

PROCÉDÉS CHIMIE - BIO - AGRO



Ti700 - Agroalimentaire

Filière de production : produits d'origine végétale

Réf. Internet : 42433 | 3^e édition

Actualisation permanente sur
www.techniques-ingenieur.fr



TECHNIQUES
DE L'INGÉNIEUR



Techniques de l'Ingénieur

La plus importante ressource documentaire scientifique et technique en français

Une information fiable, claire et actualisée

Validés par un comité scientifique et mis à jour en permanence sur Internet, les articles Techniques de l'Ingénieur s'adressent à tous les ingénieurs et scientifiques, en poste ou en formation.

Outil d'accompagnement de la formation et de la carrière des ingénieurs, les ressources documentaires Techniques de l'Ingénieur constituent le socle commun de connaissances des acteurs de la recherche et de l'industrie.

Les meilleurs experts techniques et scientifiques

Plus de 200 conseillers scientifiques et 3 500 auteurs, industriels, chercheurs, professeurs collaborent pour faire de Techniques de l'Ingénieur l'éditeur scientifique et technique de référence.

Les meilleurs spécialistes sont réunis pour constituer une base de connaissances inégalée, vous former et vous accompagner dans vos projets.

Une collection 100 % en ligne

- Accessibles sur www.techniques-ingenieur.fr, les dernières nouveautés et actualisations de votre ressource documentaire
- Les articles téléchargeables en version PDF

Des services associés

Rendez-vous sur votre espace « Mon compte » en ligne pour retrouver la liste des services associés à vos droits d'accès et les utiliser.



Des services associés

Pour toute information, le service clientèle reste à votre disposition :
Tél : 01 53 35 20 20 | Fax : 01 53 26 79 18 | Mail : infos.clients@teching.com



Cet ouvrage fait partie de

Agroalimentaire

(Réf. Internet ti700)

composé de :

Génie industriel alimentaire	Réf. Internet : 42469
Biochimie alimentaire, analyses et alimentation humaine	Réf. Internet : 42470
Agroalimentaire : risques et sécurité	Réf. Internet : 42427
Agroalimentaire : qualité, traçabilité et environnement	Réf. Internet : 42690
Matériaux pour contact alimentaire	Réf. Internet : 42471
Opérations unitaires du génie industriel alimentaire	Réf. Internet : 42430
Procédés biochimiques et chimiques en agroalimentaire	Réf. Internet : 42431
Additifs et adjuvants alimentaires	Réf. Internet : 42426
Filière de production : produits d'origine végétale	Réf. Internet : 42433
Filière de production : produits d'origine animale	Réf. Internet : 42432

 **Sur www.techniques-ingenieur.fr**

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires



Cet ouvrage fait partie de

Agroalimentaire

(Réf. Internet ti700)

dont les experts scientifiques sont :

Jean-Luc BOUTONNIER

Enseignant en génie des procédés alimentaires et sciences de l'alimentation,
Lycée des métiers de l'alimentation de Villefranche-de-Rouergue

Sébastien ROUSTEL

Ingénieur du Génie rural, des eaux et des forêts,, Ministère de l'agriculture



Sur www.techniques-ingenieur.fr

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires



Les auteurs ayant contribué à cet ouvrage sont :

Jacques ARTAUD

Pour les articles : P3325 – P3327

Michel BAREL

Pour l'article : F6160

Alain BARON

Pour l'article : F6275

Rémi BAUDUIN

Pour l'article : F6275

Jacques BENAICHE

Pour l'article : F6280

Pascal BLANPAIN-AVET

Pour l'article : F6210

Yvon BOURSON

Pour l'article : F6175

Jean-Luc BOUTONNIER

Pour les articles : F6152 – F6153 –
F6154

Pierre BRAT

Pour les articles : F6272 – F6273 –
F6274

Sophie CHASSAGNE

Pour l'article : F6277

Bernard CUQ

Pour les articles : F6272 – F6273 –
F6274

Thi Minh Luyen DANG

Pour l'article : F6165

Ignace DEBRUYNE

Pour l'article : F6030

Martine DECLoux

Pour les articles : F6150 – F6151

Xavière DELOLME

Pour l'article : F6290

Marc FAIVELEY

Pour l'article : F6205

Luc FILLAUDEAU

Pour l'article : F6210

Fernanda FONSECA

Pour l'article : F6277

Pascal GARNIER

Pour l'article : IN66

Serge GASNIER

Pour l'article : RE27

Richard GRABKOWSKI

Pour l'article : F8030

Frédéric LANDGRAF

Pour l'article : F6180

Alexander LANGE

Pour l'article : IN66

Jean-Michel LE QUÉRÉ

Pour l'article : F6275

Jean-Pierre LESCURE

Pour l'article : RE27

Michèle MARIN

Pour l'article : F6277

Lydiane MATTIO

Pour l'article : BIO9040

Denis OLLIVIER

Pour les articles : P3325 – P3327

Véronique OLLIVIER

Pour les articles : P3325 – P3327

Xavier PAGÈS-XATART-PARÈS

Pour l'article : F6070

Vincent PÉPIN

Pour l'article : F6170

Alain RIVAL

Pour l'article : F6075

Rémi SAUREL

Pour l'article : F6040

Sylvie TREUILLET

Pour l'article : RE27

Florent VARIN

Pour les articles : SE6002 – F6172

Yves WACHÉ

Pour l'article : F6165

Mayalen ZUBIA

Pour l'article : BIO9040



Sur www.techniques-ingenieur.fr

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires



Filière de production : produits d'origine végétale (Réf. Internet 42433)

SOMMAIRE

	Réf. Internet	page
1– Légumes et légumineuses		
Soja : transformation et aspects industriels	F6030	11
Protéines de pois : structure, extraction et fonctionnalités	F6040	15
2– Céréales		
Risques industriels liés aux silos : incendie et explosion	SE6002	21
Construction d'un silo de stockage de grains	F6172	25
Mouture du blé tendre et techniques d'obtention de la farine	F6175	29
Produits et procédés de panification	F6180	35
Traitement de la farine de blé par une technologie innovante	IN66	39
3– Huiles végétales		
Technologies des corps gras (huiles et graisses végétales)	F6070	43
Analyse des lipides. Extraction. Paramètres physico-chimiques. Constituants majeurs	P3325	49
Analyse des lipides . Constituants mineurs, qualité et authenticité	P3327	55
Huile de palme. Défis renouvelés de la durabilité	F6075	59
4– Sucres		
Procédés de transformation en sucrerie (partie 1)	F6150	65
Procédés de transformation en sucrerie (partie 2)	F6151	69
Lecture automatique de la propreté du sucre par analyse d'images	RE27	73
Glucides et alimentation : aspects physicochimiques	F6152	75
Glucides et alimentation : aspects physiologiques, nutritionnels et sanitaires	F6153	81

 **Sur www.techniques-ingenieur.fr**

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires



Glucides et alimentation : aspects technologiques	F6154	85
Produits de confiserie	F8030	91

5– Thé, café et cacao

	Réf. Internet	page
Café : de la cerise à la tasse	F6160	99
Le thé : production, propriétés sensorielles et de santé	F6165	105
Cacaos et chocolats : traitement et fabrication	F6170	111

6– Bières

	Réf. Internet	page
Élaboration des malts utilisés en brasserie	F6200	117
Fabrication des bières	F6205	121
Secteur brassicole. Caractéristiques technico-économiques	F6210	129

7– Fruits

	Réf. Internet	page
Transformation et conservation des fruits. Préservation de la structure initiale	F6272	135
Transformation et conservation des fruits. Perte de la structure initiale	F6273	139
Transformation et conservation des fruits. Aspects économiques et réglementaires	F6274	143
Élaboration des jus de pommes et des cidres	F6275	145
Congélation de produits végétaux. Maîtriser la qualité des fruits congelés	F6277	149
Jus d'orange concentré : extraction et conservation	F6280	157
Formulation des préparations de fruits	F6290	161

8– Algues

	Réf. Internet	page
Macroalgues tropicales : une ressource durable d'avenir	BIO9040	167



Sur www.techniques-ingenieur.fr

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires





Filière de production : produits d'origine végétale

(Réf. Internet 42433)

1

1– Légumes et légumineuses

	Réf. Internet	page
Soja : transformation et aspects industriels	F6030	11
Protéines de pois : structure, extraction et fonctionnalités	F6040	15

2– Céréales

3– Huiles végétales

4– Sucres

5– Thé, café et cacao

6– Bières

7– Fruits

8– Algues

➔ **Sur www.techniques-ingenieur.fr**

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires

Soja : transformation et aspects industriels

1

par **Ignace DEBRUYNE**

Docteur en biochimie et enzymologie

Consultant indépendant et directeur marketing pour l'American Soybean Association (ASA)

1. Composition	F 6 030 – 2
1.1 Huile.....	— 3
1.2 Protéines.....	— 3
1.3 Acides aminés.....	— 3
1.4 Phospholipides et glycolipides.....	— 3
1.5 Glucides.....	— 4
1.6 Autres composants.....	— 4
2. Récolte, stockage et transport	— 4
3. Préparation	— 5
4. Extraction mécanique	— 7
5. Extraction par solvant	— 8
5.1 Solvants.....	— 8
5.2 Équipement.....	— 8
5.3 Huile brute.....	— 9
5.4 Tourteaux.....	— 10
6. Produits finis	— 11
6.1 Huile brute.....	— 11
6.2 Tourteaux.....	— 11
7. Optimisation du rendement	— 11
8. Contrôle de qualité	— 12
Pour en savoir plus	Doc. F 6 030

Avec une production mondiale de 155 millions de tonnes en 1999-2000, le soja domine et continuera à dominer le marché mondial des huiles et des protéines végétales : il représente plus de 50 % en masse de la production mondiale d'oléagineux. En tant qu'oléoprotéagineux, le soja constitue une matière première de choix pour une multitude d'industries utilisatrices de la graine entière de soja, de sa composante protéique ou de l'huile. En Asie, le soja est utilisé dans la préparation de plusieurs variétés de produits alimentaires, alors qu'aux États-Unis et en Europe, il est utilisé principalement pour l'huile et le tourteau.

Il existe des centaines de variétés de soja dans le monde, mais seulement quelques dizaines sont cultivées dans un but commercial. Le soja est cultivé à grande échelle aux États-Unis, au Brésil, en Argentine et en Chine.

Par trituration, les graines sont transformées en huile de soja et en farine pour l'alimentation humaine ou en tourteaux pour l'alimentation animale. Plus de 130

millions de tonnes de soja par an sont triturées mondialement. Comme pour chaque procédé d'extraction d'huile à partir de graines oléagineuses, trois étapes principales sont essentielles dans la trituration des graines de soja : le **broyage**, la **cuisson** et la **séparation** (pressage et/ou extraction).

Cet article présente les caractéristiques chimiques de la graine de soja, sa culture, sa récolte et son transport. Puis on expose les différentes étapes de la trituration et une description des produits finis, c'est-à-dire l'huile brute de soja et les tourteaux de soja.

Les autres produits dérivés de la graine de soja sont traités dans l'article « Ingrédients alimentaires dérivés de la graine de soja » [F 5 100].

1

1. Composition

Les graines de soja constituent une excellente source de protéines de haute valeur nutritive et d'acides aminés. De plus le soja contient presque 20 % en masse de lipides avec l'huile de soja et les phospholipides comme composants les plus importants (tableau 1).

Tableau 1 – Composition moyenne des graines entières et des tourteaux

	Graines entières sèches	Graines décortiquées	Tourteaux 48 % déshuilés
Huile.....(% masse)	18	20	Max. 1
Protéines.....(% masse)	37	38	48
Cendres.....(% masse)	5	5	5
Phospholipides..(% masse)	2	2	
Humidité.....(% masse)	11	9	10
Glucides.....(% masse)	27	26	36

Origine

Le soja (*glycine max.*), originaire de Chine et cultivé en Asie depuis des millénaires pour la nourriture, est une **légumineuse** remarquable par sa grande richesse en **protéines**, en **matières grasses** et en **minéraux**. On le cultive surtout pour ses graines. Les graines sèches sont utilisées de diverses façons pour l'alimentation de l'homme et des animaux : telles quelles ; réduites en farine, sous forme de préparations diverses ; sous forme de jus frais ou stérilisé, etc.

De très nombreuses variétés de soja sont cultivées aujourd'hui, adaptées aux climats les plus divers, depuis le climat tropical (Louisiane, 30° de latitude nord) jusqu'au climat tempéré froid (Nord Dakota, 49° de latitude nord). Il existe des sojas à graines vertes ou jaunes. C'est surtout le soja à graines jaunes qui est cultivé en grande quantité comme produit commercial pour la production d'huile et de tourteaux (figure 1).

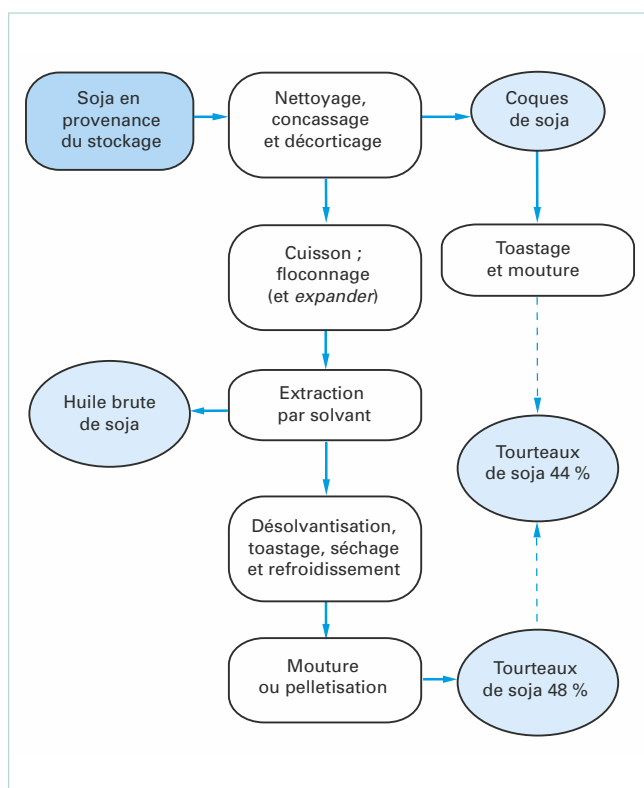


Figure 1 – Transformation du soja avec extraction par solvant

Production

Chaque cultivateur sème, cultive et récolte chaque saison jusqu'à six variétés de soja. Après la récolte, la plupart des graines de soja ne sont pas triées en fonction de leur variété ou d'une quelconque caractéristique ; elles sont simplement vendues comme produit commercial : **graines de soja**. Les cultivateurs peuvent soit stocker les graines à la ferme jusqu'au moment où le prix de vente leur est favorable, soit les vendre directement à une installation de stockage ou de transformation.

1.1 Huile

L'huile de soja est une huile très polyinsaturée (indice d'iode de 129 à 132). Comme toute huile végétale, elle est exempte de tout cholestérol et très pauvre en acides saturés (tableau 2). L'huile de soja offre une combinaison unique de deux acides gras, l'acide α -linoléique C18:3 ω 3 (acide gras n -3) et l'acide linoléique C18:2 ω 6 (acide gras n -6).

Nota : les acides gras n -3 ont des propriétés identiques à celles de l'huile de poisson et diminuent le risque de maladie cardio-vasculaire.

Tableau 2 – Composition de l'huile de soja en acides gras

Acide gras			Teneur (% masse) (1)	Teneur moyenne (% masse) (1)
Saturé	Laurique	C12		0,1
	Myristique	C14	< 0,5	0,2
	Palmitique	C16	7 à 12	10,7
	Stéarique	C18	2 à 5,5	3,9
	Arachidique	C20	1,0	0,2
	Béhénique	C22	0,5	
	Total		10 à 19	15,0
Insaturé	Palmitoléique	C16.1	< 0,5	0,3
	Oléique	C18.1	20 à 50	22,8
	Linoléique	C18.2	35 à 60	50,8
	Linoléique	C18.3	2 à 13	6,8
	Eicosénoïque	C20.1	1,0	
	Total		81 à 90	85,0

(1) % masse équivalent d'acide oléique.

1.2 Protéines

La finalité de la graine de soja étant la formation d'une nouvelle plante de soja, elle a besoin de beaucoup de réserves, dont les protéines sont les plus importantes. La **glycine** et la **β -conglycinine** (fractions 7S et 11S) sont les deux protéines de réserve principales et représentent deux tiers en masse des protéines de la graine de soja. Elles sont solubles dans l'eau, surtout dans des conditions légèrement alcalines. Une dénaturation (thermique en présence d'eau) de ces protéines améliore nettement leur digestibilité et leur valeur nutritionnelle.

Une graine de soja ne peut pas fonctionner sans un système complet d'enzymes et de facteurs protecteurs. Les **enzymes** sont là pour faciliter la transformation de la graine pendant la germination et la croissance. Les **facteurs de protection** lui évitent d'être consommée par des animaux ou d'être dégradée par des micro-organismes. Le plus célèbre de ces facteurs antinutritionnels est l'inhibiteur de trypsine, l'antitrypsine, qui a des effets négatifs tant en ce qui concerne la croissance que l'hypertrophie pancréatique. Une autre protéine à fonctionnalité négative du point de vue de l'alimentation est la lectine (ou haemagglutinine).

Ces facteurs antinutritionnels thermolabiles sont facilement détruits par l'action conjuguée de la température et de l'humidité, qui ont bien évidemment aussi une action sur la solubilité des protéines de réserve.

1.3 Acides aminés

Les protéines de soja ont une composition en acides aminés très favorable aux besoins des animaux : richesse en lysine, tryptophane, isoleucine, etc. (tableau 3). On peut noter une légère déficience en acides aminés soufrés, ce qui est compensé dans les aliments composés avec les protéines de blés.

Tableau 3 – Composition des protéines de soja en acides aminés

Acide aminé		Concentration (mg/g protéine)
Essentiel	Cystine	25,0
	Histidine	34,4
	Isoleucine	51,6
	Leucine	81,7
	Lysine	68,4
	Méthionine	10,7
	Phénylalanine	56,3
	Thréonine	41,9
	Tryptophane	12,7
	Tyrosine	41,6
	Valine	54,3
Non-essentiel	Alanine	40,2
	Arginine	77,2
	Acide aspartique	68,9
	Acide glutamique	190,2
	Glycine	36,7
	4-Hydroxyproline	1,4
	Proline	52,9
	Sérine	54,1

1.4 Phospholipides et glycolipides

Une pâte aqueuse contenant le mucilage est produite par démulcination à l'eau de l'huile brute. Après séchage, une lécithine standardisée avec une teneur de 62 % de composés insolubles dans l'acétone est obtenue. Ces insolubles dans l'acétone contiennent environ 50 % en masse de phospholipides (tableau 4) et 12 % de glycolipides, ce qui forme la **lécithine**. Cet émulsifiant polaire dissout stérols, sucres et minéraux.

Tableau 4 – Composition typique des phospholipides dans la lécithine de soja (1)

Phospholipide		Teneur (% masse)
PC	Phosphatidyl choline	15,6
PE	Phosphatidyl éthanolamine	14,0
PI	Phosphatidyl inositol	8,9
PA	Acide phosphatidique	3,9
APE	Acétyl phosphatidyl éthanolamine	2,7
LPL	Lysophosphatides	< 4
Total phosphore		19 900 ppm P

(1) Sur la base des composés insolubles dans l'acétone (62 % en masse de la lécithine).

Néanmoins, la composition des lipides polaires présents dans la graine native est très différente. En pratique, par l'utilisation d'un solvant d'extraction à polarité très faible, comme l'hexane, il est très difficile d'extraire plus d'un tiers des lipides polaires dans une trituration industrielle.

Dans le cas d'une dégradation enzymatique des phospholipides pendant le stockage ou la préparation, la teneur en phosphatidyl choline et en éthanolamine diminue, alors que la teneur en acide phosphatidique augmente. L'acide phosphatidique forme un complexe non hydratable avec le calcium et le magnésium et complique la démulcination à l'eau.

1.5 Glucides

Le soja mûr et sec ne contient que des traces de monosaccharides comme le glucose et l'arabinose, et pas d'amidon du tout. De plus, des quantités mesurables d'oligosaccharides sont présentes : 2,5 à 8,2 % en masse de sucrose ; 0,1 à 0,9 % en masse de raffinose et 1,4 à 4,1 % en masse de stachyose. La présence de glucides solubles comme le raffinose et la stachyose est à souligner car ces sucres sont connus pour leurs effets de flatulence et de désagrément abdominal lors de la consommation humaine et animale. Cependant, par l'absence de dégradation et d'absorption directe par l'intestin, ils peuvent être classés parmi les fibres diététiques.

Les polysaccharides insolubles (25 % en masse) sont limités aux fibres cellulosiques (20 % en masse), hémicelluloses (50 % en masse) et pectines (30 % en masse), polysaccharides acidiqes. Ces polysaccharides insolubles sont tous par définition des fibres diététiques.

1.6 Autres composants

■ Dans la phase lipidique

Les insaponifiables (1,6 % en masse) dans l'huile brute de soja comprennent les stérols, les tocophérols et les caroténoïdes. Les **phytostérols** présents dans la phase lipidique sont des stérols végétaux. Ainsi, 100 g d'huile brute de soja contiennent par exemple 183 mg de β -sitostérol, 68 mg de campestérol, 70 mg de sitostérol et 12 mg de Δ^5 -avenastérol, Δ^7 -stigmastérol et Δ^7 -avenastérol, mais pas de cholestérol.

Dans le soja, les vitamines A et E sont les seules vitamines solubles dans l'huile. La vitamine A et surtout la provitamine β -carotène sont en quantité très limitée dans les graines mûres. La vitamine E est représentée par les quatre isomères de **tocophérol** : 9 à 12 mg/g de α -tocophérol, 3 à 5 mg/g de β -tocophérol, 74 à 102 mg/g de γ -

types d'isoflavones sont présents (génistéines, daïdzéines et glyci-téines) tels quels, c'est-à-dire avec un glycoside estérifié et/ou sous forme aglycone et/ou sous forme acétylée.

2. Récolte, stockage et transport

Le succès de l'opération de stockage et de la manutention des graines de soja entières dépend principalement de trois facteurs : le taux d'humidité, la température et la durée de stockage (figure 2).

■ Récolte

Juste après la récolte, le soja est habituellement stocké localement dans un silo à céréales ou à la ferme. Au besoin, les graines sont séchées artificiellement jusqu'à l'obtention d'un taux d'humidité sans risque pour le stockage.

Exemple : à 20 °C et 14 % d'humidité, le stockage peut durer 100 jours. À 16 % d'humidité, il faut diminuer la température pour atteindre la même durée de stabilité.

■ Séchage

Le séchage est réalisé immédiatement après la récolte dans le but de stabiliser microbiologiquement les graines. En effet, une température ambiante élevée (15 à 30 °C) et une humidité relative dépassant 65 % favorisent le développement des insectes et des champignons dans les graines conservées.

Nota : ces conditions de température et d'humidité sont courantes dans les pays producteurs.

Des sécheurs de graines à haute capacité sont utilisés couramment pour le séchage des graines de soja. Les graines remplissent une colonne de plusieurs mètres de hauteur (jusqu'à 15 m) ; des conduites la traversent dans lesquelles circule un gaz de combustion ou de l'air chaud.

Un traitement trop intense peut facilement introduire une hydrolyse enzymatique des lipides et des phospholipides dans les graines de soja, ce qui aboutit à une dégradation de la qualité de l'huile brute d'extraction : augmentation de la quantité d'acides gras libres et de phospholipides non hydratables, importants problèmes lors de la démulcination.

Semis

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Protéines de pois : structure, extraction et fonctionnalités

1

par **Rémi SAUREL**
Professeur
AgroSup Dijon, Dijon, France

1. Composition et structure des protéines de pois	F 6 040	- 2
1.1 Pois jaune	—	2
1.2 Classes de protéines	—	2
1.3 Structure des protéines de pois.....	—	3
1.4 Composition en acides aminés.....	—	5
2. Concentrés et isolats protéiques	—	6
2.1 Extraction par voie sèche	—	6
2.2 Extraction par voie humide.....	—	8
3. Propriétés fonctionnelles des protéines de pois	—	8
3.1 Rétention d'eau et de graisse.....	—	8
3.2 Solubilité.....	—	10
3.3 Pouvoir gélifiant.....	—	11
3.4 Pouvoir émulsifiant.....	—	12
3.5 Pouvoir moussant.....	—	12
4. Applications - Formulation	—	13
4.1 Produits de charcuterie – Analogues de viande.....	—	14
4.2 Produits céréaliers	—	16
4.3 Analogues de produits laitiers.....	—	16
5. Conclusion	—	16
6. Glossaire	—	16
7. Sigles et symboles	—	17
Pour en savoir plus	Doc. F 6 040	

Les protéines végétales et notamment celles issues de légumineuses offrent des perspectives intéressantes dans le contexte d'une demande mondiale croissante en protéines. Les protéines de pois jaune ont notamment reçu une attention particulière depuis le début des années 2000 pour répondre aux besoins de l'alimentation animale, mais aussi de l'alimentation humaine. Elles peuvent représenter une alternative aux protéines de soja largement utilisées pour les applications alimentaires, précisément celles qui visent à se substituer aux produits d'origine animale. Le pois jaune est cultivé dans les régions tempérées, voire continentales. La graine contient environ 25 % de protéines, mais est aussi riche en amidon. Ainsi, les protéines de pois constituent un coproduit de l'industrie amidonnière et sont disponibles sous forme de concentrés ou d'isolats. Pour l'alimentation humaine, la production de ces protéines, réputées non OGM et non allergènes, est en phase avec la demande du marché.

En comparaison des protéines animales comme celles issues du lait ou de l'œuf, les protéines de pois présentent de moins bonnes qualités nutritionnelles, fonctionnelles et organoleptiques. Ces faiblesses peuvent s'expliquer à partir de leur composition en acides aminés, de leur hétérogénéité de composition et de structure, de leur moins bonne solubilité et de leur goût caractéristique de « légumineuse » qu'il est difficile de gommer par les

procédés actuels. En effet, les procédés d'extraction courants permettent de récupérer soit une fraction de protéines complexes (concentrés) ou plus pures (globulines sous forme d'isolats) globalement peu solubles, l'industrie ayant privilégié jusqu'à présent, pour des raisons économiques, le rendement protéique plutôt que le fractionnement poussé ou la juste fonctionnalisation de ces composés. Néanmoins, l'usage de ces protéines se répand dans différents secteurs de l'industrie alimentaire, notamment en tant qu'émulsifiants pour les sauces, plats cuisinés, produits laitiers et glaces, préparations à base de viandes, charcuteries ; et, comme apport protéique, pour les préparations de viande hachée, aliments diététiques, aliments pour sportifs, produits de panification, pâtisseries et snacks. Par ailleurs, il semble possible de moduler les aptitudes techno-fonctionnelles (solubilité, gélification, pouvoir moussant et émulsifiant...) et organoleptiques de ces protéines notamment par la sélection variétale d'abord, par les procédés de production ensuite, et enfin lors de leur mise en œuvre dans les produits alimentaires. Les efforts déployés par l'industrie et les acteurs de la recherche pour améliorer ces propriétés sont prometteurs et laissent présager une plus large diffusion de ces matières protéiques végétales dans l'alimentation humaine.

Afin de mieux comprendre les propriétés d'usage des protéines de pois dans les aliments, cet article présente successivement les caractéristiques des protéines en termes de structure et de composition, les procédés de préparation des concentrés et des isolats protéiques, leurs aptitudes fonctionnelles et leur exploitation dans les applications alimentaires.

Le lecteur trouvera en fin d'article un glossaire et un tableau des sigles utilisés.

1. Composition et structure des protéines de pois

1.1 Pois jaune

Consommé dès l'Antiquité, le pois est sélectionné en France depuis les années 1980 pour suppléer l'approvisionnement en soja pour l'alimentation animale. La France est ainsi devenue le premier pays producteur européen. Son rendement en graine est satisfaisant et sa culture ne nécessite pas d'engrais azoté, car il est capable de fixer l'azote de l'air grâce à une symbiose racinaire. Le pois appartient à la famille des *Fabacées* (ou légumineuses ou *Papilionacées*), au genre *Pisum* et à l'espèce *Pisum Sativum* L. et à la sous-espèce *Pisum Sativum* L. *Sativum* comportant trois variétés principales : *Pisum Sativum* L. subsp. *Sativum* var. *Sativum* (pois potager sec : pois jaune et pois cassé ou frais : petit pois), var. *Macrocarpon* (pois mangetout) et var. *Arvense* (pois fourrager) [1]. Le pois jaune fait partie des ressources végétales riches en protéines susceptibles de répondre aux besoins protéiques croissants pour l'alimentation humaine (figure 1) [2]. D'un point de vue industriel, le pois jaune lisse sec est donc de plus en plus exploité comme source d'ingrédients pour la formulation de produits alimentaires. La production d'ingrédients protéiques issus du pois jaune relève à l'origine d'une logique d'amidonnerie. L'extraction d'amidon à partir de farine de pois protéagineux engendre en effet des fractions riches en protéines récupérables sous forme de concentré ou d'isolat [3].

En fonction de la variété, du stade de maturité à la récolte et des conditions de culture, le pois jaune contient de 23 à 30 % de protéines, 1,5 à 2 % de lipides, 60 à 65% de glucides dont 35 à 40 % d'amidon (24 à 49 % d'amylose), et des constituants mineurs comme des vitamines, minéraux, acide phytique, polyphénols,



Figure 1 – Variété de pois Kayanne (photos : UMR Agroécologie – Équipe Écophysiologie des légumineuses – CRG Dijon)

et saponines et oxalates [4]. La teneur en fibres (insolubles : 10 à 15 % et solubles : 2 à 9 %) provient en majeure partie du tégument qui est éliminé pour l'obtention de farine. Parmi les glucides, notons la présence de saccharose et d'oligosaccharides en quantités non négligeables.

La majeure partie des protéines sont localisées dans les cotylédons de la graine au niveau du cytosol des cellules sous forme de corpuscules protéiques de 2 à 3 µm.

1.2 Classes de protéines

La graine de pois est composée typiquement d'environ 25 % de protéines sur une base de poids sec. Comme toutes les protéines

végétales, les protéines de pois peuvent être classées en fonction de leur solubilité selon la classification dite d'Osborne [5] : les albumines (solubles dans l'eau), les globulines (solubles dans les solutions salines), les prolamines (solubles dans des solutions hydroalcooliques) et les glutélines (partiellement solubles dans les solutions acides et alcalines). Les protéines majoritaires de pois sont essentiellement composées de globulines (60 à 70 %) et d'albumines (15 à 25 %), les quelques pourcents restants étant attribués aux protéines insolubles. Il est à noter que la composition est sensiblement affectée par les cultivars, le génotype et les conditions environnementales de production.

À ce stade de la définition, il serait préférable de parler d'extracabilité des protéines que de solubilité, car certaines globulines peuvent être solubles, après extraction, dans l'eau sans ajout de sel. Afin de séparer les fractions protéiques majoritaires, une procédure d'extraction est primordiale. Celle-ci est réalisée dans des conditions optimales de solubilité, en prenant en considération les facteurs de pH, de salinité et de température. En vue d'une caractérisation plus poussée des protéines, cette opération peut être suivie d'une purification par dialyse, ultrafiltration/diafiltration ou séparation sur gel. Toutes ces étapes affectent sensiblement la qualité de la protéine et déterminent ses propriétés fonctionnelles

1.3 Structure des protéines de pois

1.3.1 Globulines

Les globulines de pois englobent plusieurs macromolécules qui se distinguent généralement par leur coefficient de sédimentation assez proportionnel à leur masse moléculaire : 7S pour les viciline/conviciline et 11S pour la légumine. La composition en ces deux

fractions est affectée principalement par des facteurs génétiques et modérément par des modifications de l'environnement [6]. La plupart des études génétiques montrent que la **viciline est dominante** pour une majorité de variétés de pois. Ainsi, le rapport viciline/légumine fluctue entre 0,5 et 4 environ selon les études. Les globulines de pois sont des protéines de réserve ; le rôle biologique de ces dernières est d'apporter les éléments nutritifs (azote, soufre et carbone) à la plantule lors de sa germination.

Comme la plupart des protéines globulaires végétales, les globulines de pois présentent chacune des structures quaternaires complexes, polydispersées en termes de taille, masse moléculaire et sous-unités constitutives (figure 2) [7]. Il est à noter que légumine 11S et viciline 7S du pois peuvent présenter de vraies ressemblances de structure avec respectivement la glycinine 11S et conglycinine 7S du soja.

1.3.1.1 Légumine (11S)

Les légumine de pois ont une masse moléculaire de 360-400 kDa. Elles sont constituées de monomères de 60 kDa, qui s'assemblent en hexamère à des pH entre 7 et 9. Chaque monomère de légumine est constitué de deux polypeptides acide α et basique β respectivement de 38-40 kDa et de 19 ou 24 kDa, liés de manière covalente via un pont disulfure [8]. La structure secondaire de ces protéines est constituée majoritairement de feuillets β (45 %), et dans une moindre mesure d'hélices α (15 %) et de tours β .

La structure très condensée des légumine serait liée à sa faible hydratation dans la graine. Il a été suggéré que l'ensemble des globulines 11S d'origine végétale auraient des structures quaternaires très similaires ; celles-ci adopteraient un modèle de structure trigonale bipyramidale où les polypeptides α , plutôt hydrophiles, et β , plutôt hydrophobes, s'orienteraient respectivement vers l'extérieur et vers l'intérieur de l'oligomère (figure 3) [9].

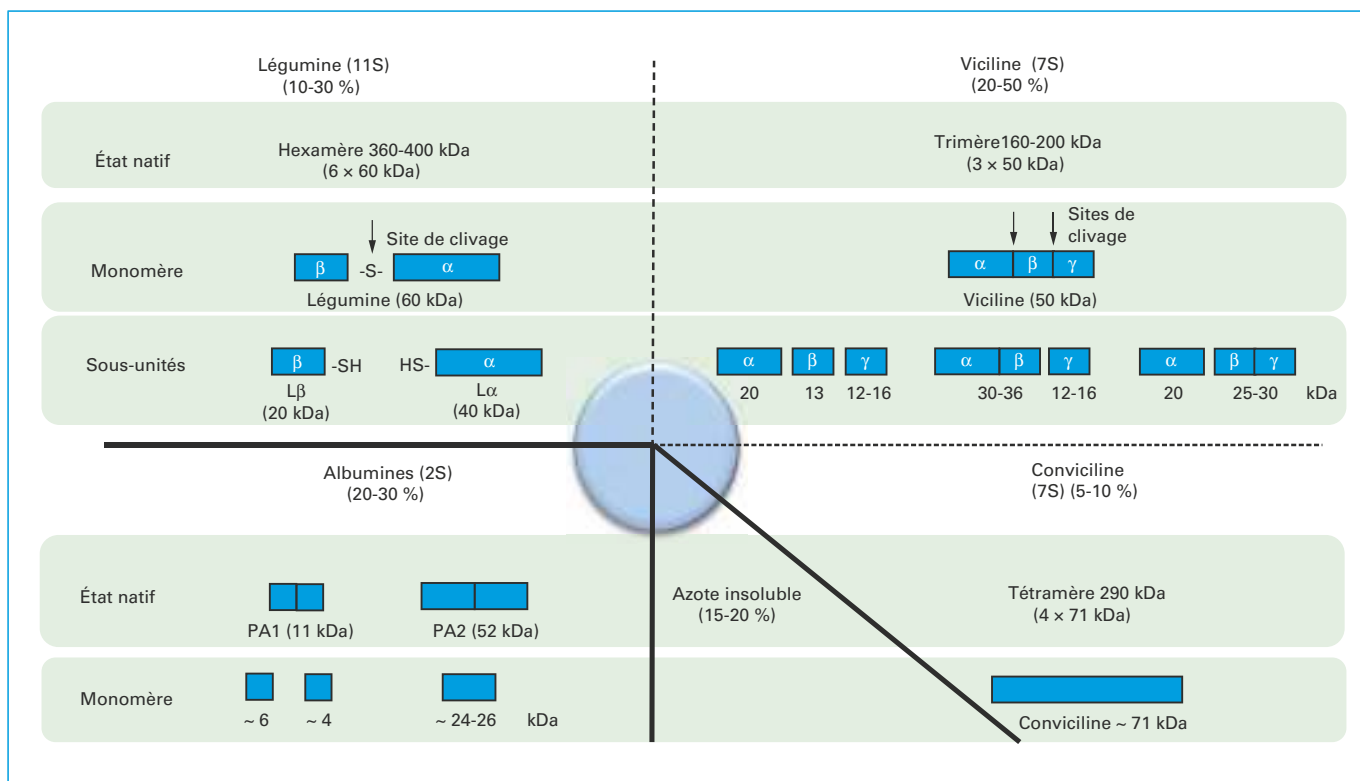


Figure 2 – Composition et structure des principales protéines de pois 2S, 7S et 11S (d'après [7])

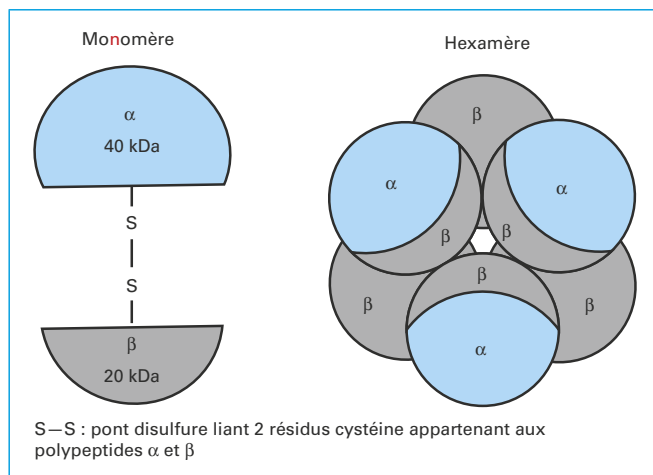


Figure 3 - Vue schématique de la structure quaternaire de la légumine 11S de pois

Les points isoélectriques (pI) des légumine de pois varient selon les sous-unités : α : 4,5-5,8 et β : 6,22-8,00. Au final, la valeur moyenne de pI de celles-ci se situe autour de 4,8-4,9 [5]. La variabilité de ce pI affecte la solubilité de la protéine ; cela peut s'expliquer par le comportement des sous-unités de légumine vis-à-vis des conditions environnementales (le pH du milieu, la présence ou non de sel dans le milieu). Gueguen et al. (1988) [4] ont signalé qu'à pH 7 et en fonction de la force ionique (inférieure à 0,05 M NaCl), la légumine native s'agrège d'une façon réversible. Une augmentation de la force ionique au-dessus de 0,05 M NaCl conduirait à la dissociation des unités vers l'état original. Il a été reporté que la légumine peut se dissocier en trimère, puis en monomère dans des pH extrêmes et en fonction de la force ionique (pH 2,8 à faible force ionique). Ce changement d'état conduit à l'augmentation de l'hydrophobie de surface de ces protéines.

Les légumine se singularisent des vicilines par leur contenu en acides aminés soufrés ; il a été recensé pour chaque monomère α - β de 60 kDa de légumine de 2 à 4 méthionines et 3 à 7 résidus cystéine, alors que les vicilines seraient dépourvues d'acides aminés soufrés, du moins de cystéine. Comparativement à la légumine, la glycine du soja contiendrait jusqu'à 8 résidus cystéine.

1.3.1.2 Vicilines (7S)

(36 %) et de tours β (15 %). Les sous-unités de viciline de pois possèdent une région interne et une région d'extension N-terminale hautement chargée qui les rendraient plus hydrophiles que les légumine. Malgré l'hétérogénéité de ce polypeptide, le pI se situe généralement entre 4,6 et 4,8.

1.3.1.3 Conviciline (7S)

La conviciline 7S serait une troisième famille de globulines de pois [11]. Elle est constituée de sous-unités d'environ ≈ 71 kDa très probablement associées en tétramère, de masse molaire de ≈ 290 kDa. La conviciline contiendrait un résidu de cystéine et un résidu de méthionine par sous-unité. Les polypeptides de conviciline ont une composition globale en acides aminés homologue à ceux des vicilines et ne sont pas glycosylés. Contrairement aux vicilines, il n'a pas été reporté de clivage post-synthèse.

1.3.2 Albumines

Les albumines sont associées à la fraction « soluble dans l'eau » des protéines. Parmi les albumines de la graine de pois mûre, dites 2S, on distingue PA1 et PA2 majoritairement, puis minoritairement des lectines et des inhibiteurs de protéases qui sont impliqués dans des mécanismes de défense de la plante du pois [12]. La fraction albumine 2S est très hétérogène en composition et généralement de faible masse moléculaire, comprise entre 5 et 55 kDa. Notons aussi la présence dans la fraction soluble, en quantité non négligeable, de lipoxygénase, une enzyme à l'origine de l'oxydation des acides gras, de masse moléculaire 93 kDa ; cette protéine serait souvent liée aux lipides du fait de son affinité avec la matière grasse. La plupart des albumines citées ont une activité métabolique dans la graine.

1.3.2.1 Albumines PA1 et PA2

Les albumines 2S sont composées principalement d'une fraction majoritaire appelée PA2 (≈ 50 kDa, $pI \approx 5,2$) comptant pour environ 5 à 10 % du total des protéines de la graine de pois (figure 2). PA2 est un homodimère dont les sous-unités sont liées entre elles par des liaisons non covalentes et ont chacune une masse moléculaire de (a) 25-26 kDa ou (b) 24-25 kDa ; chaque sous-unité possède 3 résidus de cystéine, sous la forme d'un pont disulfure intracaténe et d'un groupe sulfhydryle libre. Sa fonction biologique dans la graine n'a pas été éclaircie, du moins elle ne semble pas être dégradée pendant plusieurs jours de germination de la graine.

Les albumines dites PA1 (10 à 11 kDa) du pois sont constituées de deux polypeptides distincts de 6 ((a) $pI \approx 5,3$ -5,4) et 4 kDa ((b) $pI = 9,8$) associés en dimères par liaison non covalente (figure 2) [13]. Alors qu'elles constitueraient 4 à 7 % du total des protéines de la graine,

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.



Filière de production : produits d'origine végétale

(Réf. Internet 42433)

1– Légumes et légumineuses

2– Céréales

	Réf. Internet	page
Risques industriels liés aux silos : incendie et explosion	SE6002	21
Construction d'un silo de stockage de grains	F6172	25
Mouture du blé tendre et techniques d'obtention de la farine	F6175	29
Produits et procédés de panification	F6180	35
Traitement de la farine de blé par une technologie innovante	IN66	39

3– Huiles végétales

4– Sucres

5– Thé, café et cacao

6– Bières

7– Fruits

8– Algues



Sur www.techniques-ingenieur.fr

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires

Risques industriels liés aux silos : incendie et explosion

par **Florent VARIN**

Directeur opérationnel
Services Coop de France, Paris, France

2

1. En quoi consiste l'activité de stockage	SE 6 002 - 2
2. Accidentologie	— 3
2.1 Quelques accidents majeurs	— 3
2.2 Analyse du retour d'expérience	— 3
3. Risques liés aux produits	— 5
3.1 Auto-inflammation de produits stockés en vrac	— 5
3.2 Incendie	— 6
3.3 Explosion	— 6
3.4 Caractéristiques de sécurité des produits agro-alimentaires	— 6
4. Démarche de prévention des risques industriels dans les stockages de produits agroalimentaires	— 7
4.1 Principes de prévention et de protection	— 7
4.2 Mesures générales de réduction du risque d'explosion et d'incendie	— 7
4.3 Mesures de réduction du risque d'explosion spécifiques aux équipements de manutention	— 7
4.4 Systèmes de management de la sécurité	— 9
5. Réglementation applicable aux activités de stockage de produits agroalimentaires	— 9
5.1 Réglementation des ICPE	— 9
5.2 Évaluation des risques professionnels (document unique)	— 10
5.3 Réglementation ATEX	— 11
5.4 Réglementations étrangères	— 12
6. Conclusion	— 12
Pour en savoir plus	Doc. SE 6 002

L'activité de stockage de céréales, comme toute activité, présente des risques. Malgré les mesures prises pour les réduire à la source et les moyens de prévention et de protection mis en œuvre, des incidents ou des accidents peuvent affecter ces installations. Les principaux risques industriels sont les incendies et les explosions de poussières. Les feux peuvent être produits par la combustion des produits stockés, et les explosions peuvent être générées par des nuages de poussières enflammés par une source d'énergie provenant des équipements mécaniques. Deux accidents en France, en 1982 (Metz, 12 morts) et 1997 (Blaye, 11 morts), ont démontré la gravité potentielle des explosions de poussières dans des espaces confinés tels que les silos. Ces deux accidents ont conduit à l'élaboration de réglementations spécifiques en 1983, en 1998, en 2004, puis à nouveau en 2007.

Après avoir rappelé les principes du stockage de céréales, cet article présentera l'accidentologie liée à ces installations. L'origine et les conséquences des différents événements ayant été recensés sur les quinze dernières années seront étudiées. Les risques liés aux produits, à savoir l'auto-inflammation des poussières, l'incendie et l'explosion, seront ensuite expliqués en y associant les paramètres de sécurité de référence. La phénoménologie associée à ces différents accidents permettra ensuite de détailler les principes de prévention et de protection mis en œuvre sur les équipements et les installations, ainsi que les textes réglementaires ou normatifs encadrant cette activité.

1. En quoi consiste l'activité de stockage

Bien conserver le grain nécessite une intervention humaine en agissant sur son humidité et sa température de stockage.

La figure 1 explicite les enjeux de la conservation des grains en termes de température et d'humidité à atteindre afin d'éviter sa détérioration.

Les silos de stockage peuvent comporter des installations pour accueillir plusieurs types d'activités.

Ces installations sont les suivantes :

• Pour les activités de stockage :

- les capacités de stockage type vrac ;
- les tours de manutention ;
- les postes de réception et d'expédition ;
- les galeries de manutention ;
- les dispositifs de transport et de distribution ;
- les équipements auxiliaires :

- dispositifs d'élimination des corps étrangers,
- appareils de nettoyage,
- dépoussiéreurs,
- ventilation,
- etc.

- les salles de contrôle et de commande, dont l'emplacement est variable ;

• Pour les activités connexes :

- les séchoirs ;
- les ateliers ;
- etc.

