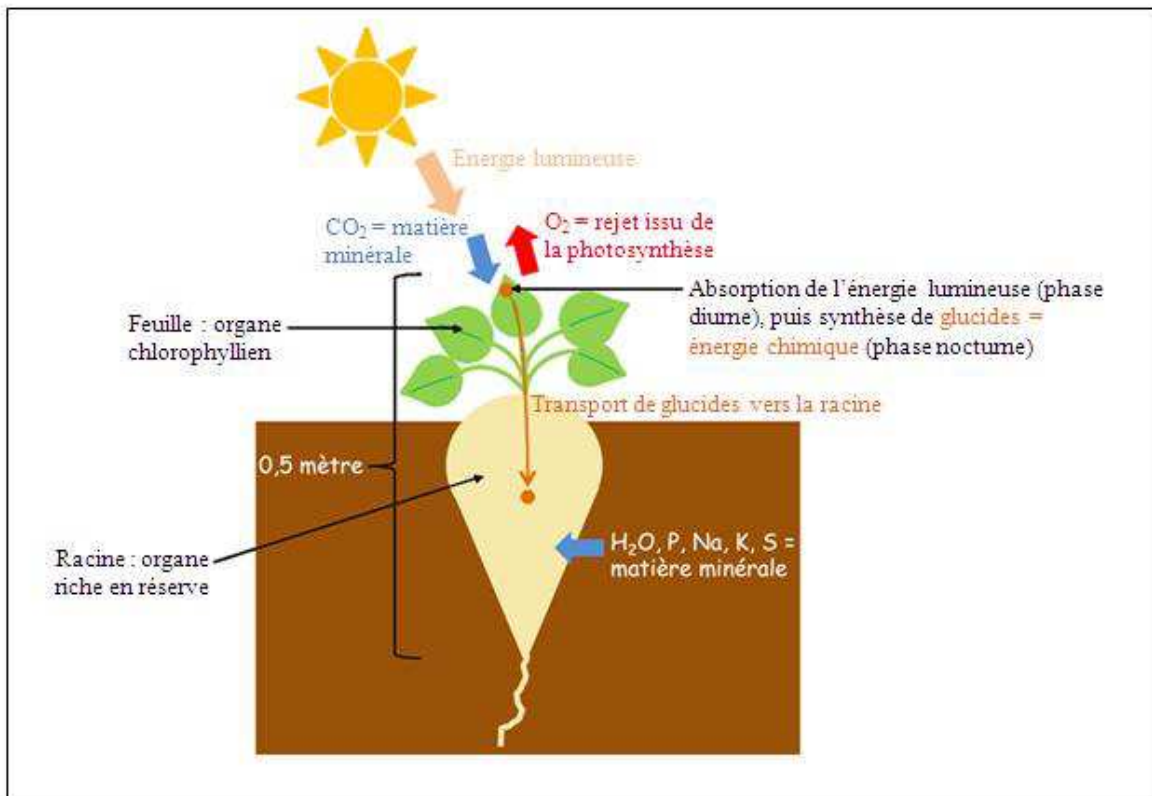
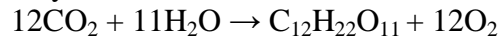
Le nom précis du sucre que l'on extrait des betteraves sucrières est le saccharose, de formule $C_{12}H_{22}O_{11}$. Ce sucre est stocké dans les racines de cette plante.

On extrait le sucre des betteraves sucrières depuis 1812. Avant le sucre était extrait de la canne à sucre. Mais, la France a été coupée de ses ressources en sucre de canne des Antilles par la marine Britannique en 1806. Le français Benjamin Delessert présenta alors à Napoléon I^{er} du sucre obtenu à partir de betteraves sucrières. Sa production a été encouragée par l'empereur. Le sucre de betterave a alors remplacé le sucre de canne.

C'est grâce à la photosynthèse qu'une plante, comme la betterave sucrière, peut fabriquer du sucre.

Pour cela, la plante n'a besoin que d'énergie lumineuse et de matières minérales, comme le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau (H_2O). Ces matières minérales se transforment alors en saccharose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) qui est transporté vers la racine et en dioxygène (O_2) qui est rejeté à l'extérieur par la betterave.

L'équation chimique de la photosynthèse s'écrit :

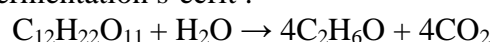


II- Le bioéthanol

A partir d'un jus sucré extrait des betteraves sucrières, on peut fabriquer du bioéthanol. C'est un alcool d'origine naturelle qui est utilisé comme biocarburant, pour remplacer l'essence. La France a autorisé de mélanger l'alcool à l'essence en janvier 2007.

La fermentation alcoolique permet de transformer le jus sucré grâce à des levures en éthanol (C_2H_6O) et en dioxyde de carbone (CO_2).

L'équation de la réaction de fermentation s'écrit :



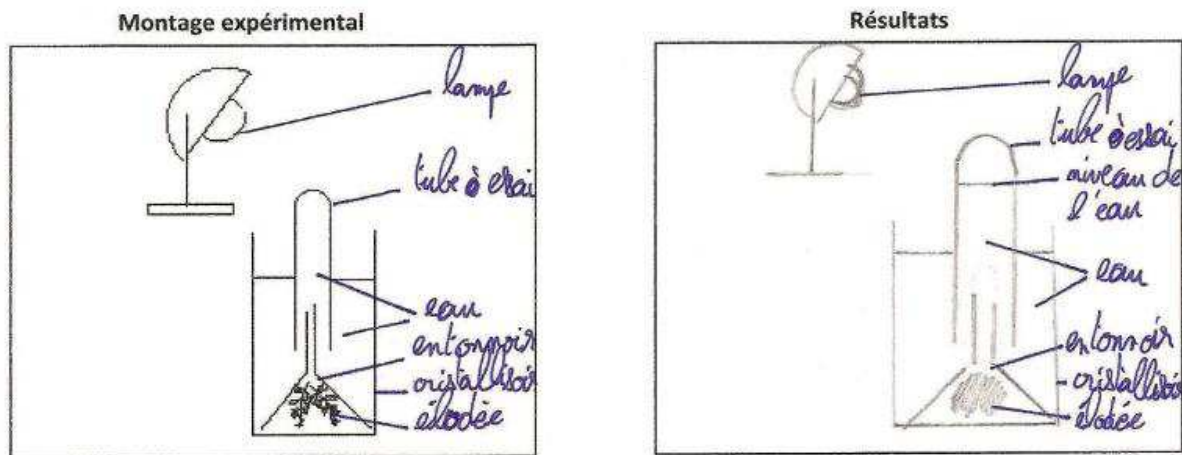
III- Autres produits

Avec les betteraves sucrières, on obtient aussi de l'alimentation pour bétail avec les collets, les feuilles et la pulpe.

