

Présentation

Titre	« <b>du cacaoyer à la tablette de chocolat, la biologie, la physique et la chimie à notre aide</b> »
Niveau	<b>Seconde 2010, enseignements d'exploration scientifiques</b> 1°L 1°ES Alimentation/Environnement
Liens possibles avec les autres disciplines	Histoire, les grandes découvertes Littérature-cinéma ( <i>Charlie et la Chocolaterie – Merci pour le Chocolat - Le Chocolat ...</i> )
Parties du programme	<p><b>2<sup>nde</sup> 2010 Option d'exploration <u>MPS</u>, thème « Science et aliments »</b> Un des objectifs de ce thème est d'étudier comment la science permet de mieux comprendre et de perfectionner les processus de transformation des aliments.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Modifier le goût, modifier la consistance</li> <li>➤ Concevoir des aliments pour répondre à des besoins particuliers</li> <li>➤ Contrôler la qualité</li> </ul> <p><b>2<sup>nde</sup> 2010 Option d'exploration <u>Science et Laboratoire</u>, thème « physicochimie des matériaux du vivant »</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Transformations culinaires</b></li> <li>• Cuisson, émulsion, fermentation. <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Les agro-ressources, production et utilisation</b></li> </ul> </li> <li>• Extraction de substances naturelles.</li> <li>• Alimentation, sucres, huiles, protéines végétales.</li> </ul> <p><b>2<sup>nde</sup> 2010 Option d'exploration <u>Biotechnologies</u>, thème « bioindustries, industries agro-alimentaires »</b> Les activités proposées illustrent les principales thématiques de la production d'un aliment : biotransformation, micro-organisme utile, contrôle d'un produit fini, recherche industrielle. Transformation biologique d'une matière première, avec les connaissances suivantes à mettre en place : <i>action enzymatique, paramètres influençant la production, optimisation d'un processus, caractère hydrophobe et hydrophile émulsion.</i></p> <p><b>Pourrait illustrer quelques items du programme SPC 2<sup>nde</sup> 2010, thème santé</b> Espèces chimiques naturelles et espèces chimiques synthétiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Extraction, séparation et identification d'espèces chimiques.</li> <li>➤ Aspect historique et techniques expérimentales.</li> <li>➤ Caractéristiques physiques d'une espèce chimique : aspect, Tf, Teb, solubilités, densité, masse volumique.</li> </ul>

**« Entrée en matière »**

L'idée de fermenter, sécher les grains de cacaoyer, puis de les broyer, les cuire, les dégraisser et enfin remixer le cacao avec le sucre et le gras est assez étonnante pour qu'on prenne le temps de revisiter en détail l'ensemble des opérations qui aboutissent à la production de cet aliment : on pourra développer quelques notions scientifiques à partir des observations faites au cours de ce processus.

**1 Comment fabriquer du chocolat ?**

**Etape 1 : de la fève au tourteau et au beurre de cacao : transformation biologique**

**voir fiche 15a "de la cabosse au cacao"**

Approche documentaire, avec, si possible, observation d'une cabosse de cacao et de ses fèves.

**OUVERTURES VERS LA SCIENCE :**

- Fermentations
- Séparation du beurre de cacao et de la « masse de cacao » par pressage.

**Etape 2 : Enfin, fabriquons du chocolat à partir de « masse » de cacao, de beurre de cacao et de sucre (+ lécithine)**

**Voir fiche 15b « du cacao à la tablette »**

**Matières premières et matériels :**

*Fournisseurs conseillés :*

*G. Detou 58, rue Tiquetonne 75 002 Paris 01 42 36 54 67 (vente par correspondance possible)*

*Magasins « métro » pour professionnels ou associations*

*[www.marmiton.org](http://www.marmiton.org)*

*Pâte de chocolat « masse » (4,90 Euros pour 500 g) ;*

*Beurre de cacao, (8,00 Euros pour 500 g) ; sucre en poudre (ou glace), éventuellement lécithine et lait en poudre.*