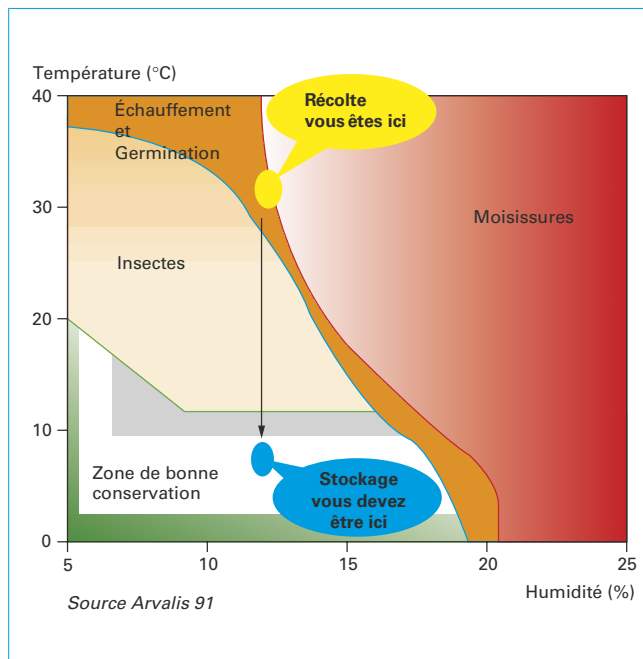


Figure 1 - Diagramme de conservation des grains

Schématiquement, une installation de stockage et de manutention de produits agroalimentaires peut être représentée par la figure 2.

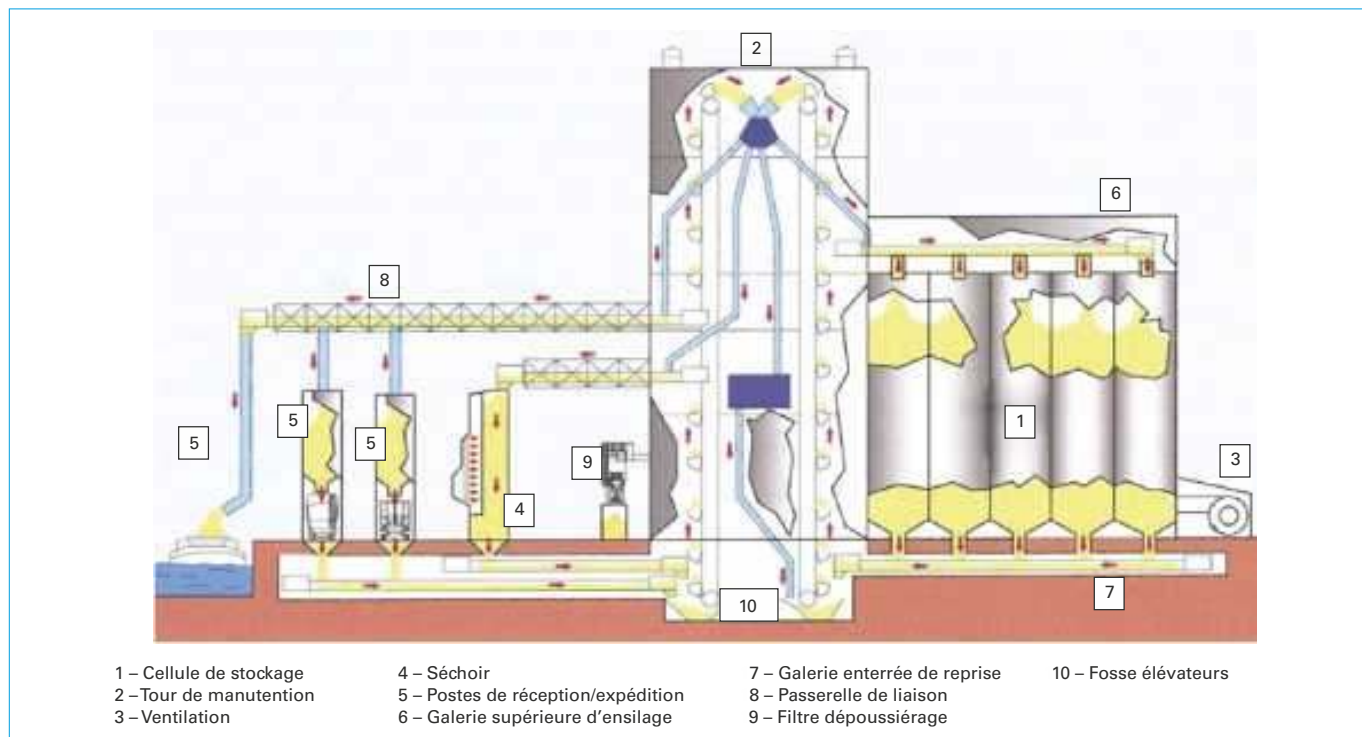


Figure 2 - Représentation schématique d'un site de stockage (source : Guide de conception des silos)

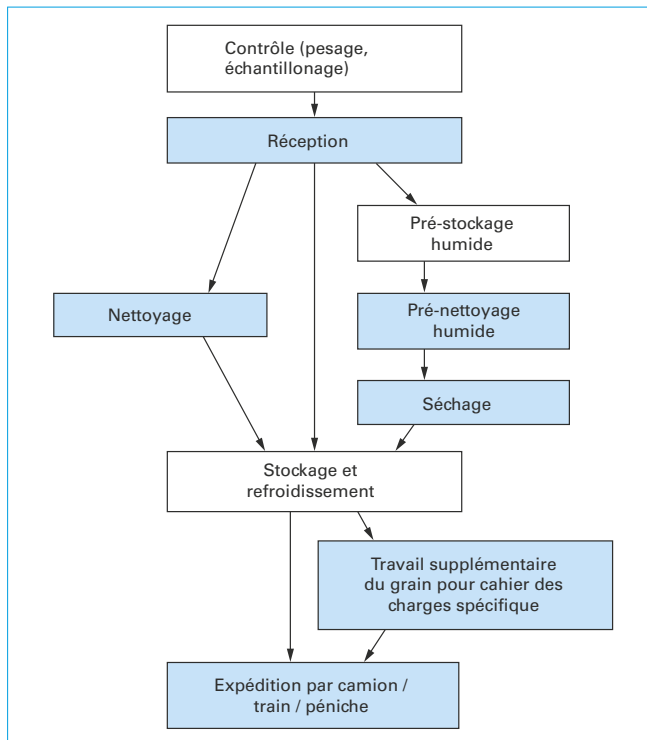


Figure 3 – Activités d'un site de stockage

En France, différentes techniques sont utilisées pour réaliser les stockages :

- les cellules de stockage verticales en béton armé ;
- les cellules métalliques verticales ;
- les cellules de stockage de type magasin (ou silo plat) ;
- les silos dômes ;
- les silos de stockage enterrés ;
- les silos de type structures gonflables.

Les trois premières techniques sont les plus fréquemment utilisées. Elles sont présentées dans le tableau 1.

La manutention des grains pour l'ensilage ou pour la reprise des grains stockés est réalisée le plus souvent au moyen de transporteurs à chaînes ou à bandes et d'élévateurs.

Comme pour de nombreux secteurs d'activités, le développement de l'industrialisation au XX^e siècle a augmenté la fréquence des accidents et leur gravité. Les États-Unis ont été particulièrement touchés. Près de 200 morts ont été recensés durant la période 1960-1980.

Les années 1970 et 1980 ont été marquées par des explosions de poussières particulièrement dévastatrices. Les États-Unis et l'Allemagne ont été particulièrement touchées. Les explosions dans les silos de la Continental à Westwego en Louisiane (36 morts, 15 blessés), l'autre dans les silos de la Farmers Export (18 morts, 23 blessés) en décembre 1977 ont fait plusieurs dizaines de victimes. On recense à la même époque des accidents comparables au Canada, en Belgique et surtout en Espagne.

Les accidents majeurs concernant des installations de stockage de céréales sont recensés en France au début des années 1980. Les explosions de la malterie de Metz et de la sucrerie à Boiry Sainte Rictrude en 1982 ont entraîné les premières réglementations françaises en la matière.

De récentes explosions à Floriffoux en Belgique en 1993 (4 morts) et Blaye en 1997 (11 morts) ont entraîné le renforcement des différentes réglementations en vigueur.

2.2 Analyse du retour d'expérience

Le BARPI (bureau d'analyse des risques et pollutions industrielles) a recensé les incidents se produisant dans les installations de stockage de céréales. L'inventaire recense 302 accidents occasionnés dans les silos français entre 1992 et 2006.

Cette synthèse qui porte plus particulièrement sur 267 incidents a permis de les répartir en fonction de leur typologie. Cette répartition est reprise dans le tableau 2.

Plus de 80 % des événements recensés sont des incendies, le terme incendie étant à prendre au sens large et concernant aussi les « feux couvants ». Si la localisation des départs de feux est très variable et concerne tant des cellules de stockage que des équipements de transport (élévateurs, bandes transporteuses) ou des installations de dépoussiérage, elle peut également concerner les installations connexes, tels que des séchoirs.

Des explosions se sont produites dans 34 accidents, soit 13 % des événements recensés. Ce type d'accident est le plus redoutable dans l'exploitation des silos ; sur les 33 morts enregistrés dans les silos, 27 personnes sont décédées dans des explosions.

Les principales conséquences des accidents de l'échantillon figurent dans le tableau 3.

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Construction d'un silo de stockage de grains

par **Florent VARIN**

Directeur opérationnel
Services Coop de France, Paris

2

1. Présentation générale de l'activité de stockage de grains	F 6 172 - 2
1.1 Graines stockées	— 2
1.2 Intérêts de la conservation des graines	— 2
1.3 Techniques et stockage mis en œuvre.....	— 4
2. Définition du cahier des charges des installations	— 6
2.1 Exigences sur les types de graines stockées	— 6
2.2 Exigences en matière de conservations des grains et de sécurité sanitaire.....	— 6
2.3 Exigences en matière de risques professionnels et industriels	— 7
3. Réponse aux exigences techniques	— 9
3.1 Caractéristiques pour le choix d'un site	— 9
3.2 Caractéristiques pour le choix du type de capacité de stockage	— 10
3.3 Caractéristiques des autres postes.....	— 10
3.4 Critères liés à l'éco-conception	— 14
4. Aspects technico-économiques	— 14
4.1 Principaux postes.....	— 14
4.2 Estimations des coûts liés à l'exploitation et la maintenance des installations	— 15
5. Acteurs et procédures administratives liés à la construction.....	— 15
5.1 Acteurs du projet.....	— 15
5.2 Rappel des procédures administratives	— 16
6. Conclusion.....	— 17
Pour en savoir plus	Doc. F 6 172

Le réseau de collecte de céréales est constitué de coopératives et d'entreprises de négoce. Avec une répartition sur l'ensemble du territoire, il représente plus de 9 000 centres de collecte et stockage. La capacité totale de stockage est supérieure à 40 millions de tonnes (Mt), à laquelle s'ajoute 13 Mt de stockage de report intérieur et d'expédition portuaire.

Les capacités de stockage en France ne cessent de diminuer depuis 10 ans. Le besoin de capacité supplémentaire est aujourd'hui de l'ordre de 9 Mt sur une capacité totale d'environ 60 Mt. Afin de répondre à cette situation, la profession a décidé de mettre en œuvre un plan de développement du stockage de grains en France, le « plan silo », avec un premier objectif d'augmentation de 5 Mt.

Ce plan soulève entre autres la nécessité de repenser la manière de construire les capacités de stockage. Ces dernières années ont été marquées par de fortes évolutions en matière de sécurité sanitaire, d'organisation logistique de la filière et d'objectifs de maîtrise énergétique.

Le choix du type de stockage, répondant le mieux au besoin, doit être effectué en fonction des plusieurs critères :

- la capacité totale de stockage nécessaire ;
- la capacité unitaire de stockage nécessaire, par conséquent la taille des cellules et les besoins d'ilotage ;
- le taux de rotation des cellules et du silo, qui définira le type de vidange et fixera les contraintes en matière de personnel ;
- le débit de réception ;
- le coût d'exploitation ;
- la maintenance ;
- la sécurité du personnel ;
- le coût d'investissement ;
- les conditions de conservation ;
- le type de produit ;
- les aspects liés à l'hygiène ;
- le vieillissement.

Ces différents critères sont détaillés dans cet article, ainsi que les avantages et inconvénients de chacune des solutions qui en découlent.

Une partie spécifique traite de l'aspect technico-économique en intégrant les coûts d'investissements, d'exploitation et de maintenance. Des ordres de grandeur ramenés à la tonne logée sont ainsi précisés pour différentes typologie de silos.

Les procédures administratives liées à la construction d'une installation de stockage de céréales sont également présentées. Le succès d'un projet de construction est lié à l'intégration dès le début du projet des délais inhérents à ces aspects administratifs.

1. Présentation générale de l'activité de stockage de grains

1.1 Graines stockées

La production de graines en France est de l'ordre de 70 Mt de céréales, oléagineux et protéagineux, ce qui représente 1/5^e de la production européenne.

On distingue trois grandes catégories de graines :

- les **céréales**, comme le blé, l'orge ou le maïs ;
- les **oléagineux**, comme le colza ou le tournesol, qui sont des grains à forte teneur en huile ;
- les **protéagineux**, comme les pois ou les fèves, qui sont des grains riches en protéines.

La figure 1 présente les données clés pour chaque produit.

1.2 Intérêts de la conservation des graines

Le grain est un organisme vivant. En effet, il consomme l'oxygène de l'air et, tout en rejetant du dioxyde de carbone et de l'eau, dégage de la chaleur. Cette activité vitale le fait naturellement évoluer. Cette évolution a deux conséquences indésirables :

- premièrement, le grain perd du poids : cela diminue mécaniquement la valeur économique du stock ;

- deuxièmement, la composition du grain se modifie, et peu à peu il perd ses qualités technologiques.

Bien conserver le grain nécessite donc une intervention humaine avec comme objectif principal de réduire et de ralentir jusqu'à quasiment stopper la respiration du grain [2] [3].

Dans cette perspective, il y a deux aspects fondamentaux à prendre en compte :

- plus le grain est chaud, plus il respire, plus il dégage de la chaleur. La respiration est donc un phénomène qui s'auto-accélère tout en échauffant le grain. Cette montée en température altère la qualité du grain. On parle d'**auto-échauffement**. Pour les oléagineux et les protéagineux, ce phénomène, s'il n'est pas maîtrisé, peut même s'emballer jusqu'à déclencher une **auto-inflammation** ;

- plus le grain est humide, plus il respire, plus il dégage d'eau. L'**humidité du grain** favorise donc sa respiration et, par conséquent, son échauffement, voire son auto-échauffement.

Des moisissures peuvent aussi se développer sur le grain, dans certaines conditions de température et d'humidité. Ces moisissures sont dues à des champignons microscopiques présents sur le grain et dans les locaux de stockage. De plus, certains champignons produisent des mycotoxines potentiellement néfastes pour la santé. Un stockage de grain est également un milieu naturel favorable au développement de certains insectes.

La figure 2 explicite les enjeux de la conservation des grains en termes de température et d'humidité à atteindre afin d'éviter leur détérioration.

Les objectifs d'une installation de stockage de grains consisteront donc en la maîtrise de l'humidité du grain et de son refroidissement.









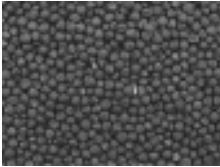




	Surface cultivée	Quantité récoltée	Illustration de la plante	Illustration de la graine	Utilisation
Blé tendre	4,8 Mha	30,9 Mt			Farine
Blé dur	456 630 ha	714 000 t			Semoule et pâtes
Maïs	1,48 Mha	2,5 Mt			
Orge	1,7 Mha	9,6 Mt			Brasserie Alimentation pour animaux
Seigle	26 468 ha	118 082 t			Panification
Colza	1,5 Mha	5,2 Mt			Huile à usages alimentaires et non alimentaires (biodiesel et technique)
Tournesol	660 000 ha	1,6 Mt			Huile à usages alimentaires et non alimentaires (biodiesel et technique)
Pois	150 000 ha	680 000 t			Alimentation pour animaux
Féverole	50 000 ha	250 000 t			Alimentation pour animaux

Figure 1 – Principales données (2006-2007) sur les graines récoltées en France (d'après [1])

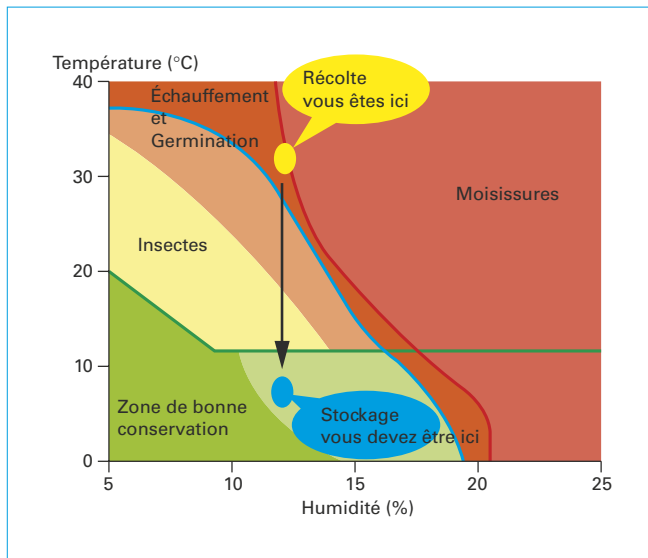


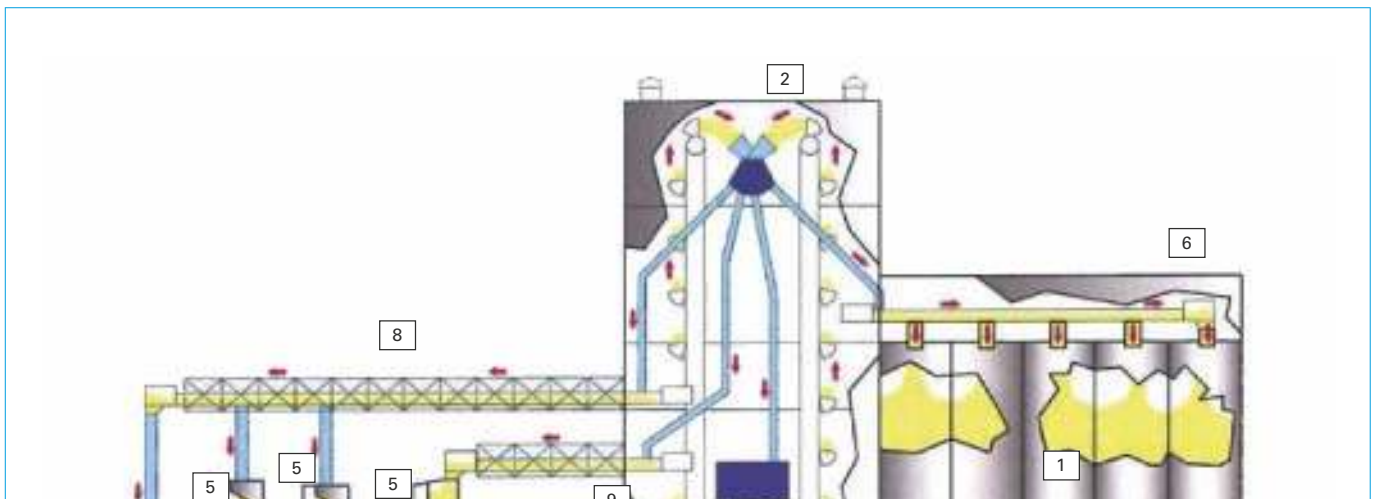
Figure 2 - Diagramme de conservation des grains (source Arvalis 91)

1.3 Techniques et stockage mis en œuvre

■ Les silos de stockage peuvent comporter des installations pour accueillir plusieurs types d'activités [1].

- **Pour les activités de stockage :**
 - capacités de stockage type vrac ;
 - tours de manutention ;
 - postes de réception et d'expédition ;
 - galeries de manutention ;
 - dispositifs de transport et de distribution ;
 - équipements auxiliaires :
 - dispositifs d'élimination des corps étrangers,
 - appareils de nettoyage,
 - dépoussiéreurs,
 - ventilation...
 - salles de contrôle et de commande, dont l'emplacement est variable ;
- **Pour les activités connexes :**
 - séchoirs ;
 - ateliers...

Schématiquement, une installation de stockage et de manutention de produits agroalimentaires peut être représentée par la figure 3.



La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Mouture du blé tendre et techniques d'obtention de la farine

par **Yvon BOURSON**

Ancien élève de l'ENSMIC. Ingénieur DPE (industries céréalières)
Professeur de productique céréalière à l'ENILIA-ENSMIC

1. Le principe de la mouture	F 6 175 - 2
1.1 Objectifs	— 2
1.2 Lexique des termes techniques	— 3
1.3 Opérations techniques.....	— 3
1.4 Matériels de la mouture : l'appareil à cylindres et le plansichter	— 5
2. Mouture : du broyage au convertissage	— 9
2.1 Généralités (technique de la mouture et diagramme).....	— 9
2.2 Broyage.....	— 9
2.3 Réduction.....	— 13
3. Mouture : du sassage au blutage	— 14
3.1 Tamis.....	— 14
3.2 Sassage (rôles du sassage en blé tendre).....	— 15
3.3 Blutages et opérations complémentaires	— 17
4. Opérations complémentaires	— 19
4.1 Accélérateurs de mouture : type « VALEK »	— 19
4.2 Détachage	— 19
4.3 Traitement des sons	— 21
5. Qualité et utilisations des produits et co-produits obtenus	— 22
5.1 Farines commerciales.....	— 22
5.2 Semoules, farines de gruaux	— 22
5.3 Co-produits	— 22
Pour en savoir plus	Doc. F 6 175

Le pain quotidien que nous achetons chez le boulanger est le résultat de tout un travail concernant la filière céréalière (sélectionneurs, semenciers, agriculteurs, stockeurs, minotiers, boulangers). Si nous connaissons à peu près, la technique de fabrication du pain à partir de la recette simple, farine, eau, levure, sel, nous connaissons beaucoup moins la technique d'obtention de cette farine et le procédé qui permet, à partir du blé, d'obtenir une farine boulangère.

La minoterie d'aujourd'hui n'est plus liée à l'image « d'Epinal » représentant le moulin à vent et ses ailes. Loin de cette imagerie, la minoterie moderne repose sur un procédé bien structuré, avec des machines très spécifiques, l'ensemble géré par des automates programmables et des ordinateurs.

1. Le principe de la mouture

1.1 Objectifs

L'objectif technologique de la mouture consiste à séparer l'amande farineuse du son et du germe, puis à réduire l'amande en farine. Pour obtenir ce résultat, il faut que le blé (figure 1) soit industriellement pur (nécessité d'un nettoyage) et préparé d'une façon optimale (incorporation d'eau suivie d'un temps de repos adéquat et différenciation à faire pour le blé tendre : blé soft, medium, hard).

L'assise protéique du grain de blé constitue la première assise de l'endosperme, mais par la nature cellulosique de ses parois, elle s'apparente beaucoup plus aux enveloppes, auxquelles elle est intimement soudée, qu'à l'amande farineuse (figure 2 et tableau 1).

Le procédé classique de la mouture par cylindres permet d'ouvrir le grain pour réduire l'amande de l'intérieur vers l'extérieur. Un autre procédé par abrasion (appelé procédé « Trigotec » ou « Peritec ») permet, après incorporation d'eau (3 à 4 %) et un temps de repos court, de travailler ou usiner le grain de l'extérieur vers l'intérieur.

Sachant que la matière première représente environ 65 à 70 % du coût de production, l'objectif économique est d'obtenir de la farine dans les conditions économiques les plus favorables, avec un investissement minimal et une consommation énergétique minimale. En conséquence, il faut, dans une certaine mesure, acheter le blé au bon moment, même s'il est vrai que le gain d'énergie peut augmenter ou diminuer le coût de production.

Le rendement technique d'une farine (type 55), par rapport au premier broyeur (blé exempt d'impuretés + eau), se situe dans la fourchette de 75 % à 80 %, avec une moyenne à 78 % (figure 3).

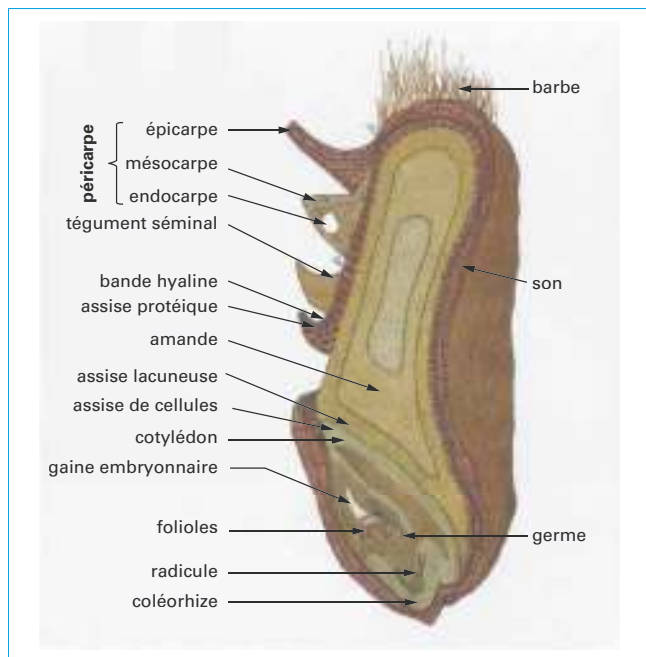


Figure 1 - Grain de blé et ses enveloppes

Les gros sons représentent environ 7 %, les fins sons 6 %, les remoulages bis 5 %, les remoulages blancs 2 %, avec une freinte de 2 % (représentée par une évaporation d'eau).

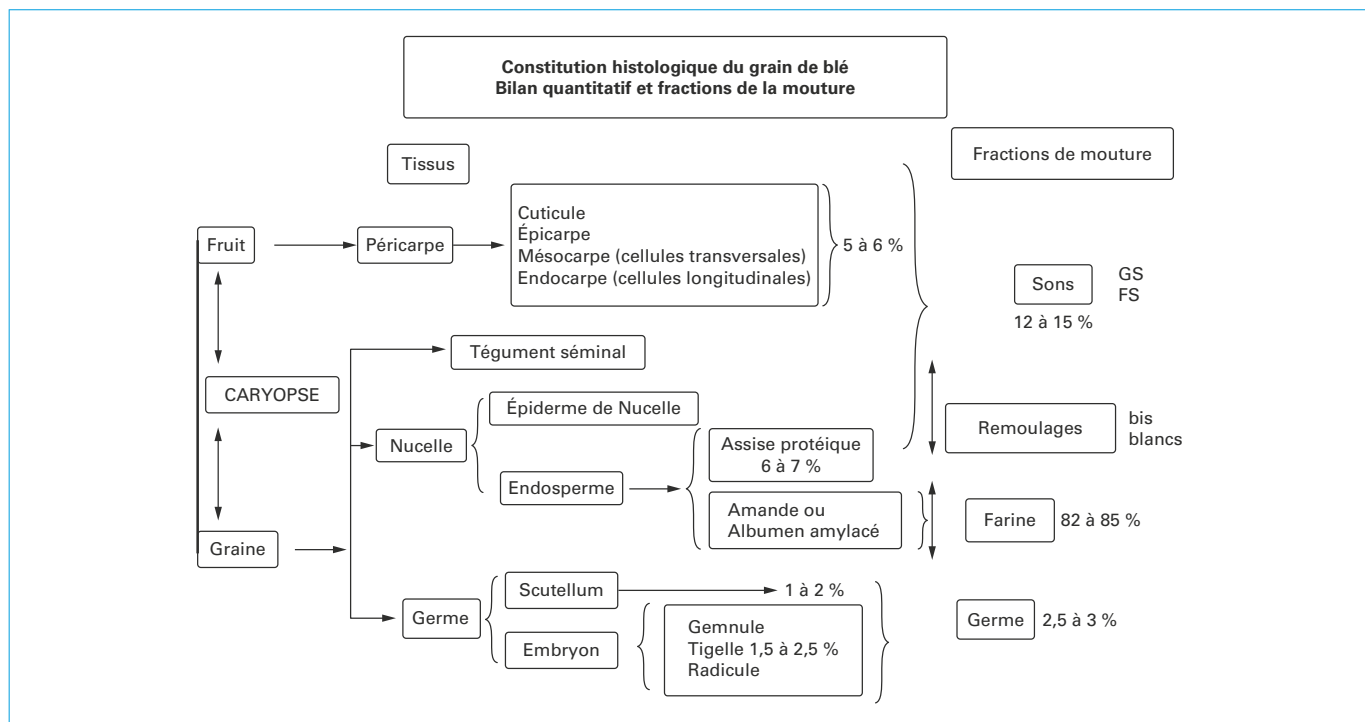


Figure 2 - Constitution histologique et fractions de la mouture

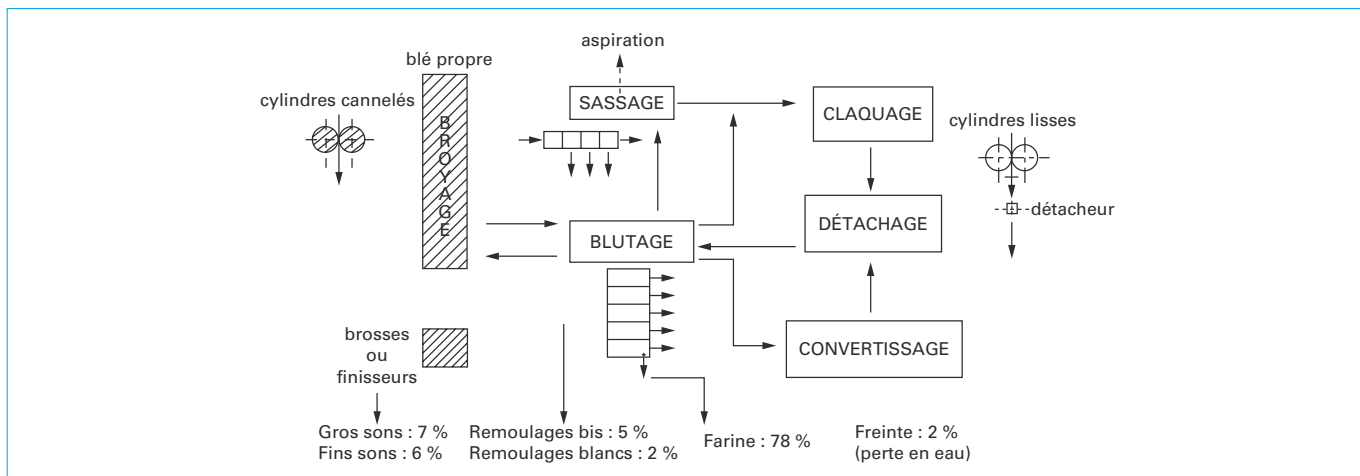


Figure 3 – Schéma général de la mouture de blé tendre

Tableau 1 – Composition chimique des différentes parties du grain de blé pour 100 g de matière sèche (Godon 1990)

Parties du grain de blé		% de la masse du grain	Matières protéiques	Matières minérales	Matières grasses	Matières cellulosiques	Pentosanes	Amidon
Son	Péricarpe	4	7-8	3-5	1	25-30	25-43	0
	Tégument séminal	1	15-20	10-15	3-5	30-35	25-30	0
	Épiderme nucellaire Assise protéique	7-9	30-35	6-15	7-8	6	30-35	10
Germe		3	35-40	5-6	15	1	20	20

1.2 Lexique des termes techniques

La majorité des termes techniques de l'article se trouvent dans les tableaux 2 et 3.

1.3 Opérations techniques

La mouture du blé tendre (figure 3) peut se résumer en plusieurs opérations techniques : la fragmentation, le fractionnement, la réduction et la séparation par voie sèche.

La fragmentation consiste à réduire la granulométrie moyenne des particules sans ségrégation entre les tissus. Les opérations de fragmentation ont pour but : soit d'obtenir une réduction de la dimension des corps solides en vue de faciliter leur conditionnement, soit par cette réduction, de faciliter des opérations purement physiques, telles que le calibrage, le triage, les mélanges, les dosages et la dissolution. La fragmentation s'obtient par rupture de la cohésion des corps solides sous l'action de forces externes qui peuvent être appliquées sous l'une ou l'autre des formes suivantes :

- compression lente, c'est-à-dire écrasement (corps mobile contre corps fixe) sous vitesse de compression allant de 0,1 à $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- cisaillement, vitesse allant de 4 à $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- attrition, c'est-à-dire abrasion, usure et friction, vitesse allant de 2 à $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- attrition et cisaillement combinés, vitesse allant de 4 à $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- percussion par projection de particules sur paroi fixe, vitesse allant de 15 à $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

- percussion au moyen d'organes mobiles contre particules, c'est-à-dire marteaux, fléaux, boulets etc., vitesse allant de 8 à $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

- percussion entre particules ou auto-broyage, vitesse allant de 10 à $300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

- explosion sous l'action de forces internes d'origine thermique, thermoélectrique, ultrasonique, etc.

Le fractionnement se propose de dissocier des tissus sans forcément réduire la granulométrie moyenne des produits.

La réduction constitue la seconde phase de la mouture (claquage et convertissage). Elle consiste à transformer les granulates issus de la fragmentation et du fractionnement en particules plus fines sous l'action combinée de l'écrasement et de l'attrition.

La séparation par voie sèche permet la classification des produits obtenus, après fragmentation et fractionnement, par différence de taille ou de dimension et par leurs propriétés aérodynamiques.

Taille et dimension sont obtenues lors de l'opération de calibrage et lors de la division suivant les granulométries des particules tandis que les propriétés aérodynamiques sont obtenues lors de l'épuration des semoules par sassage.

Les trois premières opérations permettent en mouture de blé tendre, d'une part de dissocier ou séparer l'amande des enveloppes (broyage) et, d'autre part, de réduire l'amande constituée par les semoules, finots et gruaux en farine (claquage et convertissage). Il existe en mouture de blé dur une opération intermédiaire, appelée désagrégage, qui permet de fractionner les semoules vêtues.

Tableau 2 – Termes techniques relatifs aux opérations et aux machines

Accélérateur de blutage ou de broyage	Machine qui sépare les produits de broyage par projection contre une surface perforée cylindrique. Les enveloppes volumineuses sont refusées et vont au broyeur suivant, tandis que les semoules, finots et farine vont sur des tamis de plansichter.
Appareils à cylindres	Appareils métalliques comprenant 2 passages équipés chacun de 2 rouleaux en fonte, tournant à des vitesses différentes et en sens contraire ; ils triturent le grain de blé dans le cas du broyage ou réduisent les particules d'amande dans le cas du claquage ou du convertissage.
Blutage	Opération de tamisage : séparation de calibrage, par voie sèche, des constituants du blé après le broyage, le claquage ou le convertissage.
Bluterie centrifuge	Machine qui sert à tamiser les produits de filtres ou des broches à issues pour en extraire la farine, en les projetant contre un tissu blutant en nylon.
Brossage du blé	Traitement du grain par choc et/ou par abrasion contre une garniture en toile métallique ou en tôle perforée pour éliminer les poussières ou le débarrasser de sa balle.
Brossage des issues	Traitement des enveloppes du blé après le broyage pour éliminer les farines qui adhèrent aux issues.
Broyage	Opération technique qui consiste à réduire progressivement des céréales en 1 ou 6 passages de cylindres cannelés pour séparer l'enveloppe de l'amande.
Cannelures	Fins sillons tracés à la surface des cylindres de broyage, larges de 800 à 2 500 µm et profonds de 200 à 600 µm.
Claquage	Opération technique qui consiste à réduire et à épuiser les grosses et moyennes particules d'amande appelées semoules, ainsi que des particules d'enveloppes mélangées en particules plus fines et en farine à l'aide de cylindres lisses.
Convertissage	Opération technique qui consiste à réduire et à épuiser les particules d'amande (finots et gruaux) en farine après le broyage et le claquage à l'aide de cylindres lisses.
Cyclone	Capacité métallique de forme conique qui assure une séparation air-produit par centrifugation du mélange.
Détachage	Opération technique qui consiste à libérer diverses particules emprisonnées dans des plaquettes après passage entre des cylindres lisses.
Dégommage	Opération technique qui consiste à libérer les mailles des tissus blutants obstruées par des produits, à l'aide de brosses circulaires et de tapotins en coton ou en matière plastique.
Diagramme	C'est la représentation schématique de circulation des produits au cours de la mouture et indiquant les principales caractéristiques mécaniques des appareils.
Diviseur	Il représente une section de plansichter réservée au blutage des semoules.
Extraction	C'est le produit qui traverse un crible en tôle perforée ou un tamis en toile (métallique ou nylon).
Filtre	Appareil qui contient des manches de tissu à texture serrée, qui retient les fins produits transportés par l'air, mais laisse passer ce dernier.
Mouture	C'est la réduction du blé en farine à l'aide de cylindres, plansichters, détacheurs et broches à sons.
Minoterie	Moulin très industrialisé, automatisé, informatisé, avec de nombreux spécialistes très hiérarchisés.
Moulin	Secteur d'une minoterie dans lequel les blés sont transformés en farine.
Plansichter	Appareil de blutage composé par la superposition de tamis plans en toile métallique et nylon, pour le classement en continu de tous les produits de la mouture.
Pneumatique	Système de transport des produits par air en aspiration ou en refoulement.
Sasseur	Appareil de la mouture utilisé pour l'épuration des semoules par classement densimétrique.
Sûreté	Appareil de blutage équipé de tamis superposés et destiné à éliminer de la farine tous les corps étrangers qui auraient pu s'y introduire durant ou après la mouture.
Sécheur	Il représente une section de plansichter réservée au blutage des produits contenant encore de la farine.
Tamis	Surface de tissu en fils d'acier, de bronze, de soie ou de nylon pour le blutage des produits de mouture, dont les ouvertures ou mailles sont exprimées en microns (µm).
Tapotin	Élément d'un tamis, placé entre le tissu blutant et un support grillagé, destiné à dégager les mailles obstruées par des produits.
Turbo-séparation	Classification densimétrique par l'air, des particules de farine dont la taille varie de 5 à 100 µm.

Amande	Partie interne du grain de blé, appelée également albumen amylicé, qui sera progressivement transformée en farine sous l'action des cylindres cannelés et lisses.
Amidons endommagés	Granules de forme sphérique, constituant avec le gluten, l'amande du grain et qui ont subi la pression des cylindres lisses pendant la mouture et qui éclatent plus ou moins.
Blé dur	Céréale (triticum durum avec 14 paires de chromosomes) transformée en semoules pour la fabrication des pâtes alimentaires, du couscous et autres préparations.
Blé tendre	Céréale (triticum aestivum avec 21 paires de chromosomes) transformée en farine pour l'alimentation humaine et broyée grossièrement pour la nutrition animale.
Enveloppe	C'est la partie du grain de blé entourant totalement l'amande qui deviendra issues après la fabrication de la farine. Selon leur provenance et leurs dimensions, ces enveloppes s'appelleront : gros et fins sons, recoupes, remoulages bis et blancs.
Farine	Ce sont les très fines particules d'amande comprises entre 15 et 200 µm.
Finots	Ce sont des fines particules d'amande, provenant du broyage, intermédiaires entre les fines semoules et la farine.
Fin son	Représenté par une fine pellicule d'enveloppe de 0,09 à 0,15 mm d'épaisseur et de 0,5 à 1 mm de côté.
Germe	Partie du grain servant à sa reproduction. Situé à la base du grain, du côté opposé à la brosse, le germe est formé de deux parties : l'embryon proprement dit ou plantule qui donnera naissance à une nouvelle plante et le scutellum, sorte de coquille elliptique qui entoure la plantule et la sépare de l'amande farineuse.



Figure 4 – Appareil à cylindres PH 2200 (document Schneider Jaquet)

La farine représente le produit pulvérulent qui résulte de la réduction de l'amande du grain de blé et qui comporte le moins possible de fragments de la périphérie du grain de blé. La grosseur de la farine appelée **granulométrie** de la farine est liée, dans une certaine mesure, à la qualité du blé.

La mouture proprement dite nécessite plusieurs opérations unitaires (broyage, claquage, convertissage) qui forment un cycle que l'on consigne dans un diagramme (figure 4). On appelle **diagramme**, toute représentation schématique des appareils d'une installation avec l'indication de la direction des produits. Cette représentation doit être aussi simple, aussi logique et aussi claire que possible. Les symboles et conventions utilisés devraient être les mêmes pour tous.

1.4 Matériels de la mouture : l'appareil à cylindres et le plansichter

1.4.1 Description de l'appareil à cylindres

L'appareil à cylindres (figure 4) est l'élément principal de la mouture. Il permet la décohéation des produits. Suivant les constructeurs, les appareils à cylindres ont en commun les mêmes principes de fonctionnement que l'on retrouve dans les modèles les plus anciens.

Il se compose en général dans un même bâti, de deux passages indépendants, chacun ayant sa propre commande et sa propre distribution, travaillant ainsi un produit différent. Il est utilisé comme

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Produits et procédés de panification

par **Frédéric LANGRAF**

Ingénieur qualité de l'Université de technologie de Compiègne (UTC)
Responsable du Laboratoire d'essais des matériels et produits alimentaires (LEMPA)
Institut national de la boulangerie-pâtisserie artisanale (INBP) – Rouen

2

1. Caractérisation des produits de panification	F 6 180 - 2
1.1 Définition du pain de consommation courante	— 2
1.2 Farines panifiables.....	— 2
1.3 Levure	— 3
1.4 Levain	— 3
1.5 Eau et sel	— 3
1.6 Dispositions particulières à certaines catégories de pains	— 3
1.7 Produits d'addition autorisés dans le pain de consommation courante	— 4
2. Procédés de panification	— 6
2.1 Terminologie	— 6
2.2 Techniques de fabrication	— 8
2.3 Technologie	— 10
Pour en savoir plus	Doc. F 6 180

Le pain, le blé et le boulanger : c'est une histoire presque aussi vieille que le monde. À l'origine, il y a le besoin de vivre et survivre en se nourrissant. De ce besoin est né l'élaboration des aliments. C'est une histoire simple, car, quoi de plus facile en effet que de fabriquer du pain, puisqu'il suffit de céréales et d'eau. Or ces matières premières se trouvent aujourd'hui presque partout dans le monde. L'ajout de sel, les méthodes de fermentation dépendent des goûts et du savoir-faire.

Près de 5 000 ans avant Jésus-Christ, les Sumériens et les Égyptiens fabriquent plusieurs sortes de pains. Les Grecs feront fermenter la pâte en y ajoutant de la soude ou du jus de raisin. Comme les boulangers actuels, ils diversifient leur production pour proposer des pains aux arômes variés : pain au miel, à l'anis... Au début du second millénaire, apparaissent les premiers textes qui réglementent la profession. En 1217, le boulanger doit obtenir une autorisation royale pour exercer. Quelques années plus tard, un autre décret détermine le nombre d'années d'apprentissage. Sous Louis XIV, le pain s'allonge et devient plus blanc. Il faut attendre le XX^e siècle pour voir la mécanisation du métier et les nouvelles techniques de fabrication se généraliser.

Le pain n'est plus l'aliment de base qu'il fut autrefois. Les techniques de fabrication ont beaucoup évolué, en fonction des connaissances et des habitudes de consommation.

Néanmoins, il occupe toujours une place à part, et spécialement en France, où près de quatre millions de tonnes de pain sont fabriquées chaque année. Aujourd'hui, un boulanger pétrit en moyenne cinquante quintaux de farine par mois. Et chaque année, dix milliards de baguettes sont vendues en France. Le pain fait partie de la culture française.

Mélanger quelques ingrédients de base : quoi de plus facile, non ? Maîtriser le produit et les fabrications est un métier ; un métier beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît au premier abord.

Les différentes sortes de pains, la réglementation associée, le vocabulaire spécifique du métier, les techniques de panification, ainsi que la technologie, c'est ce que nous vous proposons de découvrir ensemble dans cet article.

2

1. Caractérisation des produits de panification

1.1 Définition du pain de consommation courante

Les usages définissent le pain de consommation comme le produit obtenu par la cuisson d'une pâte composée de farines panifiables, de levure ou de levain, d'eau et de sel. Des additifs autorisés (cf. paragraphe 1.7) peuvent aussi être employés dans son élaboration.

Les ingrédients qui le composent sont décrits ci-après.

Le « pain », sans autre qualificatif, est élaboré à l'aide de farines de blé panifiables, de type T 45, T 55 ou T 65. Il peut être vendu sous les formes traditionnelles : « baguette, flûte, bâtard... » qui valent dénomination générique de vente.

Selon la céréale et le type de farine mise en œuvre, la dénomination « pain » peut être, par exemple, déclinée :

- en **pain de seigle** : produit élaboré à l'aide d'un mélange de farines de blé et de seigle (voir définitions ci-après). La farine de seigle doit alors représenter au minimum 65 % du mélange ;
- en **pain complet** : produit élaboré à l'aide d'une farine de blé dite « complète » classée en type T 150 (plus de 1,40 % de cendres sur la matière sèche).

1.2 Farines panifiables

L'article 2 du décret du 5 avril 1935 modifié, relatif au régime des farines panifiables, limite les farines panifiables à la liste suivante : farines de froment (ou de blé), farine de méteil et farine de seigle.

Nota : la **farine de méteil** résulte de la mouture du méteil, produit provenant de la culture et du battage d'un mélange de blé et de seigle. Elle est citée ici pour mémoire.

■ Farine de blé

La **farine de blé** doit provenir de la mouture exclusive du blé sain, loyal et marchand (article 4 du décret du 5 avril 1935 modifié).

Les minotiers déterminent librement la composition des farines, et notamment son extraction. Ils sont toutefois tenus de les délivrer sous des types homologués, correspondant à des fourchettes du taux de cendres (conformément au décret n° 63-720 du 13 juillet 1963 et arrêtés d'application).

Ainsi la farine de blé la plus couramment utilisée dans la baguette est la farine de blé de type T55. Son taux de cendres, ramené à la matière sèche, doit être compris entre 0,50 et 0,60 ; ce qui correspond à son taux d'extraction, voisin de 75 %.

Les minotiers sont eux aussi soumis aux dispositions réglementant l'emploi des produits d'addition aux farines panifiables comme cela sera vu au paragraphe 1.7.

■ Farine de seigle

La dénomination **farine de seigle** s'applique au produit extrait de la mouture exclusive du seigle et ne présentant pas plus de 5 % de grains étrangers, précise l'article 6 du décret précité.

■ Caractère panifiable des farines

Les **conditions d'inscription au catalogue officiel français des nouvelles variétés de céréales** prennent en compte, hormis les aspects génétiques, les valeurs agronomique et technologique.