Mise en évidence de la photosynthèse

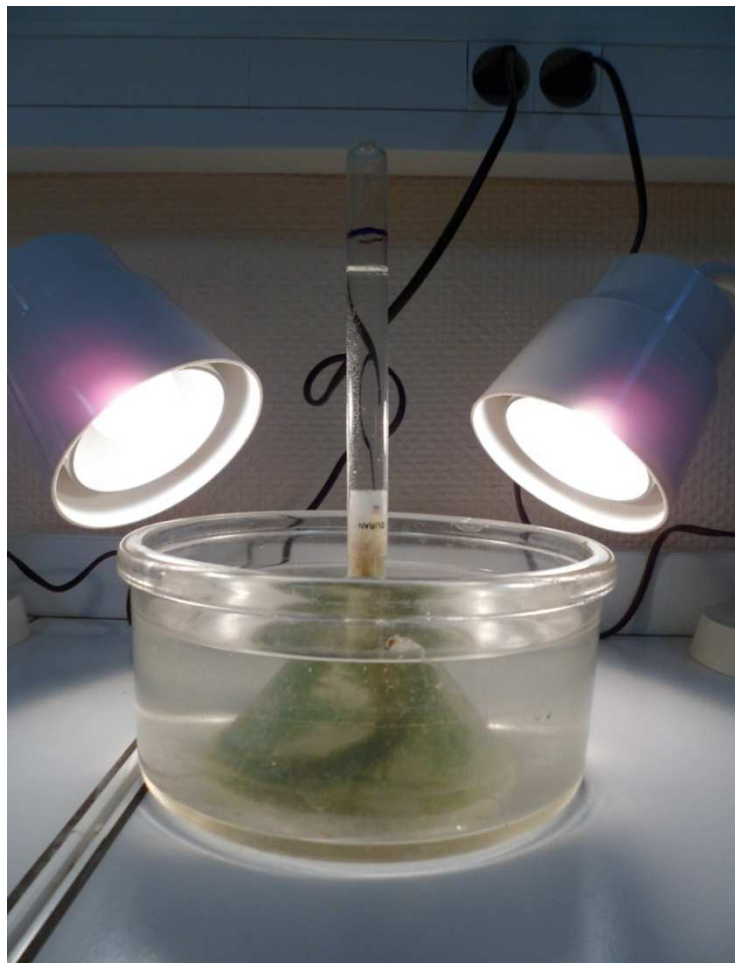
I- La production de dioxygène

Nous avons réalisé le montage expérimental schématisé ci-dessous :

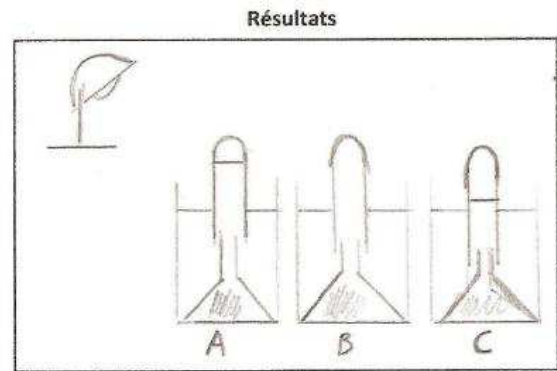
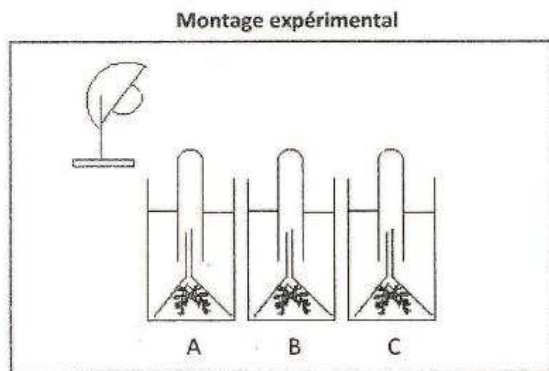


L'élodée a produit du gaz car le niveau de l'eau dans l'entonnoir a baissé. On a identifié le gaz produit par l'élodée en introduisant une allumette éteinte dans le tube à essai. La combustion s'est ravivée donc le gaz est du dioxygène.

Donc, les plantes produisent du dioxygène.



II- La nécessité de l'apport en carbone



Pour le montage expérimental :

Dans le montage A, le cristalliseur est rempli d'eau du robinet ; dans le montage B il est rempli d'eau déminéralisée et dans le montage C, il est rempli d'eau où l'on a ajouté du bicarbonate de soude, qui contient du dioxyde de carbone.