*Savon liquide pour faire la vaisselle.*

*Balance, thermomètre, mixer ou dispositif pour malaxer, thermostat (bain d'eau chaude + plaque chauffante), récipient, plaque de marbre ou assiette plate.*

**OUVERTURES VERS LA SCIENCE :**

- (1) Fusion ; changements d'état
- (2) Chaînes carbonées, triglycérides.
- (3) Tensioactifs, émulsions/suspensions.
- (4) Conversion travail → chaleur.
- (5) Apports énergétiques des aliments.

Fiche élève

**2. le chocolat, bon pour la santé ?****quelques pistes de recherche** (pouvant être proposées en recherche personnelle-élèves)**Donnée : la composition moyenne du chocolat noir (pour 100 g) :**

Protéines : 6 g  
Lipides : 27 g  
Glucides : 4 g  
Sucre (ajouté) : 50 g  
Fibres : 9 g  
Tanins : 3,7 g  
Eau : 1 g

**Minéraux :**  
Potassium : 400 mg  
Phosphore : 300 mg  
Magnésium ; calcium ; sodium ; fer : 3 mg

**Vitamines :**  
B1 : 0,03  
B2 : 0,15  
B3 : 0,8  
E : 1,5

**Alcaloïdes :**  
Théobromine : 350 mg  
Caféine : 70 mg  
Sérotonine : 0,8 mg  
Phényléthylamine : 1,2 mg  
Tryptamine : 1,2 mg  
Tyramine : 1,2 mg

**2.1. aliment de l'effort****glucides → test 1**

voir prolongement « apport énergétique »

**graisses, lipides (38% d'insaturés =)** voir prolongement « apport énergétique »**vitamines** : recherche documentaire : lesquelles ? caractère liposoluble**protides → test 3**

faire des tests (voir annexe), chercher sur internet, lire les étiquettes

**Calories par gramme**

Chocolat noir 5,25 calories

Chocolat au lait 5,35 calories

**2.2 Bienfaits cardiovasculaires ?****Des antioxydants ? des polyphénols** espèces colorées présentant un caractère acidobasique [voir test 4]Ces composés aideraient à lutter contre un stress oxydatif pouvant endommager ou détruire les cellules et préviendraient certaines maladies, comme les maladies coronariennes. *Voir fiche ateliers science et cuisine n°12 (p.9) « les indicateurs de pH dans la cuisine »***2.3 Bon pour le pour le système nerveux ?****magnésium → test 2** recherche sur le rôle du magnésium dans l'organisme**théobromine → faire une recherche documentaire ; rapprocher de la caféine.**

→ extraction (protocoles disponibles sur internet : manipulation très difficile, peu concluante, identification par CCM)

**Phényléthylamine → faire une recherche sur cette molécule ; où la trouve-t-on ? quelle est son action sur l'organisme ?**

•OUVERTURE VERS LA SCIENCE : cheminement de l'information, le message nerveux, les synapses ;

faire des tests (voir annexe), chercher sur internet, lire les étiquettes

ANNEXE : TESTS QUALITATIFS DE MISE EN EVIDENCE DE QUELQUES CONSTITUANTS

Opération préalable : **Préparation de la solution de cacao** (prévoir en fonction du nombre d'élèves)

- Diluer un peu poudre de cacao dans de l'eau tiède et agiter
- La solution doit être suffisamment translucide pour l'observation de tests colorés.

Test 1 Recherche des sucres réducteurs

- Préparer deux tubes à essai
- Tube témoin : verser 1mL de solution de cacao et ajouter du réactif de Fehling jusqu'à l'obtention d'une couleur verdâtre
- Dans l'autre tube : verser 1mL de solution de cacao et ajouter du réactif de Fehling jusqu'à l'obtention d'une couleur verdâtre, chauffer quelques minutes
- Le test au réactif de Fehling est positif s'il y a apparition d'une couleur rouge brique et apparition d'un précipité
- Conclusion : le cacao contient-il des sucres réducteurs ?