Ainsi, le caractère panifiable d'une nouvelle variété de blé tendre d'hiver est estimé par rapport à une variété étalon (Capitole). L'alvéographe Chopin (norme AFNOR NF ISO 5530-4), l'essai de panification française CNERNA (Centre national de coordination des études et recherches sur la nutrition et l'alimentation) ou encore le test européen de machinabilité, évoqué ci-dessous, sont les principaux tests de base de cette caractérisation.

Les variétés sont alors classées **panifiables**, par gradients de qualité, ou **impanifiables**. Pour caractériser les variétés dites **de force** ou **améliorantes**, d'autres essais sont prévus. Outre les différents tests cités, et en l'absence de définition réglementaire du caractère panifiable des farines, les tribunaux peuvent également se référer aux dispositions communautaires applicables au stade de l'organisation commune de marché.

Rappelons que les céréales doivent être de qualité saine, loyale et marchande. En ce qui concerne le blé tendre, il est tenu compte de son aptitude technologique à faire du pain.

Plus précisément, le règlement CEE 1955/81 du 13 juillet 1981 fixe les exigences minimales requises pour la panification lorsque le blé tendre présente un degré d'activité amylasique et une teneur en protéines acceptables et lorsque le travail mécanique de la pâte obtenue à partir de la farine est possible.

La méthode de détermination de la qualité panifiable minimale est fixée par le règlement CEE n° 2062/81 du 22 juillet 1981. Le **protocole d'essai de panification** est, quant à lui, dans l'annexe I dudit règlement.

Enfin, pour être considérée comme non collante et machinable, la pâte doit, en fin de pétrissage, constituer une masse cohérente qui n'adhère pratiquement pas aux parois de la cuve et à l'axe du pétrin, être facilement rassemblée avec les mains et retirée de la cuve en une seule fois, sans pertes appréciables.

1.3 Levure

La levure ne fait pas l'objet d'une définition réglementaire. De leur côté, les levuriers définissent les levures de panification comme des « biomasses séparées de leur milieu de culture, obtenues par la multiplication, selon des moyens appropriés, de souches sélectionnées pour leur propriété en panification parmi les levures ascoporogènes de la famille des *saccharomyces cerevisiae* ».

Elle assure la formation de dioxyde de carbone au sein de la pâte. Il y a alors formation d'alvéoles qui s'épanouissent dans la mie au cours de la cuisson. Le boulanger utilise deux grands types de levure :

— le premier type, le seul pratiquement utilisé en France, est la **levure fraîche pressée**. De consistance pâteuse, semblable à de la pâte à modeler, elle peut être lente ou rapide. Moins répandue que la levure lente, la levure rapide contient plus de protéines. Elle occasionne dès le début de la fermentation un dégagement de dioxyde de carbone qui diminue ensuite rapidement ;

— deuxième type de levure, la **levure sèche** est obtenue par déshydratation de levure fraîche et permet de diviser sa masse par trois. Elle peut être réhydratée dans de l'eau sucrée avant usage ou mélangée directement à la farine. Elle est utilisée dans les pays chauds.

1.4 Levain

La définition consacrée par les usages a été réactualisée par le décret n° 93-104 du 13 septembre 1993, pris pour l'application de la loi du 1^{er} août 1905 en ce qui concerne certaines catégories de pains (cf. paragraphe 1.6 pour plus d'informations).

Le **levain** est une pâte particulière qui ne comprend pas de levure boulangère ajoutée volontairement. La fermentation se fait à partir des levures sauvages et des bactéries présentes dans les matières premières utilisées ou dans l'air ambiant du fournil. Elles favorisent une fermentation acide.

Le levain reste donc un produit vivant à base de farine de blé et de seigle, soumis à une fermentation naturelle acidifiante (bactéries lactiques et levures). Sa fonction est d'assurer la levée de la pâte. L'addition de levure de panification est toutefois admise dans la pâte de la pétrissée finale (0,2 % maximum par rapport à la masse de farine mise en œuvre à ce stade).

Le levain peut faire l'objet d'une déshydratation sous réserve que

■ Il existe aussi les **starters levains** qui sont des cultures sélectionnées pouvant contenir des bactéries lactiques, seules ou mélangées avec des levures. Ils permettent d'ensemencer une pâte en vue de l'élaboration d'un levain, de simplifier l'élaboration du levain tout point par une préparation en une seule étape de 18 à 24 h, de supprimer les phases délicates du démarrage et de l'entretien du levain traditionnel, et d'assurer une régularité des résultats.

Les **levains déshydratés** inactifs sont uniquement des préparations aromatiques dont l'activité fermentaire a été inhibée par séchage.

Starters et levains aromatiques se présentent commercialement sous l'aspect de préparations liquides, pâteuses ou déshydratées.

1.5 Eau et sel

Ces deux derniers ingrédients doivent être aptes à l'alimentation humaine : eau potable et sel de cuisine.

L'**eau** est la deuxième matière première du boulanger. Sans elle, les grains d'amidon ne gonfleraient pas et il n'y aurait pas de formation du réseau glutineux. La pâte ne pourrait pas retenir le dioxyde de carbone au cours de la fermentation. Elle joue donc un rôle majeur dans la qualité plastique de la pâte. Par ailleurs, l'eau permet de dissoudre le sel et les autres composés. Ses proportions varient, suivant le type de pâte, de 60 à 66 L pour 100 kg de farine.

Si les quantités utilisées par rapport à la farine et à l'eau sont nettement inférieures (environ 20 g de sel pour 1 kg de farine), le **sel** est essentiel à la fabrication du pain. Il joue un rôle important à deux niveaux. Il donne aux pâtes une plus grande fermeté et une meilleure élasticité, mais il retarde l'action de la levure. Plus la quantité de sel est grande, plus le temps de fermentation s'allonge. Selon le moment du pétrissage où on l'incorpore, il modifie la couleur de la mie. Si le sel est ajouté en fin de cycle, la pâte obtenue, et donc la mie, est plus blanche. En ce qui concerne le pain, il en améliore le goût. Il favorise la coloration de la croûte et son croustillant.

1.6 Dispositions particulières à certaines catégories de pains

Un décret, adopté le 13 septembre 1993, permet aux professionnels qui choisissent de recourir à des recettes et à des procédés de fabrication traditionnels d'en informer le consommateur et de valoriser ainsi leur production.

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Traitement de la farine de blé par une technologie innovante

par Alexander LANGE et Pascal GARNIER

2

En endommageant un peu plus que par un broyage classique l'amidon, cette technologie innovante permet d'augmenter de façon importante la prise en eau des farines et d'éviter également l'adjonction de certains additifs pour la panification.

Alexander LANGE

Project Manager, Pharma & Food Division
Hosokawa Alpine (Augsbourg)

Pascal GARNIER

Directeur
Hosokawa Micron France (Evry)

1. Broyer et tamiser. L'art du meunier

Farine de céréales blanche et fine pour la fabrication de pain léger, délicieux et nourrissant : voilà depuis des millénaires une des bases du développement du vieux monde. Les grains étaient broyés à la pierre, par meule ou par cylindre de broyage, la farine obtenue séparée du son par tamis ou sacs. Le principe technique est encore et toujours le même. La force musculaire et la machine à vapeur ont, au cours des siècles, cédé leur place au moteur électrique et la pierre à moulin a été remplacée par des moulins à cylindres plus efficaces ; ces moulins, eux aussi, existent déjà depuis plus de 130 ans ! Les succès de sélection des plants et les méthodes agricoles ont sans doute beaucoup plus contribué à l'amélioration de la qualité de la farine que les progrès des techniques de broyage. Entre temps, non seulement les boulangeries ont des exigences plus complexes concernant la matière première farine, mais il n'est plus possible de répondre à ces exigences avec les méthodes classiques de broyage.

2. Intérêt du broyage par attrition pour la panification

Les broyeurs à impact ont une très bonne efficacité de micronisation. Mais ils n'ont réellement jamais pu s'imposer dans le secteur meunier puisque les broyeurs conventionnels présentent encore et toujours des rendements plus élevés pour la production des farines blanches. Ils sont utilisés en majeure partie pour la micronisation de la farine de blé qui est

ensuite soumise à un déplacement de protéine dans des sélecteurs pneumatiques. Une sélection efficace de fines d'une plage de moins de 16 µm, réalisable seulement avec l'arrivée sur le marché de sélecteurs ultrafins, a permis pour la première fois, avec un rendement maximal, seulement par broyage et sélection d'obtenir des farines avec des taux de protéines très élevé et très bas ; ces farines rendent possible de nouvelles applications. L'efficacité et les atouts économiques de ce procédé ont été optimisés par l'amélioration de broyeurs sélecteurs (ZPS de Circoplex) et de sélecteurs ultrafins (ATP de Turboplex).

Non seulement une modification des caractéristiques de cuisson due au taux de protéines de la farine de blé mais aussi l'augmentation de la capacité d'absorption d'eau sont les exigences imposées aux meuniers par les boulangers et les autres transformateurs de farines. L'augmentation de la capacité d'absorption d'eau, dont le principe est connu depuis déjà assez longtemps, n'est possible qu'en désintégrant par efforts mécaniques les granules d'amidon de la farine de blé. Accroître le taux d'absorption d'eau de 1 à 2 % n'était possible au meunier que par l'augmentation de la pression des cylindres de broyage et l'avance, donc en maltraitant sa farine en toute règle. La consommation d'énergie en résultant et l'usure accrue entraînaient des coûts qui ne pouvaient pas être amortis par la vente d'une farine, tout au plus, légèrement modifiée.

Différents chercheurs reconnus ont réussi, en utilisant des broyeurs à boulets, à maximiser le taux d'amidon désintégré. À terme, la farine obtenue n'avait malheureusement plus de pouvoir agglutinant, probablement en raison de la dénaturation thermique de la protéine de blé. Les analyses de bilans thermiques réalisées par les techniciens sur un broyeur-agitateur vertical à billes ATR ont permis un constat selon lequel la poussée thermique serait limitable par des opérations plutôt simples. La farine de blé devint alors traitable à sec et en continu sans subir de détériorations thermiques.

Sur la panification

Produits et procédés de panification [F 6 180]
de F. Landgraf.

ATR : attrition

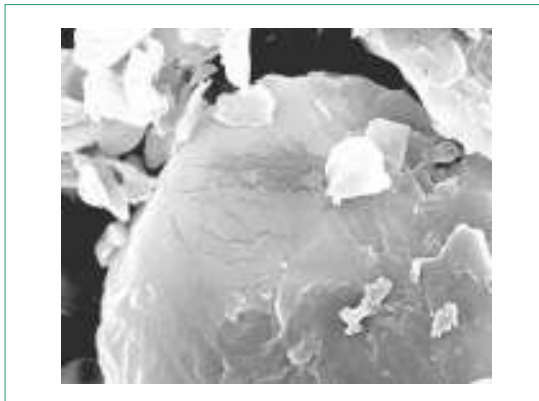


Figure 1 – Granulé d'amidon d'une farine traitée par attrition

■ Absorption d'eau accrue et prévisible à l'aide du traitement par attrition

Lors du développement du principe de broyage par attrition, le choix du critère d'évaluation s'est porté sur l'absorption d'eau de la farine selon ICC 115/1 dans le farinogramme de Brabender, ce qui correspond très bien à l'absorption effective d'eau dans la pratique boulangère. Malheureusement, la désintégration de l'amidon suivant la méthode enzymatique selon ICC 164 n'est pas en bonne corrélation avec l'absorption d'eau de sorte que l'évaluation de ce principe de broyage par cette dernière méthode (et probablement par des méthodes du même genre, voir § 3) n'est alors pas possible.

Après le traitement par attrition, on peut tout au plus observer sous le microscope une déformation nette des granules d'amidon mais ne pas voir les multiples microfissures qui sont considérées comme l'indice de la désintégration de l'amidon. Sous le microscope électronique à balayage, il est en revanche possible d'observer clairement les microfissures des granules d'amidon qui, en apparence, ne sont

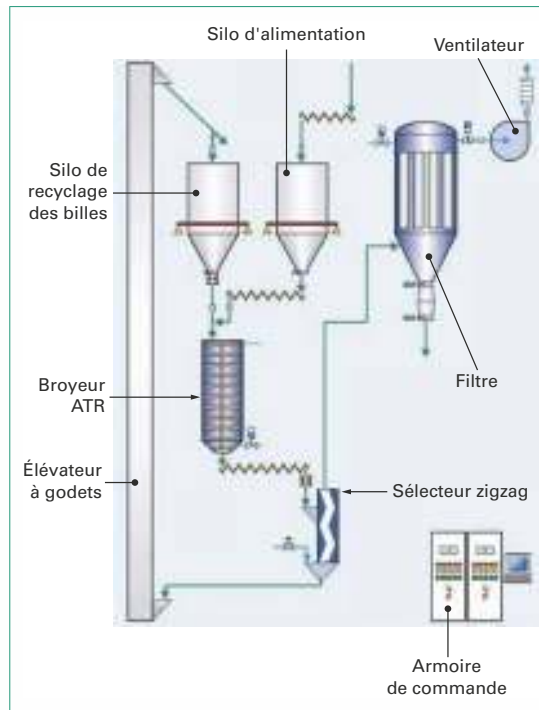
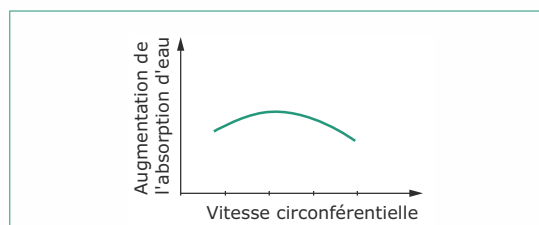


Figure 2 – Schéma du procédé avec ATR



ICC standard
<http://www.icc.or.at/methods3.php>

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.



Filière de production : produits d'origine végétale

(Réf. Internet 42433)

1– Légumes et légumineuses

2– Céréales

3– Huiles végétales

	Réf. Internet	page
Technologies des corps gras (huiles et graisses végétales)	F6070	43
Analyse des lipides. Extraction. Paramètres physico-chimiques.Constituants majeurs	P3325	49
Analyse des lipides . Constituants mineurs, qualité et authenticité	P3327	55
Huile de palme. Défis renouvelés de la durabilité	F6075	59

4– Sucres

5– Thé, café et cacao

6– Bières

7– Fruits

8– Algues



Sur www.techniques-ingenieur.fr

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires

Technologies des corps gras (huiles et graisses végétales)

par **Xavier PAGÈS-XATART-PARÈS**

*Ingénieur-chimiste
Responsable du département Technologie et environnement de l'ITERG
(Institut des corps gras)*

Avec la collaboration de **Carine ALFOS** Ingénieur chimiste, Responsable du département de lipochimie de l'ITERG et d'**Odile MORIN** Coordinatrice scientifique de l'ITERG

3

1. Obtention	F 6 070 - 2
2. Raffinage	— 9
3. Transformations alimentaires	— 14
4. Composition et intérêt nutritionnel	— 17
5. Encadrement réglementaire	— 18
Pour en savoir plus	Doc. F 6 070

Les huiles et graisses végétales jouent un rôle majeur dans notre alimentation ; nous les consommons directement sous forme d'huile raffinée ou vierge, ou bien indirectement via de nombreux produits de l'industrie agroalimentaire. Le consommateur que nous sommes se montre de plus en plus exigeant en terme de qualité : la **sécurité alimentaire** et les **aspects nutritionnels** sont au centre des préoccupations sociétales actuelles.

En parallèle, l'utilisation des huiles végétales se développe dans le secteur non alimentaire ; cela résulte de leurs caractéristiques, de leur origine renouvelable et de leur caractère biodégradable. La formule maintenant usitée « de l'or noir à l'or vert » illustre ce nouvel engouement pour une chimie basée sur les agroressources de notre planète. Le développement des **biocarburants** (esters d'huiles végétales) en est un exemple.

Pour toutes ces applications des domaines alimentaire et non alimentaire, la maîtrise de procédés éprouvés et efficaces est nécessaire.

De la graine à l'huile raffinée et transformée, les technologies d'obtention et de transformation des huiles se doivent de garantir parfaitement la qualité du produit et de fournir en final un produit répondant à des spécifications très complètes ; ces technologies ont su évoluer pour répondre à cette problématique et intégrer les contraintes actuelles de l'industrie de rentabilité et de respect de l'environnement.

1. Obtention

1.1 Caractéristiques générales des graines et fruits oléagineux

Les graines et fruits oléagineux contiennent des **lipides de réserve** pour la germination, dans la graine ou dans le noyau du fruit, ou bien constitutifs de la chair du fruit. Ces lipides, constitués essentiellement par des **triesters d'acides gras et de glycérol ou triglycérides** sont susceptibles de se dégrader suivant deux phénomènes distincts qui sont l'hydrolyse et l'oxydation [1].

Dans le **fruit humide et fermentescible**, la matière grasse est mal protégée ; elle est stockée à l'intérieur des cellules aux parois rigides ; elle est en outre entourée d'une coque et son humidité est beaucoup plus faible (de l'ordre de 10 %) ; moyennant certaines précautions, le stockage de longue durée est possible (d'une campagne sur l'autre) et les traitements d'obtention peuvent se faire sur des sites industriels très éloignés du lieu de production [2].

Dans les **graines oléagineuses** par contre, l'huile est mieux protégée ; elle est stockée à l'intérieur des cellules aux parois rigides ; elle est en outre entourée d'une coque et son humidité est beaucoup plus faible (de l'ordre de 10 %) ; moyennant certaines précautions, le stockage de longue durée est possible (d'une campagne sur l'autre) et les traitements d'obtention peuvent se faire sur des sites industriels très éloignés du lieu de production [2].

La **trituration** est l'opération consistant à extraire l'huile des graines et fruits oléagineux.

Comme il est d'usage dans la profession, les teneurs ou compositions indiquées dans la suite du texte sont, sauf indication contraire, massiques.

1.2 Traitement des graines oléagineuses

1.2.1 Conservation

À la récolte, les graines oléagineuses ne se présentent pas toujours dans des conditions favorables à une bonne conservation. Les graines sont en effet l'objet de plusieurs causes d'altération :

- action des microorganismes, en présence d'humidité (moisissures, levures, bactéries) ;
- action des enzymes (lipases hydrolysantes, lipoxydase...) ;
- action de l'air ;
- interaction de certains constituants (interactions entre sucres et acides aminés, formation de complexe lipo-protéiques...).

Les graines oléagineuses sont réceptionnées et conservées dans les mêmes installations que les céréales. Cependant, elles présentent des propriétés particulières et il est essentiel de procéder aux opérations de nettoyage et séchage, qui permettent de maîtriser les facteurs d'altération : température, humidité, air, brisures des graines. Ces opérations sont généralement effectuées chez les organismes stockeurs, premiers intervenants de la filière oléagineuse. Les recommandations sont notamment de stabiliser les oléagineux aux niveaux d'humidité suivants [3] : colza : 8 à 9 %, tournesol 7 à 8 %, soja 12 à 13 %.

En outre, des critères importants liés à la maîtrise de la sécurité (problématique d'explosivité des poussières et directives silos) sont à prendre en compte à ce niveau [4].

1.2.2 Composition

Les graines oléagineuses se composent essentiellement d'une enveloppe ou **tégument (coque)** riche en cellulose et d'un embryon encore appelé **amande** riche en huile. Les compositions des graines oléagineuses principalement cultivées en France, à savoir **colza**, **tournesol** et **soja** sont reportées dans les figures 1, 2 et 3.

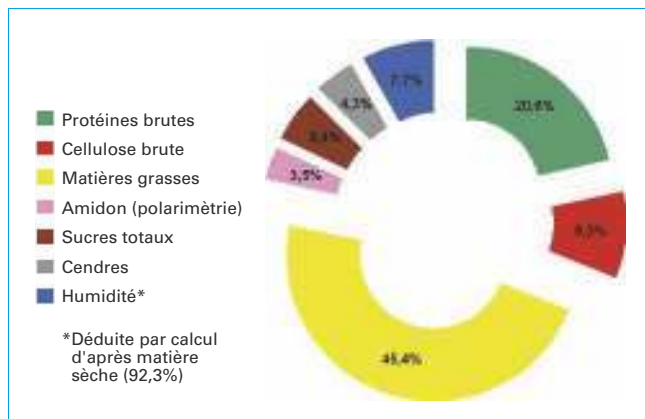


Figure 1 - Composition de la graine de colza (doc. ITERG)

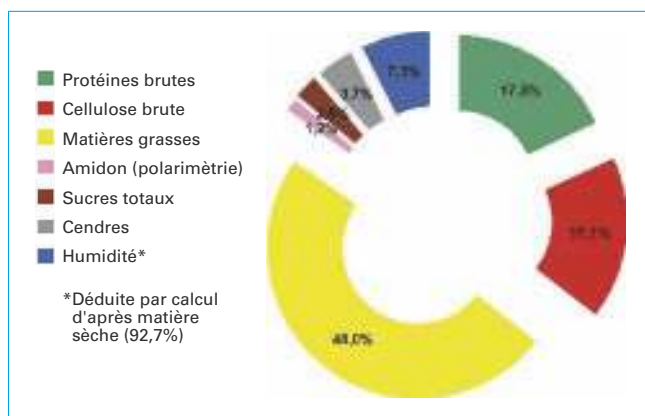


Figure 2 - Composition de la graine de tournesol (doc. ITERG)

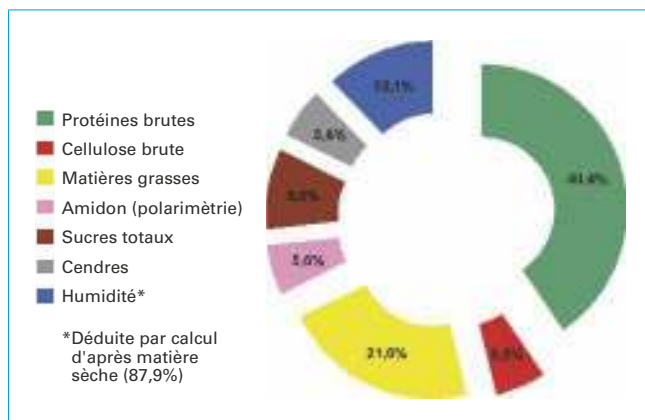


Figure 3 - Composition de la graine de soja (doc. ITERG)

Les graines dont la teneur en matière grasse est supérieure à 35 % sont dites **riches en huile** (colza, tournesol, arachide). Leur trituration industrielle met en œuvre des opérations de prépression et d'extraction au solvant ; les graines dont la teneur en huile est inférieure à 35 % - dites **pauvres en huile** - sont directement triturées par extraction sans prépression préliminaire.

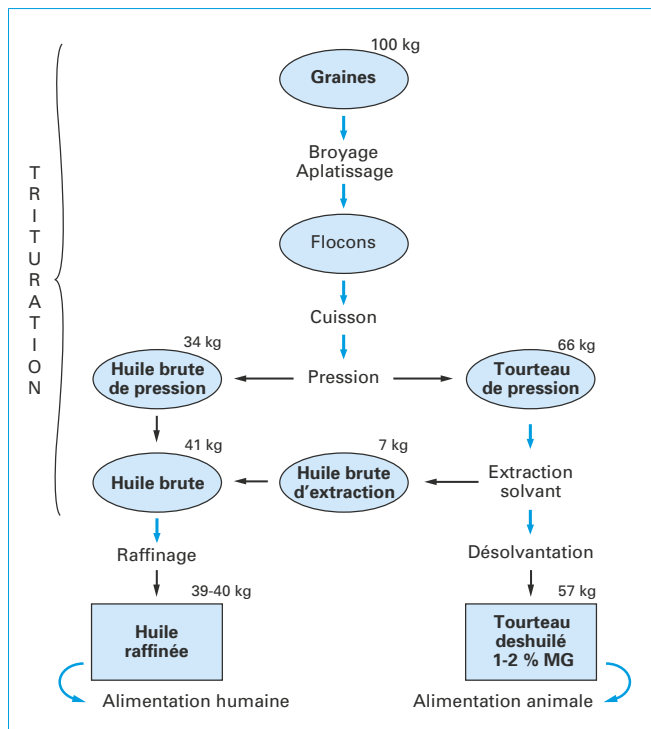


Figure 4 – Fabrication d’huile et de tourteau à partir de graines : exemple du colza (doc. ITERG)

1.2.3 Opérations unitaires de trituration

Les opérations essentielles de nettoyage et séchage sont le plus souvent réalisées dès la récolte par les opérateurs industriels stockeurs (§ 1.2.1). La graine est donc réceptionnée à l’huilerie, nettoyée et séchée sauf sur certains sites alors équipés d’équipements conventionnels non spécifiques aux graines oléagineuses : tambours cribleurs de prénettoyage, déferrailleur, épierreur, tamis vibrant de nettoyage...

Les opérations de trituration proprement dites comportent d’éventuelles opérations de décortiquage ou dépelliculage, des opérations de préparation mécanique et thermique de la graine oléagineuse suivies des opérations de pression et/ou d’extraction par solvant [5] [6]. Le schéma de la figure 4 présente ces différentes opérations.

1.2.3.1 Décortiquage et dépelliculage

L’intérêt de ces opérations est d’éliminer les matières de faible valeur nutritionnelle pour l’alimentation animale et de faciliter éventuellement les traitements suivants : l’intérêt est discutable suivant la nature de la graine et le lieu de trituration.

Ainsi, pour l’arachide qui contient 25 à 30 % de coque ligneuse très abrasive et sans aucune valeur nutritive, la question ne se pose pas. Par contre pour le colza, le tournesol et le soja, il en va autrement en Europe de l’Ouest. Le colza et le tournesol, malgré la mise au point de techniques et d’équipements de décortiquage et de dépelliculage performants, ne sont pas décortiqués du fait d’un bilan économique défavorable.

En résumé, les techniques présentent un certain coût et entraînent, en outre, une faible perte en huile qui n’est pas à ce jour contrebalancée par la plus valeur des tourteaux plus riches en protéine et par la valorisation énergétique des coques ou pellicules brûlées en chaudière pour produire de l’énergie.



Figure 5 – Aplatisseur à graines oléagineuses (doc. Daman Croes)

1.2.3.2 Préparation mécanique

Ces opérations comprennent broyage et/ou aplatissage (laminage) qui se font sur des broyeurs à une ou plusieurs paires de cylindres horizontaux (figure 5) ; la graine oléagineuse passe entre ces cylindres plus ou moins rapprochés.

Du fait de sa petite taille, la graine de colza est directement aplatie (cylindres lisses quasiment en contact) ; le tournesol et le soja sont broyés sur des cylindres cannelés avant aplatissage ; il est ainsi possible d’obtenir des flocons ou flakes.

Cette étape de préparation a pour but de réduire la dimension des graines afin de faciliter le travail des presses ou l’action du solvant d’extraction et donc d’améliorer les rendements en huile.

L’idée courante que ces opérations de division de la graine brute permettent essentiellement de rompre les parois cellulaires s’avère infondée. Des études approfondies, grâce à la microscopie électronique, sur le rôle de la structure cellulaire, ont clairement reconnu que l’huile ne peut être extraite que grâce à la structure poreuse des parois cellulaires [7]. L’huile sort du réseau cellulaire par les plasmodesmes. Les dimensions de ces pores, leur fréquence spatiale et la porosité moyenne des parois cellulaires ont d’ailleurs pu être mesurées par certains auteurs [8].

1.2.3.3 Préparation thermique

En complément de la préparation mécanique, le conditionnement thermique du flocon permet d’améliorer sa « pressabilité ».

Les équipements employés pour le conditionnement thermique des graines peuvent se diviser classiquement en deux types :

- chauffeoirs verticaux à plusieurs caissons ;
- chauffeoirs tubulaires horizontaux.

Le point essentiel est ici de maîtriser le spectre de séjour de la graine dans le cuiseur, donc son cheminement qui doit être le plus régulier possible. Le chauffage de ces appareils se fait par double enveloppe.

Il est important de maîtriser l’humidité du flocon cuit en sortie de cuisson et donc les cuiseurs sont équipés, d’une part, d’un système d’addition éventuelle d’eau ou d’injection directe de vapeur et, d’autre part, d’extracteurs permettant l’évacuation des buées.

Les barèmes de cuisson dépendent de la nature de la graine et de son humidité.

Ainsi la cuisson de flocons de colza se fait, vers 90 à 100 °C pendant 40 mn environ, sans ajout d’eau.

Le rôle de la cuisson thermique des graines oléoprotéagineuses sur les modifications cellulaires est moins controversé que celui relatif aux prétraitements physiques. La cuisson thermique des graines permet de coaguler les protéines des parois cellulaires pour les rendre perméables à l’huile. Simultanément, la cuisson permet la coalescence des petites vésicules d’huile en larges gouttes détruisant l’émulsion protéines-lipides. Elle réduit les inter-



Figure 6 – Presse à vis Rosedown (Desmet)



Figure 7 – Presse à vis La mécanique moderne MBU 75, cage ouverte (doc. CREOL)

actions entre l'huile et la surface solide des graines et favorise l'augmentation du diamètre des pores cellulaires, permettant par conséquent une meilleure diffusion et sortie de l'huile [9]. D'autres effets importants de la cuisson sont à mentionner :

- stérilisation (de salmonelles éventuellement présentes par exemple) ;
- désactivation des enzymes thermosensibles (myrosinase du colza par exemple) ;
- destruction de substances toxiques.

1.2.3.4 Pressage mécanique

Le pressage de la graine préparée se fait principalement de façon continue dans des presses à cages métalliques filtrantes constituées par des barreaux plus ou moins jointifs suivant la partie de la cage intéressée (figures 6 et 7). La graine préparée (flocons cuits) y est introduite et comprimée par une combinaison de vis sans fin à pas dégressif (les arrangements) tournant à vitesse généralement lente. Un cône, dont on peut régler la position, délimite à l'extrémité de la cage un espace annulaire plus ou moins rétréci et par lequel sort le tourteau ou plus exactement les écailles de presse. Ce tourteau de pression reste plus ou moins chargé en matière grasse suivant la nature de la graine et les conditions de pression. Plus la pression est élevée du fait du choix des arrangements et plus le taux de déshuilage est important. Par contre, le débit est faible et l'usure plus importante, notamment au niveau des barreaux de presse.

L'huilier est donc amené à adopter un compromis au niveau du taux de déshuilage visé en tenant compte de son outil industriel. Les triturateurs industriels disposant d'une unité d'extraction au solvant permettant de récupérer la quasi-totalité de l'huile restante dans les écailles de presse n'ont pas intérêt à procéder à un déshuilage trop poussé à ce niveau.

Des taux de l'ordre de 20 % de matière grasse résiduelle sont courants pour les tourteaux de pression de tournesol et le colza ; il ne s'agit donc à ce niveau que d'un déshuilage partiel par prépression.



Figure 8 – Filtre à débatissage automatique Niagara (Amafilter)

Par contre, les artisans huiliers, ne disposant pas d'installation d'extraction, ont intérêt à déshuiler le plus possible, l'huile présentant la plus forte valeur ajoutée. Il faut noter que ce système mécanique d'extraction d'huile présente des limites. Les presses les plus modernes ne déshuilent pas, de façon industriellement acceptable, au-dessous de 5 À 6 %.

1.2.3.5 Clarification de l'huile de pression

En sortie de presse, l'huile contient une faible quantité de particules solides (appelées pieds de presse) résultant du laminage des graines entre les barreaux. Ces particules, riches en lipases hydrolysantes doivent être éliminées efficacement pour une bonne conservation de l'huile. La clarification comporte généralement deux étapes : passage de l'huile sur tamis statique ou vibrant, suivi d'une filtration soit sur de traditionnels filtres presses avec cadres et plateaux, soit sur filtre fermé à toile métallique avec programmation et débatissage automatique. Un modèle de filtre de ce type, à cuve verticale et débatissage par vibration est représenté sur la figure 8.

L'emploi de décanteur centrifuge horizontal au lieu de filtres est également possible.

1.2.3.6 Extraction par solvant

En sortie de pression, les écailles de presse contenant une quantité non négligeable de matière grasse sont acheminées après broyage sommaire *via* des transporteurs (*redlers*) à l'atelier d'extraction.

Dans l'atelier d'extraction sont réalisées les trois étapes spécifiques d'extraction en phase solvant :

- extraction physique de l'huile contenue dans les écailles de presse ou la graine préparée, dans un extracteur, par un solvant d'extraction ;
- désolvantation et toastage du tourteau, opérations souvent combinées à celles de séchage et refroidissement ;
- distillation du miscella d'huile et de solvant pour obtenir l'huile d'extraction et permettre le recyclage du solvant.

■ Solvant d'extraction

L'**hexane** est l'auxiliaire technologique utilisé actuellement pour l'exercice de l'activité classée en France sous la rubrique « extraction d'huiles végétales et de graisses animales ».

Le choix des solvants utilisables est actuellement très restreint.

Depuis le développement industriel de la technique d'extraction au sulfure de carbone d'huile d'olive à partir de grignons, mis au point par Mr DEISS à Marseille vers 1855, de nombreux solvants d'extraction ont été utilisés en trituration de graines oléagineuses et pour la production de corps gras animaux.

La situation actuelle est beaucoup plus contraignante : de nombreux solvants ne sont plus envisageables pour des raisons de sécurité industrielle et/ou de toxicité et/ou du fait de leur impact négatif sur l'environnement, en particulier les solvants chlorés et chloro-fluorés un moment envisagés.

Du point de vue de la sécurité alimentaire, l'utilisation industrielle de solvants est réglementée par une série de directives européennes qui définissent leurs critères de pureté et de conditions d'emploi et regroupent les solvants autorisés au sein de deux listes : liste générale et liste des solvants d'extraction ayant des conditions d'utilisation particulière. Dans cette dernière liste se trouve l'hexane, dont l'emploi est possible en extraction et en fractionnement des corps gras et qui est le solvant utilisé industriellement.

■ Extracteur

L'extraction de l'huile des écaillés de presse est réalisée dans un extracteur continu ; la tendance actuelle est à l'utilisation d'extracteurs horizontaux à percolation ; les extracteurs à immersion, sommaires et historiquement les premiers installés ont quasiment tous disparus. Les extracteurs les plus courants mettent en œuvre une circulation du solvant et de la matière traitée à contre-courant et sont essentiellement constitués par un tapis roulant se déplaçant à l'intérieur d'une enveloppe horizontale étanche. Une série de pompes assure l'arrosage de la matière sur des zones bien définies du tapis. On utilise des miscellas d'huile et de solvant de moins en moins riches en huile au fur et à mesure que la matière avance sur le tapis et s'appauvrit en matière grasse, pour finir par du solvant pur (figure 9).

La perméabilité de la matière première est une donnée essentielle qui régit le fonctionnement de cette étape. La maîtrise de son degré de préparation est très importante. Pour des graines peu riches en huile (colza, coton) qui ne subissent pas d'opération de prépressage, les opérations de préparation (broyage, aplatissage, cuisson) et éventuellement pelletisation *via* un extrudeur (voir § 1.4) conditionnent les performances de l'extraction.

■ Désolvantation/toastage du tourteau

Le tourteau sortant de l'extracteur contient autour de 30 %



Figure 9 – Installation d'extraction Desmet (Société Huicoma, photo X.Pagès)

qui la rend impropre à la consommation. La limite maximale de résidu d'hexane dans l'huile est fixée à 1 mg/kg (cf. § 5).

L'huile d'extraction est généralement stockée avant raffinage, le plus souvent en mélange avec l'huile brute de pression.

■ Consommation d'hexane en trituration

L'emploi d'hexane en trituration, malgré la distillation et un taux de récupération très élevé [$> 99,92\%$ pour du soja (KEMPER, 1997) [11]], entraîne diverses pertes dont on peut établir un bilan en déterminant la teneur résiduelle en hexane des différents flux sortant de l'installation. On retrouve en effet une quantité résiduaire d'hexane dans :

- l'huile d'extraction ;
- les tourteaux ;
- l'air sortant de l'installation de désolvantation ;
- l'air de l'installation de piégeage des vapeurs par absorption à l'huile minérale ;
- l'eau usée.

À ces sources identifiées s'ajoutent les pertes difficiles à quantifier, liées aux fuites éventuelles, aux périodes de fonctionnement intermédiaires (marche/arrêt, purge) et aux éventuels dysfonctionnements.

KEMPER [11] indique, pour une installation d'extraction de soja, une consommation totale par tonne de graine triturée de l'ordre de 1,25 L.

Sachant que pour une installation moderne, on peut établir un bilan total de 0,612 L/t (tableau 1), il en résulte que les pertes non identi-

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Analyse des lipides

Extraction. Paramètres physico-chimiques. Constituants majeurs

par **Véronique OLLIVIER**

Ingénieure de laboratoire
Responsable de la section d'analyse des corps gras végétaux
Service commun des laboratoires auprès de la DGCCRF et de la DGDDI, Laboratoire de Marseille, France

Denis OLLIVIER

Directeur de laboratoire
Responsable d'Unité
Service commun des laboratoires auprès de la DGCCRF et de la DGDDI, Laboratoire de Marseille, France

et **Jacques ARTAUD**

Professeur émérite
Aix-Marseille Université. LISA, EA4672, Équipe METICA, Marseille, France

3

1. Extraction et dosage de la matière grasse	P 3 325v2 - 2
2. Détermination des caractéristiques physiques	— 3
3. Détermination des indices de base	— 5
4. Détermination des constituants majeurs	— 6
5. Différents référentiels de normes	— 22
6. Conclusion	— 22
7. Glossaire et sigles	— 22
Pour en savoir plus	Doc. P 3 325v2

Les lipides, utilisés comme **corps gras alimentaires ou industriels**, sont constitués d'un ensemble hétérogène de familles chimiques comportant des triglycérides (triacylglycérols), des diglycérides, des monoglycérides, des phospholipides, des acides gras libres, des stérols, des esters de stérols, des alcools, des pigments (caroténoïdes, chlorophylles), des tocophérols, des hydrocarbures...

Les **lipides biologiques** comportent des triglycérides, des acides gras et des phospholipides mais aussi des lipides complexes tels que les phosphoglycérides, les sphingolipides, les glycolipides et les polycétides.

Les **corps gras** sont appelés « **Huile** » lorsqu'ils sont liquides à la température ambiante et « **Graisse** », suivie de l'indication animale ou végétale selon l'origine de l'extraction, lorsqu'ils sont solides (concrets) à la température de 15°C (cf. réglementation en vigueur). Cet état physique différent provient de leur composition en acides gras. Les huiles sont plus riches en acides gras insaturés que les graisses.

Les lipides sont une famille de composés essentiels à la vie au même titre que les glucides et les protéides. Ils ont un rôle essentiel comme :

- constituants de la membrane cellulaire ;
- éléments nutritionnels ;
- réserve d'énergie ;
- isolant thermique...

1 g de corps gras fournit 9 kcal ou 37,6 kJ.

Les termes de corps gras ou de matières grasses sont plutôt réservés aux triglycérides et désignent les huiles et graisses présentes dans les produits alimentaires.

En fait, les corps gras sont un mélange complexe de lipides qui se classent en deux grands domaines :

- les composés saponifiables (90 à 98 %) réagissant avec un réactif alcalin (NaOH, KOH...);
- les composés insaponifiables (2 à 10 %) ne réagissant pas avec un réactif alcalin.

Cet article concerne principalement la **fraction saponifiable**. Il traite de l'extraction et du dosage des lipides issus :

- des matrices végétales ou animales ;
- des produits transformés de l'industrie agroalimentaire ;
- des produits cosmétiques ou industriels.

Il décrit les paramètres physico-chimiques caractérisant les matières grasses et leurs dosages. Il donne les méthodes de détermination des composés majeurs. Dans une majorité de cas, les normes associées aux déterminations analytiques sont citées.

La fraction insaponifiable fait l'objet de l'article [P 3 327].

Un **glossaire** et un **tableau de sigles** sont donnés en fin d'article.

Comme il est d'usage dans la profession, les pourcentages indiqués, sont, sauf précision contraire, **massiques**.

3

1. Extraction et dosage de la matière grasse

L'extraction des corps gras a le plus souvent un double objectif :

- le dosage de la matière grasse ;
- l'analyse de la matière grasse extraite.

Elle doit donc être totale et ne pas modifier la nature de la matière grasse.

1.1 Méthodes gravimétriques

1.1.1 Extraction directe par solvant

Dans certains cas pour les produits humides, il est nécessaire d'éliminer préalablement à l'extraction la phase aqueuse soit par dessiccation à l'étuve, soit par séchage sur sulfate de sodium anhydre Na₂SO₄.

Les solvants le plus souvent utilisés sont :

- l'éther diéthylique ;
- l'hexane ;
- les mélanges chloroforme-méthanol 2-1 v/v (réactif de Folch [1], réactif de Bligh et Dyer [2]) ;
- le chloroforme-isopropanol 3-2 v/v ;
- le dichlorométhane-méthanol 2-1 v/v.

Il est important de préciser la méthode utilisée car les différents solvants n'ont pas le même pouvoir extracteur, en particulier envers les phospholipides. Dans le cas de l'analyse qualitative, l'extrait est ensuite purifié sur une colonne constituée d'un

mélange de sulfate de sodium anhydre et de terre de diatomées (CELITE® 545).

Différentes méthodes, en fonction de la matrice, peuvent être utilisées.

Exemples

Graines oléagineuses. Détermination de la teneur en huile (méthode de référence) **NF EN ISO 659** : extraction directe à l'hexane ou à l'éther de pétrole.

Beurre, émulsion d'huiles alimentaires et matières grasses tartinables. Détermination de la teneur en matière grasse (méthode de référence) **ISO 17189** : extraction directe par épuisement à l'éther de pétrole (coupe 30 à 60 °C) ou n-hexane.

Extraction de la matière grasse en vue de sa caractérisation NF V 03-030 (méthode générale d'extraction de la matière grasse totale à partir d'un produit alimentaire élaboré) : extraction avec le mélange n-hexane-isopropanol 3-2 v/v puis purification de l'extrait sur colonne de CELITE® 545. Cette méthode n'altère pas la matière grasse.

Viande et produits à base de viande. Détermination de la matière grasse libre **NF V 04-403** : séchage sur sulfate de sodium anhydre (Na₂SO₄) puis extraction par éther de pétrole.

Il existe de nombreuses méthodes normalisées suivant la nature de la matrice. L'utilisateur doit rechercher les méthodes normalisées adaptées à la matrice à traiter. Les méthodes citées en exemples sont données à titre indicatif (voir normes AFNOR, ISO, méthodes officielles prises par arrêté ou par règlement...).

1.1.2 Extraction après traitement chimique

Le traitement chimique est le plus souvent une hydrolyse destinée à libérer des lipides liés à des protéines, des glucides et à modifier les structures peptidiques et glucidiques. L'hydrolysate est extrait par un solvant qui est ensuite éliminé.

Dans tous les cas, les méthodes avec traitement chimique ne permettent pas une étude correcte de la composition et de la qualité de la matière grasse obtenue.

Le type d'extraction est fonction de la matrice utilisée.

Exemples

Lait. Détermination de la teneur en matière grasse :

– **NF V 04-215** méthode par extraction éthérochlorhydrique, hydrolyse par HCl 12 M ;

– **NF EN ISO 1211** méthode gravimétrique (méthode de référence), hydrolyse $\text{NH}_4\text{OH}-\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

Viande et produits à base de viande. Détermination de la matière grasse totale : **NF V 04-402**, hydrolyse par HCl 4 M à 100 °C.

Produits diététique et de régime. Arrêté du 8 septembre 1977 relatif aux méthodes officielles d'analyses.

Savons. Détermination en alcali total et en matières grasses totales : **NF T60-304** et **ISO 685**.

1.2 Méthodes physiques

1.2.1 Résonance magnétique nucléaire RMN basse résolution

La RMN basse résolution est basée sur la mesure, par spectrométrie de résonance magnétique nucléaire à basse résolution et à onde pulsée, de la teneur en composés liquides contenant de l'hydrogène. Méthode rapide et non destructrice, la RMN nécessite de connaître la nature de la matière grasse car l'appareil doit être étalonné avec un corps gras identique à celui que l'on veut doser. Elle ne peut s'appliquer à des composés contenant des corps gras inconnus.

Exemple

Graines oléagineuses. Détermination de la teneur en huile méthodes par spectrométrie de résonance magnétique nucléaire à basse résolution : **NF-V-03-907**.

Cette norme a été remplacée par la norme **NF EN ISO 10565** (graines oléagineuses : Détermination simultanée de la teneur en huile et en eau – Méthode par spectrométrie par résonance magnétique nucléaire pulsée). La RMN pulsée permet de distinguer les protons de l'eau des protons de l'huile en s'affranchissant du séchage de l'échantillon.

1.2.2 Infrarouge IR

L'analyse de la matière grasse dans les **produits laitiers** par infrarouge fait l'objet de deux normes :

– la norme **NF ISO 9622** (Lait et produits laitiers fluides – Ligne directrice pour l'application de la spectrométrie dans le moyen infrarouge) pour l'analyse quantitative de la composition du lait et des produits laitiers liquides. Elle est applicable à l'analyse du lait de vache, chèvre, brebis, bufflonne... ;

– la norme **NF ISO 21543** (Produits laitiers – Ligne directrice pour l'application de la spectrométrie dans le proche infrarouge) pour la détermination de la teneur en matières solides totales, en matières grasses et en protéines dans le fromage, de la teneur en humidité, en protéines et en lactose dans le lait en poudre, dans le lactosérum concentré et dans la poudre de bas beurre, et la teneur en

humidité, en matières grasses, en matières sèches non grasses et en sel dans le beurre. C'est une méthode basée sur le principe que les différents constituants des produits alimentaires présentent des spectres d'absorption caractéristiques dans le proche infrarouge, mais se chevauchant. Les auteurs ont montré que l'on peut s'affranchir de la superposition des pics de chaque composé en réalisant des mesures à six longueurs d'onde différentes. Un traitement mathématique des spectres conduit à un système de trois équations. Il est alors possible de déterminer à la fois l'humidité, les protéines et les matières grasses. Comme pour la RMN, il est nécessaire d'étalonner l'appareil afin de déterminer les constantes spécifiques de chaque constituant pour chaque type de produit à analyser.

2. Détermination des caractéristiques physiques

2.1 Masse volumique – Densité

La détermination de la masse volumique est réalisée à l'aide d'un **pycnomètre** selon la méthode normalisée **NF EN ISO 6883** (Corps gras d'origines animale et végétale – Détermination de la masse volumique conventionnelle (poids du litre dans l'air)). On peut exprimer la masse volumique absolue (dans le vide) mais comme cette détermination est généralement utilisée pour transformer une masse d'huile en volume, on préfère utiliser le poids du litre d'huile dans l'air. Les méthodes font référence à la masse volumique de l'eau, masse volumique différente selon la méthode ISO ou la méthode UICPA (tableau 1).