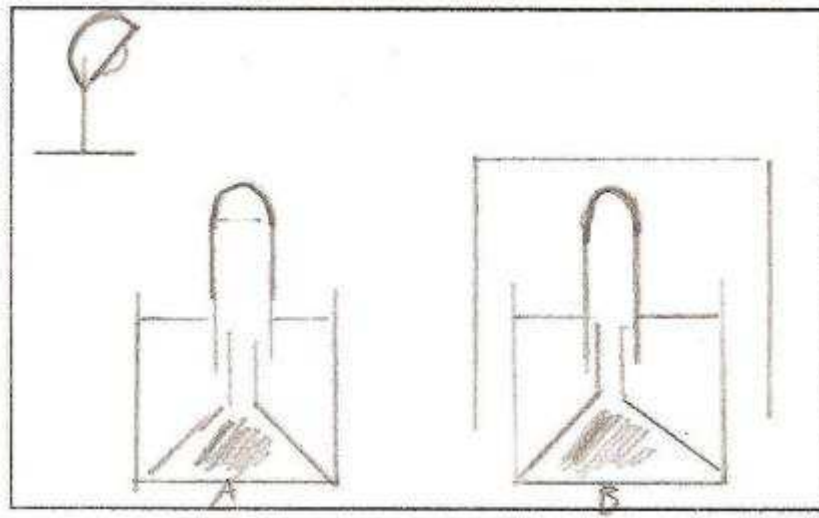
Pour les résultats :

Dans le montage A, l'eau a diminué ; dans le montage B, l'eau est restée identique, dans le montage C, l'eau a beaucoup diminué. Plus il y a de dioxyde de carbone, plus le niveau de l'eau baisse et donc plus la plante produit de dioxygène.



III- La nécessité de la lumière

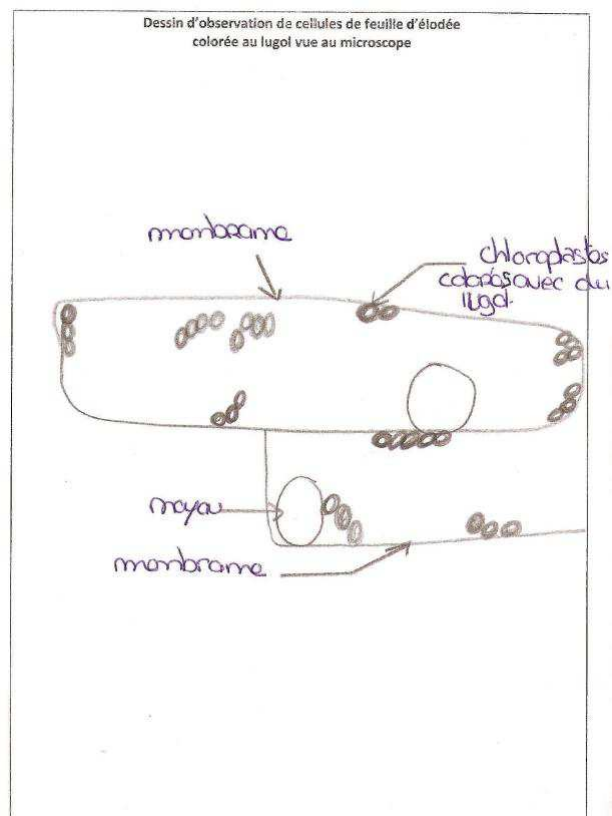
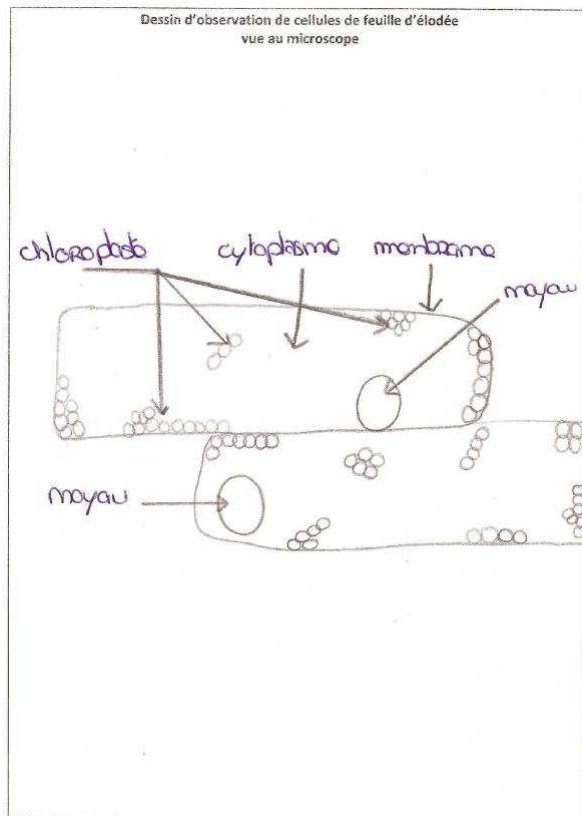
Montage expérimental



Dans le montage A, le niveau de l'eau devrait baisser dans le tube à essai. Dans le montage B, rien ne devrait changer. Donc la plante ne produit du dioxygène qu'à la lumière.



VI- La fabrication de glucides



Le lugol est une solution d'eau iodée de couleur jaune orangée qui réagit à la présence d'amidon (un glucide complexe) en devenant bleu/noir.

Les cellules contiennent de petites sphères vertes, appelées chloroplastes qui contiennent de la chlorophylle.

La chlorophylle est noire dans le second dessin alors qu'elle est verte dans le premier, donc les chloroplastes contiennent de l'amidon. Le dioxyde de carbone absorbé passe par les chloroplastes puis la plante rejette du dioxygène. La chlorophylle produit l'amidon.

Conclusion :

La photosynthèse permet à une plante de fabriquer des glucides grâce à la chlorophylle. Pour cela, elle a besoin de lumière, de dioxyde de carbone et d'eau. Elle rejette du dioxygène.

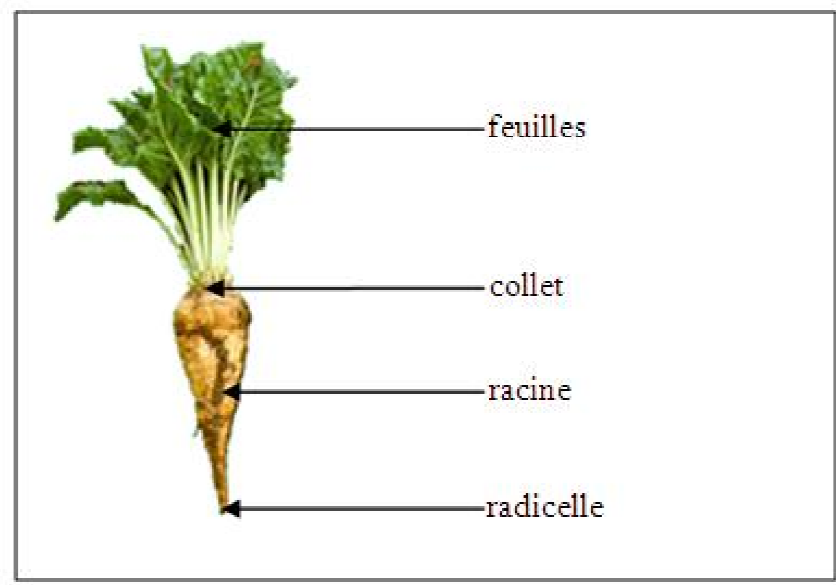
2^{ème} partie

Comment cultive-t-on la
betterave sucrière ?