Test 2 Recherche du magnésium

- Préparer deux tubes à essai
- Tube témoin : verser dans le tube environ 1mL de la solution de jaune de thiazole et 1mL de solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $1\text{mol.L}^{-1}$ .
- Tube à tester : verser dans le tube environ 1mL de la solution de jaune de thiazole et 1mL de solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $1\text{mol.L}^{-1}$ .
  - Ajouter 1mL de solution de cacao
- Le test de recherche des ions magnésium est positif si on observe une coloration rouge
- Conclusion : le cacao contient-il des ions magnésium ?

Test 3 Recherche des protéines (Mettre des gants et des lunettes)

- Préparer deux tubes à essai
- Tube témoin : verser du **réactif du Biuret** (1V de sulfate de cuivre de concentration  $0,1\text{mol.L}^{-1}$  et 2V d'hydroxyde de sodium de concentration  $7\text{mol.L}^{-1}$ )
- Dans l'autre tube : verser du réactif du Biuret (1V de sulfate de cuivre de concentration  $0,1\text{mol.L}^{-1}$  et 2V d'hydroxyde de sodium de concentration  $7\text{mol.L}^{-1}$ ) , ajouter 1mL de solution de cacao
- Le test au réactif du Biuret est positif s'il y a apparition d'une couleur violette
- Conclusion : le cacao contient-il des protéines ?

Test 4 : Mise en évidence de constituants dont la couleur dépend du pH

Faire une échelle de solution de pH donnés de 2 à 11 ; y verser quelques mL de solution de cacao et observer la coloration.

Y a-t-il des espèces dont la couleur est fonction du pH ? Ateliers Science & Cuisine

**3. Le plaisir de déguster du chocolat se placer en salle de dégustation**

Comment décrire les sensations ressenties ?

Chocolats disponibles : le chocolat fabriqué en classe  
divers chocolats du commerce, noirs ou au lait

3.1 Dégustation d'un carré de chocolat

**3.1.1 Aspect et couleur** du chocolat

Regarder les chocolats et consigner les observations dans un tableau

	COULEUR			Aspect	
	Brun clair	Brun foncé	Noir	brillant	Lisse
Chocolat fabriqué					
Chocolats du commerce					

**3.1.2 Examen de la cassure** de chocolat

Casser un morceau de chocolat, regarder la cassure des chocolats et consigner les observations dans un tableau

	Avec bulle	Sans bulle	Lisse	Avec grumeau	Sans grumeau
Chocolat fabriqué					
Chocolats du commerce					

**2.1.3 Sentir et goûter**

Après avoir senti et goûté un carré de chocolat, consigner les observations dans un tableau

	acide	amer	astringent	sucré	Arôme cacao-chocolat	caramel	épicé	moisi	Gras	Autre : fondant, fruits rouges, secs, miel...
Chocolat fabriqué										
Chocolats du commerce										

3.2 D'où viennent les arômes ?

Recherche documentaire.

Les arômes sont liés à l'histoire et la transformation de la fève de cacao en cacao, puis en chocolat. En effet, les agents précurseurs des arômes se forment lors de la fermentation et le séchage de la fève de cacao ; voir le diaporama 1.