Il est possible aussi d'utiliser un **densimètre électronique**, dont le fonctionnement est basé sur le maintien en oscillation d'un tube en U (volume environ 1 ml) rempli de liquide dont la mesure de la fréquence résultante est directement proportionnelle à la masse volumique du liquide à mesurer. Cette méthode vient d'être normalisée, en 2015, par la norme **NF ISO 18301** (Corps gras d'origines animale et végétale – Détermination de la masse volumique conventionnelle (poids du litre dans l'air) – Méthode du tube en U oscillant).

2.2 Indice de réfraction

L'indice de réfraction des huiles varie en fonction de leur insaturation. Le mesurage est normalisé par la méthode **ISO 6320** (Corps gras d'origines animale et végétale. Détermination de l'indice de réfraction). Il est réalisé à 20 °C pour les huiles fluides et à 40 °C pour les graisses. L'indice de réfraction est mesuré à l'aide de réfractomètres, type Abbe, thermostatés. Il est lié à la température (0,00035 par degré au voisinage de 20 °C) (tableau 1).

2.3 Couleur

Les méthodes permettant de déterminer la couleur des corps gras sont nombreuses. Les plus utilisées comparent visuellement la couleur de l'échantillon à des étalons conventionnels :

– méthode Lovibond® (Corps gras d'origines animale et végétale. Détermination de la couleur Lovibond **NF ISO 15305** et Corps gras d'origines animale et végétale. Détermination de la couleur Lovibond, méthode automatique **NF ISO 27608**) ;

– méthode FAC qui consiste à « encadrer » la couleur entre 2 des 29 verres proposés ;

– méthode Gardner qui consiste à « encadrer » la couleur entre 2 des 18 verres proposée (Standard test method for color of transparent liquid : Gardner color scale – **ASTM D 1544**).

Tableau 1 – Indices physiques des principaux corps gras [6] [7]

Corps gras	X (°C)	Densité relative d_{20}^X	Viscosité à X °C (mPa·s)	Indice de réfraction n_D^X
Amande	20	0,911 à 0,917	66 à 76	1,417 à 1,472
Arachide	20	0,912 à 0,920	68 à 82	1,460 à 1,474
Argan	20	0,906 à 0,919	–	1,463 à 1,472
Carthame	20	0,910 à 0,927	52 à 75	1,470 à 1,478
Coco	40	0,908 à 0,921	17 à 20	1,448 à 1,450
Coton	20	0,917 à 0,926	65 à 69	1,470 à 1,473
Colza	20	0,910 à 0,920	72 à 97	1,472 à 1,473
Maïs	20	0,917 à 0,925	55 à 66	1,474 à 1,477
Noisette	20	0,912 à 0,915	66 à 76	1,470 à 1,471
Noix	20	0,924 à 0,926	–	1,475 à 1,476
Lin	20	0,928 à 0,933	42 à 47	1,479 à 1,484
Olive	20	0,910 à 0,916	75 à 79	1,4677 à 1,4707
Palme	50	0,891 à 0,899	25 à 31	1,454 à 1,456
Palmiste	40	0,899 à 0,914	17 à 20	1,448 à 1,452
Pépin de raisin	20	0,920 à 0,926	53 à 58	1,467 à 1,477
Ricin	20	0,955 à 0,968	950 à 1 100	1,476 à 1,481
Saindoux	60	0,876 à 0,877	17 à 20	1,450 à 1,451
Sésame	20	0,915 à 0,924	64 à 67	1,474 à 1,477
Soja	20	0,919 à 0,925	53 à 58	1,466 à 1,477
Suif	80	0,875 à 0,877	19 à 20 (à 60 °C)	1,450 à 1,451 (à 60 °C)
Tournesol	20	0,918 à 0,923	51 à 57	1,461 à 1,468
Tournesol oléique	20	0,909 à 0,915	–	1,467 à 1,476

d_{20}^X densité relative d'un corps à X °C par rapport à l'eau à 20 °C.
 n_D^X indice de réfraction à X °C par rapport à la longueur d'onde de la raie D du sodium (589 nm).

Il existe des appareils « comparateur de couleur » commercialisés par Lovibond Tintometer Ltd et accessibles notamment auprès des fournisseurs de matériels scientifiques permettant de déterminer la couleur avec une plus grande fiabilité par rapport à des méthodes non automatiques.

2.4 Viscosité

Il n'existe pas de méthode particulière pour mesurer la viscosité des corps gras. On utilise les méthodes par écoulement employées pour les produits pétroliers (détermination pour le point d'écoulement des produits pétroliers **ISO 3016**).

La viscosité diminue en fonction de l'insaturation des chaînes grasses ainsi qu'avec la température. Elle augmente avec l'oxydation en raison de la formation de produits de polymérisation.

Pour la plupart des corps gras, elle est comprise entre 50 et 80 mPa·s à 20 °C et décroît jusqu'à 6 à 8 mPa·s à 100 °C, exception faite pour l'huile de ricin (tableau 1).

2.5 Point de fusion

La norme **ISO 6321** (Corps gras d'origines animale et végétale – Détermination du point de fusion en tube capillaire ouvert) décrit deux méthodes qui se différencient selon le polymorphisme des corps gras. Le principe de la mesure est le même pour les deux

méthodes. Il consiste à mesurer la température à laquelle une colonne de corps gras, dans un tube capillaire immergé dans l'eau, commence à se déplacer lorsque l'on augmente la température. La différence entre les deux méthodes intervient au niveau de la préparation de l'échantillon. En annexe de la norme, une méthode particulière est décrite pour la préparation d'échantillons d'huile de palme.

2.6 Point de fumée – Point d'éclair

Le **point de fumée**, dont la détermination est très imprécise, est la température à laquelle le corps gras, chauffé dans des conditions précises, se décompose et se dénature en émettant des fumées de façon continue.

On utilise l'appareil de Cleveland pour réaliser cette mesure.

Le **point d'éclair** est la température à laquelle se produit, en présence d'une flamme, l'inflammation nette des vapeurs de l'échantillon.

On utilise l'appareil de Pensky-Martens pour cette détermination (détermination du point d'éclair avec la méthode Pensky-Martens en vase clos **NF ISO 15267**).

Point de fumée et point d'éclair varient considérablement en fonction de l'acidité libre de l'échantillon.

Le point d'éclair est utilisé pour évaluer la teneur en hexane résiduaire des corps gras, en particulier lors du transport (supérieur à 250 °C). La teneur en hexane résiduaire peut être désormais déterminée par chromatographie en phase gazeuse selon les normes :

– Corps gras d'origines animale et végétale. Dosage de l'hexane technique résiduel **NF EN ISO 9832** pour les fortes teneurs (10 à 1500 ppm) dans les huiles brutes ;

– Corps gras d'origine animale et végétale. Détermination des faibles teneurs en hexane technique résiduel **NF T 60-257** pour les faibles teneurs (< 10 ppm) dans les huiles raffinées.

2.7 Teneur en solide

La teneur en solide d'une phase grasse constitue un élément important pour la connaissance des propriétés rhéologiques d'une graisse.

Cette teneur en solide peut être approchée de différentes manières, aucune méthode ne donnant de résultat absolu.

Dilatométrie (UICPA 2-141) : détermination d'un volume de poids connu de graisse à diverses températures au-dessous de 60 °C. Après fusion à 60 °C, le corps gras est porté à 0 °C pendant 90 min puis 30 min à 10 °C, puis de 5 °C en 5 °C jusqu'à 60 °C. Pour chaque température, le volume est mesuré et la dilatation calculée en ml/kg.

Calorimétrie : mesure de la quantité de chaleur qu'il faut fournir à chaque instant à un mélange de triglycérides pour élever sa température (de 0,5 à 2 °C par minute).

Résonance magnétique nucléaire à onde continue (UICPA 2-150).

Résonance magnétique nucléaire pulsée (Corps gras d'origines animale et végétale. Détermination de la teneur en corps gras solides par résonance magnétique nucléaire (RMN) pulsée – **NF EN ISO 8292-1**, méthode directe). Après une impulsion de radiofréquence à 90°, les signaux de décroissance de la magnétisation des protons dans les phases solide et liquide sont mesurés à deux temps différents. La teneur en corps gras solide est alors calculée.

Résonance magnétique nucléaire pulsée (Corps gras d'origines animale et végétale. Détermination de la teneur en corps gras solides par résonance magnétique nucléaire (RMN) pulsée – **NF EN ISO 8292-2**, méthode indirecte). Après une impulsion de

3. Détermination des indices de base

3.1 Indice de saponification

L'**indice de saponification IS** est la quantité d'hydroxyde de potassium, exprimée en milligrammes, nécessaire pour saponifier 1 g de corps gras.

Cet indice est déterminé suivant la norme **NF ISO 3657** (Corps gras d'origines animale et végétale – Détermination de l'indice de saponification).

Il est nécessaire d'opérer :

– en phase homogène ;

– à température élevée en présence d'un excès d'une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium.

Cet excès est ensuite dosé en retour, ce qui permet de déterminer la quantité d'hydroxyde de potassium consommée.

L'indice de saponification rend compte de la longueur des chaînes hydrocarbonées des acides gras (tableau 2).

Tableau 2 – Indices de saponification et d'iode [6] [7]

Corps gras	Indice de saponification	Indice d'iode
Amande	189 à 196	92 à 106
Arachide	188 à 196	85 à 110
Argan	189 à 199	91 à 110
Coco	250 à 264	6 à 9
Coton	189 à 198	103 à 115
Colza	170 à 193	100 à 117
Maïs	187 à 195	103 à 128
Noisette	190 à 195	82 à 95
Noix	189 à 198	135 à 151

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Analyse des lipides

Constituants mineurs, qualité et authenticité

par **Véronique OLLIVIER**

*Ingénieure de laboratoire, responsable de la section d'analyse des corps gras végétaux
Service commun des laboratoires auprès de la DGCCRF et de la DGDDI, Laboratoire de
Marseille, France*

Denis OLLIVIER

*Directeur de laboratoire, responsable d'Unité
Service commun des laboratoires auprès de la DGCCRF et de la DGDDI, Laboratoire de
Marseille, France*

et **Jacques ARTAUD**

*Professeur émérite
Aix-Marseille Université. LISA, EA4672, Équipe METICA, Marseille, France*

3

1. Détermination des constituants mineurs	P 3 327 - 2
2. Paramètres de qualité	— 9
3. Contaminants	— 10
4. Recherche de l'authenticité	— 12
5. Différents référentiels de normes	— 15
6. Conclusion	— 16
7. Glossaire et sigles	— 16
Pour en savoir plus	Doc. P 3 327

Les lipides, utilisés comme **corps gras alimentaires ou industriels**, sont constitués d'un ensemble hétérogène de familles chimiques comportant des triglycérides (triacylglycérols), des diglycérides, des monoglycérides, des phospholipides, des acides gras libres, des stérols, des esters de stérols, des alcools, des pigments (caroténoïdes, chlorophylles), des tocophérols, des hydrocarbures...

Les **lipides biologiques** comportent des triglycérides, des acides gras et des phospholipides mais aussi des lipides complexes tels que les phosphoglycérides, les sphingolipides, les glycolipides et les polycétides.

Les **corps gras** sont appelés « **Huile** » lorsqu'ils sont liquides à la température ambiante et « **Graisse** », suivie de l'indication animale ou végétale selon l'origine de l'extraction si elle solide (concrète) à la température de 15 °C (cf. réglementation en vigueur). Cet état physique différent provient de leur composition en acides gras. Les huiles sont plus riches en acides gras insaturés que les graisses.

Les lipides sont une famille de composés essentiels à la vie au même titre que les glucides et les protides. Ils ont un rôle essentiel comme :

- constituants de la membrane cellulaire ;
- éléments nutritionnels ;
- réserve d'énergie ;
- isolant thermique...

1 g de corps gras fournit 9 kcal ou 37,6 kJ.

Les termes de corps gras ou de matières grasses sont plutôt réservés aux triglycérides et désignent les huiles et graisses présentes dans les produits alimentaires.

En fait, les corps gras sont un mélange complexe de lipides qui se classent en deux grands domaines :

- les composés saponifiables (90 à 98 %) réagissant avec un réactif alcalin (NaOH, KOH...);
- les composés insaponifiables (2 à 10 %) ne réagissant pas avec un réactif alcalin.

Cet article concerne principalement les **composés insaponifiables**. Il traite du fractionnement de l'insaponifiable et de l'analyse des différentes familles de composés qui le constitue : stéroïdes, alcools triterpéniques, hydrocarbures, tocophérols, cires, pigments et vitamines. Il aborde la détermination des paramètres de qualité ainsi que les contaminants. Il décrit les méthodes de recherche de l'authenticité.

La fraction saponifiable fait l'objet de l'article précédent [P 3 325]. Comme il est d'usage dans la profession, les pourcentages indiqués sont, sauf précision contraire, **massiques**.

Un **glossaire** et un **tableau de sigles** sont donnés en fin d'article.

1. Détermination des constituants mineurs

La fraction insaponifiable représente en général 2 à 10 % des corps gras. Elle est constituée d'un ensemble de familles de composés chimiques (hydrocarbures, tocophérols, tocotriénols, phytostéroïdes, composés phénoliques, pigments...) comportant chacune un nombre plus ou moins important de constituants. L'analyse des composants de chaque famille nécessite généralement un fractionnement préalable de l'insaponifiable.

1.1 Fractionnement de l'insaponifiable

Le corps gras est saponifié par de l'hydroxyde de potassium éthanolique à ébullition. Après avoir rajouté de l'eau au contenu réactionnel, l'insaponifiable est extrait par de l'éther diéthylique ou de l'hexane. Le solvant est évaporé, le résidu est pesé après séchage.

L'existence de deux normes indiquant deux solvants d'extraction différents est due à des conditions climatiques ou réglementaires qui ne permettent pas l'utilisation d'éther diéthylique :

- **NF EN ISO 3596** (Corps gras d'origine animale et végétale – Détermination de la teneur en matières insaponifiables. Méthode par extraction à l'oxyde diéthylique) ;
- **NF EN ISO 18609** (Corps gras d'origine animale et végétale – Détermination de la teneur en matières insaponifiables – Méthode par extraction à l'hexane).

Les deux méthodes ne sont pas applicables aux cires et, de façon plus générale, aux corps gras à teneurs élevées en matières insaponifiables. La méthode d'extraction à l'hexane donne des résultats systématiquement plus faibles que la méthode à l'oxyde

d'éthyle. La détermination de la teneur en insaponifiable est un élément de caractérisation d'un corps gras.

L'insaponifiable est fractionné par **chromatographie planaire (CP) sur gel de silice**. De nombreux systèmes de solvants peuvent être utilisés : chloroforme-oxyde diéthylique 8-2 v/v, hexane-oxyde diéthylique 7-3 v/v, hexane-acétate d'éthyle 8-2 v/v. Le fractionnement s'effectue généralement en fonction de la polarité décroissante des familles de composés.

À titre d'exemple, les hydrocarbures (apolaire) ont un rapport frontal R_f de 0,97 tandis que les stéroïdes (polaire) ont un R_f de 0,25. La révélation est effectuée par pulvérisation de dichloro-2,7-difluorescéine ou de rhodamine B qui ne réagissent pas avec les composés en vue de leur analyse ultérieure.

L'échantillon est déposé sous forme d'une bande sur la largeur de la plaque (figure 1). Après développement, révélation et identification des bandes, la silice correspondant aux familles de composés à analyser est grattée puis extraite à l'aide de divers solvants (chloroforme, éther diéthylique, dichlorométhane). L'extraire est filtré, séché puis concentré par évaporation.

Le fractionnement peut aussi être réalisé par chromatographie liquide sur **colonne de silice (à pression atmosphérique (CPL) ou à haute pression (CLHP))** ou d'**alumine (NF EN ISO 12228-1, cf. § 1.2)**. Une méthode par CLHP, automatisable, sur colonne de silice, permet de fractionner l'insaponifiable à l'aide d'un mélange éluant hexane-isopropanol 99-1 v/v et d'une détection réfractométrique. Les composés élués sont récupérés à l'aide d'un collecteur de fractions.

Un exemple d'application est donné pour la séparation des stéroïdes dans la norme **NF T60-254** (§ 1.2).

La figure 2 montre un chromatogramme d'insaponifiable qui présente l'avantage par rapport au fractionnement par CP de séparer les Δ^5 des Δ^7 -stéroïdes.

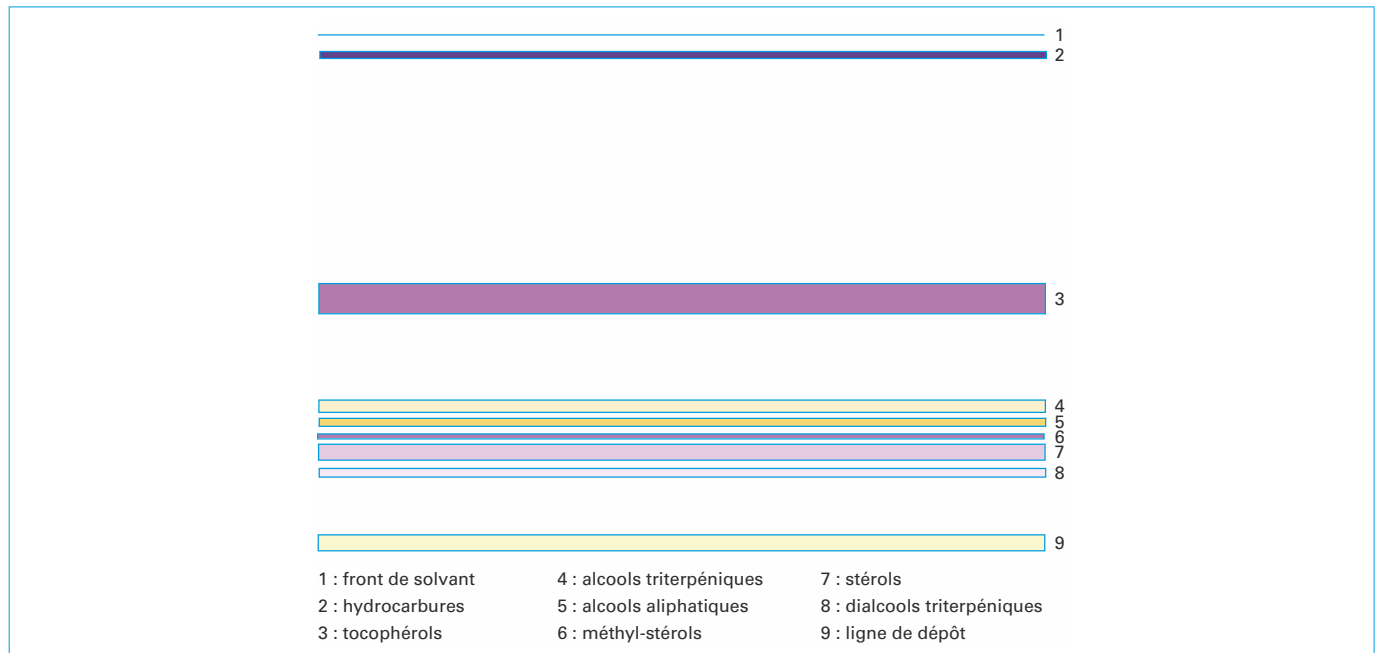


Figure 1 – Fractionnement de l'insaponifiable par chromatographie plane

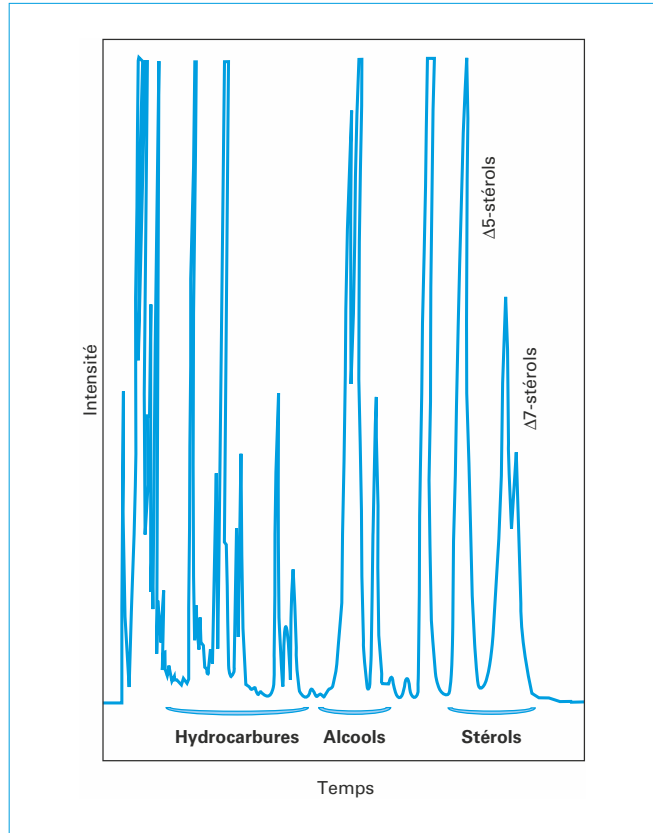


Figure 2 – Fractionnement par chromatographie liquide sur une colonne de silice d'un insaponifiable d'huile de tournesol

1.2 Fraction stérolique

Les stérols constituent le dernier maillon de la filière triterpénique dont l'origine est le squalène. La composition stérolique est un des critères de caractérisation des corps gras. Les graisses animales contiennent le cholestérol comme stérol ultra-majoritaire (98 %) tandis que la fraction stérolique issue des lipides végétaux se compose de plusieurs $\Delta 5$ -stérols parmi lesquels le β -sitostérol est généralement prépondérant. Ces $\Delta 5$ -stérols sont généralement accompagnés de $\Delta 7$ -stérols. Toutefois, certaines familles botaniques sont très riches en $\Delta 7$ -stérols avec l' α -spinastérol comme stérol majoritaire (huile d'argan) (figure 3).

Les stérols sont des alcools triterpéniques tétracycliques (fonction hydroxyle sur le carbone 3) représentant 30 à 60 % de l'insaponifiable.

Les stérols peuvent être analysés d'un point de vue qualitatif selon la norme **NF T60-232** (Corps gras d'origine animale et végétale – Détermination de la composition de la fraction stérolique – Méthode par chromatographie en phase gazeuse).

La teneur en stérols totaux peut être déterminée en **chromatographie phase gazeuse CPG** avec précision par la méthode d'étalonnage interne suivant les normes :

- **NF T60-254** (Corps gras d'origine animale et végétale – Détermination de la composition de la fraction stérolique – Méthode par chromatographie en phase gazeuse avec isolement des stérols totaux par HPLC) ;
- **NF EN ISO 12228-1** (Corps gras d'origine animale et végétale – Détermination de la teneur en stérols individuels et totaux – Méthodes par chromatographie en phase gazeuse – Partie1) ;
- **NF EN ISO 12228-2** (Huile d'olive et huile de grignons d'olive – Détermination de la composition et de la teneur en stérols et en dialcools triterpéniques par chromatographie en phase gazeuse) ;
- **NF T 60-249** [Corps gras d'origine animale et végétale – Dosage des faibles teneurs en cholestérol (étalon : solution de bétulinol ou α -cholestanol introduite avant l'étape de saponification)].

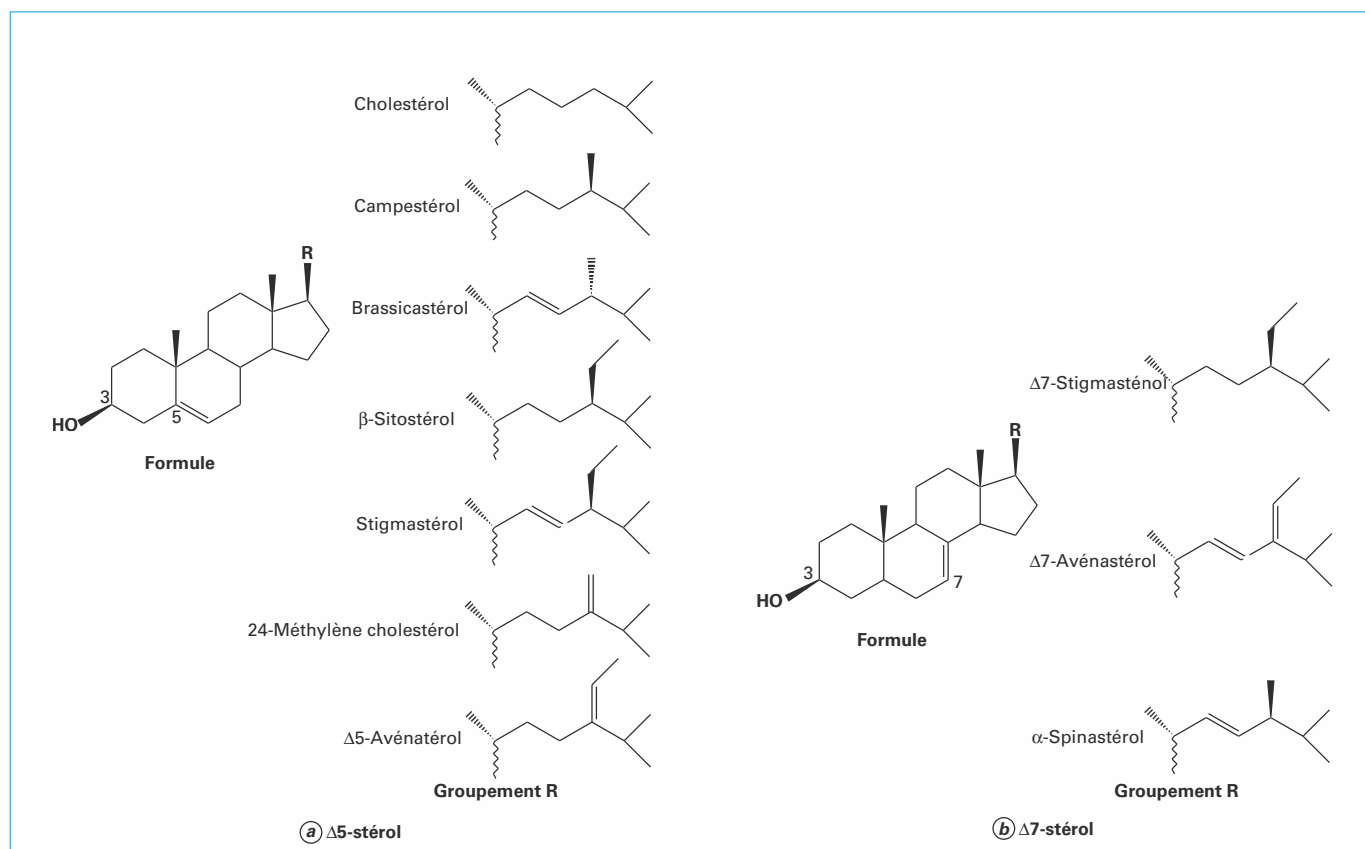


Figure 3 – Formules des principaux $\Delta 5$ - et $\Delta 7$ -stérols

La teneur en stérols peut être aussi déterminée par **méthode enzymatique** : oxydation enzymatique des stérols à l'aide d'une cholestérol oxydase, puis d'une catalase, formant un formaldéhyde. Le formaldéhyde réagit avec le pentane-2,4-dione pour former de la ludine dosée par spectrométrie à 405 nm selon la norme **NF EN ISO 11702** (Corps gras d'origine animale et végétale. Détermination enzymatique de la teneur en stérols totaux).

Les stérols doivent être transformés en dérivés suffisamment volatils pour être analysés par chromatographie en phase gazeuse.

Les figures **4a** et **b**, donnent les compositions stéroliques d'une huile d'olive caractérisée par sa richesse en $\Delta 5$ -stérols et d'une huile d'argan constituée principalement de $\Delta 7$ -stérols.

1.3 Alcools triterpéniques

Les **alcools triterpéniques**, les **méthylstérols** et les **stérols** se

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Huile de palme

Défis renouvelés de la durabilité

par **Alain RIVAL**

*Docteur en biologie de l'université de Montpellier
HDR en sciences de la vie de l'université de Paris-Sud, Orsay,
Correspondant filière palmier à huile,
Directeur régional pour l'Asie du Sud-Est Insulaire, Cirad, Jakarta, Indonésie*

3

1. Filière mondialisée, ancrée au sud	F 6 075v2	- 2
2. Oléagineuse d'exception aux utilisations multiples	—	5
2.1 Palmiers et huiles	—	5
2.2 Usine à huile naturelle	—	5
2.3 Utilisations multiples	—	5
2.4 Systèmes de production diversifiés et plasticité agronomique	—	5
3. Cohabitation délicate	—	6
4. De la déforestation à l'exploitation durable	—	6
4.1 Planifier les paysages	—	6
4.2 Intensification écologique	—	6
5. Conditions d'une exploitation durable	—	7
6. Certification internationale	—	8
7. Approvisionnement en huile de palme durable	—	9
7.1 <i>Book and Claim</i> (Commande et Demande)	—	9
7.2 <i>Mass Balance</i> (Bilan de masse)	—	9
7.3 <i>Seggregated</i> (Ségrégré)	—	9
7.4 <i>Identity Preserved</i> (Identité Préservée)	—	10
7.5 Étiquetage des produits manufacturés	—	10
8. Conclusion	—	12
9. Glossaire	—	12
Pour en savoir plus	Doc. F 6 075v2	

La production et la transformation de l'huile de palme s'organisent autour d'une filière agro-industrielle globalisée, complexe, dont les acteurs sont porteurs d'intérêts multiples, et souvent antagonistes.

La controverse publique autour de l'huile de palme, comme pour bien d'autres sujets (paraben, OGM ou gaz de schiste) s'est nourrie et amplifiée de simplifications à outrance, d'attaques caricaturales ou de raccourcis ravageurs, qui ont progressivement éloigné le débat des vraies questions scientifiques, dans les domaines de l'agronomie, de la nutrition, de l'économie ou des sciences sociales.

Ainsi, consommateurs, élus, scientifiques se retrouvent dans l'obligation de choisir leur camp : pro- ou antihuil de palme, sans nuance possible, et bien peu d'entre eux sont prêts à changer d'opinion.

Les ONG de conservation insistent sur l'impact négatif de l'expansion du palmier à huile sur les forêts primaires tropicales, ultimes réservoirs de biodiversité. Les relations entre déforestation et palmier sont complexes et très

souvent indirectes. Les problèmes causés par la déforestation sous les tropiques humides ne viennent pas du palmier en tant que plante, mais du mode de développement choisi pour son exploitation.

Quand elle est correctement planifiée par les gouvernements locaux ou régionaux, l'implantation du palmier à huile se traduit le plus souvent par un fort développement économique dans les régions concernées et une importante réduction de la pauvreté rurale. Mal encadrée, l'extension des plantations provoque la disparition de forêts à grande valeur de conservation, avec des impacts négatifs sur la faune et la flore sauvage, les populations locales et les communautés indigènes.

La mise en place de projets de plantation offre aux gouvernements et à l'ensemble des parties prenantes une opportunité unique de développer une stratégie partagée, capable d'orienter l'expansion rapide et le développement durable du secteur. Cette concertation doit se baser sur un partenariat équitable et prendre appui sur les standards de certification nationaux ou internationaux obligatoires et vérifiables. La table ronde pour une huile de palme durable (RSPO – Roundtable on Sustainable Palm Oil) est une initiative business to business, forte à sa création en 2004 d'une dizaine de membres, acteurs privés de la filière (dont Unilever) et ONG (dont WWF) avec pour objectifs la promotion et la certification de pratiques durables dans la production d'une huile de palme durable. Depuis sa création, la certification internationale RSPO repose sur des principes et des critères en constante amélioration. L'initiative est toutefois jugée peu coercitive et insuffisante par certaines ONG, qui lui reprochent aussi la lenteur de sa mise en œuvre, malgré les progrès considérables accomplis en plus de quinze ans. La France a par ailleurs signé le 7 décembre 2015 la « Déclaration d'Amsterdam ». Cette déclaration, intitulée « Towards Eliminating Deforestation from Agricultural Commodity Chains with European Countries » (Vers l'élimination de la déforestation des chaînes des produits agricoles de base avec les pays européens), soutient une chaîne de production d'huile de palme entièrement durable, et la fin de la déforestation à l'horizon 2020. Cette volonté de transformation de la filière est toutefois atténuée par les décisions politiques européennes récentes sur les biocarburants (REDD+ pour Réduction des Émissions liées à la Déforestation et à la Dégrada-tion des forêts dans les pays en développement) qui auront pour conséquence directe à terme un arrêt des importations d'huile de palme.

Le présent article vise à faire comprendre les moteurs et les défis qui animent une filière agricole tropicale souvent sous les feux des projecteurs, mais rarement décrite en détail. Aujourd'hui, ses principaux acteurs s'accordent sur la nécessaire évolution des pratiques de production et de transformation vers plus de transparence, de certification des origines et de traçabilité. Les scientifiques, aux côtés des décideurs politiques, de la société civile et des acteurs industriels, ont un rôle fondamental à jouer dans la mise à disposition de résultats de recherche solides, vérifiés et partagés. Leur rôle est plus que jamais de fournir des clés crédibles et accessibles à un débat public serein et constructif.

Le lecteur trouvera en fin d'article un glossaire des termes utilisés.

1. Filière mondialisée, ancrée au sud

Originaire du golfe de Guinée en Afrique de l'Ouest, le palmier à huile est exclusivement cultivé dans les zones tropicales humides (figure 1), où il constitue une importante source de devises pour les économies locales, à la fois pour l'exportation et comme matière première pour l'industrie de transformation locale.

La production mondiale d'huile de palme est aujourd'hui majoritairement assurée par deux pays, l'Indonésie et la Malaisie, qui

totalisent à eux seuls 84 % des approvisionnements (figure 2) (tableau 1).

La consommation est tirée par les pays du Sud, portée à la fois par la croissance démographique et l'élévation du niveau de vie dans les pays émergents comme l'Inde, l'Indonésie ou la Chine (figure 3) (tableau 2).

En 2019, la consommation européenne a compté pour 10 % dans la balance mondiale, celle des États-Unis pour un peu moins de 2 %.

L'évolution de la production et de la consommation d'huile de palme a suivi une expansion avérée et prévisible. En effet, la consommation globale en corps gras per capita a plus que doublé entre 1975 et 2010, passant de 11 à 24,7 kg/an. La consommation



Figure 1 – Répartition géographique mondiale de la culture du palmier à huile

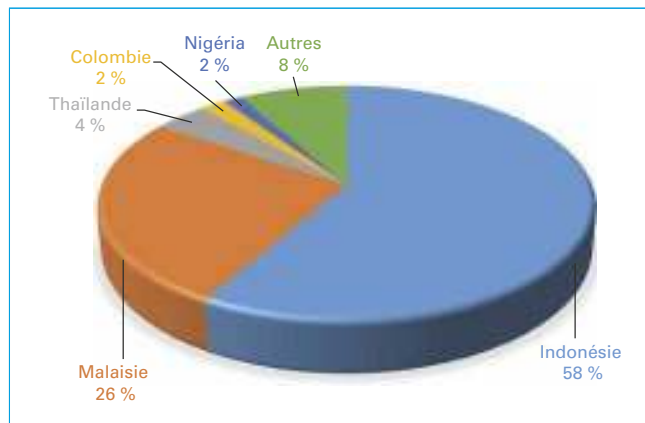
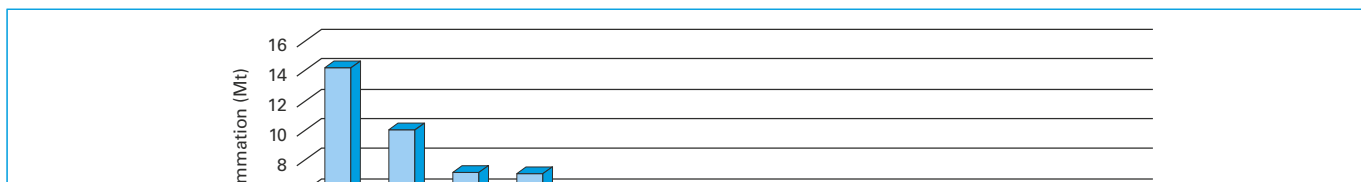


Figure 2 – Répartition de la production mondiale d'huile de palme (USDA 2020)

Tableau 1 – Pays producteurs majeurs dans la filière huile de palme (en Mt)
(United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, 2020)

Pays	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020
Indonésie	32,000	36,000	39,500	41,500	42,500
Malaisie	17,700	18,858	19,68*3	20,800	19,000
Thaïlande	1,804	2,500	2,780	2,900	3,000
Colombie	1,268	1,099	1,633	1,625	1,529
Nigeria	0,955	0,990	1,025	1,015	1,015
Autres	5,129	5,735	6,004	6,058	5,950
Total	58,856	65,182	70,625	73,898	72,944



La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.



Filière de production : produits d'origine végétale

(Réf. Internet 42433)

1- Légumes et légumineuses

2- Céréales

3- Huiles végétales

4- Sucres

	Réf. Internet	page
Procédés de transformation en sucrerie (partie 1)	F6150	65
Procédés de transformation en sucrerie (partie 2)	F6151	69
Lecture automatique de la propreté du sucre par analyse d'images	RE27	73
Glucides et alimentation : aspects physicochimiques	F6152	75
Glucides et alimentation : aspects physiologiques, nutritionnels et sanitaires	F6153	81
Glucides et alimentation : aspects technologiques	F6154	85
Produits de confiserie	F8030	91

5- Thé, café et cacao

6- Bières

7- Fruits

8- Algues



Sur www.techniques-ingenieur.fr

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires

Procédés de transformation en sucrerie (partie 1)

par **Martine DECLoux**

Professeure en Génie des procédés à l'École nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires (ENSI A)

1. Données générales	F 6 150 - 2
1.1 Contexte économique	— 2
1.2 Composition de la betterave.....	— 2
1.3 Éléments de chimie sucrière.....	— 3
1.4 Procédé général d'extraction.....	— 3
2. Stockage, réception et lavage des betteraves	— 4
2.1 Stockage.....	— 5
2.2 Réception.....	— 5
2.3 Alimentation de l'usine	— 5
2.4 Lavage des betteraves.....	— 5
2.5 Traitement de l'eau de lavage des betteraves.....	— 6
3. Extraction du sucre	— 7
3.1 Choix du mode d'extraction	— 7
3.2 Paramètres de la diffusion.....	— 8
3.3 Conduite d'une diffusion.....	— 9
3.4 Traitement des pulpes.....	— 12
4. Épuration du jus de diffusion	— 14
4.1 Fabrication du lait de chaux et du gaz carbonique.....	— 14
4.2 Étapes de l'épuration.....	— 15
4.3 Préchaulage/chaulage	— 15
4.4 Première carbonatation.....	— 16
4.5 Filtration du jus trouble.....	— 17
4.6 Deuxième carbonatation et filtration	— 17
4.7 Décalcification et décoloration	— 17
Références bibliographiques	— 18
Procédés de transformation en sucrerie (partie 2)	F 6 151
Pour en savoir plus	Doc. F 6 152

4

Le sucre (saccharose) est produit à partir de la betterave sucrière ou de la canne à sucre. Ainsi, par exemple, la production mondiale, qui se chiffrait à 130,5 millions de tonnes en 2000-2001, se répartit pour environ 72 % à partir de la canne à sucre et 28 % à partir de la betterave. Dans les deux cas, du début de la filière à la production du sucre final, l'objectif des sucreries est de partir d'une matière première la plus pure possible et de produire, avec un rendement optimum, un sucre de qualité. La **sucrerie** est donc principalement une **industrie de séparation et de purification**. Un grand nombre d'opérations unitaires de séparation sont ainsi mises en œuvre, par exemple, en sucrerie de betterave :

- l'atelier de lavage élimine les impuretés extérieures à la matière première ;
- l'extraction par diffusion limite le transfert des impuretés dans le jus ;
- l'épuration calco-carbonique précipite une partie des impuretés dissoutes ;
- la concentration par évaporation multiple-effet élimine une partie de l'eau du jus ;

— et enfin la cristallisation permet de séparer le saccharose sous forme d'un cristal pur à partir d'un sirop contenant encore des impuretés.

Cet article sur les procédés de transformation dans l'industrie sucrière a pour principal objectif d'illustrer l'intégration d'un grand nombre d'opérations unitaires dans le cadre d'une filière spécifique.

Les procédés de production du sucre à partir de la betterave et de la canne à sucre diffèrent sur plusieurs points. Nous avons choisi, pour plus de clarté, de centrer cette présentation sur la production de sucre à partir des betteraves (la France en étant le premier producteur mondial en 2001) en nous appuyant plus particulièrement sur les réglages pratiqués dans les usines françaises. La première partie de l'article situe rapidement quelques notions sur la production de la betterave et la composition de celle-ci, ainsi que les critères qui permettent de juger de la qualité des jus au fil du procédé. Les paragraphes suivants sont dédiés chacun à une des grandes étapes du procédé.

Enfin, le dernier paragraphe [F 6 151] exposera les principales différences entre la sucrerie de betterave et la sucrerie de canne.

Cet article fait l'objet de trois fascicules :

- F 6 150 - Procédés de transformation en sucrerie (Partie 1) ;
- F 6 151 - Procédés de transformation en sucrerie (Partie 2) ;
- Doc. F 6 152 - Procédés de transformation en sucrerie (Pour en savoir plus).

L'abréviation bett. sera utilisée pour betterave dans les unités des indications chiffrées.

4

1. Données générales

1.1 Contexte économique

La betterave est une matière première vivante sujette à de nombreuses réactions de dégradation. Sa durée de conservation est limitée et la sucrerie est donc une industrie saisonnière avec des durées de campagne de deux à trois mois par an.

On assiste à une forte concentration de l'outil de production dont la limite sera liée aux coûts de transport des betteraves vers les sucreries. De ce fait, les usines sont situées près des zones de production, c'est-à-dire au nord de la Loire, pour la France.

Cette concentration s'accompagne d'une importante automatisation du procédé. La sucrerie est souvent considérée comme une « industrie lourde » de l'industrie alimentaire, équivalente à une industrie chimique. Mais la matière traitée subit de nombreuses dégradations aussi bien biologiques que physiques ou chimiques et les paramètres de réglage sont le plus souvent issus d'un compromis entre la nécessité de préserver le saccharose et les contraintes de productivité et de rendement.

Les données économiques (productions, consommations, prix moyen de vente au détail) sont indiquées dans la documentation (Pour en savoir plus [Doc. F 6 152]), [5].

1.2 Composition de la betterave

La culture de la betterave (figure 1) pour le sucre ne comporte que la phase végétative. La racine est la réserve où s'accumule le sucre élaboré par le bouquet foliaire. La qualité de la betterave est un paramètre important. En effet, à côté du saccharose noté (S) et de l'eau notée (E), la betterave contient des non-sucre (autres que

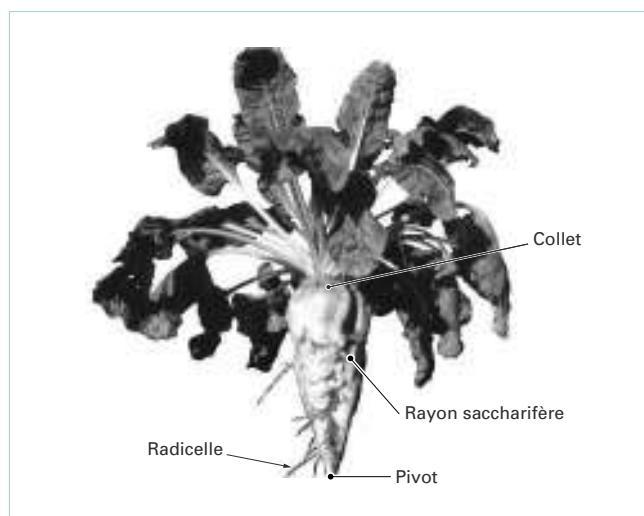


Figure 1 – Betterave sucrière

saccharose notés NS) qui limitent le rendement d'extraction. Parmi ces composés, on peut citer le potassium, le sodium, le glucose, le raffinose et l'azote sous forme α -aminé.

Le saccharose (figure 2) est un diholoside formé de la liaison du glucose et du fructose. C'est un sucre non réducteur de masse molaire 342 g/mol. Il est très soluble dans l'eau et les solutions impures. Sous forme cristalline sa densité est de 1 588 kg/m³ et son point de fusion de 160 °C, mais il se décompose à partir de 150 °C.

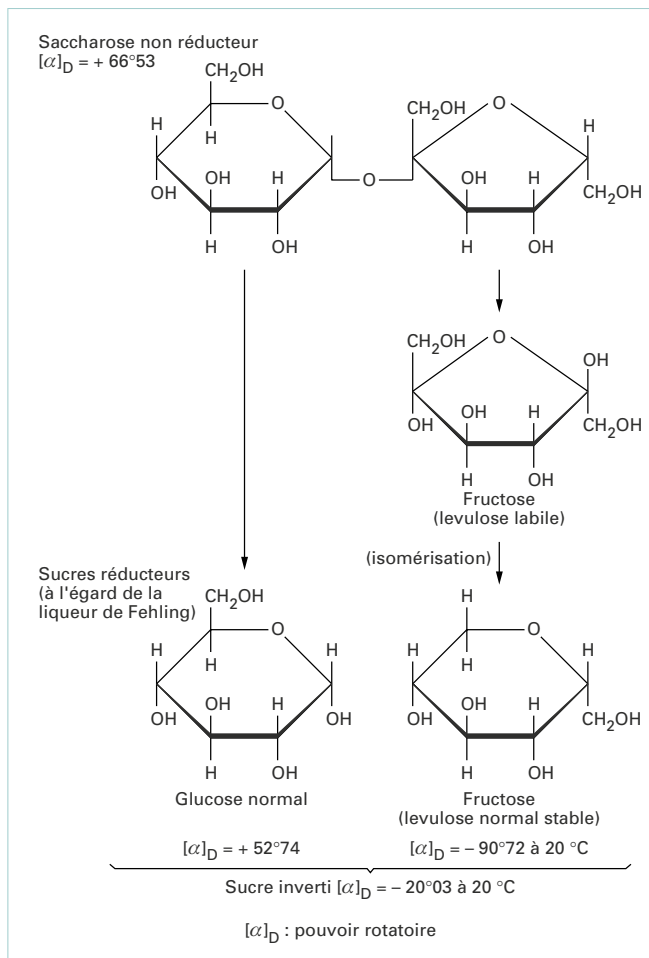


Figure 2 – Saccharose et sucres réducteurs (inversion du saccharose)

1.3 Éléments de chimie sucrière

La profession sucrière s'est associée au niveau international pour mettre au point les techniques d'analyses des différents produits de la sucrerie. Ainsi l'ICUMSA (*International commission on uniform methods of sugar analysis*) est constituée de différents groupes de travail étudiant les améliorations possibles à apporter aux techniques existantes. L'ensemble des méthodes reconnues par la profession sont rassemblées sous forme de fiches dans un classeur facilitant leur actualisation [1].