Anatomie d'une betterave sucrière et condition de culture

I- Anatomie d'une betterave sucrière

Le nom scientifique de la betterave sucrière est *beta vulgaris*, elle appartient à la famille des *Chénopodiacées*. Elle est originaire d'Europe centrale.



II- Condition de culture d'une betterave sucrière

La betterave sucrière est une plante bisannuelle, elle se développe en deux années :

- la première année, phase végétative : développement des feuilles et constitution de la racine charnue, accumulation de réserves en sucre, c'est aussi la phase de culture.
- la deuxième année : montaison et floraison, production de graines.

On récolte la betterave dès la première année car c'est à ce moment que le sucre se forme en grande quantité. Si elle n'est pas récoltée la première année la betterave se sert de son sucre pour évoluer.

La culture de la betterave sucrière nécessite un climat tempéré. Une betterave contient 75% d'eau. Il faut donc une quantité de précipitations de 600 mm/an environ. Les graines ne germent pas en dessous de 5 °C et pendant la phase végétative, une température de 20-25 °C est idéale.

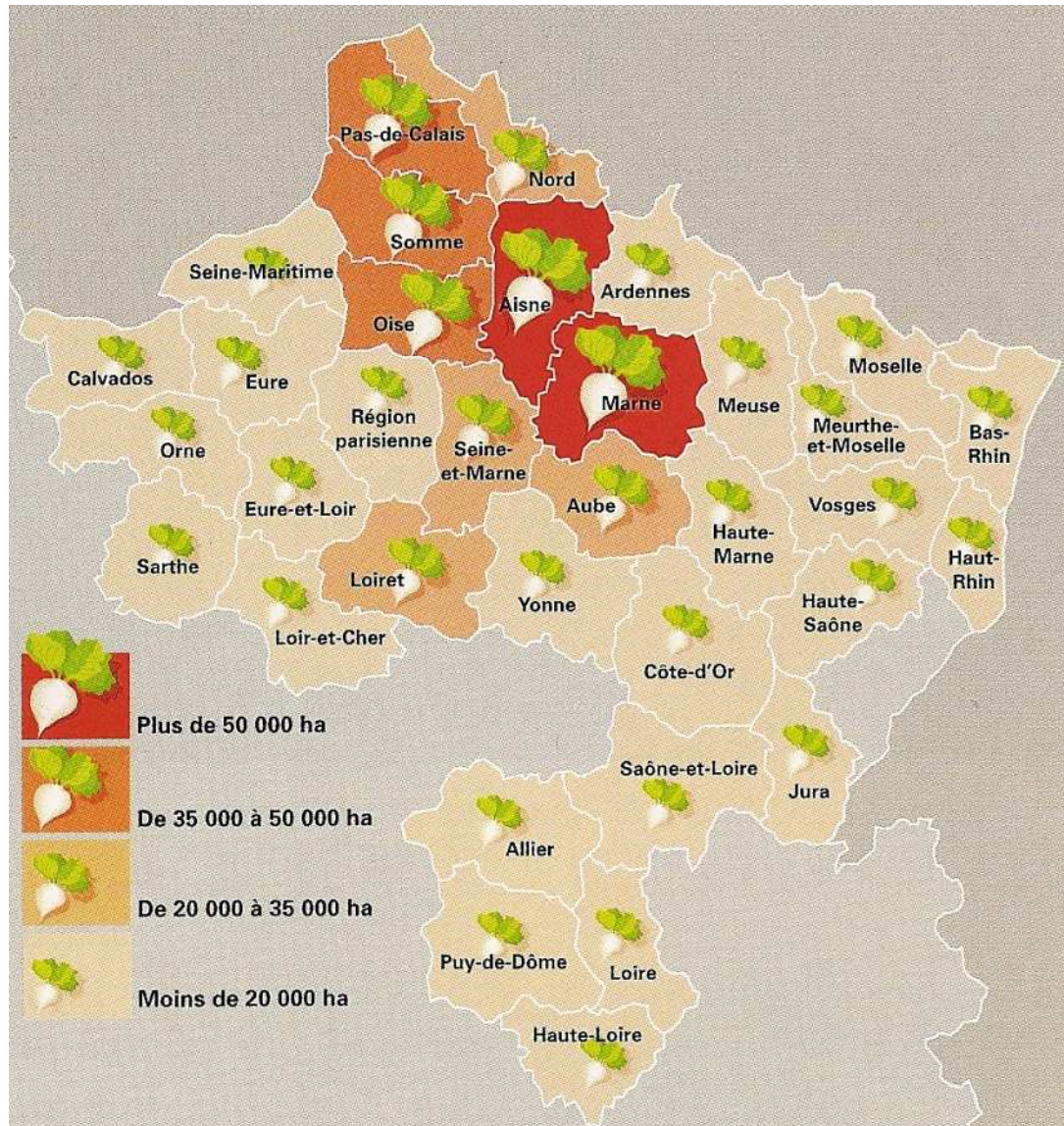
La culture de la betterave exige des terres riches, profondes, fortement fumées et bien préparées. Avant les semis, les agriculteurs apportent à la terre du phosphore, du potassium et de l'azote.

En France on sème la betterave sucrière mi-mars après les gelées d'hiver. Les graines sont semées à 2-3 cm de profondeur. Sur une même ligne, les graines sont espacées d'au moins 16 cm et il faut espacer les lignes d'au moins 45 cm.