**Evaluation** Rappel des directives des programmes (2010)

***Evaluation MPS***

*L'évaluation peut prendre des formes variées afin de valoriser l'acquisition de compétences et de qualités telles que l'autonomie, l'initiative, l'engagement dans une démarche scientifique, le travail d'équipe, le raisonnement et la communication écrite et orale.*

*Selon les thèmes, l'évaluation peut prendre en compte, par exemple :*

- la mise en oeuvre d'une démarche scientifique ;*
- les compétences expérimentales mobilisées lors de séances de travaux pratiques ;*
- des travaux de recherche personnelle ou en petits groupes dans et hors du temps scolaire donnant lieu, par exemple, à la constitution d'un dossier, à l'élaboration d'une expérience, à la réalisation d'un projet ;*
- la présentation écrite ou orale de résultats, d'un travail de recherche ou d'un projet ;*
- l'utilisation à bon escient des technologies usuelles de l'information et de la communication.*

***Evaluation S&L*** *Après une phase de découverte de la méthodologie d'analyse et de résolution de problèmes à travers quelques études de cas, les élèves sont amenés à l'appliquer dans le cadre de projets. Les études de cas et les projets sont choisis en référence à des thèmes du programme.*

*L'élève doit prendre conscience de ses aptitudes à résoudre des problèmes en évoluant dans un contexte expérimental grâce à une évaluation, essentiellement formative, qui l'aide à préciser son projet d'orientation. Le professeur lui fournit les éléments nécessaires et l'accompagne dans son autoévaluation.*

***Evaluation biotechnologies [pas très définie dans le programme actuellement disponible]***

*Poser une problématique et préciser la démarche du projet au cours duquel les items qui suivent seront mis en œuvre :*

- travailler en équipe ; acquérir de l'autonomie ;*
- présenter et interpréter des résultats expérimentaux, rendre compte à l'oral et à l'écrit de la démarche et des conclusions d'une activité ;*
- rechercher et sélectionner le(s) document(s) en lien avec la thématique.*

Pistes de travail à proposer en recherche personnelle (individuelle ou par groupe) en vue d'une évaluation ***liste non exhaustive***

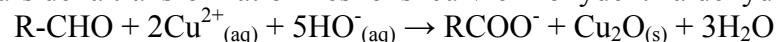
- Comment préparer une crème à tartiner au chocolat ? (type Nutella<sup>®</sup>)
- Chocolat blanc, est-ce encore du chocolat ?
- Chocolat, une drogue ? (être « accro » au chocolat, c'est grave docteur ?)
- Le vieillissement du chocolat (blanchiment en surface)
- Le chocolat dans l'alimentation (apports énergétiques et nutritionnels)
- Pourquoi un carré de chocolat immergé dans l'eau froide blanchit-il ?
- Le chocolat fondu prend en masse (solidification massive) lors d'ajout de quelques mL d'eau : observons et proposons des explications.
- Comment réaliser une mousse au chocolat sans crème fraîche ni blanc d'œuf battu en neige ?
- La mousse au chocolat, une émulsion ?
- Remplacer le beurre de cacao par une autre matière grasse ?
- ...voir questionnement page 2 : *chocolat, bon pour la santé ?*.....

**RESSOURCES:**

**Test au réactif de Fehling**, une réaction caractéristique des aldéhydes.

Pour l'essentiel, le réactif de Fehling est un complexe basique d'ion cuivrique par les ions tartrate. Les ions tartrate permettent de stabiliser les ions cuivre II en milieu basique.

Au cours de la transformation les ions cuivre II oxydent l'aldéhyde pour donner un acide selon la réaction d'oxydo-réduction :



Mise en évidence des sucres réducteurs

Plus spécifiquement, le **test au réactif de Fehling** permet de mettre en évidence la présence d'un composé qui présente la fonction aldéhyde (tels les sucres réducteurs, comme le glucose, fructose, maltose...) mais le test n'est pas positif avec le saccharose (sucre de table), celui-ci ne présente pas la fonction aldéhyde R-CHO).

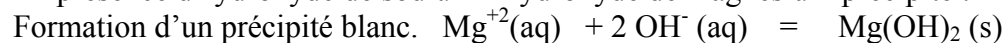
Le réactif de Fehling contient en milieu basique des ions cuivre II complexé ( $\text{Cu}^{2+}$ ), la solution a une teinte bleu foncé.