1.3.1 Brix, polarisation et pureté

Il est d'usage courant dans les sucreries de caractériser la teneur en matières sèches des solutions par la mesure de l'indice de réfraction à 20 °C. Seules sont prises en compte les matières dissoutes. Le réfractomètre étalonné à l'aide de solutions pures de saccharose fournit directement le degré brix exprimé en grammes de matière sèche pour 100 g de produit (gMS/100 g) (cf. article *Réfractométrie et interférométrie en analyse chimique* [P 500] Traité Analyse et Caractérisation). Pour les solutions très concentrées et impures, il est nécessaire de diluer le produit avant la mesure. Cette dilution et la forte présence d'impuretés peuvent induire une surévaluation de plus de deux points par rapport à la

matière sèche réelle évaluée par séchage sous vide à 65 °C. Toutefois cette dernière mesure est longue et délicate, elle n'est donc pas utilisée dans les usines.

Le brix demeure une valeur suffisante pour le suivi de fabrication mais peut induire des difficultés pour l'établissement de bilans.

La teneur en saccharose se mesure par polarimétrie. Le saccharose en solution possède un pouvoir rotatoire positif de + 66,53 (cf. article *Optique ondulatoire - Interférence. Diffraction. Polarisation* [A 191] dans le traité *Sciences fondamentales*). La concentration en saccharose d'une solution est donc proportionnelle à l'angle de rotation. Dans les saccharimètres, l'échelle donne directement la teneur en saccharose des solutions. Les solutions impures sont au préalable épurées, par précipitation des matières créant du trouble et de la coloration, au moyen d'une solution déféquante. La dilution induite par cette précipitation est prise en compte dans le calcul de la polarisation qui permet d'accéder à la concentration en sucre exprimée en grammes de saccharose pour 100 mL de solution.

La pureté de la solution (P), exprimée en grammes de saccharose pour 100 g de matière sèche (gS/100 gMS), se calcule à partir des mesures de polarisation et de brix. Ce calcul nécessite au préalable la recherche de la correspondance du brix avec le « brix volume » représentant la composition massique en matière sèche de 100 mL de solution (exprimée en gMS/100 mL) dans des tables établies à cet effet avec des solutions pures de saccharose.

1.3.2 Acidité, alcalinité, chaux totale et sels de chaux

Le jus de betterave est acide comme le jus de nombreux fruits. Au cours de l'épuration, ce jus est neutralisé (pH = 7) puis alcalinisé par ajout de chaux (CaO de masse molaire 56 g/mol). L'**acidité** est définie à partir de la quantité de produit alcalin qu'il faut pour neutraliser 100 mL de jus, alors que l'**alcalinité** est déterminée par la quantité d'acide nécessaire pour abaisser le pH de la solution jusqu'à 8, et la quantité de chaux totale en poursuivant l'acidification de la solution jusqu'à pH 4. Pour quantifier l'alcalinité ou même l'acidité, l'unité choisie est gCaO/100 mL.

Parmi les matières minérales entrant dans la composition des produits de fabrication, on prête une attention toute particulière aux sels de calcium. Une teneur élevée en « sels de chaux » peut être l'indice d'une épuration mal conduite ou d'une matière première de mauvaise qualité. Les méthodes de dosage ne donnent pas exactement les concentrations en sels de calcium mais en sels alcalino-terreux, calcium et magnésium, principalement. La méthode la plus utilisée est la méthode complexométrique (cf. article *Complexométrie* [P 320] dans le traité *Analyse et Caractérisation*).

1.4 Procédé général d'extraction

Le procédé de fabrication (figure 3) peut être décrit selon plusieurs étapes :

- réception - stockage ;
- alimentation de l'usine - lavage ;
- découpage - extraction du jus ;
- pressage et séchage des pulpes ;
- épuration des jus ;
- concentration du jus ;
- cristallisation du sucre ;
- séchage et conditionnement du sucre.

Au niveau de la fabrication, le SNFS (Syndicat national des fabricants de sucre) collecte chaque année des données de fabrication des usines et publie à leur attention un bulletin récapitulatif pour la campagne (cf. [Doc. F 6 152]). Les données chiffrées, indiquées dans cet article à **titre d'illustration**, correspondent aux valeurs de la **campagne 2001** [2].

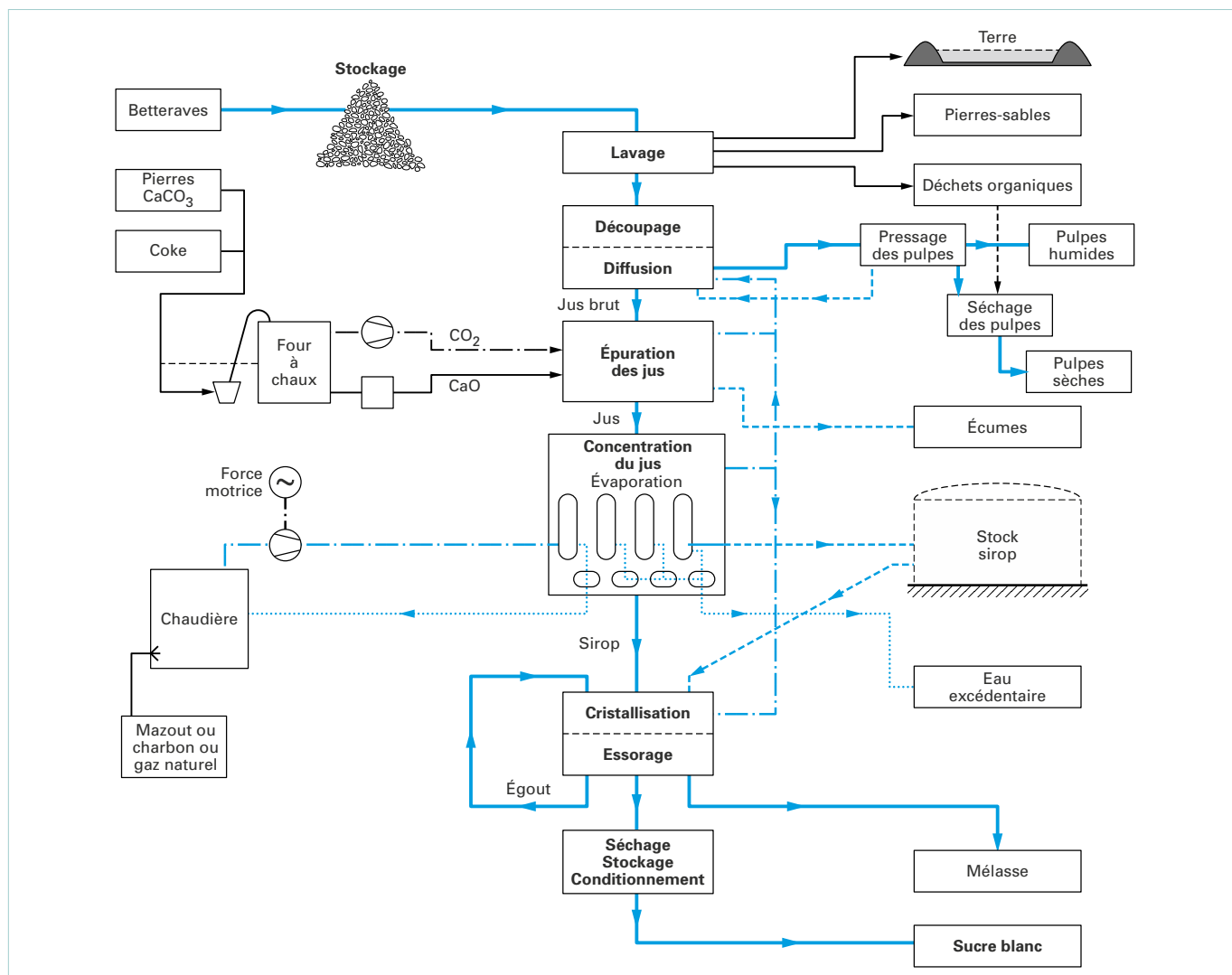


Figure 3 - Procédé de fabrication du sucre extrait de la betterave

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Procédés de transformation en sucrerie (partie 2)

par **Martine DECLoux**

Professeure en Génie des procédés à l'École nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires (ENSI A)

1. Concentration des jus et bilan énergétique	F 6 151 - 2
1.1 Optimisation de l'utilisation de l'énergie.....	— 2
1.2 Description de l'atelier d'évaporation multiple-effet.....	— 3
1.3 Production de la vapeur	— 4
1.4 Bilan thermique	— 5
2. Cristallisation du sucre	— 5
2.1 Éléments théoriques.....	— 6
2.2 Cristallisation dans les appareils à cuire en discontinu	— 9
2.3 Grossissement des cristaux dans des appareils à cuire en continu.....	— 11
2.4 Essorage.....	— 12
2.5 Épuisement des mélasses et rendement de cristallisation	— 12
3. Séchage, stockage et conditionnement	— 13
3.1 Isothermes de sorption et humidité relative d'équilibre	— 13
3.2 Séchage et stockage du sucre	— 14
3.3 Conditionnement	— 15
3.4 Qualité du sucre.....	— 15
4. Différences entre sucreries de betterave et de canne	— 15
4.1 Durée de campagne et bilan énergétique	— 15
4.2 Mode d'extraction et composition du jus.....	— 15
4.3 Mode d'épuration	— 15
4.4 Qualité du sucre de premier jet et raffinage.....	— 16
4.5 Épuisement des mélasses.....	— 16
5. Conclusion	— 16
Références bibliographiques	— 16
Pour en savoir plus	F 6 152

4

Après avoir présenté les procédés de stockage, réception, lavage des betteraves, extraction du sucre et épuration du jus de diffusion utilisés en sucrerie betteravière [F 6 150], cette seconde partie est consacrée aux procédés de concentration des jus, au bilan énergétique et à la cristallisation du sucre.

Les principales différences entre sucreries de cannes et de betteraves sont ensuite abordées.

Cet article fait l'objet de trois fascicules :

- F 6 150 - Procédés de transformation en sucrerie (Partie 1) ;
- F 6 151 - Procédés de transformation en sucrerie (Partie 2) ;
- Doc. F 6 152 - Procédés de transformation en sucrerie (Pour en savoir plus).

Les abréviations suivantes seront utilisées :

- S : sucre
- NS : non sucre
- MS : matière sèche
- E : eau

1. Concentration des jus et bilan énergétique

L'atelier d'évaporation permet de concentrer le jus avant évaporation (JAE). Il faut amener le jus à une concentration la plus proche possible de la valeur correspondant à la saturation du sucre en cristallisation. En 2001, le brix moyen du sirop en sortie de concentration était de 68,5 g MS/100 g (entre 59,7 et 73,5). Les quantités d'eau à évaporer sont très importantes.

Exemple : une usine de taille moyenne traitant 10 000 tonnes de betteraves par jour doit évaporer 340 tonnes d'eau par heure pour produire le sirop.

La consommation d'énergie des sucreries pourrait donc être très importante si une optimisation de tout le circuit n'avait été réalisée au cours du temps. L'atelier d'évaporation multiple-effet est au cœur de la sucrerie au niveau de l'énergie. Il est de ce fait difficile de dissocier cet atelier de la production de vapeur et du bilan thermique de l'ensemble de la sucrerie.

sucre et de formation de matières colorantes, notamment les produits issus de la dégradation alcaline des hexoses, s'accroissent avec l'augmentation de la concentration des solutions. La température du jus au premier corps est limitée et comprise entre 125 et 128 °C (soit une pression absolue de 2,1 à 2,6 bar_{abs}) et le dernier corps est généralement « sous-vide » grâce à la condensation de la vapeur émise dans ce corps et à l'aspiration des gaz incondensables par une pompe à vide ;

— les **échangeurs des autres ateliers de la sucrerie** (diffusion (cf. [F 6 150], § 3), épuration (cf. [F 6 150], § 4) et (§ 2) cristallisation) n'ont pas besoin de vapeurs de chauffage à très haut niveau de température (ou pression). La vapeur fournie à ces ateliers ne provient donc pas directement de la chaudière mais d'un des corps d'évaporation fournissant la vapeur au niveau de pression requis. Ainsi la vapeur utilisée dans ces échangeurs a déjà permis d'évaporer de l'eau dans les précédents corps d'évaporation ;

— le niveau de pression de vapeur requis au premier corps d'évaporation est relativement faible (3 bar_{abs}) de par la limite de température d'ébullition du jus. Or, les chaudières peuvent fournir sans problème des pressions de vapeur dites « haute pression » d'environ 40 à 45 bar (à une température de 250 à 260 °C). La sucrerie a donc depuis longtemps fait le choix de la cogénération, c'est-à-dire de produire une vapeur haute pression et d'utiliser celle-ci pour **produire l'électricité qui lui est utile** en envoyant la vapeur haute pression dans un turboalternateur. Par exemple, un débit de vapeur de 70 t/h qui passe de 42 à 2,5 bar_{abs} permet de produire 10 MW. La vapeur issue de ces turboalternateurs, dite d'échappement, est « désurchauffée » et dirigée vers le premier corps de l'évaporateur. Début 2003, en France, il n'est pas d'usage que les sucreries vendent un surplus d'électricité mais cela est susceptible d'évoluer avec l'ouverture du marché de l'électricité. Elles ne produisent donc que ce qui correspond à leur consommation. Mais dans ce cas, la quantité de vapeur d'échappement est insuffisante au besoin de vapeur de chauffage en évaporation ;

4

1.1 Optimisation de l'utilisation de l'énergie

Comme l'illustre la figure 1, les principaux **éléments d'optimisation du bilan d'énergie** sont les suivants :

— la **mise en œuvre du multiple-effet** : la vapeur et le jus circulent en parallèle pour préserver la qualité du jus (diminution de la pression du corps d'évaporation avec l'augmentation de la concentration du jus). En effet, les réactions de dégradation du

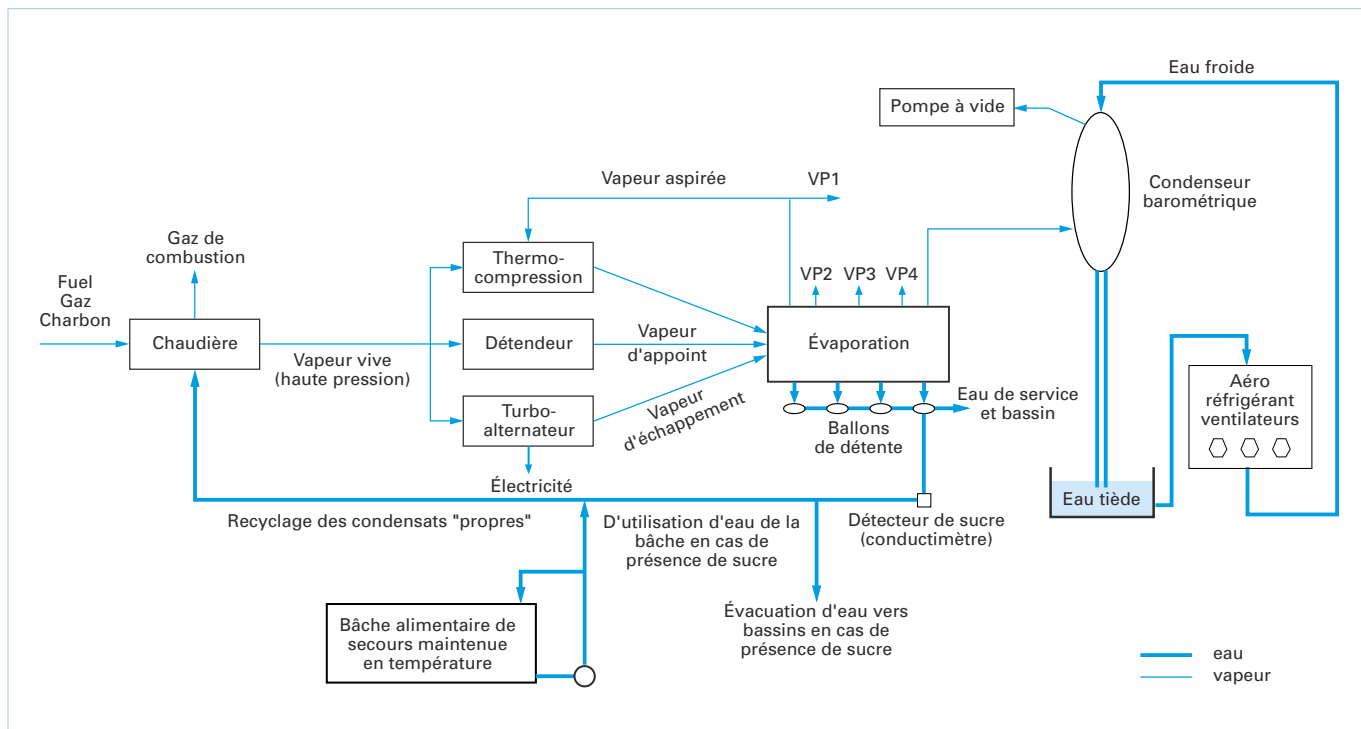


Figure 1 – Optimisation de l'utilisation de l'énergie en sucrerie : atelier multiple-effet

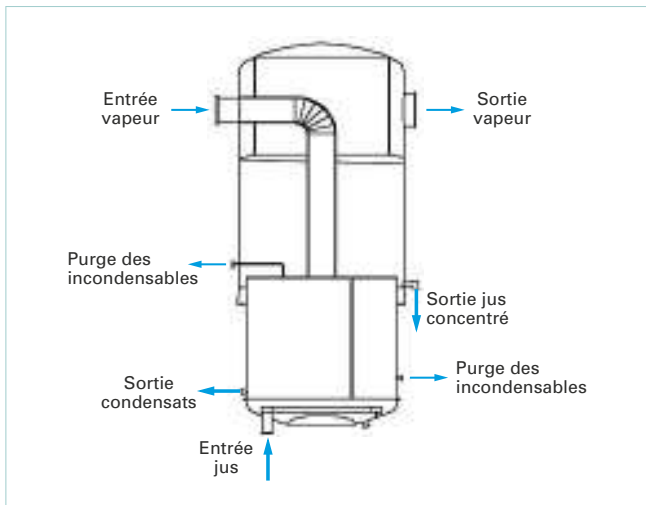


Figure 2 – Évaporateur à grimpage de 1 000 à 4 500 m²
(d'après Fives Cail)

— plutôt que de simplement détendre le complément de vapeur nécessaire, il est possible d'économiser encore de l'énergie en utilisant cette vapeur « haute pression » dans des **thermocompresseurs** pour aspirer une fraction de vapeur dite « basse pression » de la calandre du premier corps d'évaporation et renvoyer le mélange de vapeur « moyenne pression » comme vapeur de chauffage du premier corps ;

— l'excédent de besoin de vapeur, seulement, est simplement détendu et désurchauffé. Cet **appoint** nécessaire de vapeur est mis à profit pour faciliter la régulation de l'atelier d'évaporation ;

— l'eau utilisée pour produire la vapeur n'est pas de l'eau neuve qui est conditionnée à cet effet mais il s'agit de **condensats** qui sont déjà à haute température ;

— enfin de la vapeur est encore récupérée à partir de la **détente progressive des eaux condensées** issues des différents corps d'évaporation.

1.2 Description de l'atelier d'évaporation multiple-effet

1.2.1 Types d'évaporateur

L'atelier d'évaporation est constitué de corps d'évaporation mis en série et parfois en parallèle pour répondre à la capacité de production. Les appareils sont le plus souvent des **évaporateurs tubulaires à grimpage ou à descentage**.

■ Les **évaporateurs à grimpage** sont les plus classiques (figure 2).

L'alimentation du jus se fait par le bas. Quand le jus atteint sa température d'ébullition, il y a formation de vapeur qui occupe alors un énorme volume et crée un phénomène d'entraînement du liquide sous forme de film vers le haut.

La hauteur des tubes est limitée à environ 3 m pour que la pression due à la hauteur hydrostatique ne provoque pas une trop forte augmentation de la température d'ébullition au bas des tubes. Les surfaces d'échange peuvent donc aller jusqu'à 4 500 m² par appareil.

Le jus concentré est récupéré par un siphon central et va dans la caisse suivante par simple différence de pression. La vapeur émise par le produit sort par le haut. Ne pouvant éviter le **primage** (entraî-

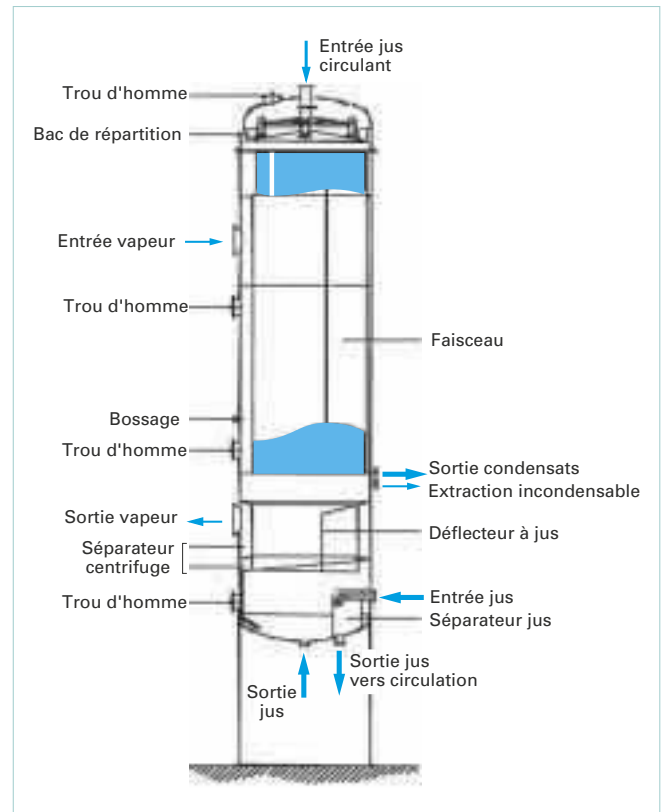


Figure 3 – Évaporateur à descentage de 1 000 à 12 000 m²
(d'après Fives Cail)

nement de gouttelettes de jus avec la vapeur), les caisses possèdent un système de désucrage qui peut être une sorte de matelas métallique ou un système d'accélération. L'arrivée de vapeur de chauffage s'effectue à l'extérieur des tubes du faisceau. Les condensats sont évacués par entraînement vers le ballon de détente, le purgeur assurant la rétention de la vapeur. Les gaz incondensables qui pourraient s'accumuler dans le faisceau sont éliminés de manière séquentielle par ouverture d'une vanne de purge.

Certaines caisses à grimpage ont la particularité d'être séparées en deux compartiments : le jus n'est tout d'abord réparti que sur une fraction de la section du faisceau tubulaire. Le jus collecté en haut du faisceau dans une gouttière répartie sur la circonférence de la caisse, est réinjecté dans le deuxième compartiment.

■ L'utilisation des **caisses à descentage** s'est fortement développée.

L'alimentation des caisses se fait par le bas et le jus est remonté par les pompes de circulation (figure 3).

Le jus est réparti en couche mince sur la circonférence des tubes. Le transfert de chaleur est donc meilleur que dans les évaporateurs à grimpage. Toutefois, le problème essentiel se situe au niveau de la répartition du jus sur la circonférence interne des tubes. De même, il est essentiel que la quantité de liquide introduite dans chaque tube soit suffisante pour assurer un bon « mouillage » de celui-ci jusqu'au bas du tube une fois l'évaporation réalisée. Ce facteur est assuré par une circulation importante de jus. Les tubes peuvent être très longs (jusqu'à 22 m) d'où des surfaces d'échange pouvant aller jusqu'à 12 000 m² par appareil.

■ Enfin, on trouve dans quelques sucreries, des **évaporateurs à plaques** (cf. article *Évaporation* [J 2 320] dans le traité Génie des procédés).

1.2.2 Nombre d'effets

Pour que l'évaporation se produise dans un corps, il faut que la température de condensation de la vapeur de chauffage autour des tubes (côté faisceau) soit supérieure à la température d'ébullition du liquide dans les tubes (côté calandre). Pour cela, il faut créer un écart de pression. Le nombre d'effets de l'atelier est donc limité par l'écart de pression disponible entre la pression de vapeur introduite dans le faisceau du premier corps et la pression dans la calandre du dernier corps.

Comme précisé au paragraphe 1.1, la température du jus au premier corps est limitée à environ 125 à 128 °C (soit une pression absolue de 2,1 à 2,6 bar_{abs}) soit une pression de vapeur de chauffage d'environ 3 bar_{abs}. La plage de pression disponible est accrue par mise sous vide des derniers corps. La pression au dernier corps est en général de 0,6 bar_{abs} (95 °C).

Le vide est obtenu en condensant la vapeur émise au dernier corps, le plus souvent dans un condenseur barométrique (cf. figure 1) et en aspirant les gaz incondensables par une pompe à vide, le plus souvent à anneau liquide. Le niveau de vide qu'il est possible d'obtenir est directement fonction de la température de l'eau tiède issue du mélange de la vapeur condensée et de l'eau froide (cf. figure 1). Compte tenu des quantités d'eau froide nécessaires pour assurer la condensation de la vapeur aspirée, il est évident qu'il ne peut s'agir d'eau neuve. L'eau issue du condenseur barométrique est donc recyclée. Pour cela, elle est pompée dans des aéroréfrigérants atmosphériques où elle se refroidit par évaporation d'une fraction d'eau dans l'air soufflé à contre courant.

En théorie, on pourrait déterminer le nombre d'effets d'après l'écart de température (ou de pression) totale disponible (par exemple 30 °C) et l'écart de température que l'on désire à chaque corps pour assurer un bon transfert de chaleur (par exemple 5 °C). Dans la réalité, deux éléments complémentaires sont à prendre en compte :

- l'élévation du point d'ébullition des jus avec l'augmentation de la concentration en matières sèches. À la même pression un produit concentré a une température d'ébullition plus élevée. Ainsi pour un même écart de pression entre le faisceau et la calandre, l'écart de température utile au transfert de chaleur est plus faible ;
- l'augmentation de la viscosité des solutions avec l'avancement dans les effets, due à l'augmentation de la concentration d'une part et à la baisse de température d'autre part. Cette augmentation de viscosité, au fur et à mesure des corps, induit une

la vapeur est alimentée en parallèle. Quand deux caisses sont à la même pression, la circulation du jus s'effectue grâce à la différence de pression hydrostatique. Dans la première caisse le jus arrivant de l'effet précédent, est légèrement surchauffé et on assiste à un phénomène de flash. Par contre, quand il passe dans la deuxième caisse, ce n'est pas le cas, et il y aurait même une légère phase de réchauffage avant mise en ébullition, d'où un moins bon coefficient de transfert.

1.2.4 Circuit des condensats

Les condensats sont réunis dans deux chaînes de ballon de détente en parallèle (cf. figure 1). La distinction entre les chaînes dites A et B n'est pas évidente car ce sont des compartiments à l'intérieur des ballons qui séparent les circuits. Chaque ballon est en liaison avec la calandre du même effet. Donc la pression y régnant est celle de la calandre. La température de l'eau condensée issue du faisceau étant supérieure, celle-ci se refroidit spontanément à son entrée dans le ballon par autoévaporation. Chaque effet reçoit donc par le biais de ces autoévaporations une quantité supplémentaire de vapeur.

La chaîne A est réservée à la vapeur « propre », issue de la condensation de la vapeur sortie chaudière. Il y a peu de risque que cette vapeur contienne du sucre qui aurait été entraîné avec la vapeur, sauf en cas de perçage d'un tube du premier corps. Les condensats sont finalement renvoyés en chaudière. Ce recyclage est très bénéfique car il évite de conditionner de l'eau pour la chaudière. Quand les usines sont équipées de thermocompression, la chaîne A ne suffit pas pour fournir toute l'eau nécessaire à la chaudière. Dans ce cas il y a une connexion entre les compartiments A et B du second ballon et les condensats du compartiment B du second ballon servent à faire l'appoint.

Pour éviter tout risque de « **coup de sucre** » en chaudière, un détecteur de sucre (conductimètre) est placé sur le circuit de recyclage de l'eau et le circuit est dévié en cas de présence de sucre. L'eau de chaudière est alors pompée de la « bêche alimentaire » contenant de l'eau déminéralisée jusqu'à évacuation complète de l'eau contaminée. Le système revient dans sa configuration initiale quand le détecteur indique une eau claire.

La chaîne B reçoit tous les autres condensats qui devront *in fine* être évacués de l'usine. Le refroidissement de ceux-ci dans des échangeurs permet des économies d'énergie substantielles comme c'est le cas en diffusion avec « le point froid » où les condensats réchauffent le jus de diffusion. Les condensats peuvent aussi être utilisés en cristallisation pour maintenir les cuites, réaliser des lavages, des purges, etc.

Il n'en demeure pas moins que la quantité d'eau à évacuer d'une

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Lecture automatique de la propreté du sucre par analyse d'images

par Sylvie TREUILLET, Serge GASNIER et Jean-Pierre LESCURE

Le traitement d'images par ordinateur remplace avantageusement l'appréciation visuelle pour le contrôle de la qualité dans l'industrie agroalimentaire : il permet un contrôle non destructif et une mesure quantitative, précise et objective, avec une bonne répétabilité.

4

Sylvie TREUILLET est docteur-ingénieur en électronique, traitement du signal et des images, maître de conférences à Polytech'Orléans. Elle est chercheur au laboratoire Vision & Robotique de Bourges (LVR EA 2078).
Sylvie.Treuillet@univ-orleans.fr

Serge GASNIER est ingénieur en électronique, professeur associé à Polytech'Orléans et directeur du CRESITT Industrie (Centre régional en électronique et systèmes pour l'innovation par les transferts de technologies dans l'industrie).
Serge.Gasnier@cresitt.com

Jean-Pierre LESCURE est ingénieur chimiste des services techniques du Syndicat national des fabricants de sucre (SNFS) à Villeuneuve d'Ascq.
jplescure@st.snfs.fr

1. Contrôle visuel en agroalimentaire

Les consommateurs sont de plus en plus exigeants sur la qualité et la sécurité des denrées alimentaires. L'aspect réglementaire du contrôle de la qualité s'est d'ailleurs considérablement développé, au cours de la dernière décennie : gestion intégrale de la qualité (GIQ), analyse des risques et maîtrise des points critiques (ARMCP), certifications ISO 9000, traçabilité, homologations, etc. Outre la réduction des coûts, les fabricants du secteur agroalimentaire recherchent aussi la maîtrise et le tri selon la qualité. La tendance est d'obtenir un contrôle non destructif sur toute la chaîne de production en suivant le flux des matières premières et ses transformations successives, jusqu'à la qualité du produit final, l'emballage et l'étiquetage. L'appréciation visuelle joue encore un grand rôle dans cette maîtrise de la qualité car le consommateur est très sensible à l'apparence des produits. Elle entre notamment en jeu dans le calibrage et le tri des denrées selon leur aspect.

Dans le cas du sucre, par exemple, les paramètres qui permettent de juger de la qualité du produit cristallisé sont visés par un règlement européen [1] et comprennent plusieurs critères visuels comme l'aspect (blancheur du sucre) ou la coloration en

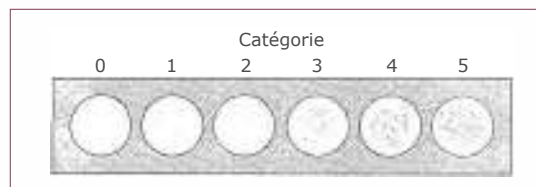


Figure 1 – Gamme étalon servant à l'appréciation visuelle du test des points noirs

solution. La blancheur du sucre (type de couleur ou *Farbtypes*) est fixée par comparaison visuelle avec six échantillons colorés (couleurs types numérotées de 0 à 5), étalonnés par l'institut allemand de Brunswick. La coloration en solution est, en revanche, une donnée quantitative mesurée par spectrophotométrie à 420 ± 10 nm après filtration de la solution sur une membrane.

D'autres critères visuels, également très importants dans les échanges commerciaux, sont exigés par les clients utilisateurs, comme la granulométrie ou le nombre de points noirs. Ce dernier test, dérivé des contrôles de laiterie [2], est un test de propreté utilisé par les fabricants pour déterminer un classement des sucres. Les particules insolubles d'une solution de sucre sont retenues sur une membrane de filtration dont le diamètre moyen des pores est de $0,45 \mu\text{m}$. Le test permet de porter un jugement comparatif sur la propreté des sucres par un examen visuel des filtres, au moyen d'une gamme étalon. Cette gamme est constituée de six dessins de filtres entachés (figure 1). Le test est destiné à classer les filtres en leur attribuant une note au demi-point comprise entre 0 et 5. Cette note est un critère de qualité à vocation commerciale.

Cependant, le contrôle visuel par des opérateurs pose de nombreux problèmes. L'opérateur humain ne donne qu'un avis qualitatif, sans garantir le test à 100 %, car la fatigue des contrôleurs n'assure pas la fiabilité et la stabilité du contrôle dans le temps. Sur les chaînes de production, il nécessite une main-d'œuvre nombreuse, de plus en plus difficile à trouver, pour un travail peu valorisant. Dans les laboratoires, l'inconvénient majeur du contrôle visuel est sa

Sur l'industrie sucrière :

Procédés de transformation en sucrerie
[F 6 150] [F 6 151]
de M. Decloux

RECHERCHE

CRESITT Industrie
http://www.cresitt.com
EIS
http://www.eis.fr

subjectivité. Cette appréciation conduit à des écarts inévitables entre expérimentateurs, comme le montre une étude croisée entre quinze laboratoires de l'industrie sucrière (tableau 1).

Tableau 1 – Résultat de l'étude entre quinze laboratoires (SNFS, 1991)

Nombre de répétitions	4	2	5
Note moyenne.....	1,15	2,02	4,87
Écart-type de répétabilité S_r	0,61	0,95	0,29
Écart-type de reproductibilité S_R	0,72	1,1	0,33

Pour cette étude, chaque opérateur recevait une série de onze échantillons avec des répétitions cachées (quatre, deux et cinq), provenant de trois lots de sucre initiaux. Sur chaque échantillon, il effectuait une analyse complète : mise en solution, filtration sur membrane qualité « filtre à lait » et comparaison visuelle à l'aide de la gamme témoin.

Les écarts peuvent être en moyenne de plus d'un point sur le test de propreté précédent. Ces résultats montrent qu'en l'état, ce test ne peut être qu'indicatif. De plus, ces tests visuels nécessitent une comparaison avec une gamme étalon artificielle (*Farbtypes*, points noirs), dont l'étalonnage et la pérennité peuvent à la longue s'avérer coûteux et contraignants. Ce constat a incité le Syndicat national des fabricants de sucre (SNFS) à promouvoir une étude pour mettre au point une mesure automatique afin d'obtenir une caractérisation quantitative de la propreté du sucre.

L'idée est de remplacer ce contrôle visuel par un **système automatique d'analyse d'images**. Le traitement d'images par ordinateur se prête bien à ce type d'application car il permet une mesure quantitative, précise et objective, avec une bonne répétitivité quel que soit le lieu d'analyse. Malgré tous ces avantages, cette technique reste sous-exploitée dans le domaine agroalimentaire. Quelques réalisations de vision industrielle existent déjà pour remplacer le tri humain dans l'inspection de produits transformés

Le système de lecture automatique de la propreté du sucre a été réalisé grâce à un transfert technologique entre le laboratoire Vision & Robotique de l'université d'Orléans, la société **EIS** et les services techniques du **SNFS**, par l'intermédiaire du **CRESITT** [4]. Les objectifs de l'étude étaient les suivants :

- donner les spécifications matérielles de la chaîne d'acquisition des images de membranes ;
- mettre au point une méthode spécifique d'analyse des images numériques ;
- proposer une méthode de classification automatique des membranes ;
- valider un prototype.

prenant en compte toute la variété des situations possibles. Il est très important que l'industriel prenne une part active dans la définition de ce que doit mesurer le système pour réussir sa mise en place. Le rôle du spécialiste de vision consiste alors à traduire ces besoins en termes de spécifications techniques : éclairage, caméras, optique, agencement mécanique, unité de traitement et algorithmes.

2.1 Cahier des charges

L'analyse de la procédure traditionnelle d'appréciation visuelle a permis de définir avec les futurs utilisateurs les objectifs du système automatique de lecture. Le cahier des charges pointe les caractéristiques suivantes :

- détection des impuretés sur une membrane trannée de 50 mm de diamètre ;
- taille de la plus petite impureté perceptible à l'œil de 100 μ m environ ;
- caractérisation des échantillons dans une échelle de 0 à 5 par demi-point en fonction du nombre et de la taille des particules, corrélée à la pratique actuelle ;
- recherche d'une solution matérielle standard, pérenne, à moindre coût ;

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Sur la vision industrielle :

Automatisme et procédés industriels agroalimentaires [F 1 290] de G. Trystram

Mesures par analyse d'image : analyse statistique et textuelle [R 630] de J.-P. Dubus
Mesures dimensionnelles par vision [R 1 392]

Glucides et alimentation : aspects physicochimiques

par **Jean-Luc BOUTONNIER**

Enseignant en génie industriel alimentaire au lycée des métiers de l'alimentation de Villefranche-de-Rouergue, France

1. Présentation des glucides	F 6 152 - 2
1.1 Définition, classification et dénominations.....	— 2
1.2 Origines et voies d'obtention des sucres et de leurs dérivés.....	— 2
1.3 Biochimie des glucides.....	— 4
2. Propriétés des glucides	— 12
2.1 Propriétés physiques	— 12
2.2 Propriétés biochimiques.....	— 17
2.3 Propriétés sensorielles	— 20
2.4 Propriétés cognitives	— 20
3. Conclusion	— 21
Pour en savoir plus	Doc. F 6 152

4

Les glucides, vaste famille biochimique, constituent une catégorie de nutriments qui occupe une part importante de notre ration alimentaire. Ils représentent la principale source d'hydrates de carbone de la majorité des rations alimentaires humaines. Certains d'entre eux sont d'origine naturelle, comme le saccharose, couramment appelé sucre, et produit par des végétaux dits saccharifères. Si les principales sources exploitées industriellement à prix réduit restent la canne (*Saccharum robustum, officinarum...*) et la betterave (*Beta vulgaris altissima L*), on en extrait également des sucres des fruits (raisin, pomme, melon...), de la sève d'une variété particulière d'érable (*Acer saccharum*), de feuilles (*Stevia Rebaudiana*). Au départ, seul le saccharose s'est imposé en tant que denrée alimentaire de base. Puis, ce fut le tour de l'amidon natif, glucide de réserve, extrait majoritairement du maïs, de faire son entrée sur le marché des produits de grande consommation. Ensuite, au fil du temps, avec les progrès de la science et de la technologie, l'homme, fort de nouvelles connaissances relatives à la chimie des glucides, a développé l'extraction et la purification d'autres glucides, comme le lactose, le fructose, le glucose, et mis au point des dérivés tels que les amidons modifiés, les polyols, etc.

Souvent dénommés, de manière impropre, sucres, et à l'origine de nombreux dérivés, les glucides constituent une famille biochimique à la fois remarquable et complexe, qu'il est difficile de cerner avec précision. En effet, si la plupart des publications s'accordent pour reconnaître le degré de polymérisation comme critère de classement des glucides, la bibliographie relative aux glucides propose plusieurs classifications non consensuelles (WHO/FAO en 1998, Dobbing en 1989 et Lehninger en 1981).

Les principales sources et voies d'obtention des glucides et de leurs dérivés sont abordées dans cet article de manière brève et synthétique, par le biais d'illustrations, afin de souligner la diversité des technologies mises en œuvre et des produits obtenus. Seuls deux exemples sont développés, à savoir le fructose et le lactose.

Puis, une étude biochimique permet de dresser un panorama des nombreuses substances qui constituent la grande famille des glucides et de leurs dérivés.

Ensuite, les propriétés des glucides sont étudiées. En premier lieu, une revue des principales propriétés physiques est réalisée en insistant notamment sur un aspect très important : la cristallisation, une opération au cœur de la technologie d'extraction et de purification des sucres. Dans un second temps, les principales propriétés biochimiques sont évoquées, en mettant l'accent sur les réactions de brunissement non enzymatique qui sont, tantôt évitées au regard des effets néfastes sur la qualité des produits recherchée, tantôt provoquées pour modifier la couleur et la flaveur de certaines denrées alimentaires... Enfin, les propriétés sensorielles et cognitives sont traitées.

1. Présentation des glucides

1.1 Définition, classification et dénominations

Le terme de glucides ou hydrates de carbone définit des polyalcools qui comportent soit une fonction aldéhyde (CHO), soit une fonction cétone (CO). La majorité des glucides ont une formule brute de type $(CH_2O)_n$ avec $n \geq 3$.

Le classement des glucides est en général fondé sur le degré de polymérisation (tableau 1) ; cependant, on distingue plusieurs classifications. On choisira la plus récente, publiée par l'ILSI Europe (*International Life Science Institute*).

1.2 Origines et voies d'obtention des sucres et de leurs dérivés

1.2.1 Sources naturelles de sucres

Les sucres sont extraits du :

– **règne végétal**, avec des origines diverses, telles que des graines ou des tubercules (amidon et féculés), des racines de betterave ou des tiges de canne (saccharose), des feuilles (stévioside), des fruits (saccharose, fructose, glucose, naringine dihydrochalcone et néohespéridine dihydrochalcone), du bois (cellulose, xylose, prunine dihydrochalcone) ;

– **règne animal**, avec comme principale origine, le lait (lactose).

Tableau 1 – Classification structurale des principaux glucides (d'après [1])

Classe selon le degré de polymérisation (DP)	Sous-groupe	Principaux glucides
Sucres (1-2)	Monosaccharides	Glucose, galactose, fructose, tagatose
	Disaccharides	Saccharose, lactose, tréhalose, maltose, isomaltulose
Oligosaccharides (3-9)	Malto-oligosaccharides	Maltodextrines
	Autres oligosaccharides	Raffinose, stachyose, verbascose, ajugose (α -galactosides), fructo-oligosaccharides (FOS), galacto-oligosaccharides
Polysaccharides (> 9)	Amidon	Amylose, amylopectine, amidons modifiés
	Polysaccharides non amylacés	Cellulose, hémicelluloses (galactanes, arabinoxylanes), pectines, inuline, hydrocolloïdes (gommes de guar, de caroube...)
Glucides hydrogénés (polyols)	Type monosaccharidique	Sorbitol, mannitol, xylitol, érythritol
	Type disaccharidique	Isomalt, lactitol, maltitol
	Type oligosaccharidique	Sirop de maltitol, hydrolysats d'amidon hydrogénés
	Type polysaccharidique	Polydextrose

1.2.2 Voies de production des sucres et de leurs dérivés

Les moyens d'obtention font appel à différentes réactions :

- **physiques** : extraction couplée à une cristallisation (saccharose), fractionnement par voie sèche (glucides pariétaux, tels les arabino-xylanes ou les glycanes) ;
- **chimiques ou biochimiques** : extraction (stéviolside et son nanomère, le rébaudioside), hydrolyse acide ou enzymatique (amidon, inuline), isomérisation (glucose/fructose, lactose/lactulose), hydrogénation (polyols), hydrolyse enzymatique (transglucosidation du saccharose en isomaltulose) suivie d'une hydrogénation

catalytique (mélange équimolaire de D-sorbitol et de D-mannitol), substitution sélective de chlore aux groupes hydroxyles situés en position 4,1' et 6' (sucralose) ;

- **biologiques** : fermentations (éthanol).

1.2.3 Schématisation des principales voies d'obtention des sucres

La figure 1 expose, de manière non exhaustive, les voies technologiques mises en œuvre pour extraire des composés glucidiques naturels et les transformer afin d'obtenir des dérivés présentant des fonctionnalités nouvelles.

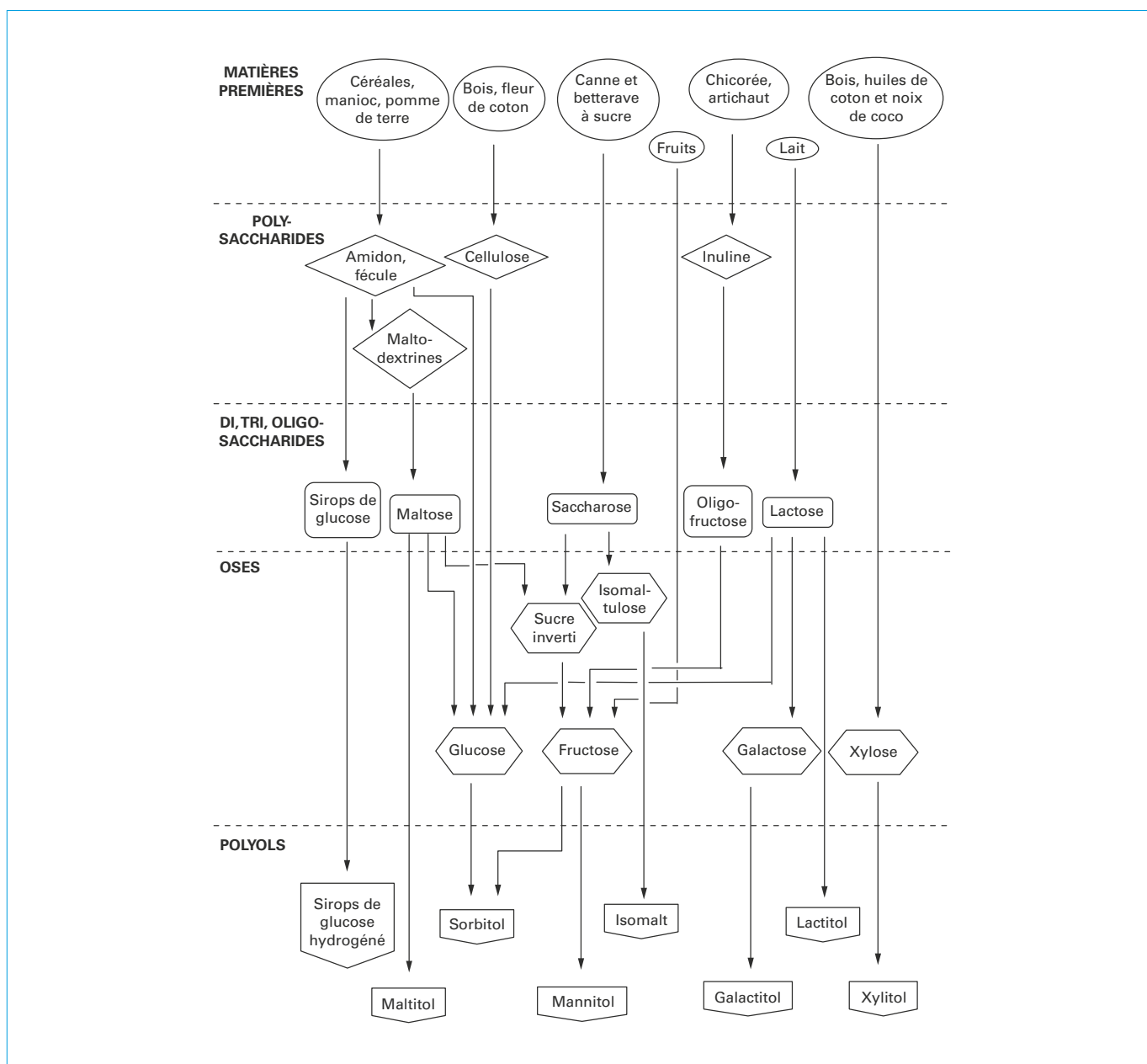


Figure 1 - Principales voies d'obtention des sucres et dérivés

1.2.4 Production industrielle de saccharose

Le processus de fabrication du sucre est composé de nombreuses opérations unitaires qui ont pour objectif, à partir de deux végétaux très différents, d'extraire le sucre le plus pur possible. Les deux principales sources de saccharose sont :

- la **betterave**, dont la partie sucrée est souterraine, sous forme d'une racine peu fibreuse et donc accompagnée d'un certain nombre de contaminants (terre, sable, cailloux...) (figure 2) ;
- la **canne**, dont la partie sucrée est aérienne, avec par contre une tige très fibreuse, contenant peu de contaminants, essentielle-ment des fragments de feuilles.