On récolte les betteraves six mois après les semis donc environ à mi-octobre début novembre.

III- La culture de la betterave sucrière en Picardie

La région de France qui est le premier producteur de betterave sucrière est la Picardie. Son climat correspond à celui qui est idéal pour la cultiver.



En Picardie, il y a 127 883 ha consacrés à la culture de la betterave sucrière. Cela concerne 8911 exploitations agricoles, ce qui correspond à 53% des exploitations.

Actuellement en Picardie, il y a 6 sucreries. Elles doivent être situées près des lieux de culture car une fois les betteraves arrachées, la quantité de sucre à l'intérieur de la racine diminue. Les betteraves doivent donc arriver au plus vite à la sucrerie.

En Picardie, on produit 1 325 300 t de sucre par an et 1731 salariés sont employés en permanence dans la production du sucre.

Analyse de la terre du jardin du collège

La culture de la betterave sucrière nécessite une terre neutre, riche en azote, phosphore et potassium. La terre du jardin du collège conviendrait-elle à la culture de la betterave sucrière ?

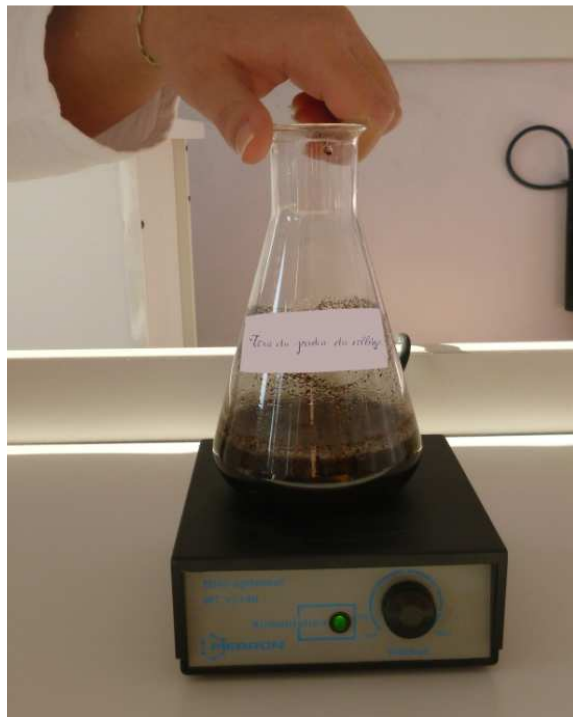


Le jardin du collège

I- Mesure du pH de la terre

1) Préparation des solutions

Nous avons pesé exactement 20 g de terre du jardin du collège et nous l'avons versée dans un erlenmeyer. Nous y avons ajouté 100 ml d'eau distillée. Nous avons ensuite introduit un barreau aimanté dans l'erlenmeyer et agité la solution pendant 20 min à l'aide d'un agitateur magnétique.



2) Filtration des solutions

Nous avons placé un entonnoir sur un erlenmeyer, mis un filtre sur l'entonnoir et filtré la solution de terre du jardin.



3) Mesure du pH

Nous avons introduit un pH-mètre dans le filtrat.



Le pH de la terre du jardin du collège est de 7,4

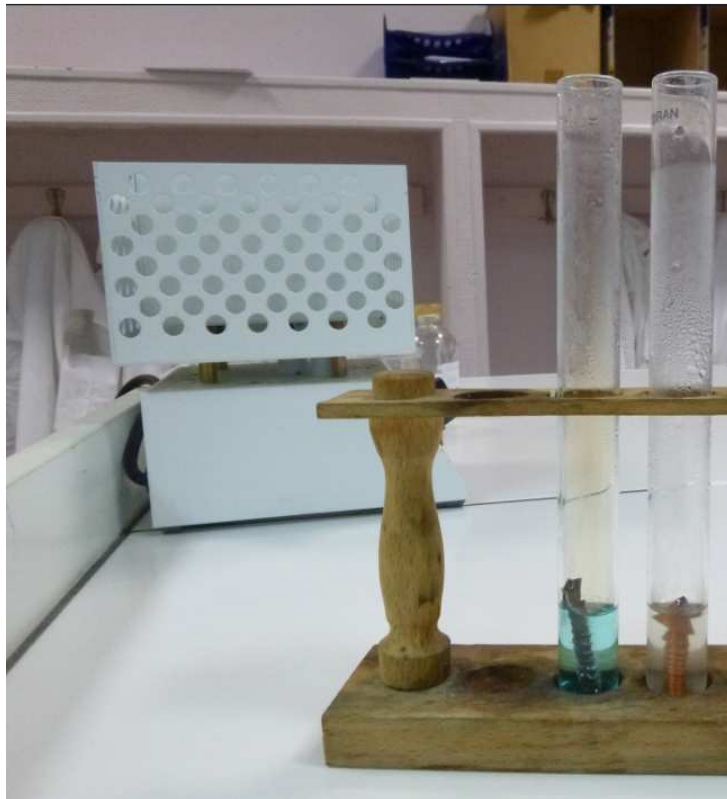
II- Recherche des éléments azote, phosphore et potassium

1) L'élément azote

L'azote est apporté aux végétaux sous deux formes : l'ion nitrate NO_3^- et l'ion ammonium NH_4^+ .

a. Recherche de l'ion nitrate NO_3^-

Nous avons mis un copeau de cuivre dans environ 2 mL d'une solution témoin de nitrate d'ammonium ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) puis dans 2 mL de solution de terre du jardin du collège filtrée. Nous avons ajouté quelques gouttes d'acide sulfurique concentré dans chacun des deux tubes. Puis, nous avons chauffé les solutions.



La solution témoin de nitrate de potassium prend une coloration bleue et un gaz roux s'en dégage. Il ne se passe rien dans le tube à essai contenant la solution filtrée de terre du jardin du collège.