En présence d'un sucre réducteur, le réactif de Fehling précipite en un dépôt de couleur rouge brique à chaud, les ions cuivre II ( $\text{Cu}^{2+}$ ) se sont transformés en ions cuivre I ( $\text{Cu}^{+}$ )

**Test au jaune de thiazole**

Ce test permet la reconnaissance des ions  $\text{Mg}^{2+}$  en présence d'hydroxyde de sodium

En présence d'hydroxyde de sodium l'hydroxyde de magnésium précipite :



Le précipité  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  est floconneux et possède la propriété d'adsorber certains colorants notamment le jaune de thiazole qui vire du jaune au rouge.

**Test au réactif du biuret** prend une coloration violette en présence de **liaisons peptidiques** (plus de 2) qui relient les acides aminés composant les protides

**Une solution de cacao à différents pH (de pH = 10 à pH= 1)**

Voir fiches n° 12&12bis : « indicateurs colorés dans la cuisine » pour la préparation de solutions de pH donnés (tampons)



Photo : lycée Rodin

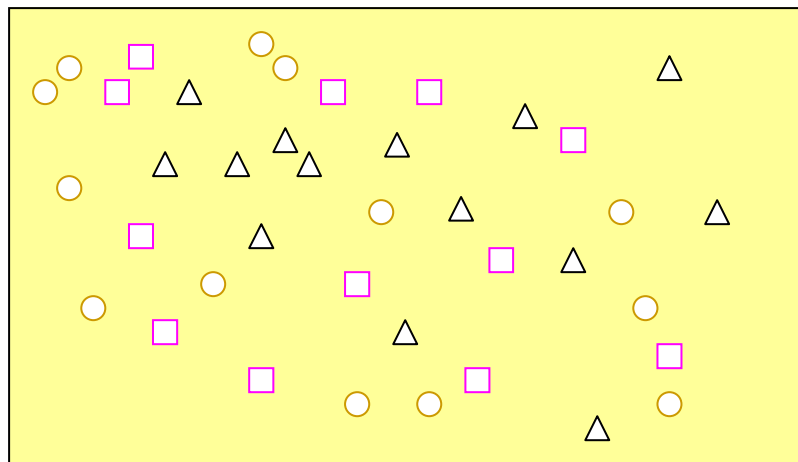
**Les phases du chocolat** : Le chocolat est une matière hétérogène comportant **plusieurs phases non miscibles** : c'est une dispersion (liquide + solide dans un solide).

Les phases sont :

- une phase solide continue formée par la fraction à l'état solide des matières grasses (20 %)
- des phases solides et liquides dispersées dans la phase continue :
  - des particules solides de sucre (45%, saccharose)
  - des particules de matière végétale (cacao)
  - des gouttelettes de matière grasse à l'état liquide (matière grasse du beurre de cacao, ou bien huiles végétales ajoutée, puisque la réglementation européenne le permet)

Les particules solides dispersées doivent avoir une taille < 25 µm pour ne pas donner de texture sableuse au chocolat.

<i>Ligne dispersée dans la colonne</i>	<b>Gaz</b>	<b>Liquide</b>	<b>Solide</b>
<b>Gaz</b>	Gaz	Aérosol liquide	Aérosol solide
<b>Liquide</b>	Mousse	Emulsion	<b>Suspension</b>
<b>Solide</b>	Mousse solide	Gel	<b>Suspension solide</b>