Par conséquent, les techniques de nettoyage sont plus complexes et plus coûteuses pour la betterave, qui est souillée (installations spécifiques, volumes d'effluents importants à traiter), que pour la canne. À l'inverse, la technologie de fragmentation des cannes est très particulière en raison de la structure ligneuse de la tige, ce qui nécessite une batterie de trois moulins successifs pour dilacérer cette dernière.

La composition des deux jus est très différente, avec notamment un jus de canne, dont la couleur a tendance à s'altérer rapidement par brunissement enzymatique.

L'opération d'épuration, qui pour la betterave inclut un processus de chaulage et de carbonatation, est remplacée pour la canne, par une alcalinisation, suivie d'un chauffage, afin de flocculer les matières en suspension. À l'inverse de la betterave qui produit un sucre blanc au premier jet, celui engendré par la canne est un sucre roux.

Le principe de l'extraction du sucre consiste à entraîner le saccharose avec l'eau comme solvant, puis de clarifier la solution obtenue, ensuite de la concentrer de manière à la sursaturer et permettre ainsi la cristallisation. Cette opération physique est un très bon moyen de **purification du saccharose**. Enfin, une séparation centrifuge par essorage, suivie d'un séchage, est réalisée afin d'aboutir au produit fini.

1.2.5 Production industrielle de lactose

Le lactose est extrait du **lactosérum** (figure 3), lui-même obtenu en tant que co-produit de l'industrie fromagère ou des perméates de filtration tangentielle du lait. Même si une grande partie du lactosérum est transformée en poudre, les quantités produites sont considérables au regard, d'une part, du tonnage de fromages fabriqué en France et, d'autre part, de la faible teneur en matière sèche (M.S.) du lait. Ses propriétés physicochimiques, notamment un faible pouvoir sucrant, une solubilité réduite et une intolérance chez certains individus, en limitent ses intérêts en alimentation humaine. Cependant, la fabrication de produits à lactose hydrolysé en glucose et galactose a permis de pallier ces inconvénients. En effet, entre la lactose et sa version hydrolysée à un taux de 80 %, la solubilité à 15 °C passe de 17 à 55 (en % de poids) et le pouvoir sucrant de 15/20 à 65/85 avec, en outre, une meilleure aptitude au brunissement, à la caramélisation, ainsi qu'à la fermentation.

1.2.6 Production industrielle de fructose

Le fructose est un sucre **naturellement présent dans les fruits**. Sa concentration est variable, non seulement selon l'espèce et la variété de fruits, mais également selon le stade de maturité, les conditions culturales (plein air ou en serre). On en trouve également dans le sirop d'agave, l'oignon, le topinambour, la chicorée qui renferme des fructanes (des polymères de fructose), ou encore dans le miel, là aussi dans des teneurs variables, en fonction des espèces florales butinées par les abeilles (tableau 2).

Le fructose est ensuite produit industriellement par plusieurs voies technologiques qui chacune conduit à des produits très différents (figure 4) :

- la **voie maïs**, originaire des États-Unis, qui représente la majeure partie du marché, avec les sirops de glucose à haute

Tableau 2 – Teneur en fructose dans différents produits (d'après [2])

Denrées alimentaires	Teneur en fructose (valeurs pour fruits frais) (en %)
Abricot	0,4
Agave (sirop)	60 à 90
Banane	6,2
Cerise	4,7
Figue	3,9
Fraise	2,1 à 2,4
Framboise	4,8
Groseille	2,9
Miel	38 à 42
Mûre	2,2
Myrtille	3,8
Orange	1,9
Poire	6,7 à 7
Pomme	5,9
Raisin	9,5

teneur en fructose ou isoglucose. Elle s'appuie sur une hydrolyse de l'amidon, suivie d'une isomérisation qui permet d'enrichir le sirop de glucose en fructose afin d'atteindre des teneurs, pour ce dernier, de l'ordre de 55 %. Beaucoup de denrées alimentaires sucrées en contiennent, notamment certaines boissons rafraîchissantes sans alcool, tels que les sodas, certaines confiseries et glaces, etc. ;

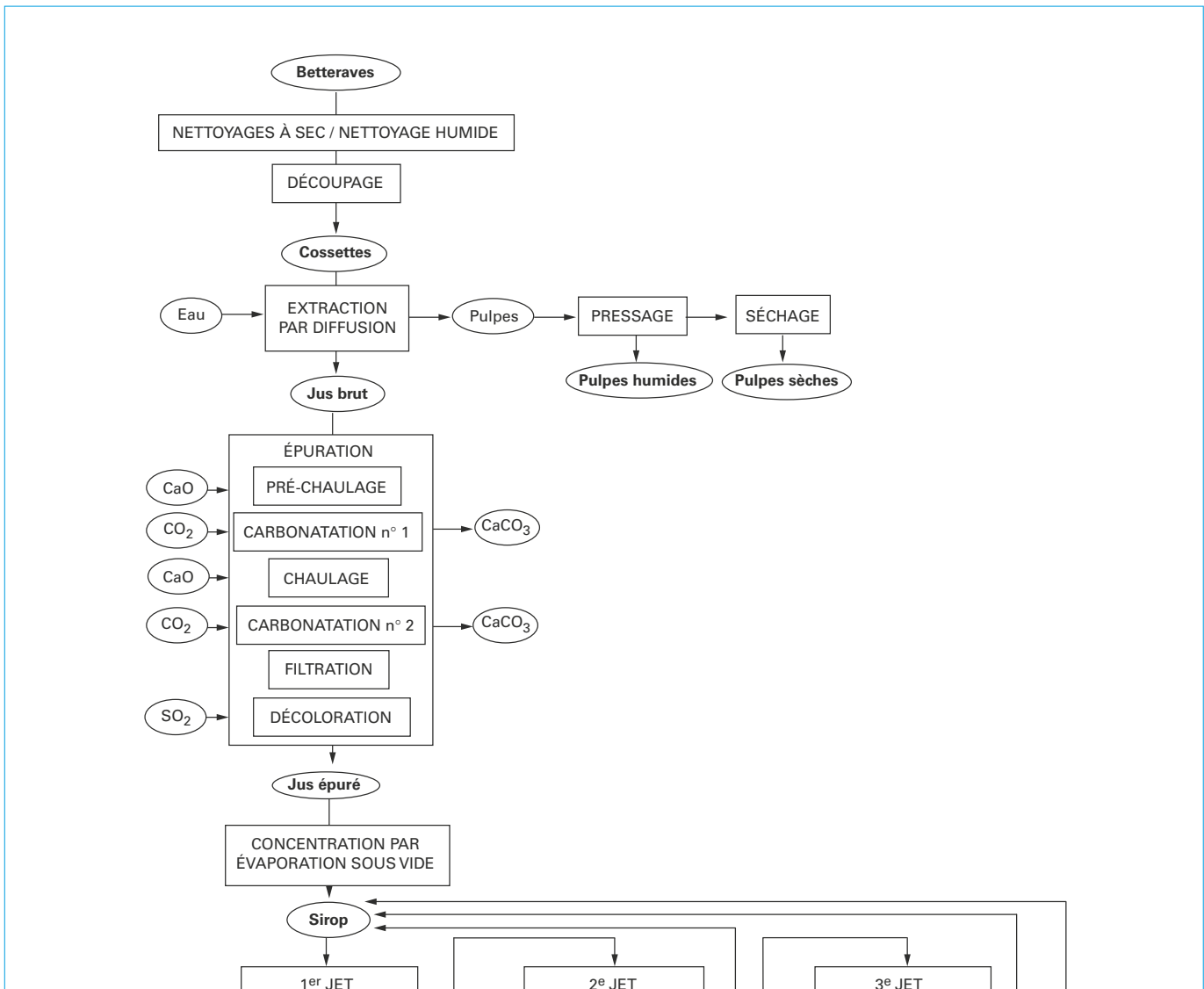
- la **voie betterave**, qui permet également la fabrication d'isoglucose et la fabrication de fructose cristallisé et qui passent, toutes les deux, par le stade intermédiaire du sucre inverti ;

- la **voie fruits**, plus récente, qui a pour objectif la valorisation de fruits déclassés et qui produit différents sirops avec des teneurs en fructose allant jusqu'à 98 %. Cette voie présente en outre l'avantage au niveau de certains produits, à l'instar des confitures, mousses de fruits..., d'utiliser l'allégation « 100 % fruits » et de satisfaire ainsi les attentes de certains consommateurs en termes de santé et de naturalité.

1.3 Biochimie des glucides

1.3.1 Osés simples

Les osés simples sont les constituants des oligosaccharides et des polysaccharides, soit des hexoses, comme le glucose, le fructose, le galactose... qui intègrent 6 atomes de carbone, soit des pentoses, comme l'arabinose, le xylose... qui intègrent 5 atomes de carbone. Parmi les hexoses, se trouve le **glucose**, qui est l'ose le plus représenté dans la nature, et dont la fonction réductrice (aldéhyde) est située sur le carbone 1, le plus oxydé (figure 5). Le **fructose** est lui aussi un hexose, mais la fonction réductrice (cétone) est située sur le carbone 2, le plus oxydé (figure 6). Rarement sous forme linéaire, ces deux hexoses sont le plus souvent cyclisés par une liaison entre la fonction réductrice et la fonction alcool secondaire du carbone 5.



La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Glucides et alimentation : aspects physiologiques, nutritionnels et sanitaires

par **Jean-Luc BOUTONNIER**

Enseignant en génie industriel alimentaire au Lycée des métiers de l'alimentation,
Villefranche-de-Rouergue, France

1. Physiologie des glucides	F 6 153 - 2
1.1 Digestion glucidique	— 2
1.2 Absorption glucidique.....	— 5
1.3 Métabolisme glucidique	— 5
1.4 Régulation des réserves glucidiques	— 6
2. Glucides, nutrition et santé	— 8
2.1 Aspects nutritionnels	— 8
2.2 Aspects sanitaires.....	— 8
3. Conclusion	— 15
4. Glossaire	— 15
Pour en savoir plus	Doc. F 6 153

4

Les glucides représentent la famille la plus importante au sein de la ration alimentaire recommandée, notamment en termes d'énergie. Néanmoins, ils sont régulièrement stigmatisés dans le cas d'une consommation excessive à l'origine de dérèglements métaboliques, sources de pathologies, comme le surpoids, l'obésité, le diabète, etc. Les relations entre l'alimentation et la santé ne sont certes pas nouvelles, cependant elles sont de plus en plus au cœur des préoccupations des consommateurs des pays occidentaux, soucieux non seulement de leur espérance de vie, mais aussi des conditions de leur vieillissement. La nutrition est devenue une science de premier plan et, par conséquent, les études qui démontrent les bienfaits et les méfaits de l'alimentation sur l'état de santé des habitants de pays industrialisés, sont légions. Les pouvoirs publics s'en sont emparés, puisque l'alimentation est devenue un enjeu majeur de santé publique, en matière de bien-être des citoyens, mais également de levier efficace pour la réduction des déficits de notre système d'assurance maladie... Dans cette optique, ils ont mis en place, depuis 2001, un Plan National Nutrition Santé, qui est actuellement dans sa troisième édition (PNNS 2011/2015). Ce plan s'accompagne de campagnes d'information visant à réduire la consommation d'aliments gras, salés et (plus particulièrement) sucrés... Afin de mieux comprendre les recommandations simplifiées des spécialistes de la nutrition humaine, en matière de restriction de l'apport énergétique sous forme de glucides, et en particulier de sucres, cet article vise à approfondir les relations étroites et complexes existant entre cette famille de nutriments et la santé humaine.

Ainsi, les aspects physiologiques sont abordés dans un premier temps par une description sommaire des processus digestifs, qui permettent de scinder les glucides en deux catégories, ceux qui sont digestibles et les fibres, qui ne le

sont pas. Les troubles fonctionnels sont évoqués en raison des phénomènes d'intolérance alimentaire propres à certains glucides. Ensuite, les processus d'absorption de métabolisation et de régulation glucidique viennent clore la dimension nutritionnelle des glucides... Les aspects santé et nutrition sont l'occasion de dresser un portrait rapide de la consommation française en matière de glucides, d'évoquer les principaux indicateurs permettant une gestion équilibrée des apports alimentaires, de présenter le panorama des différentes recommandations nutritionnelles, ainsi que les effets d'une consommation excessive de sucres sur la santé.

Un autre article [F 6 154] traite des fonctionnalités technologiques apportées par les glucides dans l'industrie alimentaire.

1. Physiologie des glucides

1.1 Digestion glucidique

1.1.1 Sucres et digestibilité

On distingue les sucres contenus dans nos aliments et boissons, en fonction de leur digestibilité par le système digestif humain, classé dans la famille des mammifères monogastriques (tableau 1).

Les glucides digestibles regroupent les sucres à saveur sucrée, l'amidon et ses hydrolysats comme les malto-dextrines, ainsi que les polyols. Après digestion, ils sont transformés en monosaccharides assimilables.

Quant aux sucres non digestibles, dénommés fibres, étant donné qu'ils ne sont pas assimilables, ils seront fermentés dans la partie terminale de l'intestin, le côlon. Pour autant, ils jouent des rôles importants en termes de ralentissement de la vidange gastrique, de favorisation du transit intestinal, ainsi que d'équilibre de l'écosystème microbien, qu'est le microbiote intestinal.

1.1.2 Différentes étapes de la digestion

Dans un premier temps, la digestion des glucides débute dans la bouche grâce à la combinaison entre une action mécanique, la mastication et une activité enzymatique par la sécrétion de la salive qui contient une amylase, intervenant au niveau de la liaison α -1.4. À pH neutre, l'amylase salivaire hydrolyse l'amidon en malto-dextrines et maltose. Le temps de séjour des aliments dans la cavité buccale et, par conséquent, l'accroissement de la durée de mastication améliorent la digestion. Cela dit, cette digestion de l'amidon se poursuit dans l'estomac proximal. Ensuite, elle est stoppée au niveau de l'estomac distal, en raison d'une forte acidité (< 4,5), consécutive à la sécrétion d'acide chlorhydrique par les cellules gastriques, qui inactive l'amylase salivaire.

Dans un second temps, les dextrines et le maltose sont hydrolysés, à leur tour, par l'amylase pancréatique en glucose, maltose et isomaltose. Les disaccharides, que sont le maltose et l'isomaltose, ainsi que le saccharose (sucres et dérivés), et le lactose (lait et certains produits laitiers), sont hydrolysés en monosaccharides, tels que le glucose, le fructose et le galactose, par le biais d'enzymes telles que la maltase, la saccharase et la lactase. Ces disaccharidases sont sécrétées par les cellules de la bordure en brosse de l'intestin grêle (figures 1 et 2).

Tableau 1 – Classification des principaux glucides selon leur digestibilité [1]

Groupes	Sous-groupes	Principaux composés
Glucides digestibles		
Sucres (DP = 1 à 2)	Monosaccharides	Glucose, galactose, fructose, tagatose
	Disaccharides	Saccharose, lactose, tréhalose, maltose, isomaltulose
Oligosaccharides (DP = 3 à 9)	Malto-oligosaccharides	Malto-dextrines
Polysaccharides (DP > 9)		Amylose, amylopectine, amidons transformés
Polyols (glucides hydrogénés)	Monosaccharidique	Sorbitol, mannitol, xylitol, érythritol
	Disaccharidique	Isomalt, lactitol, maltitol
Glucides non digestibles		
Oligosaccharides (DP = 3 à 9)	Oligosaccharides	Raffinose, stachyose, verbascose, ajugose, fructo-oligo-saccharides, galacto-oligo-saccharides
Polysaccharides (DP > 9)	Polysaccharides non amylacés	Cellulose, hémicellulose, pectines, inuline, et divers hydro-colloïdes (alginates, carraghénanes, gomme de guar, de caroube, etc.)

DP : degré de polymérisation.

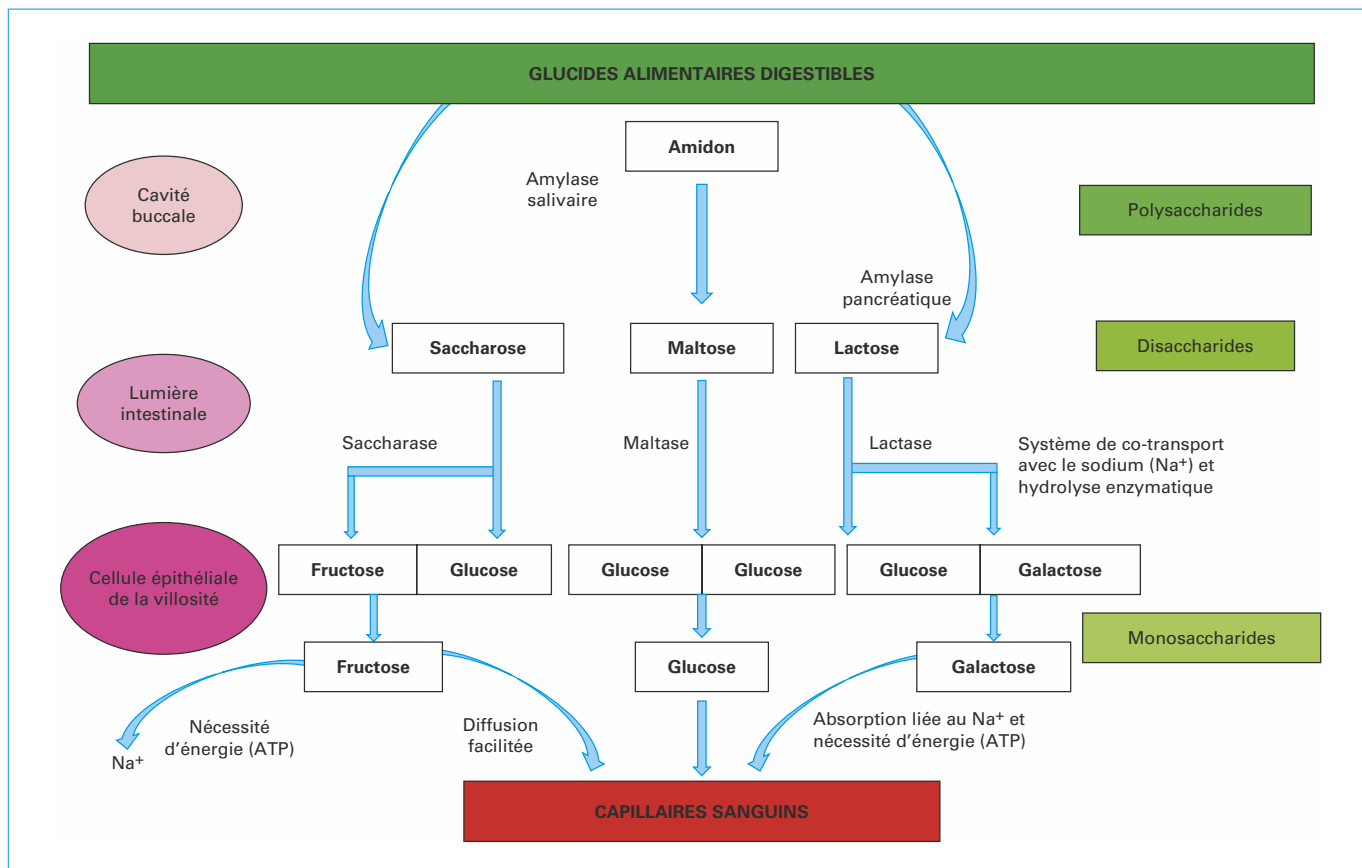


Figure 1 - Digestion et absorption simplifiées des glucides [1]

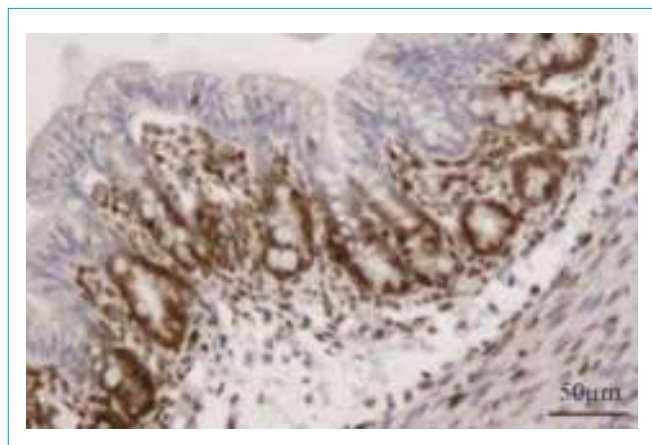


Figure 2 - Coupe d'intestin humain au niveau de son épithélium [2]

1.1.3 Facteurs influençant la vitesse de digestion des glucides

La digestion de l'amidon est sous l'influence de la nature et du degré de transformation de ce dernier, ainsi que de la présence de fibres alimentaires. Par exemple avec les légumineuses, l'amidon

est situé à l'intérieur de cellules équipées de parois fibreuses, ce qui rend difficile les attaques des enzymes digestives. La digestion des glucides est également conditionnée d'une part, par la brièveté de la vidange gastrique et d'autre part, par la vitesse du transit intestinal. En outre, la vitesse de la vidange gastrique est, à son tour, dépendante de plusieurs facteurs, comme la valeur énergétique, le taux de lipides, la ration, la viscosité du bol alimentaire, le rapport solide/liquide, la concentration en fibres solubles. Cette dernière, par le biais de processus de gélification, ne facilite pas les hydrolyses enzymatiques

1.1.4 Interactions entre glucides et autres macronutriments

Les polysaccharides, faiblement ou non hydrolysés dans l'intestin grêle, peuvent freiner l'action des hydrolases. Les phénomènes d'adsorption par les fibres sont significatifs quant à la réduction de la digestion des lipides. La digestion des polysaccharides, à l'instar de l'amidon, peut être fortement influencée par la composition de l'aliment, ce qui peut avoir des incidences très diversifiées et pas toujours connues sur l'index glycémique des denrées alimentaires.

Les lipides sont susceptibles de modifier la vitesse de digestion des glucides, quant à la durée de la vidange gastrique qu'ils ralentissent, de même qu'au niveau de l'intestin grêle. Ce pourrait être le cas pour des triglycérides à chaînes moyennes. De même, l'hydrolyse partielle de la caséine avec la production de petits peptides pourrait avoir des effets notables sur l'accroissement de l'absorption de xylose [3].

1.1.5 Interactions entre glucides et nutriments non énergétiques

L'ingestion simultanée de glucides simples et de quantités élevées de sodium n'est pas jugée souhaitable, dans la mesure où elle accroît l'absorption à la fois des glucides et du sodium, qui, pour ce dernier, peut générer des problèmes d'hypertension. À l'inverse, l'absorption du potassium est peu affectée par les glucides ingérés. Diverses vitamines sont impliquées dans le métabolisme des glucides. C'est entre autres le cas pour la vitamine B1, thiamine, qui joue un rôle central notamment au niveau du métabolisme cérébral du glucose.

Enfin, il a été constaté une action hypoglycémiant de certains polyphénols, contenus dans le café ou le thé. Cependant, dans ce registre, les études sur l'effet des polyphénols contenus dans les fruits sont encore insuffisantes. Il semblerait que plusieurs effets métaboliques défavorables imputés aux glucides simples, pourraient être atténués, voire prévenus, lorsque ceux-ci seraient ingérés conjointement à des micronutriments protecteurs. Le ratio glucides/micronutriments est, à cet égard, fondamental, ce qui souligne la nécessaire vigilance quant à la consommation de sucres purifiés et de préparations alimentaires riches en calories vides...

1.1.6 Glucides ajoutés et abaissement de la densité nutritionnelle de la ration alimentaire

La consommation de glucides simples, mais également d'amidons transformés pour leurs fonctionnalités technologiques, contribuent à diluer la ration en micronutriments, comme les minéraux, les oligoéléments et les vitamines. Si la part de la ration en glucides simples n'excède pas 10 à 12 % de l'apport total de la ration, l'effet de dilution de la ration est modéré. Au-dessus de 15 %, on peut assister à une réduction de la densité nutritionnelle de la ration, et des risques d'une couverture insuffisante des besoins en certains micronutriments.

1.1.7 Effet de satiété consécutif à l'ingestion des glucides

Même si les conclusions des études ne sont pas toujours convergentes, il apparaît que la consommation de boissons sucrées entre les repas soit peu satiétogène et n'induit que peu de compensation énergétique lors du repas suivant. Cela dit, deux facteurs restent fondamentaux pour la satiété, il s'agit du volume alimentaire ingéré et de la densité énergétique de la prise, ce qui renforce encore l'importance du contexte alimentaire.

1.1.9 Sucres et troubles fonctionnels intestinaux

1.1.9.1 Intolérances alimentaires

Elles surviennent après l'ingestion des aliments et ne font pas pour autant intervenir de mécanisme immuno-allergique. Sans remettre en jeu le pronostic vital, ils perturbent l'existence des patients, avec une nette prédominance chez les femmes. Les désagrèments chroniques se traduisent par des excès d'émission de gaz, des douleurs abdominales, des ballonnements, une sensation de mauvaise digestion, la constipation, l'aérophagie, la diarrhée, la mauvaise haleine, et la sensation d'évacuation incomplète des selles. Certains glucides peuvent être à l'origine de troubles fonctionnels intestinaux que l'on qualifie également de « syndrome de l'intestin irritable ». L'intolérance la plus connue au sein du groupe des glucides est celle qui concerne le lactose, mais des cas d'intolérance au fructose et ou au sorbitol ont été, plus récemment, identifiés.

■ Intolérance au lactose

Le problème résulte d'un déficit lactasique relatif (physiologique ou pathologique). Le lactose sera dans ce cas mal absorbé, avec deux types de conséquences. D'une part, un effet osmotique et d'autre part, une fermentation par la flore colique, avec des manifestations cliniques très variables (ballonnements, douleurs abdominales, voire des diarrhées osmotiques). En France, le déficit lactasique concerne 20 à 40 % de la population, dont seulement une moitié présente des signes cliniques d'intolérance au lactose. Plusieurs études utilisant la technique du « *Breath test* » (test à l'hydrogène expiré pour détecter la présence de bactéries de type *Helicobacter pylori*, partiellement responsables des ulcères gastriques et duodénaux) ont montré que de nombreux sujets atteints de troubles fonctionnels intestinaux s'estiment, à tort, intolérants au lactose et qu'il existe un effet placebo net de la suppression du lactose. De façon pragmatique, chez les sujets se plaignant de troubles fonctionnels intestinaux et consommant des quantités importantes de lait, il est logique de proposer un essai de réduction de l'apport de lactose et notamment, de la prise de lait, le matin à jeun. Chez les patients ayant une intolérance réelle, les produits laitiers fermentés, tels que les yaourts, sont mieux tolérés dans la mesure où la lactase bactérienne sécrétée par *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* compense le déficit en lactase intestinale.

■ Intolérance au fructose et/ou au sorbitol

La diarrhée et l'inconfort abdominal chronique sont des signes cliniques de la malabsorption du fructose et/ou du sorbitol. L'alimentation occidentale évolue avec une diminution, dans la ration calorique glucidique, de l'amidon au profit d'autres glucides. En France, la consommation de sucres simples est passée de 50 % à 60 % de la ration calorique totale.

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Glucides et alimentation : aspects technologiques

par **Jean-Luc BOUTONNIER**

Enseignant en génie industriel alimentaire au Lycée des métiers de l'alimentation, Villefranche-de-Rouergue, France

1. Fonctionnalités technologiques des glucides dans l'industrie alimentaire	F 6 154 - 2
1.1 Lactose	— 2
1.2 Dextrose et fructose	— 6
1.3 Saccharose.....	— 9
1.4 Composés FOS, GOS et XOS	— 14
1.5 Polydextrose	— 14
1.6 Sirops de glucose et malto-dextrines	— 14
1.7 Cyclodextrines	— 15
1.8 Brunissement non enzymatique	— 15
1.9 Fermentation.....	— 17
2. Différentes présentations des sucres destinés aux utilisations alimentaires	— 18
2.1 État physique	— 18
2.2 Granulométrie.....	— 18
2.3 Couleur	— 18
2.4 Flaveur.....	— 19
2.5 Type de conditionnement.....	— 19
3. Utilisations non alimentaires des sucres	— 19
4. Conclusion	— 19
5. Glossaire	— 19
Pour en savoir plus	Doc. F 6 154

Les glucides sont omniprésents dans les formulations des aliments et des boissons. Cette situation qui les rend souvent incontournables tient au fait qu'ils remplissent de nombreux rôles dans la transformation alimentaire, tant au niveau sensoriel, qu'au niveau technologique. Quand certains ont un pouvoir sucrant, et la capacité à se transformer en composés très sapides, d'autres passent inaperçus lors de la dégustation au niveau de la flaveur. Cependant, au niveau de la texture en bouche, certains apportent de la viscosité, voire conduisent à des gélifications. Ce sont également des substances qui, en raison de leur affinité avec l'eau, participent à la stabilisation des denrées alimentaires par inhibition des micro-organismes qu'elles hébergent. Enfin, ils sont à l'origine, par le biais de traitements d'hydrogénation, des polyols utilisés en tant qu'édulcorants massiques. Ce sont aussi d'excellents substrats au niveau des fermentations, notamment alcooliques dans le cadre de la production d'alcools de bouche. Une revue non exhaustive des rôles des différents glucides permet d'étayer l'importance de ceux-ci au sein des différents secteurs de l'industrie alimentaire.

Dans un premier temps, les fonctionnalités technologiques des glucides dans l'industrie alimentaire sont étudiées avec pour chacun des principaux sucres, des cas d'études concrets. Ainsi, font l'objet de cette revue, non seulement

le lactose, le dextrose, le fructose, le saccharose, mais également les fructo-oligosaccharides, le polydextrose et les cyclo-dextrines. Les études de cas pour illustrer les rôles des sucres en technologie agroalimentaire sont l'occasion d'aborder un grand nombre de filières et de préparations, telles que les industries du lait (laits concentré et déshydraté, yaourt, confiture de lait), des crèmes glacées, glaces et sorbets, des boissons rafraîchissantes sans alcool, des produits traditionnellement sucrés (confiseries, caramel, chocolat, miel), mais aussi l'industrie charcutière et le secteur de la panification.

D'autres thématiques sont ensuite abordées, notamment la réaction de brunissement non enzymatique tantôt recherchée dans certaines applications et tantôt jugée indésirable dans d'autres. Ensuite, les aspects relatifs aux fermentations permettent de s'intéresser aux applications alimentaires, mais également à la fabrication d'agrocarburants comme le bioéthanol, ainsi que d'emballages biosourcés obtenus à partir de sucre de canne.

Puis, un état des lieux des différentes présentations de sucres destinés aux industries agroalimentaires est proposé afin de souligner la diversification de l'offre des industries du sucre en termes de références produits et de critères de contrôle de la qualité. Enfin, un rapide point sur les utilisations non alimentaires des sucres clôt cet article, qui vise à démontrer l'importance des glucides en technologie alimentaire, entrant dans certaines formulations dans des proportions souvent significatives.

4

1. Fonctionnalités technologiques des glucides dans l'industrie alimentaire

Le propos de ce paragraphe est de présenter, non seulement les fonctionnalités que les différents sucres remplissent en termes de leviers technologiques, mais également les inconvénients et les dommages qualitatifs dont ils peuvent être responsables. Ces fonctionnalités, présentées en figure 1, sont plurielles et concernent deux domaines, la dimension technologique, ainsi que les aspects sensoriels. La sélection des exemples est volontairement non exhaustive et délibérément orientée. La logique, qui a présidé le choix des produits et des filières alimentaires, est fondée sur la présence ou l'absence de développements déjà existants dans la base documentaire du traité F dédié à l'agroalimentaire.

1.1 Lactose

Le lactose est le **glucide le plus important du lait**, c'est un disaccharide réducteur, dont la solubilité et le pouvoir sucrant sont peu élevés, et qui, de surcroît, est à l'origine d'intolérances chez les sujets souffrant d'un déficit lactasique. Dans l'industrie laitière, le lactose est extrait du lactosérum, co-produit de la transformation du lait en fromage, soit après concentration par évaporation sous vide, soit par ultrafiltration au niveau du perméat. On l'emploie essentiellement d'une part, dans l'industrie alimentaire (sous forme classique, avec une pureté de 98 %) notamment pour son apport de matière sèche, sa fonction réductrice entre autres, et d'autre part, dans l'industrie pharmaceutique (sous forme Codex STAN 212-1999, pureté 99 %) comme excipient, en tant qu'agent de charge, dans la fabrication de nombreux médicaments sous formes solides, telles que des poudres, des granulés ou bien des comprimés.

1.1.1 Solutions à l'intolérance au lactose

Pour les personnes intolérantes au lactose, l'industrie laitière propose un lait dont le lactose a été fortement hydrolysé. Ainsi, grâce à un traitement enzymatique, qui est le résultat de l'activité d'une hydrolase, la lactase, le lait voit sa teneur résiduelle en lactose se situer entre 0,1 et 0,5 %, selon les références et les fabricants. On utilise pour pratiquer cette hydrolyse des préparations industrielles, telles que la gamme Maxilact® de DSM ou Lactozym® pure de Novozymes. À titre d'exemple, Lactozym, issue d'une levure *Kluyveromyces lactis*, a une activité optimale à un pH de 6,50 et à une température d'environ 48 °C. Il est à noter qu'à l'inverse du glucose produit par l'hydrolyse, le galactose est inhibiteur de cette réaction. Ce traitement peut se réaliser de deux manières :

- addition de l'enzyme dans le lait, détruite ensuite par un traitement thermique ;
- fixation de l'enzyme sur une matrice solide (enzyme immobilisée), couplée à une membrane d'ultrafiltration, pouvant être effectuée sur du lait, non seulement pour les intolérants au lactose, mais aussi sur du lactosérum ou du perméat d'ultrafiltration pour des applications concernant l'alimentation humaine ou animale.

1.1.2 Solutions à la cristallisation du lactose

Plusieurs produits laitiers, tels que les laits concentrés, les laits déshydratés, ainsi que les crèmes glacées, sont sensibles aux évolutions du lactose, en raison d'une concentration de ce sucre supérieure à sa solubilité. Autrement dit, la réduction de la quantité d'eau solvante fait que le lactose atteint et dépasse sa concentration maximale, à pression et température données, le conduisant ainsi à l'état de sur-saturation, préalable indispensable à la cristallisation. Pour indication, la solubilité du lactose dans l'eau à 20 °C n'est que de $0,216 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, contre $2,019 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ pour le saccharose.

1.1.2.1 Stabilité du lactose amorphe

Lorsque l'énergie d'interaction des molécules de lactose devient supérieure à leur énergie cinétique, ce qui est notamment le cas en situation de refroidissement, le lactose présent dans les produits

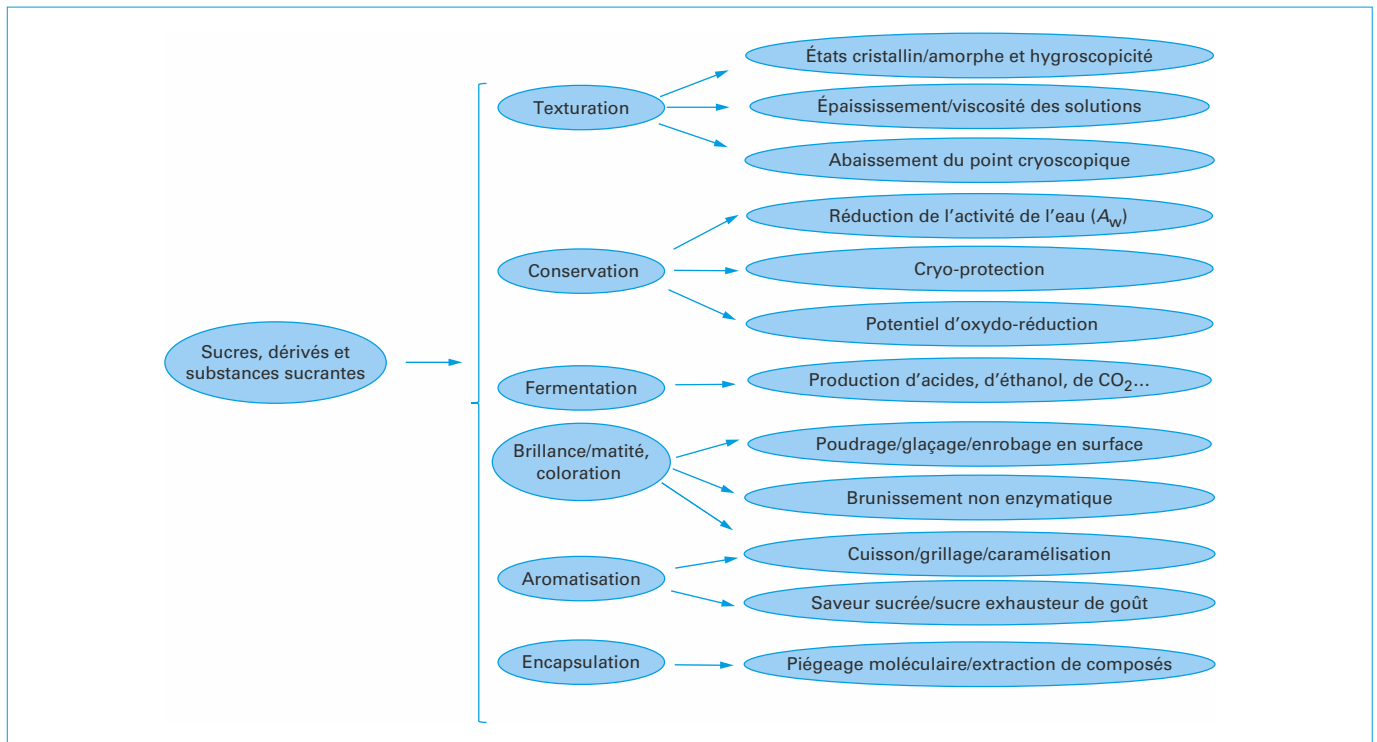


Figure 1 – Panorama des fonctionnalités alimentaires des sucres

laitiers liquides peut alors cristalliser. La cinétique de cristallisation du lactose est fonction de la mobilité des molécules de lactose, conditionnée par la viscosité, elle-même dépendante de la température, et indispensable pour la formation de germes cristallins stables et leur croissance pour donner des cristaux. Cependant, si la mobilité des molécules de lactose est réduite, en raison d'une diminution de l'eau liquide disponible, par évaporation de l'eau au cours du séchage (poudres de lait ou de lactosérum) ou encore par congélation (glaces et crèmes glacées), les molécules de lactose n'ont pas un temps suffisant pour s'organiser en structure cristalline. La figure 2 présente les différents statuts du lactose en fonction de l'activité de l'eau (A_w), qui selon sa température de transition vitreuse T_g sera soit en solution, soit à l'état plastique ou encore sous forme vitreuse. Par conséquent, la matrice se fige sous forme amorphe, caractéristique de l'état vitreux, qui confère aux poudres de lait une plus grande hygroscopicité.

1.1.2.2 Transition vitreuse du lactose

Caractéristique des matériaux amorphes, la température de transition vitreuse (T_g) correspond à un changement des propriétés physiques, mécaniques, électriques et thermiques de la matière, mais elle ne met pas en œuvre de chaleur latente de changement d'état, à l'inverse de la fusion et de la cristallisation. Elle sépare deux états :

- l'**état vitreux**, solide, mais désordonné et stable, situé en deçà de cette température et au sein duquel les molécules ont une faible mobilité. Sa structure est comparable à celle d'un liquide, mais avec une viscosité très élevée, de l'ordre de 10^{12} à 10^{14} Pa · s ;

- l'**état visco-élastique**, plastique, situé au-delà de cette température et au sein duquel les molécules ont une certaine mobilité. Si l'état vitreux est stable au-delà de la température de transition vitreuse (en cas d'augmentation de la température au cours de la conservation par exemple), cette stabilité est anéantie.

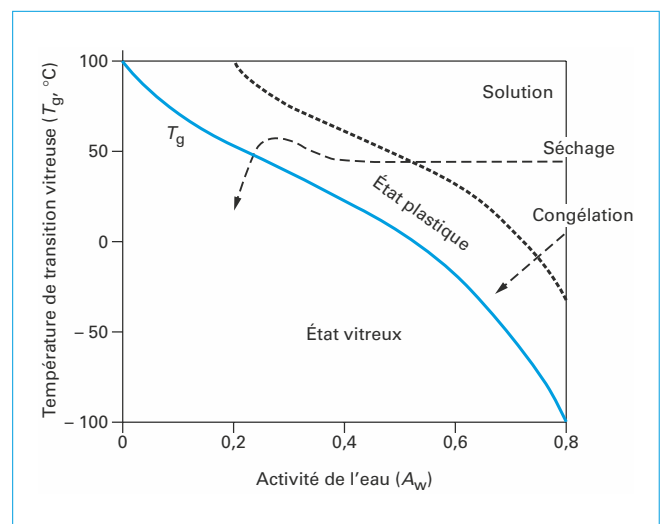


Figure 2 – Évolution de la température de transition vitreuse du lactose en fonction de l'activité de l'eau [1]

Cette évolution est provoquée par une reprise d'humidité corrélée avec la T_g (humidité relative de l'enceinte de stockage et/ou perméabilité de l'emballage de la poudre amorphe), et/ou une augmentation de la température de stockage (figures 6 et 7).

Le tableau 1 présente les températures de transition vitreuse de plusieurs sucres, autres que celle du lactose, et permet ainsi de constater que celles-ci sont très différentes entre elles.

Tableau 1 – Température de transition vitreuse des principaux glucides [2]

Glucides (masse moléculaire) (en Da)	Température de transition vitreuse, T_g (en °C)	Références
Fructose (180)	5	Roos, 1995
Glucose (180)	31	Roos, 1995
Saccharose (342)	57 à 79	Roos <i>et al.</i> , 1991 ; Elamin <i>et al.</i> , 1994
Lactose (342)	97 à 116	Roos <i>et al.</i> , 1991 ; Elamin <i>et al.</i> , 1994 Jouppila <i>et al.</i> , 1994 ; Hill <i>et al.</i> , 1998
Tréhalose (342)	95 à 120	Jovanovic <i>et al.</i> , 2008 ; Simperler <i>et al.</i> , 2007
Amidon	230 à 240	Roos <i>et al.</i> , 1995
Inuline		Hinrichs <i>et al.</i> , 2001
- DPn : 5,5	102	
- DPn : 14,2	140	
- DPn : 23,0	154	

DPn : degré de polymérisation en nombre

Le lactose amorphe étant très hygroscopique, la reprise d'humidité et/ou la remontée de température durant le stockage favorisent, par diminution de la viscosité de la matrice (figure 3), non seulement la cristallisation de ce glucide, mais également la réaction de brunissement non enzymatique ou encore des réactions d'altérations d'origine enzymatique. Durant la cristallisation du lactose, l'eau d'hydratation libérée conduit à un accroissement de l'activité de l'eau, ce qui réduit sa température de transition vitreuse et par conséquent abaisse encore sa viscosité. Les vitesses de cristallisation du lactose, ainsi que l'ensemble des réactions d'altération, déterminantes quant à la durée de conservation de certains produits laitiers, s'accroissent d'autant plus que le gradient de température entre celle du produit et celle de la transition vitreuse augmente (figure 4).