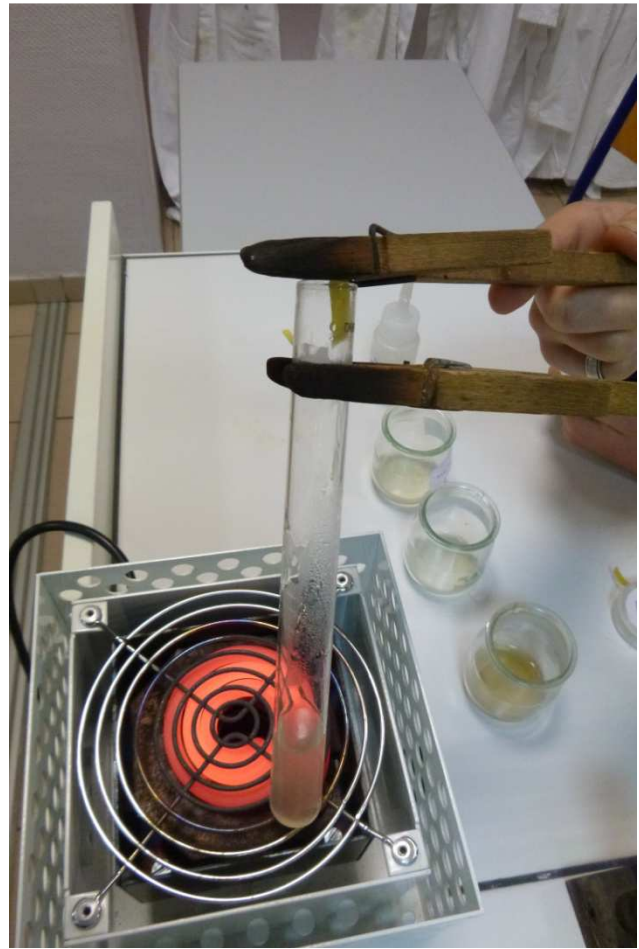
La terre du jardin du collège ne contient pas d'ion nitrate NO_3^- .

b. Recherche de l'ion ammonium NH_4^+

Nous avons versé quelques gouttes de soude dans environ 2 mL d'une solution témoin de nitrate d'ammonium ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) puis dans 2 mL de solution de terre du jardin du collège filtrée. Puis, nous avons chauffé la solution en présentant à l'entrée du tube un morceau de papier pH.



Avec la solution témoin



Avec la solution filtrée de terre du jardin du collèe

De la solution témoin de nitrate d'ammonium se dégage un gaz qui colorie en bleu le morceau de papier pH.

Il ne se passe rien dans le tube à essai contenant la solution filtrée de terre du jardin du collèe

Il n'y a pas d'ion ammonium NH_4^+ dans la terre du jardin du collèe.

2) L'élément phosphore

Le phosphore est apporté aux végétaux sous forme d'ions phosphate PO_4^{3-} .

Nous avons versé quelques gouttes d'une solution de nitrate d'argent dans 2 mL d'une solution témoin de phosphate d'ammonium ($3\text{NH}_4^+ + \text{PO}_4^{3-}$) puis dans 2 mL de solution de terre du jardin du collèe filtrée.



Dans la solution témoin de phosphate d'ammonium, il se forme un précipité jaunâtre.
Il ne se passe rien dans le tube à essai contenant la solution filtrée de terre du jardin du collège.

Il n'y a pas d'ion phosphate PO_4^{3-} dans la terre du jardin du collège.

3) L'élément potassium

Le potassium est apporté aux végétaux sous forme d'ions potassium K^+ .

Nous avons trempé un fil d'aluminium dans une solution témoin de chlorure de potassium ($\text{K}^+ + \text{Cl}^-$) puis dans la solution de terre du jardin du collège filtrée. Nous l'avons placé au cœur de la flamme d'un brûleur.



La flamme est devenue violette avec la solution témoin.
La flamme est aussi devenue violette avec la terre du jardin du collège.

Il y a des ions potassium K^+ dans la terre du jardin du collège.

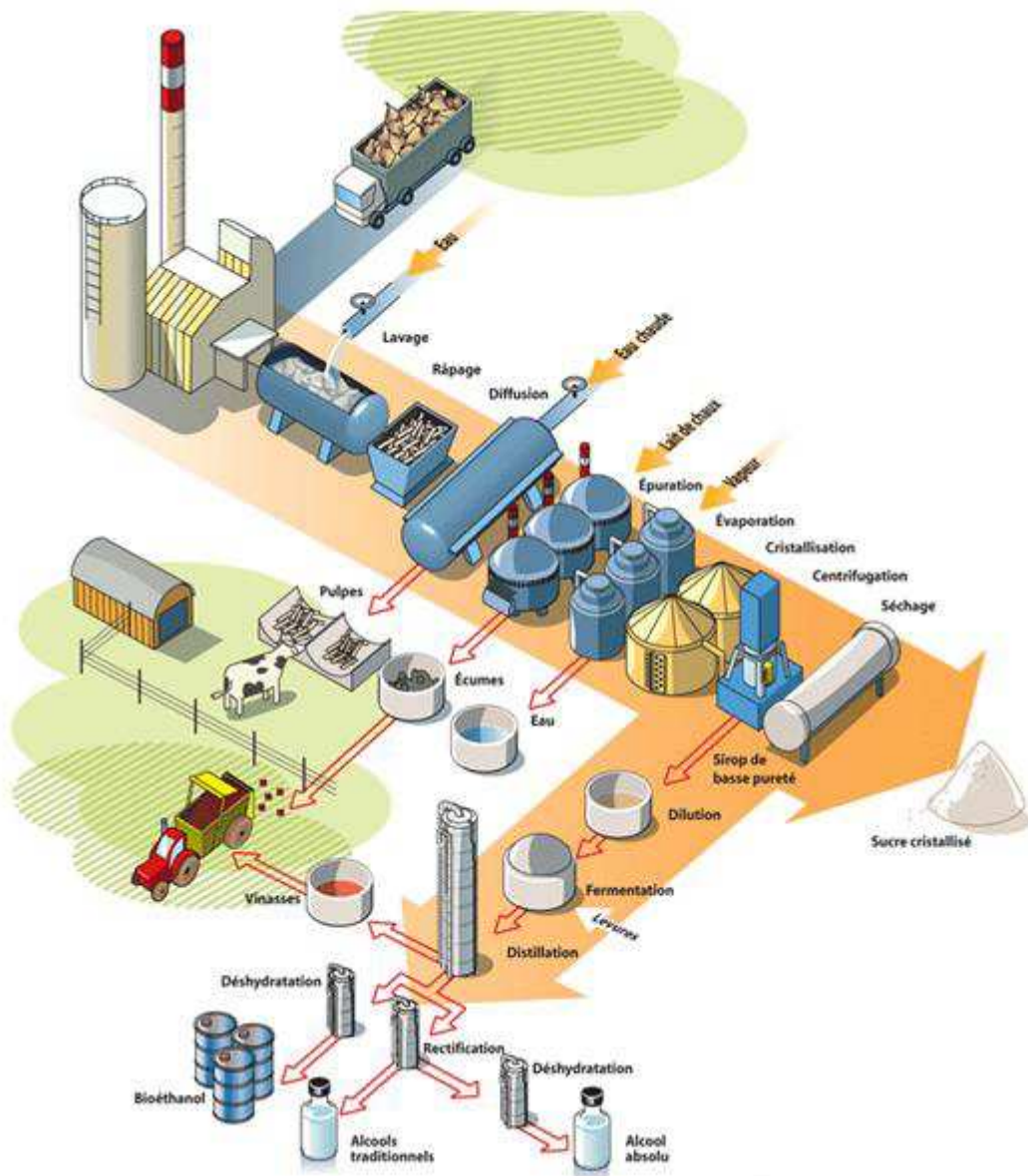
Conclusion :