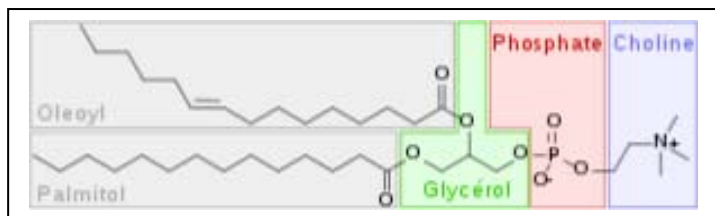
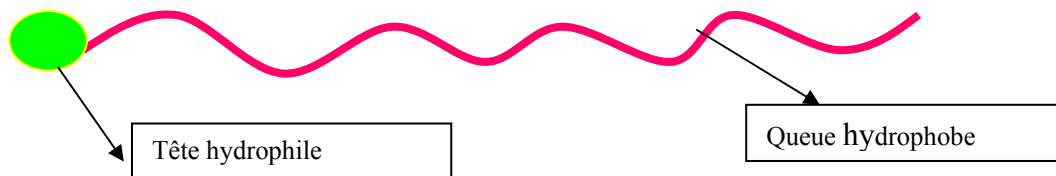
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black;"></span>	Phase solide continue
Phases solides dispersées :	
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: pink; border: 1px solid black;"></span>	particules solides de sucre
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid orange; border-radius: 50%;"></span>	gouttelettes de matière grasse à l'état liquide (beurre de cacao)
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; transform: rotate(45deg);"></span>	particules solides de matière végétale (cacao)

Schéma représentant des particules de cacao, de sucre, et des gouttelettes de matière grasse à l'état liquide dispersées dans la phase continue de graisse.



Comme pour une émulsion, on disperse plus facilement les diverses phases non miscibles si l'on ajoute à la dispersion des composés tensioactifs, dont les molécules ont une affinité à la fois avec les graisses et à la fois avec les grains de sucre (leur surface est couverte par une mince pellicule d'eau) et le cacao. Le seul autorisé est la lécithine de soja (0,7% maximum) ; l'ajout de lécithine lors de la fabrication du chocolat permet de préparer un chocolat moins gras.

La lécithine est une molécule constituée de plusieurs parties, on peut la représenter de façon simplifiée par un schéma



(wikipedia)

**phosphatidylcholine**, la palmitoyl-oleyl-*sn*-phosphatidylcholine.  
En général, une lécithine comporte un acide gras saturé et acide gras insaturé.

**La fusion du beurre de cacao, surfusion et tempérage.**

Chauffons du beurre de cacao solide en observant son état physique : la fusion semble commencer pour une température de l'ordre de 30 à 32°C. Faisons refroidir du beurre de cacao pris initialement à une température élevée (40 à 50°C) : parfois, les cristaux solides n'apparaissent pas avant d'avoir atteint une température de l'ordre de 25°C, et même plus basse.

Comment interpréter ces observations ?

- On peut penser à la surfusion ; c'est l'occasion de montrer ce phénomène aux élèves (expérience de solidification brutale d'eau surfondue)
- L'explication habituellement retenue est liée à l'existence de 5 formes cristallines du beurre de cacao, qui n'ont pas la même température de fusion

Forme cristalline	Intervalle de fusion (°C)
γ	13-17
α	17-20
β''	22-24
β'	26-28
β	31-34

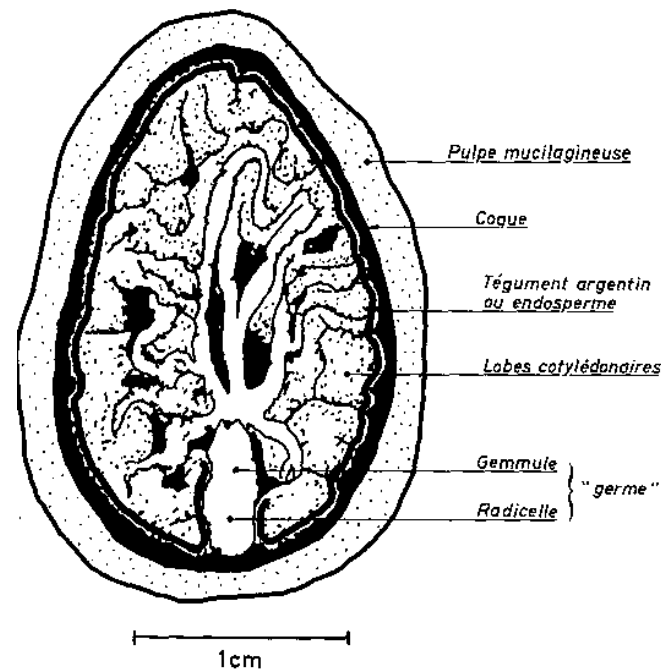
La forme β donne au chocolat les caractéristiques les plus appréciées (brillance, cassant ..) : c'est pour elle que le chocolatier pratique le « tempérage », en rechauffant à 32°C le chocolat descendu à 29°C où ne se trouvent que les germes de la forme β.