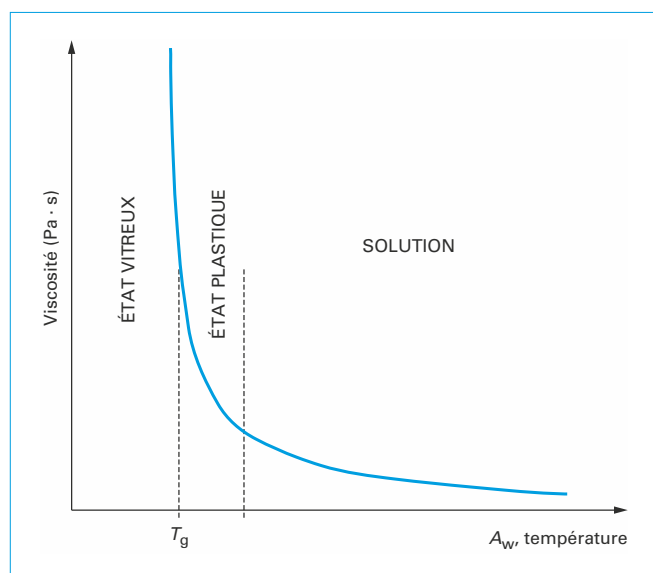


Figure 3 – État du lactose amorphe en fonction de la température et de l'activité de l'eau [1]

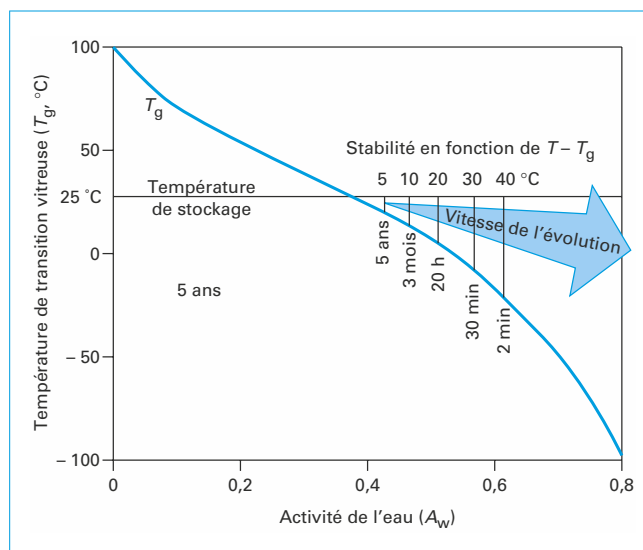


Figure 4 – Stabilité des matrices amorphes en fonction de l'écart de température $T - T_g$ [1]

1.1.2.3 Cas du lait concentré sucré

En théorie, pour garantir une bonne conservation, il faut apporter un **pourcentage de saccharose** aussi important que possible, afin d'assurer une A_w inférieure à 0,85, sans pour autant s'exposer au risque de la cristallisation du sucre durant la conservation du produit. En d'autres termes, il faut s'approcher au plus près de la solubilité, tout en évitant l'état de sursaturation. À la température de 15 °C, la solubilité du saccharose est de 66 g de sucre pour 100 g de solution aqueuse sucrée, c'est-à-dire pour 34 g. Cela équivaut à dire que l'état de saturation s'établit, pour une concentration de 194 g de sucre pour 100 g d'eau. Pour un lait concentré sucré, qui contient généralement 75 % d'extrait sec total, et par conséquent 25 % d'eau, la saturation sera atteinte pour 48,5 g de sucre pour 25 g d'eau. Ainsi, il suffit d'incorporer un taux de sucre inférieur. En pratique, il

se situe aux alentours de 45 % et, dans ce cas, la quantité de sucre correspond à un rapport de $45/(45 + 25)$, soit 64,3 % inférieur à la limite de 66 %. L'incorporation de saccharose sera effectuée, sous forme de sirop liquide purifié bactériologiquement et concentré à 60 % d'extrait sec total, dans le lait après le préchauffage et avant la concentration par évaporation sous vide.

Cependant, si le comportement du saccharose, à ce stade, est maîtrisé, ce n'est pas le **cas du lactose**. La cristallisation de celui-ci est inévitable, car sa concentration est voisine de 12 %. Par conséquent, dans la phase aqueuse (25 %), la concentration en lactose dans l'eau est de 12/25, soit environ 50 %, alors que la solubilité du lactose à 15 °C n'est que de 22 %. En sortie de l'évaporateur, le lait concentré sucré est refroidi, ce qui provoque une importante sursaturation.

Si la cristallisation se réalise naturellement, c'est-à-dire lentement, en dessous de 30 °C, on assiste à la formation de cristaux de lactose peu nombreux et de grande taille, avec le défaut de texture sableuse. Pour éviter cette situation préjudiciable à la qualité texturale du produit fini, la stratégie technologique consiste à réaliser une cristallisation massive sous forme de nombreux cristaux de petite taille, à savoir inférieurs à 10 µm, soit environ 400 000 cristaux par millilitre.

Ce résultat est obtenu par :

- d'une part, soit par un **ensemencement en micro-cristaux de lactose** (granulométrie voisine de 1 µm), soit par addition de lait concentré sucré déjà cristallisé, afin d'amorcer une cristallisation massive du lactose en solution sursaturée ;

- d'autre part, grâce à un **refroidissement rapide du lait concentré**, afin de franchir rapidement la zone de cristallisation maximale. La cinétique de nucléation (vitesse de création des germes cristallins) doit être supérieure à la cinétique de croissance (vitesse de grossissement des germes cristallins devenant des cristaux). La figure 5 représente la vitesse de cristallisation du lactose en fonction du facteur de sursaturation de la solution.

Le temps de séjour dans les zones instable et métastable doit être bref et lorsque le concentré sort de l'évaporateur sous vide à une température d'environ 60 °C, il doit être rapidement refroidi, afin d'atteindre la zone métastable, de telle sorte que la nucléation soit massive. La figure 6 présente la stratégie de conduite de cristallisation recherchée, soit pour l'obtention de petits cristaux indétectables à la dégustation (lait concentré sucré), soit pour la formation de gros cristaux nécessaires pour permettre leur séparation de la solution (extraction du sucre).

En outre, la croissance cristalline est favorisée, car la chaleur latente de cristallisation libérée par le système entraîne une augmentation de la température qui, en diminuant la viscosité de la matrice, accroît la mobilité des molécules de lactose.

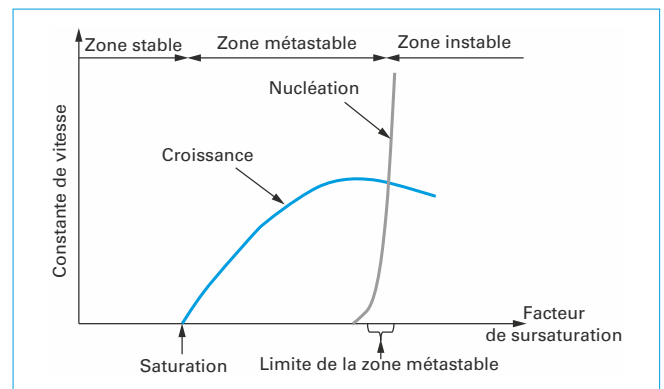


Figure 5 - Représentation des cinétiques de nucléation et de croissance des cristaux en fonction du facteur de sursaturation [1]

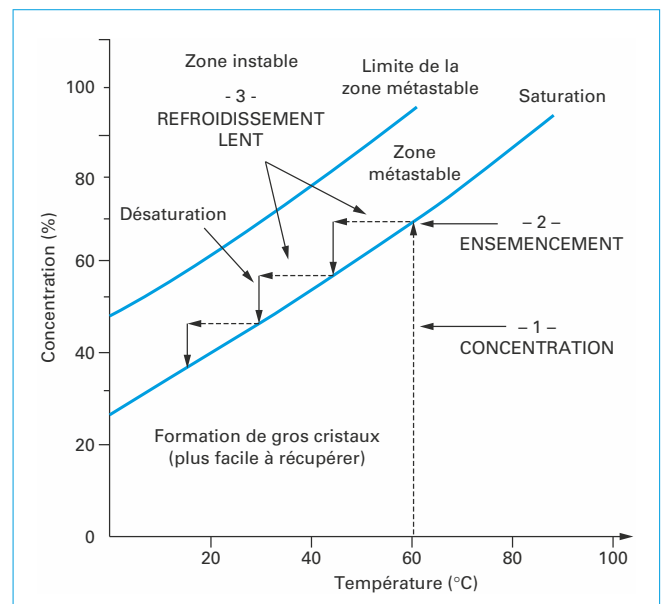


Figure 6 - Représentation schématique des étapes de concentration et de cristallisation pour l'obtention de petits cristaux de lactose [1]

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Produits de confiserie

par **Richard GRABKOWSKI**

Ingénieur de l'Institut des sciences et techniques des aliments de Bordeaux
Formateur-consultant en IAA

1. Présentation	F 8 030 - 2
2. Grandes familles de confiseries.....	— 3
2.1 Sucres cuits.....	— 3
2.2 Gélifiés.....	— 3
2.3 Bonbons à la gomme.....	— 3
2.4 Dragées.....	— 3
2.5 Caramels, toffees et fudges.....	— 3
2.6 Pâtes à mâcher.....	— 3
2.7 Comprimés.....	— 4
3. Ingrédients constitutifs.....	— 4
3.1 Sucres.....	— 4
3.2 Texturants.....	— 5
3.3 Agents de charge.....	— 6
3.4 Lait et dérivés.....	— 8
3.5 Matières grasses.....	— 8
3.6 Autres ingrédients.....	— 8
4. Formulations et technologies de fabrication.....	— 9
4.1 Sucres cuits.....	— 9
4.2 Gélifiés.....	— 12
4.3 Bonbons à la gomme.....	— 15
4.4 Dragées.....	— 16
4.5 Caramels, toffees et fudges.....	— 17
4.6 Pâtes à mâcher.....	— 18
4.7 Comprimés.....	— 18
5. Maîtrise de la qualité.....	— 20
5.1 Contrôles à réception.....	— 20
5.2 Contrôles en cours de fabrication.....	— 20
5.3 Contrôles libératoires.....	— 20
5.4 Conditions de conservation.....	— 20
Pour en savoir plus.....	Doc. F 8 030

Les confiseries appartiennent à une famille alimentaire présentant une grande diversité de textures, formes, couleurs, parfums à même de séduire le plus grand nombre. Elles ont en commun une cuisson plus ou moins poussée du sucre mélangé à d'autres ingrédients qui leur apportent leur attrait. Les textures disponibles sont nombreuses et sont le fait de technologies spécifiques aux diverses familles d'articles. Ainsi, les sucres cuits présentent une texture vitreuse grâce à des températures de cuisson élevées et à une humidité résiduelle faible. À l'inverse, d'autres confiseries comme les gélifiés bénéficient d'une texture tendre obtenue par une gélification et une humidité plus importante. D'autres produits encore, comme les dragées, sont confectionnés par turbinage afin d'enrober un cœur par une couche de sucre craquant. On mesure vite, grâce à ces quelques exemples, toute l'étendue des procédés qui sont à la disposition du confiseur pour réaliser les fameuses friandises.

Dans le monde de la confiserie, la tradition est l'alliée de la modernité : les artisans confiseurs et apothicaires de tout temps ont été à l'origine d'une multitude de produits originaux dont les recettes sont encore, pour beaucoup d'entre elles, presque les mêmes qu'à leur création. Seule la mécanisation a pris le pas sur les techniques manuelles, même si le niveau d'automatisation reste, dans l'ensemble, inférieur à celui d'industries voisines telles que la chocolaterie.

Le marché de la confiserie est en stagnation depuis une dizaine d'années. Ce plafonnement des ventes semble lié à une préoccupation grandissante des consommateurs pour leur santé : le souci d'une alimentation plus équilibrée, la prévention de l'obésité, les caries chez les enfants sont autant de facteurs qui freinent l'achat des confiseries. Pour stimuler les ventes, les industriels ont multiplié les nouveautés par des formes et présentations ludiques, des couleurs et goûts surprenants, ainsi que par l'apparition de confiseries dites « sans sucre » qui déculpabilisent l'acheteur.

On peut également remarquer, depuis peu, un regain d'intérêt pour les produits de traditions régionales qui, après avoir marqué un fléchissement lors des deux dernières décennies, retrouvent une dynamique de succès. Ce phénomène peut s'expliquer par l'augmentation d'une population âgée consommatrice qui aime retrouver les recettes d'antan, mais aussi par une population d'adultes en quête de produits authentiques et aux ingrédients naturels.

Ce dossier propose au lecteur une approche industrielle et pragmatique du monde de la friandise, en l'amenant à la découverte des grandes familles de confiseries. Le vocabulaire du confiseur, les spécificités et technologies de fabrication, les clés du succès sont autant d'éléments mis à sa disposition au fur et à mesure de la lecture.

4

1. Présentation

La préparation de base d'une confiserie requiert presque toujours l'emploi d'un mélange de sucre et de sirop de glucose qui est cuit à haute température.

Cette opération sert à assurer une dissolution parfaite du sucre, mais surtout à concentrer la solution par évaporation jusqu'à l'obtention d'une masse. Cette masse pourra être plastique et malléable dans le cas des sucres cuits, des caramels et des pâtes à mâcher, ou bien visqueuse et dosable dans le cas des gélifiés ou des bonbons à la gomme. L'objectif est d'obtenir, au final, un bonbon dont les teneurs en matières sèches doivent être élevées, généralement comprises entre 80 % et 99 % selon les articles. C'est cette teneur, ainsi que des pH acides dans la plupart des cas, qui vont garantir une longue durée de vie du produit, parfois de plusieurs années à température ambiante, dans des conditions de stockage pauvre en humidité.

Le mélange de sucre, d'eau et de sirop de glucose est cuit à feu ouvert dans des bassines en cuivre pour les productions artisanales.

En fabrication industrielle, la technique communément retenue est une cuisson sous vide qui permet, outre un gain de temps et d'énergie thermique, l'absence de colorations indésirables grâce à une température de cuisson plus basse.

Les installations de cuisson discontinue sont une solution répandue pour les petites productions de sucres cuits et de caramels, tandis que les lignes à fort volume comme les gélifiés ou sucettes de sucres cuits sont souvent équipées de cuiseurs automatiques en continu gérés par automates.

■ **Dans le cas des sucres cuits**, l'état vitreux obtenu par une cuisson poussée amène le bonbon à une humidité résiduelle inférieure à 3,5 % et lui confère sa texture dure sans ajout d'un quelconque texturant. La masse obtenue après cuisson, appelée « venue » dans le jargon des confiseurs, sera aromatisée, colorée, acidifiée puis refroidie, pour pouvoir être moulée ou pressée afin d'exister au final sous un état stable solide et transparent. S'agissant des caramels, terme générique englobant diverses fabrications, ils sont obtenus par une cuisson d'un mélange de sucre, de sirop de glucose, de lait, de matières grasses et d'un émulsifiant. La cuisson, d'intensité variable, conduit à une venue de teinte et de goût caramel plus ou moins marquée. Le travail sous vide n'est pas systématiquement recherché afin de faciliter la réaction de Maillard [1] [2] [3]. L'humidité résiduelle des caramels peut varier de 1 à 3 % pour les caramels durs, de 6 à 10 % pour les caramels mous et toffees.

■ **Les gélifiés et les gommés** sont fabriqués selon un procédé physico-chimique différent. Dans ce cas, la texture n'est pas obtenue par le passage à l'état vitreux mais par l'addition de substances gélifiantes comme la gélatine, la gomme arabique ou l'amidon qui, après refroidissement et séchage, apportent la fermeté ou l'élasticité recherchées. L'humidité résiduelle finale de ces articles se situe entre 18 et 20 %, mais peut descendre à 10 % dans le cas des bonbons à la gomme. S'ensuit une opération d'huilage ou candissage à la surface du produit en guise de finition. Certains produits à la gélatine dits « aérés » bénéficient d'un foisonnement qui leur confère une texture peu dense modifiant les perceptions en bouche avec un fondant plus prononcé. L'aération apporte également une opacité au produit.

■ **Certains articles de confiserie** sont obtenus par d'autres technologies de fabrication, parfois même sans faire appel à la cuisson du sucre. C'est le cas de la **fabrication des comprimés** qui utilise un procédé de compression à froid ou des dragées qui sont conçues par turbinage.

2. Grandes familles de confiseries

La multitude des confiseries ne permet pas de dresser une liste exhaustive de tout ce qui peut être produit ; cependant, l'on peut classer un bon nombre d'entre elles dans les catégories représentatives suivantes, qui ont pour point commun une technologie de fabrication identique.

2.1 Sucres cuits

Les sucres cuits correspondent, depuis de nombreuses années, à l'idée traditionnelle que l'on se fait d'un produit de confiserie. Leur texture vitreuse présente la caractéristique d'être très dure, cassante, avec défillement très lent en bouche. L'aspect peut être transparent ou opaque si le sucre cuit est étiré ou additionné d'ingrédients opacifiants (lait, par exemple). Les bonbons translucides aux parfums de fruits et les sucettes « boules » montées sur bâtonnet concernent la majeure partie des ventes. Des variantes fourrées existent (intégrant : poudre effervescente, confiture, praliné, liqueur, miel) apportant une seconde sensation en bouche. Il existe aussi des sucres cuits grainés d'une texture cristallisée caractéristique (le grainage est une technique qui consiste à provoquer une recristallisation contrôlée par ensemencement de fondant ou de sucre glace dans la venue). Les sucres cuits sont généralement papillotés individuellement mais peuvent aussi être givrés, c'est-à-dire recouverts d'une pellicule de sucre de très fine granulométrie. Ce givrage évite l'enveloppement individuel sous réserve de conditions climatiques (chaleur, hygrométrie) qui ne soient pas extrêmes. L'apparition, ces dernières années, de sucres cuits dits « sans sucre » a amené un certain regain d'intérêt de la part des consommateurs pour des produits acariogènes et apportant environ 30 % de calories en moins qu'un sucre cuit traditionnel. Les produits régionaux, dont le succès ne se dément pas, continuent d'être produits par des petites entreprises souvent familiales (calissons d'Aix, bergamotes de Nancy, bêtises de Cambrai...).

2.2 Gélifiés

Il s'agit de confiseries tendres, élastiques et à texture fondant rapidement en bouche. Elles sont communément fabriquées à base d'un sirop de sucre additionné de gélatine. D'autres substances gélifiantes comme les pectines, carraghénanes, gomme gellane, agar-agar peuvent être parfois employées. La production la plus importante, en volume, est aujourd'hui constituée par les confiseries gélifiées. Les aspects, couleurs, parfums peuvent varier pratiquement à l'infini, grâce à une technologie de coulage dans des empreintes d'amidon avec des moules de toutes formes, une gamme de colorants et d'arômes très vaste. Les textures peuvent varier (d'élastique à cassante) selon le type de gélifiant utilisé. En outre, les technologies de foisonnement applicables à ces produits permettent d'obtenir différents degrés d'aération pour la réalisation de produits de type guimauve ou marshmallow. Le candissage, recouvrement de la surface du gélifié par du sucre ou un mélange sucre-acide est encore une variante permettant de décliner cette catégorie de produits.

2.3 Bonbons à la gomme

Apparentés aux gélifiés mais de texture très différenciée, on les élabore à partir d'un sirop de sucre additionné de gomme arabique ou d'amidon. L'emploi de ces ingrédients, ainsi qu'une étape de séchage sur une durée plus longue et des températures plus élevées que pour les confiseries gélifiées, permet l'obtention d'une texture caractéristique ferme, non fondante, voire collante, avec une persistance en bouche. Un candissage est courant sur ce type

de produit. Les bonbons à la gomme bénéficient d'une image favorable grâce à leur origine végétale alors que les gélifiés à base de gélatine animale ont subi le contrecoup de diverses crises alimentaires. Les représentants majeurs de cette famille sont les « wine gums » à base d'amidon et de gélatine et les gommes à l'eucalyptus à base de gomme arabique.

2.4 Dragées

Elles sont constituées d'un intérieur sur lequel est appliqué, par superposition de couches successives, un sirop de sucre qui forme au final une pellicule rigide et homogène. Selon la technologie et la composition adoptées, cette pellicule a une épaisseur, une dureté et une brillance particulière qui classent la dragée dans une des deux catégories suivantes.

■ **Les dragées dures** sont constituées, à l'intérieur, d'une amande, d'une noisette, d'une cacahuète, d'un coussinet de chewing-gum ou d'un grain de sucre. Cet intérieur est enrobé de 50 à 80 couches successives de sirop de sucre, parfois additionné de colorant. La pellicule très dure de sucre cristallisé ainsi formée atteint au final 500 à 800 µm d'épaisseur. Une étape de lissage et de coloration finale permet d'obtenir une surface parfaitement homogène et brillante.

■ **Les dragées tendres** ou « jelly beans » dans les pays anglo-saxons, sont fabriquées sur la base d'un intérieur tendre comme un gélifié sur lequel sont appliquées 3 à 5 couches de sirop de sucre de composition et techniques d'application différentes de celles des dragées dures. Au final, la dragéification tendre pourra être plus épaisse que la dragéification dure mais de moindre dureté.

2.5 Caramels, toffees et fudges

Les caramels se caractérisent par une texture allant de tendre à dure, obtenue par variation du degré de cuisson. La saveur et la couleur caramel plus ou moins prononcée sont obtenues par la présence de protéines laitières et de sucres réducteurs permettant la réaction de Maillard. Cette caramélisation est d'autant plus forte que la teneur en sucres réducteurs et en protéines est élevée. La durée et la température de cuisson ainsi que le pH ont une influence également très importante sur l'intensité de la réaction. Les **caramels mous** se caractérisent par une texture moelleuse, fondante, mastiquable tandis que les **caramels durs** sont fermes, lisses et cassants. Ces derniers ont une teneur en eau très faible, voisine de celle des sucres cuits. Le **toffee**, mot venant de l'anglais « tough » signifiant tenace, s'apparente au caramel mou mais, comme son nom le souligne, s'avère plus collant. Le **fudge** se différencie par une texture grainée, obtenue par recristallisation contrôlée, courte, non collante, fondante et présente une saveur sucrée intense.

2.6 Pâtes à mâcher

Ce type de confiserie, connu dans les pays anglo-saxons sous le vocable de « fruit chew », peut s'apparenter au fudge, mais, par le fait d'addition de gélatine, de gomme arabique et de dextrines, peut être mâché beaucoup plus longuement. La gélatine donne à ce produit son caractère plastique et élastique. Les pâtes à mâcher sont obtenues par cuisson d'un sirop de sucre et d'un sirop de glucose auxquels ont été ajoutées de faibles quantités de matières grasses (5 à 10 %). La masse cuite est ensuite étirée ou battue pour l'alléger. C'est cette aération et la présence de matières grasses qui donnent aux pâtes à mâcher leur texture caractéristique.

2.7 Comprimés

Les comprimés appartiennent à une catégorie de produits dont la fabrication n'est pas un savoir-faire exclusif des confiseurs mais partagé avec l'industrie pharmaceutique. La conception ainsi que les procédés de fabrication sont identiques. Ces articles à base de sucre ou de polyols sont moulés à froid sous forte pression en forme de pastilles, comprimés, tablettes. La granulation est incontournable dans le cas de comprimés de sucre tandis que certains polyols, de plus en plus utilisés, sont directement compressibles et s'affranchissent de cette étape. Des agents liants et lubrifiants sont généralement employés pour la réalisation de ces articles. Les comprimés à base de polyols sans sucre présentent l'avantage d'être acariogènes, hypocaloriques et possèdent un effet rafraîchissant dû à la chaleur de dissolution négative des polyols.

3. Ingrédients constitutifs

3.1 Sucres

3.1.1 Saccharose

Le saccharose, appelé communément sucre, est un disaccharide non réducteur d'origine végétale produit par certaines plantes saccharifères dont la betterave et la canne [4]. C'est un produit bon marché, au rapport prix/pouvoir sucrant optimal, et servant de base pour la formulation de toute confiserie. Il fait référence en termes de pouvoir sucrant : on lui attribue un pouvoir sucrant égal à 1. Sa solubilité dans l'eau augmente progressivement avec la température. Le tableau 1 donne les valeurs de solubilité maximale en fonction des températures de cuisson d'un sirop de sucre.

L'excellente solubilité à haute température est déterminante dans l'élaboration des produits de confiserie, puisque c'est elle qui permet d'atteindre les hautes teneurs en matières sèches indispensables à ces produits. La molécule de saccharose, constituée d'une molécule de fructose et d'une molécule de glucose reliées par une liaison glycosidique, peut être rompue lors de la cuisson et engendrer la présence de fructose et de glucose dans le sirop, appelé aussi **sucre inverti**. Cette inversion du saccharose est favorisée en milieu acide, chose fréquente en confiserie où les pH sont souvent inférieurs à 5.

Tableau 1 – Solubilité du saccharose dans l'eau

Température (°C)	Rapport saccharose/eau (g/g)	Matières sèches (%)	Fraction molaire (mol/mol)
0	1,783 7	64,08	0,085 82
10	1,892 9	65,43	0,090 59
20	2,004 7	66,72	0,095 44
30	2,153 5	68,29	0,101 80
40	2,345 0	70,10	0,109 86
50	2,586 3	72,12	0,119 81
60	2,885 7	74,26	0,131 85
70	3,251 5	76,48	0,146 13
80	3,690 1	78,68	0,162 63
90	4,200 3	80,77	0,181 04
100	4,763 7	82,65	0,200 46
110	5,449 9	84,50	0,222 90
120	6,506 2	86,68	0,255 08
130	8,021 1	88,91	0,296 85

Les critères de degré de pureté et de granulométrie du saccharose sont deux facteurs à bien maîtriser lors de la confection d'articles de confiserie. Pour la préparation des sirops de sucre, le sucre blanc cristallisé n° 1 est à recommander. La méthode dite des « **Points européens** » [4] permet une classification du sucre en fonction de son niveau de qualité. Pour être classé en catégorie n° 1 la plus pure, un sucre doit respecter des critères d'aspect, de coloration et de teneur en cendres quantifiés sous forme d'attribution de points. On admet pour une utilisation en confiserie que le nombre maximal de points doit être de 8. L'utilisation de sucre n° 2 est possible si le nombre de points ne dépasse pas 14, mais reste peu souhaitable.

3.1.2 Sirops de glucose

Les sirops de glucose jouent un grand rôle dans la confection des articles de confiserie puisqu'ils sont utilisés en premier lieu pour influencer sur la cristallisation du saccharose. L'effet anticristallisant du sirop de glucose sur le saccharose se manifeste de deux manières : d'une part, par modification de la solubilité du saccharose qui tend à augmenter avec la complexité du mélange, d'autre part par la viscosité qui ralentit la vitesse de diffusion du saccharose dans le milieu. Mais la fonction d'un sirop de glucose va au-delà : sa composition et le ratio saccharose/sirop de glucose défini dans une formule peuvent modifier considérablement les qualités organoleptiques (saveur, texture) ainsi que les caractéristiques de conservation. Les sirops de glucose influent également notablement sur le prix de revient d'une confiserie grâce à leur coût inférieur à celui du saccharose. On trouve, sur le marché, une gamme complète de sirops de glucose issus d'amidons de différentes origines végétales comme le blé, la pomme de terre, le maïs ou encore le tapioca.

Les sirops de glucose se différencient d'abord par leur degré de saccharification exprimé en **dextrose-équivalent (DE)**. Cette mesure indique la teneur (en pour-cent) de sucres réduits que contient la matière sèche, exprimée en D-glucose. Plus le DE est élevé, plus le pouvoir sucrant est élevé, plus la viscosité du sirop est faible, plus l'hygroscopicité augmente. On voit ici l'importance que va revêtir le choix du sirop de glucose sur la fabrication de tel ou tel type de confiserie.

Exemple : si le procédé consiste à couler la confiserie dans un moule, il sera judicieux d'opter pour un sirop de glucose de haut DE pour bénéficier d'une moindre viscosité.

De la même manière, on s'intéressera aux conditions de conservation du produit final, sa finition par enveloppement, candissage, givrage, avant d'orienter son choix vers un sirop de glucose très hygroscopique.

D'autres facteurs, comme le spectre glucidique ou la teneur en maltose, sont à considérer dans le choix d'un sirop de glucose. On peut citer, à titre d'illustration, que les sirops de glucose de DE = 42 % et DE = 68 % sont couramment utilisés en confiserie sans que cette liste soit limitative.

3.1.3 Sucre inverti

Obtenu par hydrolyse du saccharose par voie acide ou enzymatique, on trouve le sucre inverti sous forme liquide épaisse et incolore. Le sucre inverti est utilisé pour inhiber la recristallisation des solutions de sucre. Plus soluble que le saccharose, de viscosité élevée et très hygroscopique, il est utile pour réguler l'activité de l'eau de certaines confiseries qui doivent conserver une texture moelleuse ou pâteuse. Ainsi, on retrouve le sucre inverti dans certains fourrages de sucres cuits, les pâtes d'amande ou encore les caramels mous. L'utilisation du sucre inverti a considérablement diminué depuis l'apparition de sirops de glucose toujours plus performants et moins onéreux.

3.1.4 Dextrose

Commercialisé sous forme de poudre, de saveur moins sucrée que le saccharose, il est le produit issu de l'hydrolyse maximale de l'amidon et existe sous forme anhydre ou monohydraté. Le dextrose peut cristalliser et présente une viscosité en solution inférieure au saccharose. Cette dernière propriété peut être intéressante dans le cas de fabrications où l'article de confiserie doit être coulé. C'est le cas des fourrages, pâtes de sucre, caramels mous, nougatine ou certains sucres cuits. Le dextrose entre également dans la fabrication des comprimés. Il présente également la propriété d'être stabilisateur de l'humidité, ce qui justifie son emploi en couverture, parfois mélangé à du saccharose ou de l'amidon (candissage). Le dextrose peut aussi être employé pour abaisser la perception trop sucrée de certains bonbons.

3.2 Texturants

3.2.1 Gélatine

Protéine animale obtenue par hydrolyse partielle du collagène, la gélatine est de loin le texturant le plus répandu dans la confection d'articles gélifiés [5]. La gélatine est un ingrédient aux multiples fonctionnalités. Dans la fabrication des bonbons, elle est utilisée comme gélifiant, agent foisonnant, liant ou émulsifiant. Ces fonctionnalités peuvent être obtenues par un dosage adapté, mais aussi par le pouvoir gélifiant de la gélatine exprimé en blooms. L'indice de Bloom est la mesure de référence du pouvoir gélifiant d'une gélatine. Plus cet indice est élevé, plus la gélatine a un rendement gélifiant élevé. Les qualités courantes employées en confiserie vont de 100 à 280 blooms. Le tableau 2 illustre les différents types de gélatine préconisés en fonction du type de confiserie à réaliser. Suivant la nature de la matière première et le procédé d'extraction de la gélatine, on doit distinguer deux types de gélatine, présentant des propriétés différentes : la gélatine obtenue par voie acide, appelée aussi gélatine type A et la gélatine obtenue par voie alcaline, dite gélatine type B. On préférera, en confiserie, la gélatine de type A qui présente une viscosité faible, plus compatible avec le coulage, ainsi qu'un meilleur pouvoir moussant pour la fabrication de produits aérés. Dans le cas particulier de fabrications Kosher ou Halal, des gélatines de type A issues de peaux de poisson ou de volailles existent mais d'un prix de revient supérieur à celui de la gélatine issue de couenne de porc de type A.

La gélatine permet la préparation d'une solution gélifiante limpide et fortement concentrée, jusqu'à 40 % dans l'eau, qui sera ajoutée à la solution de sirop de sucre. Il est possible, bien que le temps d'hydratation s'en trouve allongé, de dissoudre la gélatine dans l'eau froide. Dans ce cas, on optera pour une granulométrie

Type de confiserie	Bloom	Fonction recherchée	Gélatine préconisée (%)
Gélifiés	180 à 270	Gélification	6 à 9
Marshmallows	200 à 280	Foisonnement	2 à 5
Pâtes à mâcher	100 à 200	Foisonnement	0,5 à 2,5
<i>Wine gums</i>	100 à 150	Gélification	4 à 8
Têtes de nègre	100 à 200	Foisonnement	0,5 à 1,0
Dragées	100 à 180	Liant	0,5 à 2,0
Comprimés	100 à 180	Liant	0,2 à 0,5

tion de son origine, de sa pureté, du pH et de la teneur en matières sèches du milieu. À la différence des articles fabriqués à base de gélatine, qui fondent en bouche grâce à la thermoréversibilité de cette protéine, l'agar-agar ne dispose pas de cette caractéristique et, de fait, n'est pas un vecteur optimal de diffusion des arômes. Les forces en gel maximales sont obtenues pour des teneurs en matières sèches entre 78 % et 80 %. Le pouvoir gélifiant maximal à pH 8-9 diminue progressivement avec l'acidité, ce qui explique son usage modéré en confiserie. L'agar-agar supporte mal les pH acides combinés aux températures élevées. Aussi prendra-t-on soin d'incorporer les agents acidifiants le plus tard possible dans la fabrication et à des températures inférieures à 60 °C. Les dosages moyens d'utilisation de l'agar-agar en confiserie gélifiée oscillent entre 0,5 et 2 %.

3.2.2.2 Alginates

Sels alcalins ou ammoniacaux de l'acide alginique extraits d'algues marines, ils sont peu utilisés en confiserie. Ils réagissent en solution aqueuse en présence de calcium pour former des gels cassants non thermoréversibles. Leur application est limitée à une utilisation comme agent de brillantage sur les articles de réglisse en substitution des agents de huilage traditionnels. En l'absence de calcium dans le milieu, ils sont utilisés pour leurs propriétés épaississantes et stabilisantes dans certains fourrages. La synérèse reste un défaut important de l'utilisation des alginates en confiserie.

3.2.2.3 Carraghénanes

Ce polysaccharide, constitué d'unités de galactose, est également issu d'algues marines et peut exister sous trois formes, distinguées par le nombre et la position des groupes sulfates présents sur la molécule [6]. Ainsi, les *(iota)* et *(kappa)* carraghénanes ont des

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.



Filière de production : produits d'origine végétale

(Réf. Internet 42433)

1- Légumes et légumineuses

2- Céréales

3- Huiles végétales

4- Sucres

5- Thé, café et cacao

	Réf. Internet	page
Café : de la cerise à la tasse	F6160	99
Le thé : production, propriétés sensorielles et de santé	F6165	105
Cacaos et chocolats : traitement et fabrication	F6170	111

6- Bières

7- Fruits

8- Algues

➔ **Sur www.techniques-ingenieur.fr**

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires

Café : de la cerise à la tasse

par **Michel BAREL**

*Chercheur expert, centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad)
Membre de l'académie française du chocolat, chevalier honoris causa de la confrérie des chocolatiers de France*

1. Filière café	F 6 160 - 2
2. Caféier	— 3
2.1 Espèces de caféiers	— 3
2.2 Origines des cafés	— 3
2.3 Culture du café	— 4
3. Première transformation	— 5
3.1 Voie sèche	— 5
3.2 Voie humide	— 6
4. Usinage	— 8
4.1 Décortilage – Déparchage	— 9
4.2 Calibration granulométrique	— 9
4.3 Triage densimétrique (ou pneumatique)	— 10
4.4 Triage colorimétrique	— 10
4.5 Contrôle qualité	— 11
5. Industrie de la torréfaction	— 12
5.1 Décaféination	— 12
5.2 Torréfaction	— 13
5.3 Broyage	— 13
5.4 Café soluble	— 14
6. Préparation de la boisson	— 15
7. Nutrition et santé	— 16
7.1 Caféine	— 16
7.2 Caféine, remède au cancer de la peau	— 17
7.3 Café et diminution du risque de cancer du foie	— 17
7.4 Dépendance au café	— 17
7.5 Aversion au café comme signal d'une grossesse	— 17
Pour en savoir plus	Doc. F 6 160

La filière café se distingue des autres grandes filières de matières premières en ce qu'elle concerne deux produits bien distincts : l'Arabica et le Robusta.

Depuis quelques années, on voit émerger de nouveaux marchés :

- provenant des États-Unis, la demande de « **cafés gourmets** » croît de façon extraordinaire chaque année. Elle porte sur des cafés très bien préparés qui présentent de belles palettes d'arômes ;

- les **cafés de terroir** sont également de plus en plus recherchés. Ils représentent une réaction à la mondialisation qui fait que les consommateurs souhaitent savoir d'où provient ce qu'ils consomment ;

- les **cafés issus du commerce équitable** répondent à une sensibilisation du consommateur prêt à aider les producteurs des pays pauvres. Pour être un franc succès, il faudrait que les règles de bonnes pratiques de transformation soient incluses dans les cahiers des charges ;

- les **cafés biologiques**, enfin, connaissent un beau développement. Ils proviennent de plantations certifiées qui n'utilisent que des engrais naturels et des pesticides autorisés et ce, en quantité très limitée. Ils résultent d'une démarche de protection de la nature et sont très prisés en Allemagne.

1. Filière café

En 2005, les 12,5 millions d'hectares cultivés en cafés ont produit 6,9 millions de tonnes de café vert sec. Une grande partie vient du Brésil qui représente, à lui seul, 35 % de la production mondiale. Mais, le Brésil est également un gros consommateur qui utilise 50 % de sa production pour sa propre utilisation : plus de 1,2 millions de tonnes. Viennent ensuite le Viet Nam (750 000 t), puis la Colombie (690 000 t). Voir figure 1.

En 1995, le Viet Nam était un parfait inconnu dans la filière café. En dix ans, à force de plantations et de travail, il s'est hissé au second rang, dépassant la Colombie (voir tableau 1).

La Colombie, désormais troisième producteur mondial, est considérée par beaucoup comme produisant le meilleur café du monde. Elle a gagné cette réputation en adossant à un bon produit, une action de marketing exemplaire, développée par l'association nationale des producteurs *Cafeteros de Columbia*, positionnée sur tous les grands événements et lieux visibles du public : Air France, Roland Garros, Tour de France, pour ne citer que les exemples français.

La plus grosse consommation se trouve en Europe, avec l'Allemagne qui consomme presque autant de café que les États-Unis et est très exigeante sur la qualité, l'Italie, célèbre pour ses cafés très torréfiés et serrés, et la France. Viennent ensuite les USA et le Japon, lui aussi très exigeant (figure 1).

Continent	Production (en tonnes)	Production Mondiale (en %)
Amérique Latine, dont :	4 300 000	62
• Brésil	.....	..... 34
• Colombie	.....	..... 10
Asie, dont :	1 650 000	24
• Viet Nam	.....	..... 11
Afrique, dont :	950 000	14
• Afrique de l'Est	.....	..... 10
• Afrique de l'Ouest et Centrale	.....	..... 4

Les cours mondiaux des cafés subissent des fluctuations importantes et une baisse structurelle due à un fonctionnement spéculatif mal maîtrisé. Pourtant, la filière café se caractérise par un bon équilibre entre l'offre et la demande, sans surproduction excessive, ni manques inquiétants (tableau 1).

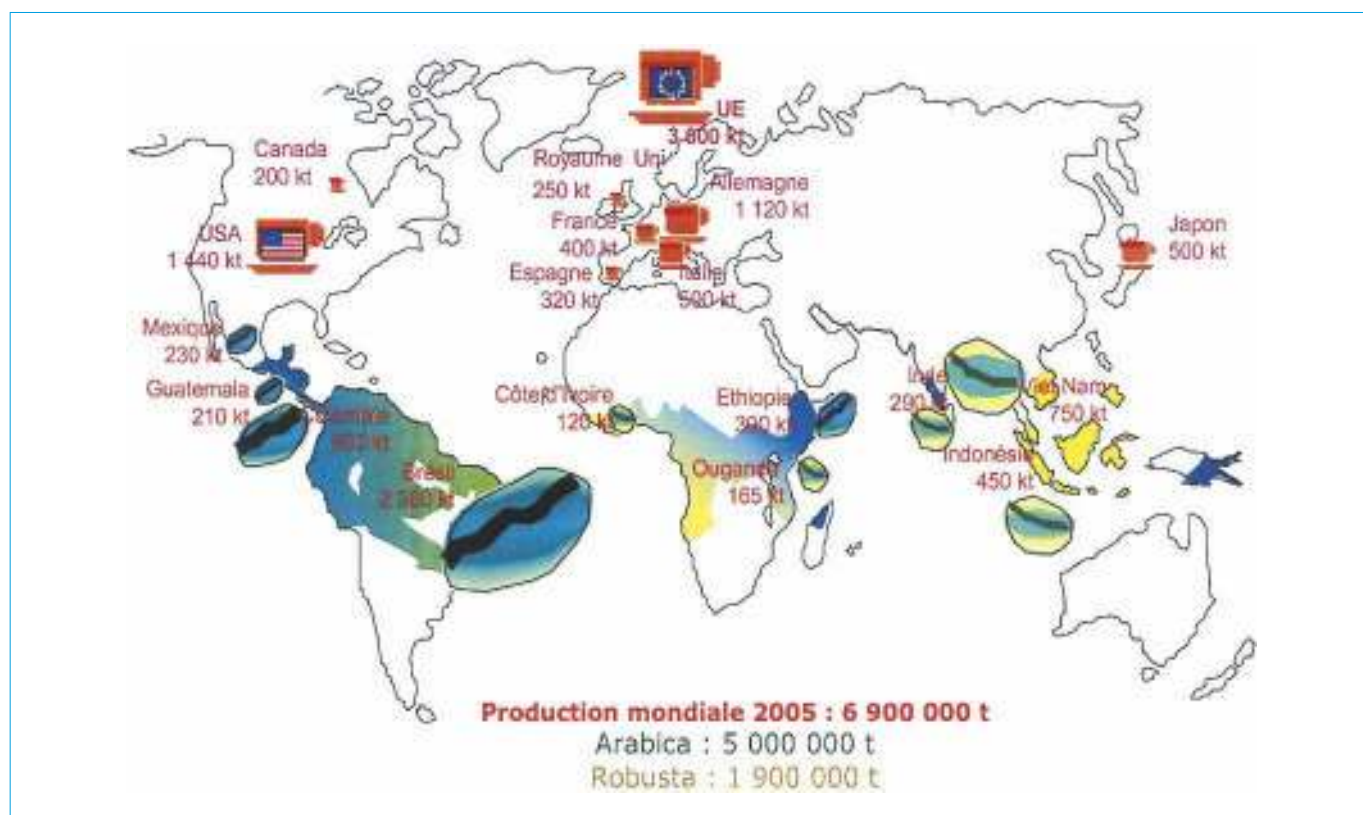


Figure 1 – Production et consommation de café en 2005

2. Caféier

2.1 Espèces de caféiers

Le café appartient à la famille des *Rubiaceés* et au genre *Coffea*. Mais là, deux espèces différentes apparaissent :

- l'**espèce Arabica** qui ne pousse qu'en altitude, à partir de 600 m et jusqu'à 2 000 m. Elle comporte une quinzaine de variétés aux noms connus, comme le *Bourbon*, le *Maragogype*, le *Mokka*, etc. (tableau 2). L'*Arabica* produit des grains longs et larges, plutôt plats, au sillon central sinueux, et de couleur parfois bleutée (figure 2). Il ne contient que 1 à 1,5 % de caféine, et développe des arômes acidulés, parfumés, floraux, fruités ;

- l'**espèce Canephora qui est assimilée à sa variété la plus cultivée, le Robusta**. Le *Robusta Canephora* possède deux fois moins de chromosomes (22) que l'*Arabica* (44). Autre différence, le *Robusta* ne pousse qu'à basse altitude, entre le niveau de la mer et 5 à 600 m. Le *Robusta* a des grains plus petits, plus trapus, plus arrondis, au sillon central rectiligne (figure 2). Sa couleur est un vert tirant sur le brun. Il contient plus de caféine : 2 à 2,5 %, et sa boisson est plus corsée, mais aussi plus amère.

2.2 Origines des cafés

Contrairement à de nombreux végétaux, le café provient de deux endroits différents (figure 3).

■ L'**Arabica** serait apparu sur les hauteurs de l'Abyssinie, l'actuelle Ethiopie. L'homme lui aurait fait franchir la mer Rouge, pour croître et prospérer au Yémen. C'est là qu'il prend son nom d'« Arabica ».

Le café devient un produit prisé dans le monde musulman. Il part en Inde où des Hollandais comprennent son intérêt commercial et l'introduisent en Indonésie. Ils en ramènent quelques plants

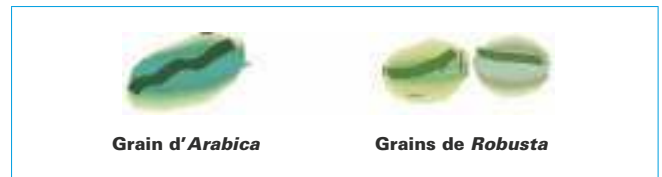


Figure 2 – Morphologie des grains de café Arabica et Robusta

Tableau 2 – Variétés de café Arabica et pays producteurs (liste non exhaustive)

Blue Mountain	Jamaïque, Kenya
Bourbon	Brésil, Colombie, Costa Rica
Caturra	Brésil, Costa Rica, Mexique
Kent's	Kenya
Maragogype	Brésil, Mexique, Guatemala
Mokka	Éthiopie, Kenya...
Typica	Colombie, Costa Rica, Mexique

à Amsterdam dont le Bourgmestre offre deux exemplaires au Roi Louis XIV. Ce dernier les fait acheminer en Martinique, dans un climat plus propice à leur survie, et c'est de là que le café Arabica investit tout le continent latino-américain.

■ Le **Robusta**, lui, serait apparu dans le bassin du Congo, et n'a guère quitté son continent natal. Il s'est propagé vers l'ouest, jusqu'en Guinée, et vers le sud, jusqu'en Angola. Sa seule exportation a été pour l'Indonésie.

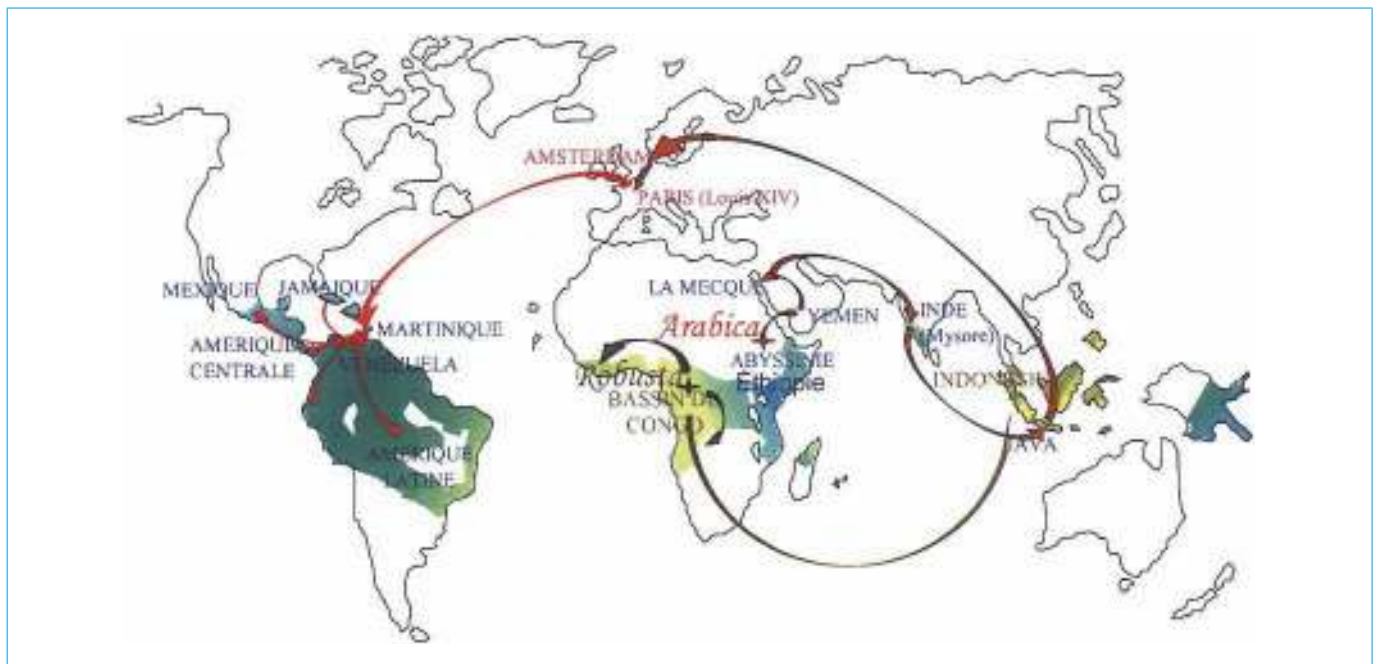


Figure 3 – Origines et déplacements des cafés Arabica et Robusta



Figure 4 – Plantation de caféiers sous ombrage (Cliché M. Barel)



Figure 7 – Cerises de café (Cliché Cirad)



Figure 5 – Caféier en fleur (Cliché M. Barel)



Figure 6 – Fleurs de caféier (Cliché Cirad)

2.3 Culture du café

■ À l'état sauvage, un *Robusta* adulte peut mesurer 2 à 3 m de hauteur. L'*Arabica*, lui, est plus petit et, en haute altitude, vers 2 000 m, on peut trouver des arabicas nains ne dépassant pas 1,50 m. C'est pourquoi les caféiers sont des arbustes qui vivent toujours à l'abri des géants équatoriaux.