La terre du jardin du collège ne convient pas telle quelle à la culture de la betterave sucrière. Son pH est correct et elle contient du potassium mais elle ne contient pas assez de nitrate ni de phosphate. Pour y faire pousser convenablement des betteraves sucrières, il faudrait y rajouter des engrais riches en nitrate et en phosphate.

3^{ème} partie

Comment fonctionne une
sucrerie ?

Schéma de fonctionnement d'une sucrerie



Les différentes étapes de l'extraction du sucre d'une betterave sucrière

Etape n° 1 - Le lavage

Les betteraves circulent dans un lavoir à contre-courant d'un flux d'eau propre afin d'enlever la terre, puis les pierres et l'herbe.



Etape n° 2 - Le râpage

Les betteraves sont envoyées dans des coupe-racines pour être découpées en cossettes.



Etape n° 3 - La diffusion

On extrait le jus sucré des cossettes par diffusion. Les cossettes circulent dans un long cylindre, et le sucre est transmis dans l'eau qui circule en sens contraire. On récupère finalement le jus d'un côté et les cossettes ayant perdu leur sucre (pulpes) de l'autre côté.



Etape n° 4 - L'épuration

Le jus obtenu après diffusion contient des impuretés. Durant l'épuration (ou filtration), on ajoute du jus de lait de chaux (chaulage) puis du dioxyde de carbone (carbonatation) afin de former des précipités qui fixent les impuretés. On envoie ensuite le mélange dans des filtres pour obtenir du jus sucré clair.

Etape n° 5 - L'évaporation

A ce stade, le jus sucré contient trop d'eau. On porte le jus à ébullition dans des tuyaux en contact avec de la vapeur et il traverse plusieurs chaudières (évaporateurs) où la température diminue progressivement. A la fin du circuit, le jus sucré contient 70% de sucre.

Etape n° 6 - La cristallisation

Le sirop passe ensuite dans des chaudières à cuire travaillant sous vide pour éviter la formation de caramel. On y introduit un peu de sucre glace pour « semer » le sirop. La cristallisation finie, on obtient la « masse cuite », formée de multiples cristaux en suspension.



Etape n° 7 - La centrifugation

La masse cuite est envoyée dans des centrifugeuses munies d'un panier en tôle perforée. Sous l'action de la force centrifuge, le sirop de basse pureté est évacué tandis que le sucre blanc cristallisé se dépose sur les parois du panier. Il est ensuite lavé par pulvérisation de vapeur d'eau avant d'être recueilli.



Etape n° 8 - Le séchage

Encore chaud et humide, le sucre cristallisé blanc est envoyé dans des appareils de séchage à air chaud puis refroidi. Il est désormais prêt à la consommation et va être stocké dans des silos.



Les différentes étapes de la fabrication du bioéthanol

Les 7 premières étapes de la fabrication du bioéthanol sont les mêmes que celles de l'extraction du sucre de la betterave. Après la centrifugation, un sirop de basse pureté est recueilli : il est à l'origine de la fabrication du bioéthanol.

Etape n° 8 – La dilution

On ajoute de l'eau au sirop de basse pureté obtenu après l'étape de centrifugation. Le moût sucré obtenu doit avoir une concentration en sucre proche de 250 g/L.

Etape n° 9 – La fermentation

On ajoute des levures au moût sucré pour favoriser la fermentation qui transforme le sucre en alcool. Après la fermentation, on obtient un vin qui a une teneur d'alcool d'environ 11%.

Etape n° 10 – La distillation :

Le vin est porté à ébullition puis est introduit dans des colonnes de distillation. Les vapeurs se chargent en alcool et, après liquéfaction, on obtient de l'alcool brut d'une teneur en alcool de 92%.



Etape n° 11 – La déshydratation

L'alcool brut obtenu est ensuite déshydraté en passant à travers des résines chimiques qui captent l'eau qu'il contient encore. Il peut alors être utilisé comme biocarburant.

Extraction du sucre de la betterave sucrière

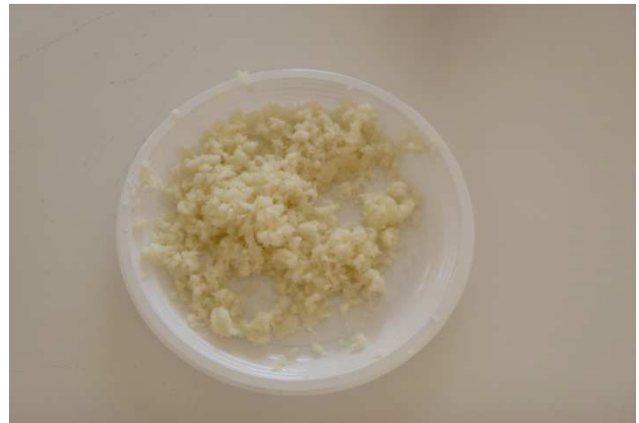
Au XVII^{ème} siècle, un agronome français, Olivier de Serre, découvre la notable proportion de sucre dans la betterave sucrière. La Picardie représente une région très productrice de sucre avec ses immenses champs de betteraves et ses sucreries. Comment extrait-on le sucre d'une betterave sucrière ?