## La graine de Cacaoyer

La graine de cacao, ou fève fraîche, a la forme d'une amande, recouverte d'une pulpe mucilagineuse de couleur blanche, de saveur sucrée et acidulée.

- d'une coque mince, résistante, rosée, nervurée, provenant du développement des téguments de l'ovule,
- d'une fine pellicule, le tégument argentin, translucide, brillant,
- des deux **cotylédons de l'embryon**, qui occupent, à l'intérieur de ce tégument, tout le volume de la graine. Ces cotylédons sont de couleur variant, selon les origines, du blanc au violet foncé et sont très fortement plissés avec de nombreux lobes imbriqués les uns dans les autres. Entre les deux cotylédons, réunis à leur base par une radicelle de 6 à 7 mm, se trouve une gemmule rudimentaire.

Coupe longitudinale d'une graine de Cacaoyer



Source : [nzdl.sadl.uleth.ca/cgi-bin/library?e=d-00000-...](http://nzdl.sadl.uleth.ca/cgi-bin/library?e=d-00000-...)



**Semis de cacaoyer à la levée :**

La racine blanchâtre est déjà bien développée tandis que l'hypocotyle, partie de la plantule située entre la racine et les cotylédons, hisse ses cotylédons hors de terre. La germination de la graine est épigée (la graine est soulevée hors du sol par accroissement rapide de la tigelle).

Source : <http://www.afd.be/~plant-ch/cacaoyer/techniqu/PReccacao.htm>

**Composition chimique des cotylédons fermentés (par rapport la matière sèche) :**

matières grasses	55 %
amidon	6,3 %
pourpre et brun de cacao	4,3 %
pectines	4,2 %
théobromine	1,7 %
caféine	0,1 %
glucose	0,1 %
acide acétique	0,14 %

(Source FAO) - [www.fao.org](http://www.fao.org)

### Sites et Bibliographie

- *La fabrication du chocolat* Jean Pontillon, Dossier Hors Série « Pour la Science » SCIENCE ET GASTRONOMIE Mars 1995
- *Du Cacao au Chocolat* Michel Baret Editions Quae 2009
- *Le Blanchiment du Chocolat* Hervé This CASSEROLES ET EPROUVETTES éditions Belin 2002 « pour la Science »

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Phosphatidylcholine>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Chocolat#Temp.C3.A9rage\\_et\\_moulage](http://fr.wikipedia.org/wiki/Chocolat#Temp.C3.A9rage_et_moulage)

[http://www.chocolat-gillotte.com/charte/coulage\\_01.gif](http://www.chocolat-gillotte.com/charte/coulage_01.gif)

<http://www.chocoholic.free.fr/recettes/moulage-chocolat.php>

<http://www.chocolats.org/>

<http://www.lanutrition.fr>

<http://www.maison.com/cuisiner/nouveau/paris-enfin-son-musee-chocolat-1044/>

musée du chocolat, choco Story : 28 bd de Bonne nouvelle 75010 Paris

<http://www.afd.be/~plant-ch/cacaoyer/techniqu/PReccacao.htm> : cabosse, germination, techniques d'exploitation artisanale.

[www.gardenislandchocolate.com/.../index1.htm](http://www.gardenislandchocolate.com/.../index1.htm) : les différentes variétés de cacaoyer.