I- Etapes de lavage, découpage et diffusion

Nous avons lavé deux betteraves sucrières et nous avons pris un morceau de 140 g.



Nous l'avons épluché et nous avons râpé la chair en cossettes.



Nous avons placé les cossettes dans une casserole avec 200 mL d'eau et quelques gouttes d'acide chlorhydrique. Nous avons porté à ébullition douce pendant 15 minutes.



Nous avons filtré le mélange obtenu et nous avons conservé le jus sucré.



II- Etapes de chaulage, carbonatation et filtration

Nous avons préparé un lait de chaux en pesant 1,3 g de chaux dans un bécher et en les mélangeant à 25 mL d'eau.



Nous avons prélevé 10 mL de lait de chaux et nous les avons ajoutés au jus sucré. Ensuite, on a mélangé.

Nous avons soufflé à l'aide d'une paille à l'intérieur du mélange obtenu pendant une minute environ. Ensuite, nous avons filtré puis conservé le jus filtré.



III- Etapes d'évaporation et de centrifugation

Nous avons placé le jus filtré dans un bécher puis nous avons ajouté une pincée de sucre glace pourensemencer le sirop.

Nous avons porté à ébullition douce. Nous avons continué le chauffage jusqu'à vaporisation de l'eau en agitant bien pour éviter la caramélisation.



Nous avons versé la pâte obtenue dans un tube à essai et l'avons mis dans la centrifugeuse.



On observe que le sucre est projeté sur les parois du tube.



Conclusion :

Nous avons reproduit au laboratoire les différentes étapes de l'extraction du sucre de la betterave sucrière comme dans une sucrerie.

Synthèse de bioéthanol

Le bioéthanol est un éthanol d'origine biologique, le même que celui que l'on trouve dans toutes les boissons alcoolisées. Il peut être mélangé à l'essence en des proportions allant de 5 à 85 % pour former un biocarburant destiné aux moteurs à essence. La betterave sucrière contient du saccharose qui peut être transformé pour donner du bioéthanol par fermentation du jus sucré obtenu après les six premières étapes de son extraction. Comment obtient-on du bioéthanol à partir d'un jus sucré ?

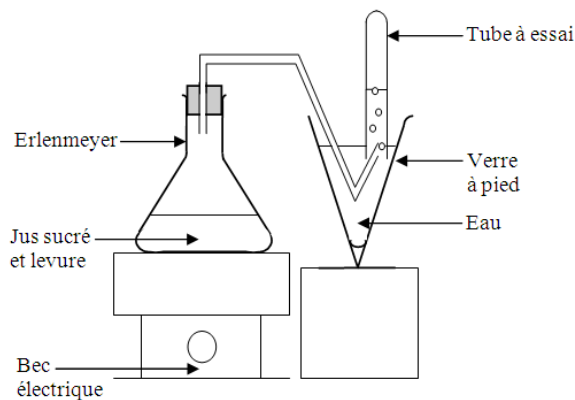
I- Préparation du jus sucré

Nous avons introduit, dans un erlenmeyer, 100 mL d'eau distillée prélevée à l'éprouvette graduée. Nous avons ajouté 25 g de saccharose. Puis nous avons bien mélangé jusqu'à dissolution.

II- Fermentation

Nous avons pesé 5 g de levure de boulanger que nous avons émietée dans le jus sucré. Nous avons soigneusement mélangé avec un agitateur jusqu'à ce qu'il ne reste plus de grumeaux.

Nous avons réalisé le montage ci-dessous en plaçant le bec électrique sur le thermostat 1 :



Quand toute l'eau a été chassée du tube à essai, nous y avons versé de l'eau de chaux. On observe que l'eau de chaux se trouble : au cours de la fermentation, il se forme un gaz : le dioxyde de carbone.



Nous avons ensuite enlevé l'erenmeyer du montage et nous y avons introduit un barreau aimanté. Nous avons ensuite agité le mélange pendant plusieurs heures jusqu'à ce qu'une mousse blanche apparaisse à la surface.

III- Distillation

Nous avons filtré le mélange.



Nous avons versé le filtrat dans un ballon et nous l'avons placé dans un montage à distiller. Nous avons chauffé le mélange jusqu'à ébullition. La température des vapeurs en haut de la colonne à distiller est d'environ 78 °C. Dès que ça dépasse cette valeur, il faut arrêter la distillation.



IV- Déshydratation

Nous avons ajouté un peu de sulfate de magnésium dans le distillat, nous avons agité, puis nous avons filtré.

Conclusion :

Nous avons reproduit au laboratoire les différentes étapes de la fabrication du bioéthanol comme dans une sucrerie. Nous avons montré au cours de cette synthèse qu'il se forme aussi un gaz, le dioxyde de carbone. L'équation de la réaction de fermentation s'écrit :



Remerciements

Nous remercions :

- Mme **LEDERLE Yolande**, responsable ressources humaines à la sucrerie d'Origny-Sainte-Benoîte pour nous avoir donné de la documentation sur le fonctionnement d'une sucrerie ;
- Mme **MICHE Brigitte**, responsable ressources humaines à la sucrerie d'Escaudoevres pour nous avoir fait visiter la sucrerie ;
- M. **GOUYON André**, ancien responsable aux services techniques de la sucrerie d'Origny-Sainte-Benoîte pour être venu au collège nous expliquer le fonctionnement d'une sucrerie ;
- Les organisateurs du concours C.génial pour la subvention qu'ils nous ont accordée.



Toute l'équipe attentive aux explications de M. GOUYON