■ En culture, le caféier doit également pousser à l'ombre de grands arbres laissés, ou plantés, là spécialement pour le protéger du soleil direct (figure 4). Avantage collatéral de ce besoin, les arbres d'ombrage abritent toute une flore et une faune spécifique et, ainsi, grâce à ses arbres protecteurs, le caféier participe au maintien de biotopes intéressants l'écologie, la médecine et la pharmacopée.

■ La fleur du caféier pousse à l'aisselle des feuilles, tout au long du rameau (figures 5 et 6). Elle n'est pollinisée que par des insectes et, notamment, des abeilles.

■ Les caféiers ont tendance à monter, en laissant les rameaux inférieurs se dessécher et en créant de nouvelles pousses vers le haut. C'est là que se développent les fleurs puis les fruits de l'année. Dans la plantation, pour maintenir les arbres à une hauteur qui permet de récolter facilement les cerises, les caféiers sont « recépés » à leur base, généralement tous les cinq ans, parfois en laissant juste une tige, un « tire sève ».

■ Les fruits du caféier sont des baies, rouges à maturité, grosses comme des cerises, appelées d'ailleurs « cerises de café » (figure 7).

■ Pour la récolte, toutes les cerises d'un même arbre ne mûrissant pas en même temps. Il faut faire plusieurs passages, espacés de deux à trois semaines. Dans 95 % des cas la récolte est faite à la main, en prenant soin de ne prélever que les cerises rouges, pour garantir la meilleure qualité possible (figure 8).

Dans certaines plantations, on pratique le *strip-picking*, en glissant la main d'un bout à l'autre du rameau, et en récoltant toutes les cerises, quelle que soit leur maturité. Cette pratique peut conduire à des lots de cafés hors des normes commerciales.

Il n'y a guère qu'au Brésil que l'on utilise des machines pour récolter le café, semblables à celles des vendanges. Ailleurs, les terrains sont trop en pente, ou les plantations sont trop petites, pour mécaniser la récolte.



Figure 8 – Récolte manuelle du café (Mexique) (Cliché M. Barel)

3. Première transformation

Une fois récoltées, les cerises de café vont subir toute une série de transformations pour parvenir à la tasse de café boisson. Ces différentes étapes font appel à des matériels plus ou moins sophistiqués. Mais, quels que soient les outils utilisés, il ne faut jamais perdre de vue que l'important, c'est le produit et son évolution. C'est ce que nous allons essayer de montrer dans les paragraphes suivants.

La cerise de café, fruit du caféier, est constituée d'une peau (exocarpe), d'une pulpe mucilagineuse, plus ou moins abondante selon les espèces (mésocarpe), et d'un « noyau » formé par deux graines opposées par leur face plate (endosperme). Chaque graine est entourée d'une enveloppe ligneuse, la parche (endocarpe), et d'une pellicule adhérente, la pellicule argentée (spermoderme).

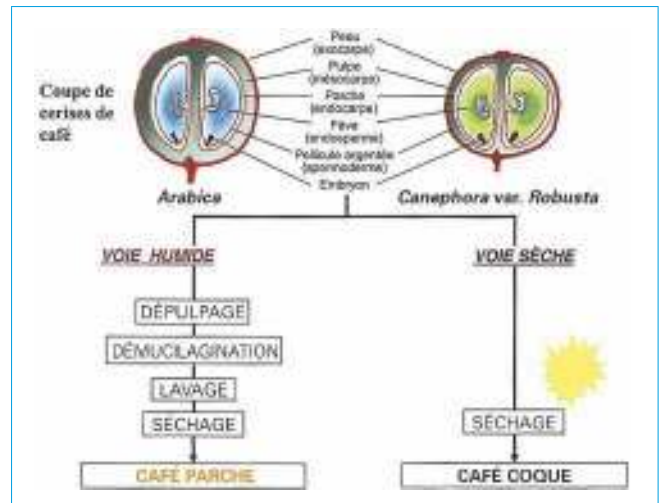


Figure 9 – Schéma de première transformation du café selon la voie sèche, ou la voie humide

dans la région où le café est cultivé. Au Brésil, par exemple, où se cultive l'Arabica, le manque d'eau dans la région caféicole oblige à pratiquer la voie sèche, ce qui donne des « Arabica voie sèche », un peu moins fins que les « Arabica voie humide ». À l'inverse, au Cameroun, la concomitance de la récolte du café et de la saison des pluies fait que le séchage est difficile à réaliser dans de bonnes conditions. Les planteurs sont obligés de recourir à la voie humide, même pour les Robusta.

Alors que la voie sèche est facile à réaliser et ne demande que très peu d'équipement, la voie humide nécessite du matériel, donc des frais d'investissement, et une technicité certaine qui ne s'apprend pas du jour au lendemain.

Bien que normalement bénéfique, **une préparation par voie humide, si elle est mal conduite, donne un café de bien plus mauvaise qualité, que le même café préparé simplement, mais soigneusement par voie sèche.**

3.1 Voie sèche

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Le thé : production, propriétés sensorielles et de santé

par **Thi Minh Luyen DANG**

*Ingénieure diplômée de l'Institut polytechnique de Hanoï,
Docteure en sciences agronomiques et ingénierie biologique,
Enseignante, Chercheuse en gestion de la qualité à l'Institut de biotechnologie
et de technologie alimentaire, IUH Ho Chi Minh, Vietnam*

et **Yves WACHÉ**

*Ingénieur ENSBANA
Docteur en biochimie microbienne et biotechnologie de l'Université de Bourgogne,
Dijon, France,
Professeur de microbiologie et biotechnologie à AgroSup Dijon,
Co-directeur du Laboratoire International Tropical Bioresources & Biotechnology
associant AgroSup Dijon, Hanoi University of Science & Technology et l'Université
de Bourgogne*

5

1. Historique – Variétés et culture	F 6 165	- 2
1.1 Développement du thé en occident.....	—	2
1.2 Aperçu du marché du thé.....	—	2
1.3 Variétés	—	3
1.4 Conditions de culture.....	—	3
1.5 Zone de production et rendements	—	4
2. Procédés de fabrication des principaux types de thé	—	5
2.1 Différents types de thés.....	—	5
2.2 Principales opérations unitaires	—	6
3. Transformations biochimiques et nutrition	—	12
3.1 Composition	—	12
3.2 Transformations pendant l'élaboration du thé.....	—	12
3.3 Genèse de composés d'arômes.....	—	13
3.4 Nutrition et santé	—	16
4. Contrôle qualité et impact sociétal	—	17
4.1 Contrôle qualité.....	—	17
4.2 Impact des cultures sur l'environnement et la main d'œuvre	—	17
4.3 Défis et tendances.....	—	17
5. Conclusion	—	18
6. Glossaire	—	18
Pour en savoir plus	Doc. F 6 165	

Le thé est une boisson dont l'usage a longtemps été régi par des règles précises. Sa consommation est antérieure à notre ère et plusieurs livres traditionnels codifient la cérémonie du thé autant dans les pays d'origine, que dans des pays où il est arrivé plus tard comme le Japon ou l'Angleterre. Son extension géographique dans différentes cultures est à l'origine d'une grande diversité sensorielle de produits allant du thé blanc au thé post-fermenté avec une consommation majoritaire sous forme de thés verts en Extrême-Orient et de thés noirs en Occident. Tous ces produits sont obtenus par de nombreux

procédés (par exemple la cuisson à sec est utilisée sur le continent asiatique, alors qu'elle a lieu à la vapeur au Japon) et à partir de variétés et d'espèces différentes. Ses vertus thérapeutiques l'ont fait figurer dans le premier traité de phytothérapie de Shen Nong daté de 2800 av. J.-C. L'original de ce livre n'a pas pu être retrouvé, mais les copies plus récentes montrent qu'à l'époque Han, le thé était encore le centre d'attention pour ses propriétés pour la santé, attention qui ne s'est pas démentie depuis. Les différents procédés sont à l'origine de compositions très variées en composés bioactifs, mais les thés verts, noirs, Oolong ou Puerh sont tous réputés pour avoir des effets sur la santé.

Cet article se propose d'étudier les diagrammes de fabrication des principaux thés et de relier les procédés aux transformations biochimiques intervenant dans le thé, à leurs propriétés sensorielles et à leurs effets sur la santé. À côté de ce cœur de l'article, sont abordées les questions de culture du thé, de son impact environnemental et sur les travailleurs de la filière, et les tendances. Des encadrés traitent également de l'histoire du thé et de son marché.

Le lecteur trouvera en fin d'article un glossaire des termes utilisés.

5

1. Historique – Variétés et culture

1.1 Développement du thé en occident

Le thé, originaire du Sud-Est asiatique, est devenu une boisson mondialement consommée (encadré 1) [1]. Elle aurait d'abord diffusé de sa zone d'origine aux confins de la Chine, du Myanmar, de la Thaïlande, du Laos et du Vietnam vers les pays limitrophes dont l'Indonésie. On peut dater assez précisément son arrivée au Japon, transportée par des moines bouddhistes en 650 de notre ère, où elle a ensuite mis huit siècles pour sortir des monastères et devenir une boisson bue par l'ensemble de la population. Les liens vers l'occident ont eu lieu sous les Ming à partir du XVI^e siècle simultanément par la route terrestre de la soie et par les transports maritimes développés par les Européens (figure 1).

De manière intéressante, il est possible d'identifier l'origine terrestre ou maritime du thé par le mot servant à appeler ce produit [3]. En effet, la voie terrestre est partie du mot chinois *cha*, donnant des mots commençant par *tch* ou *ch* dans les langues des pays suivants : Afghanistan, Russie, pays d'Asie Centrale, Turquie, Iran, Moyen-Orient, Tibet et Japon. Pour la voie maritime, le nom était celui de *t'e* provenant du dialecte Minnan parlé dans la région de Amoy dans le Sud-Est de la Chine et passant par le malais *teh* ou *tey* pour donner *tea*, *tee*, *thé* dans les langues européennes occidentales. Toutefois, ce lien entre origine maritime et mot commençant par « t » se limite au commerce des Hollandais et des Anglais. En effet, les Portugais présents en Chine à cette même époque utilisaient le mot *cha* depuis 1559. Il faut noter aussi que si le thé s'appelle *shay* en Arabe, il est aussi appelé *tây* ou *atây* dans le Maghreb où il a été apporté par les anglais, permettant de remplacer le café, trop cher, et d'écouler les stocks initialement destinés à des pays faisant l'objet d'un blocus pendant la guerre de Crimée. Le thé et sa taxation furent aussi l'objet de litiges entre l'Angleterre et ses colonies américaines. La destruction de 45 tonnes de thé lors du Tea Party de Boston en 1773 est d'ailleurs considérée comme l'un des premiers événements de la révolution américaine.

Encadré 1 : Sérendipité et thé

La sérendipité est, d'après le dictionnaire Larousse, « l'art de faire une découverte par hasard ». Cette notion, souvent mise en avant lors de découvertes scientifiques, est un moteur de développement culinaire. L'histoire et la mythologie du thé sont émaillées de tels exemples.

La découverte du thé comme boisson est ainsi attribuée à l'empereur Shen Nong qui l'aurait relaté dans son traité de phytothérapie, le *Shennong bencao jing*, ou le *Classique de la matière médicale du Laboureur Céleste*. Des feuilles de thé accrochées à des brindilles utilisées lors de l'alimentation d'un feu pour faire bouillir de l'eau, auraient, par accident, été prises dans la colonne d'air chaud provoquée par le feu et seraient tombées dans la jarre contenant l'eau. Shen Nong intéressé par l'herboristerie goûta le breuvage et ce fut ainsi l'origine de la boisson.

Plus tard, quand cette boisson fut devenue populaire, elle a été conservée sous forme compressée en nids ou en briques. La ville de Pu Erh dans le Yunnan était située sur la « route du thé et des chevaux » reliant le Yunnan au Tibet. Les briques originaires de là étaient transportées à dos de cheval dans des conditions alliant chaleur, humidité et aération. C'est ainsi qu'elles auraient été fermentées par des micro-organismes, donnant naissance au thé post-fermenté Puerh [2].

L'engouement occidental pour le thé noir viendrait également d'un problème de conservation lors du transport. Du thé vert chargé dans des bateaux à Java serait arrivé oxydé et donc noir aux Pays-Bas. Et, alors que le thé oxydé n'était pas consommé en Asie (sauf sous la forme de Puerh), les Européens se montrèrent enthousiastes du thé noir.

1.2 Aperçu du marché du thé

La Chine représente 42,6 % de la production mondiale de thé, avec une production approchant les 2,5 millions de tonnes en 2016. L'Inde, deuxième producteur, produit un peu plus d'un

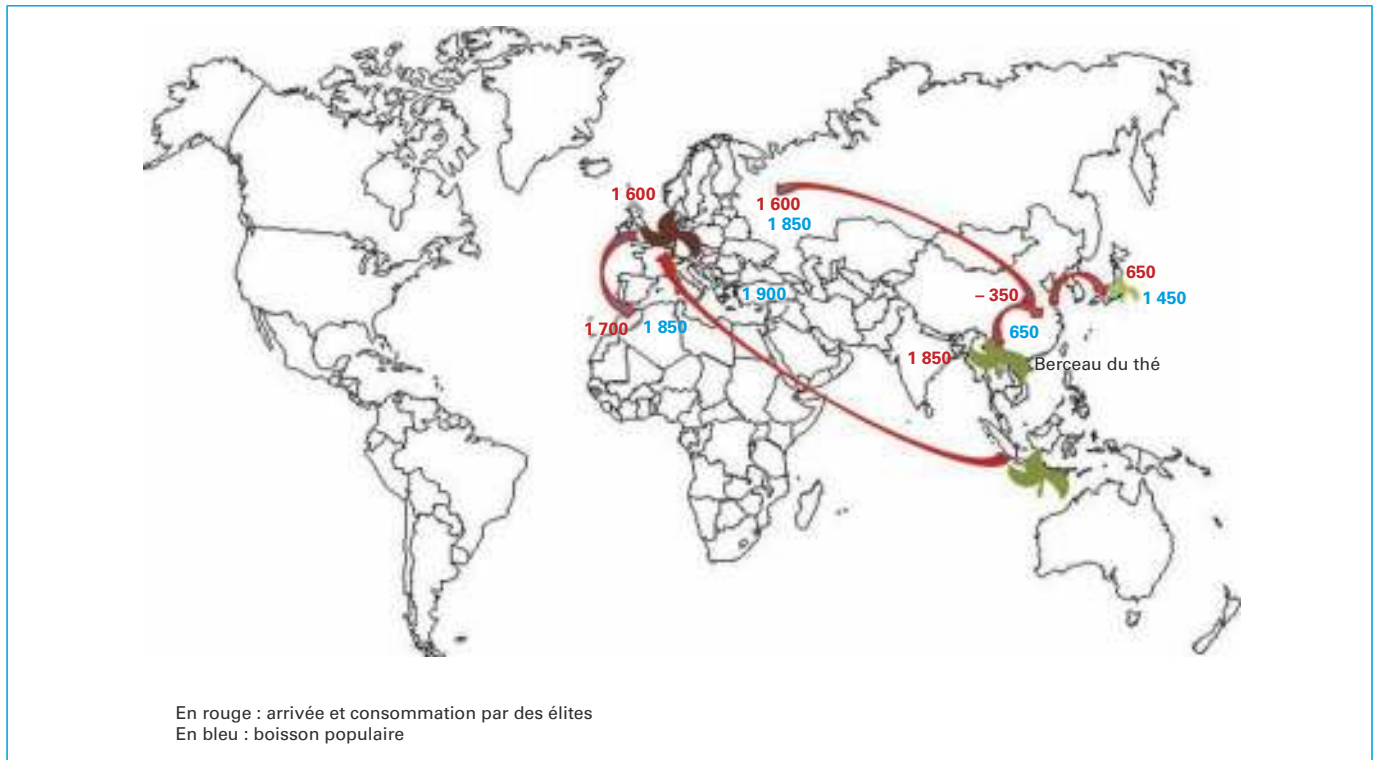


Figure 1 – Histoire du développement mondial du thé

million de tonnes (*Intergovernmental group on tea*, 2018). Les autres grands producteurs de thé sont le Kenya, le Sri Lanka, le Vietnam, et l'Indonésie [4]. Au niveau mondial au cours de la dernière décennie, la production de thé noir a augmenté annuellement de 3,0 %, alors que celle de thé vert profitant de prix favorables et stables et d'une image santé positive a eu une croissance de 5,4 % (*Intergovernmental group on tea*, 2018).

La production mondiale de thé en 2016 était de 5,73 millions de tonnes dont 56 % de thé noir, 28 % de thé vert, les 16 % restants comprenant les thés instantanés et les autres sortes de thé (blanc, semi-fermentés et post fermentés) (*Intergovernmental group on tea*, 2018) (figure 2). La tendance de développement aborde les aspects de qualité, de nouveaux produits (thé au lait) et la disponibilité (distribution) (<https://agritrade.cta.int/Agriculture>, 2012). Pour la qualité, le type de thé comme le thé Oolong, le thé Puerh, le thé aromatisé ou le thé de montagne sont des labels importants de développement [5]. Le commerce du thé est à 80 % organisé par des enchères sur des marchés principaux.

1.3 Variétés

Le théier appartient au genre *Camellia* L, famille *Theaceae* dont la classification continue à évoluer [6] [7]. Ce genre comprend cinq espèces : *C. tachangensis*, *C. taliensis*, *C. crassicolonna*, *C. gymnogyna* et *C. sinensis* (L). (var. *sinensis*, var. *assamica*, var. *pubilimba*, var. *dehungensis*) [8]. Dans la branche de *C. sinensis*, les deux espèces suivantes sont majeures, *C. sinensis* var. *sinensis*, qui est le théier de Chine à petites feuilles, et *C. sinensis* var. *assamica*, théier d'Assam à grandes feuilles [9] [10] [11] [12]. *Camellia sinensis* var. *pubilimba* (nommé « Shan » au Vietnam) est une espèce utilisée pour produire le thé Puerh [6] [7] [13] [14].

Il faut remarquer que dans la même espèce, la qualité du thé dépend de la zone de production, du plant et du caryotype [7]. Pour assurer la qualité et en maintenir la source génétique, la propagation se fait en général par la méthode clonale. Le taux de thé clonal occupe 65 % de la production. La coupe est la technique de propagation végétative la plus populaire [6].

Par le développement de technologies, surtout génétiques, les hybrides se sont énormément répandus dans la culture du thé au niveau industriel [8]. Ils ont été développés dans l'objectif d'accroître la productivité ou la qualité (saveur, résistance aux maladies et parasites, tolérance au froid et à la sécheresse, richesse en substances bénéfiques, efficacité d'utilisation des nutriments du sol et stabilité aux différents climats et environnements) [6] [15].

Le taux de caféine/théine n'est pas significativement différent entre les variétés *sinensis* et *assamica* (3,5 à 4 %), mais ces deux variétés ont un taux plus élevé que les autres espèces *C. taliensis* (2,5 %) et *C. kissi* (0,02 %) [16] [17] [18]. Les variétés de thé possèdent une diversité de composition en composés phénoliques, avec des flavonoïdes différents qui apportent des goûts et des valeurs sensorielles différents [6] [19] [20]. Plusieurs échantillons ont été caractérisés comme possédant des arômes spéciaux comme des notes sucrées ou des odeurs de châtaigne et de fruit, qui sont liés à des composants comme le géraniol, le linalol, le phénylacétaldéhyde, etc. [6]. *Camellia taliensis* et *C. sinensis* var. *assamica* contiennent une teneur en polyphénols et en extrait de substances solubles significativement plus élevée que *C. sinensis* var. *dehungensis*, *Camellia sinensis* var. *sinensis* et *C. crassicolonna* [21].

1.4 Conditions de culture

La zone de culture est également très importante avec **trois facteurs essentiels** : l'altitude, la pente et la lumière.

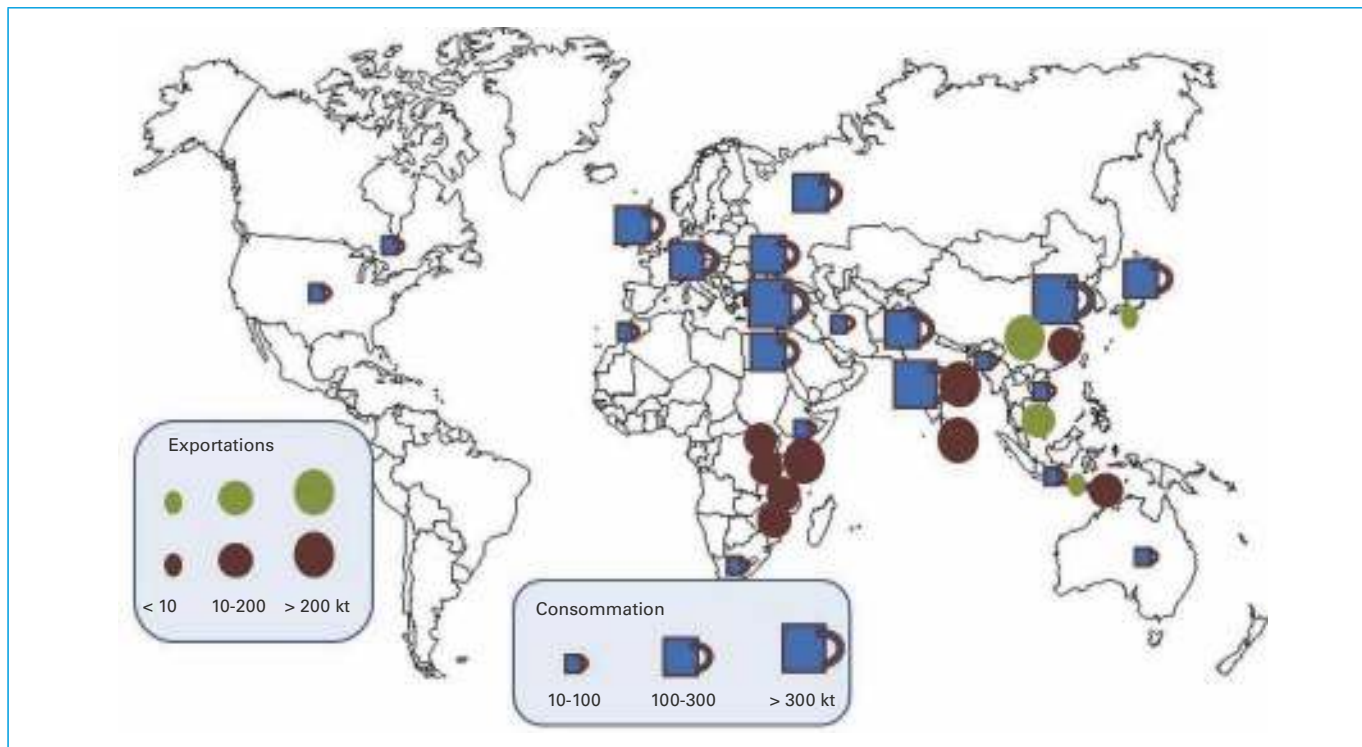


Figure 2 – Pays exportateurs de thé noir ou vert et pays consommateurs en 2016 (doc. FAO)

Le théier est **une plante d'altitude**. Plus l'altitude est élevée, plus le thé produit est de bonne qualité : riche en odeur, en matière sèche et en tanins. Les raisons en sont multiples, mais l'altitude induit en général une température plus basse, une humidité plus élevée, plus de brouillard et une meilleure diffusion de la lumière. La plupart des thés spéciaux reconnus pour leur qualité sont cueillis dans des régions situées à plus de 1 200 m d'altitude. Les thés de qualité moyenne sont cultivés entre 600 et 1 200 m et ceux de moins bonne qualité le sont de 0 à 600 m d'altitude [22] [23]. Pourtant, la productivité du théier est plus élevée à basse altitude. Par exemple, une recherche sur le thé du Kenya a montré que le temps nécessaire pour obtenir un bourgeon auxiliaire de thé de taille de cueillette (deux feuilles et un bourgeon) augmente de 3,3 jours tous les 100 m d'altitude, le rendement lui, diminue de 200 kg de thé sec/ha/an tous les 100 m [24].

La **pente** a également un impact sur la culture du théier, avec des facteurs comme l'érosion, la capacité de maintien de l'eau et l'application de la mécanisation. La plupart des théiers sont cultivés sur des pentes pour limiter l'érosion, mais cela rend difficile le maintien de conditions d'hydratation et la mécanisation de la culture. Il faut donc construire un système de transport d'eau qui demande un budget significatif pour garantir un apport d'eau suffisant pour la culture. La pente maximale pour l'utilisation de machines est de 25°. Donc, pour les cultures industrielles, on choisit généralement des terres assez plates (pente inférieure à 8°) [14].

L'**intensité de la lumière** influence beaucoup la croissance et la qualité du thé [25]. À l'origine, le théier poussait dans des forêts denses, à l'ombre. Le théier aurait donc une photosynthèse optimale dans des conditions de lumière faible. La lumière directe et les hautes températures ont des effets négatifs sur la photosynthèse et la croissance du théier. L'ombre, en réduisant la température de la feuille, augmente la surface foliaire et l'accumulation du poids sec. Le rendement augmenterait en moyenne de 14,3 % à l'ombre des arbres et de 10,1 % sous un écran de bambou, par




rapport à la culture en plein soleil [25]. Le théier est donc généralement planté en alternance avec de grands arbres pour éviter des températures trop élevées et une lumière trop directe, sauf dans le cas de la culture à haute altitude [26]. L'ombre réduit aussi l'incidence des ravageurs et des maladies. De plus, les arbres d'ombrage apportent de 2 500 à 5 000 kg de matière organique sèche/ha/an par la chute des feuilles, des branches etc. [26]. Selon la variété et l'âge, la demande en lumière serait différente. Les plants en pleine croissance dont les feuilles sont grandes, ont moins besoin de lumière que les plants dont les feuilles sont petites. De plus, les plantes ne supportent pas la lumière forte, il faut donc protéger la pépinière contre le soleil pour augmenter le taux de survie des jeunes plantes.

Pour obtenir **une récolte de qualité**, le théier demande une pluviométrie annuelle supérieure à 1 500 mm, une température moyenne de 18 à 20 °C et un ensoleillement de 5 h par jour. Pour une bonne productivité, le sol doit être profond et bien drainé, posséder un pH compris entre 4,5 et 5,5 et des nutriments comme N, P, K, Mg [6] [14] [27] [28].

1.5 Zone de production et rendements

La production mondiale de thé est en croissance et elle a dépassé pour la première fois les 5 millions de tonnes en 2013, dont environ 70 % de thé noir et 27 % de thé vert, le complément étant représenté par le thé Oolong et les autres types de thé. Les plantations se trouvent en général dans les zones de climat tropical et subtropical. Il existe 36 pays qui produisent du thé et les 6 premiers producteurs se partagent pratiquement 80 % de la production : Chine, Inde, Sri Lanka, Kenya, Vietnam et Turquie. Les pays producteurs de thé en sont en général aussi les grands consommateurs. Au niveau mondial, le thé noir est plus exporté que le thé vert, respectivement 40 et 25 % [6] [29].

Tableau 1 – Différents types de cueillette

Types de cueillette	Composition	Commentaires	
Impériale	Le bourgeon terminal (Pekoe) + 1 feuille (celle qui suit, en commençant toujours par le sommet de l'arbre)	Méthode de récolte de très grande qualité, très peu productive et donnant de faibles quantités.	
Fine	Le bourgeon + 2 feuilles	Type de cueillette donnant des thés de grande qualité. Elle se fait dans la production du thé traditionnelle et demande beaucoup de main d'œuvre qualifiée.	
Classique ou « grossière »	Le bourgeon + 3 feuilles voire plus	Procédé le plus employé aujourd'hui, mais il donne un thé de moindre qualité. La cueillette est souvent effectuée par des machines.	

En 1960, la production de thé s'élevait à 1,10 million de tonnes, cette croissance étant due à l'augmentation de la productivité plutôt qu'à une expansion de la superficie. Pourtant les rendements affichent des écarts importants selon les zones géographiques : 9 874 kg/ha pour la Chine, 16 614 kg/ha pour l'Inde, 17 778 kg/ha pour le Malawi et même de 19 651 kg/ha pour la Bolivie [29]. Il faut remarquer que le rendement dépend de la densité de culture, de la

2. Procédés de fabrication des principaux types de thé

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Cacaos et chocolats : traitement et fabrication

par **Vincent PÉPIN**
Ingénieur biochimiste
Barry Callebaut

1. Du traitement postrécolte au cacao marchand	F 6 170 - 2
1.1 Récolte et écabossage	— 2
1.2 Fermentation.....	— 3
1.2.1 Fermentation de la pulpe	— 3
1.2.2 Fermentation de la graine	— 4
1.3 Séchage	— 4
1.4 Évolution des différents composés au cours du traitement postrécolte.....	— 5
1.5 Qualité de la fève de cacao	— 6
2. Du cacao marchand au produit semi-fini	— 7
2.1 Nettoyage	— 7
2.2 Prétorréfaction	— 7
2.3 Décorticage ou concassage	— 7
2.4 Alcalinisation.....	— 7
2.5 Torréfaction	— 8
2.5.1 Influence des paramètres physico-chimiques sur la torréfaction	— 9
2.5.2 Évolution des différents composés formés au cours de la torréfaction	— 9
2.5.3 Modélisation de l'arôme cacao	— 9
2.6 Broyage	— 10
2.7 Filière poudre.....	— 10
2.8 Filière beurre.....	— 10
3. Technologie de la fabrication du chocolat	— 11
3.1 Mélange.....	— 12
3.2 Broyage	— 12
3.3 Conchage.....	— 12
3.4 Tempérage.....	— 13
3.5 Caractéristiques rhéologiques du chocolat	— 13
4. Chocolat	— 14
4.1 Aspects nutritionnels.....	— 14
4.2 Législation	— 15
4.3 Contrôle de la qualité finale.....	— 16
Pour en savoir plus	Doc. F 6 170

5

Quelle que soit la forme sous laquelle on consomme le chocolat, on ignore souvent le processus qui mène du fruit au produit fini. La qualité du produit final dépend en grande partie des caractéristiques de la matière première utilisée. Ainsi qualité du chocolat et qualité du cacao sont étroitement liées.

La filière cacao est une longue chaîne qui fait intervenir de nombreux métiers et technologies. À l'origine se trouvent les producteurs, pour la plupart des petits planteurs, dispersés dans les zones tropicales humides sur toute la planète. À l'autre bout, figurent les consommateurs des divers chocolats ou produits

chocolatés, qui sont surtout localisés dans les pays tempérés. Entre les deux, les techniques de transformation du cacao post-récolte au chocolat sont nombreuses.

Une des premières étapes est la fermentation du cacao. Les manipulations lors de la fermentation concernent principalement le contrôle de l'aération du cacao et les phénomènes biochimiques qui s'y déroulent ; cette étape sera déterminante pour le développement des précurseurs de l'arôme.

Le cacao marchand subit ensuite une multitude de transformations technologiques pour aboutir au produit fini : le chocolat.

Cet article a pour but de présenter les différentes étapes du process industriel de la filière du cacao et du chocolat.

1. Du traitement post-récolte au cacao marchand

1.1 Récolte et écabossage

Dans la plupart des pays producteurs de cacao, la récolte a lieu deux fois par an. La principale à la fin de la première saison des pluies et la seconde au cours des premiers mois de la suivante (figure 1). Elle se fait toute l'année dans les régions très humides, sans saisonnalité marquée par des pluies. Les **cabosses** sont alors cueillies à intervalles réguliers de 10 à 15 jours, trois semaines au maximum. La cueillette a lieu exactement à maturité. En effet, une récolte tardive entraîne des risques de pourriture et de germination des graines. Une récolte précoce diminue le rendement : les graines immatures, mélangées aux graines mûres, donnent à la récolte une saveur désagréable réduisant ainsi leur valeur marchande.

La maturité s'apprécie :

- à la couleur des cabosses : les jeunes cabosses sont vertes ou rouges ; elles deviennent jaunes ou oranges avec le temps ;
- au son mat que les cabosses émettent lorsqu'elles sont légèrement frappées.



Figure 1 – Cacaoyer et cabosses

Le cacao : un don de Quetzalcoatl

Le cacao est à l'origine d'un des produits les plus délectables du monde : le chocolat, qui fut développé au XIX^e siècle. Mais la fève de cacao a d'abord servi à créer une boisson qui remonte probablement à l'époque lointaine de l'implantation des Mayas au Mexique vers l'an 600. Des documents plus précis font état, après l'assujettissement des Mayas en l'an 1200, du goût des Aztèques pour le cacao. Ils en tirent un breuvage amer et fortement épicé, le « tchocolatl », réservé à l'empereur, aux nobles et aux guerriers. La fève de cacao, plus précieuse que l'or, sert de monnaie d'échange.

En 1519, Hernando Cortés débarque avec ses troupes dans le pays de Montezuma, empereur des Aztèques. Son arrivée coïncide curieusement avec l'annonce du retour cyclique, tous les 52 ans, de Quetzalcoatl, dieu bienveillant symbolisant la sagesse et la reconnaissance. Selon la légende, ce dieu aurait introduit le cacaoyer et appris à ses sujets à le cultiver.

Accueillis comme des dieux, Cortés et ses soldats ne goûtent que médiocrement le « tchocolatl ». La valeur du cacao en tant que monnaie d'échange les intéresse bien davantage. Le « Conquistador » se fait offrir la plantation royale de cacaoyers qui devient ensuite la banque dont il tire de substantiels bénéfices en échangeant ses fèves contre de l'or. Cependant, les Espagnols, à défaut de vin, prennent l'habitude de consommer la boisson chocolatée en lui adjoignant du sucre de canne et de la vanille pour la rendre plus agréable.

En 1528, Cortés retourne en Espagne avec un chargement de fèves de cacao ainsi que les recettes et les ustensiles nécessaires à la préparation du chocolat. Les Espagnols sont fascinés par ce nouveau breuvage qui restera longtemps une exclusivité espagnole lourdement taxée et réservée aux classes privilégiées.

C'est l'année 1615 qui voit l'introduction de la boisson en France. L'engouement pour la consommation de cacao augmente à travers l'Europe à partir du XVII^e siècle.

À quel moment passe-t-on du chocolat liquide au chocolat solide ? Tout débute par la tentative de créer une boisson plus légère. En 1828, un chimiste hollandais, Van Houten, invente une presse qui lui permet d'extraire le beurre de cacao de la pâte de cacao. Il lui reste la poudre de cacao que nous connaissons aujourd'hui. Mais que faire du beurre de cacao ? Ne serait-il pas judicieux de combiner le beurre de cacao avec la pâte de cacao et du sucre pour créer un produit bon à manger ? Ainsi, la voie du chocolat est dès lors ouverte ; les perfectionnements et les innovations techniques suivent tout naturellement.



Figure 2 – Vue éclatée de cabosses

L'écabossage est une opération manuelle qui nécessite une main-d'œuvre importante. Ce travail est souvent réalisé par des femmes ou des enfants. Les cabosses sont frappées sur une pierre avec une bûche en bois, perpendiculairement au grand axe des cabosses ou sont brisées à l'aide d'une machette, en prenant soin de ne pas endommager les **graines** sous-jacentes (figure 2). Les fruits sont ouverts à l'ombre des arbres. Lorsque l'écabossage est différé dans le temps, les fruits ne doivent pas rester en tas plus de 3 à 4 jours. Les 30 à 50 graines, entourées de leur **pulpe** blanche mucilagineuse, sont extraites avec les doigts. Les cabosses pourries sont éliminées. Immédiatement après, les fèves sont mises en tas conique ou en caisse de 100 à 1 000 kg pour l'étape de fermentation.

1.2 Fermentation

Cette étape est déterminante pour obtenir un cacao de qualité. Elle doit débuter au plus tard 24 h après l'écabossage. Plus elle est effectuée rapidement, meilleur sera le cacao. Les graines de cacao subissent de multiples modifications chimiques qui ont pour but :

- de les débarrasser de la pulpe qui les enveloppe ;
- d'entraîner la mort de l'embryon pour empêcher toute germination et permettre aux fèves de se conserver ;
- de provoquer des modifications biochimiques au sein des cotylédons tels que : le gonflement, la disparition de la couleur initiale remplacée par la couleur brune caractéristique du cacao, le développement des précurseurs d'arômes, la réduction du goût amer et de l'astringence.

Les modalités des **méthodes de fermentation** varient selon les pays : soit les graines sont disposées en tas conique de 100 à 200 kg sur un lit de branchages, soit elles sont entreposées dans des paniers, caisses en bois ou bacs cimentés percés afin d'assurer l'écoulement du jus de fermentation (figure 3). L'ensemble recouvert de feuilles de bananiers repose en moyenne cinq à sept jours, mais la durée diffère selon la variété, la masse mise à fermenter et les conditions climatiques.

1.2.1 Fermentation de la pulpe

Au début de la fermentation, on constate :

- une odeur d'alcool ;
- un écoulement de jus ;
- une élévation de la température.

Ces faits sont les conséquences de la fermentation de la pulpe. En effet, la pulpe qui entoure les graines fraîches renferme 80 à 85 % d'eau, 12 à 15 % de glucose, 5 à 7 % de pectines et 2 %



Figure 3 – Fèves en cours de fermentation

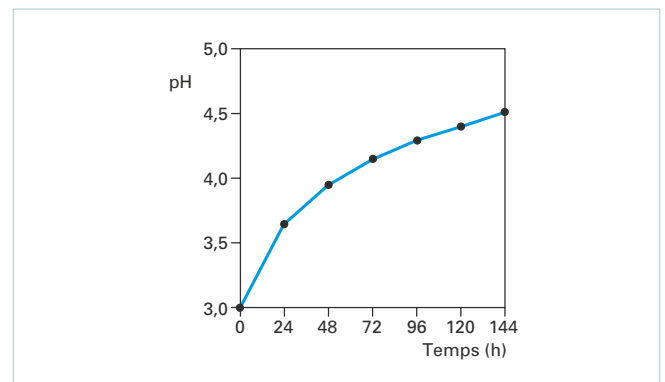


Figure 4 – Évolution du pH au cours de la fermentation du cacao [1]

d'acide citrique qui induit un pH de 3 à 3,5. Stérile dans la cabosse, la pulpe est rapidementensemencée par des micro-organismes apportés par les manipulations de l'écabossage. De par son abondance, la pulpe forme une sorte de « ciment » autour des graines et empêche la pénétration de l'air dans la masse de cacao, générant ainsi la première phase de fermentation anaérobie.

Nota : les pourcentages indiqués dans cet article, sont sauf indication contraire, des pourcentages massiques.

■ Phase anaérobie

Les conditions de milieu permettent la prolifération de levures anaérobies ; il en résulte :

- la dégradation du glucose en éthanol avec dégagement de gaz carbonique par une réaction exothermique ;
- une consommation de l'acide citrique dans la pulpe, ce qui a pour effet d'élever le pH jusqu'aux alentours de 4 (figure 4) ;
- la liquéfaction de la pulpe par hydrolyse des pectines sous l'effet des pectinases.

Si la fermentation se prolonge excessivement, le pH dépasse la valeur de 6 et des *aérobacter* peuvent se développer. Ces micro-organismes produisent des amines et de l'ammoniaque qui pénètrent dans la graine et conduisent à des arômes indésirables (mesure de la valeur élevée de l'azote ammoniacal).

Également, en cas de persistance de l'anaérobiose, les bactéries lactiques se développent considérablement avec production

d'acide lactique. Cette fermentation lactique n'est pas souhaitable pour la qualité du cacao.

En effet, l'acide lactique pénètre à l'intérieur des cotylédons et y reste définitivement, du fait de sa très faible volatilité. Une fermentation lactique génère ainsi un cacao acide, dont les cours sont très dépréciés sur le marché. La fermentation alcoolique dure peu de temps : 24 à 48 h dans la plupart des cas. L'écoulement du jus de fermentation permet à l'air de pénétrer et de passer en milieu aérobie.

■ Phase aérobie

La flore est alors constituée par des bactéries acétiques. D'une part, elles oxydent l'éthanol en acide acétique et, d'autre part, elles métabolisent les citrates en oxaloacétates puis en acétates.

Cette formation d'acide acétique est facilitée par des brassages réguliers de la masse en fermentation qui permettent ainsi une fermentation homogène de toutes les graines. Un excès d'aération favorise trop fortement le fonctionnement des bactéries aérophiles et conduit à une production d'acide acétique excessive, qu'il sera ensuite difficile d'éliminer.

La pulpe est donc tout d'abord le siège d'une fermentation alcoolique puis d'une fermentation acétique. Ce processus crée les conditions nécessaires à la fermentation de la graine en elle-même (figure 5).

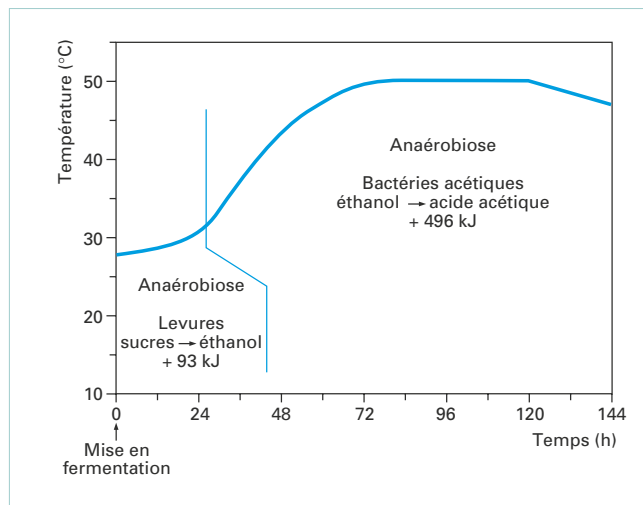


Figure 5 – Étapes de la fermentation liées à l'aération : évolution théorique de la température [1]

1.2.2 Fermentation de la graine

Dans la fève fraîche, les parois cellulaires empêchent tout contact entre les divers composés (protéines, polyphénols) susceptibles de réagir ; il n'y a donc pas de réaction enzyme-substrat.

L'effet primaire de la fermentation externe est de **tuer la fève sous l'effet de l'action de la chaleur et surtout de l'acide acétique** ; il s'ensuit une dégradation des parois cellulaires. Celle-ci n'étant plus imperméable, les enzymes vont migrer dans ce milieu très humide et entrer en contact avec les produits sensibles. Les effets secondaires, ceux qui intéressent le chocolatier, se produisent alors. On constate :

- une hydrolyse des protéines en acides aminés et en peptides ;
- une hydrolyse des polysaccharides en sucres réducteurs ;
- une hydrolyse des anthocyanes (polyphénol) en produits non colorés ;
- une diminution de la teneur en épicatechine (flavanol) et en méthylxanthines.

Ensuite pendant la phase aérobie, on observe surtout des réactions de condensation et d'oxydation :

- les polyphénols s'oxydent ;

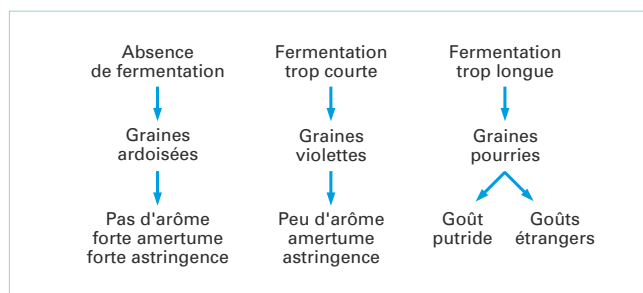


Figure 6 – Défauts du cacao dus à une fermentation mal maîtrisée

- l'absence de fermentation conduit à des graines ardoisées qui ne développeront pas d'arôme lors de l'étape de torréfaction ;
- une fermentation trop courte (4 jours) conduit à des graines violettes qui développeront un faible arôme avec une amertume élevée ;
- une fermentation trop longue (8 jours) provoquera des dégra-

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.



Filière de production : produits d'origine végétale

(Réf. Internet 42433)

1- Légumes et légumineuses

2- Céréales

3- Huiles végétales

4- Sucres

5- Thé, café et cacao

6- Bières

	Réf. Internet	page
Élaboration des malts utilisés en brasserie	F6200	117
Fabrication des bières	F6205	121
Secteur brassicole. Caractéristiques technico-économiques	F6210	129

7- Fruits

8- Algues

➔ **Sur www.techniques-ingenieur.fr**

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires

Élaboration des malts utilisés en brasserie

par **Société MALTEUROP**

1. La matière première	F 6 200 - 2
1.1 Sélection des orges	— 2
1.2 Analyses des orges.....	— 3
1.3 Approvisionnements et stockage.....	— 3
1.4 Préparation des orges pour mise en trempé.....	— 4
2. Procédés de transformation	— 4
2.1 Cycle de trempage.....	— 4
2.2 Cycle de germination	— 6
2.3 Cycle de touraillage.....	— 7
3. Le malt produit fini	— 8
3.1 Stockage et dégermage des lots de fabrication.....	— 8
3.2 Analyse des malts.....	— 9
3.3 Préparation des malts à expédier, liée aux exigences clients.....	— 9
3.4 Expédition des malts et analyses de contrôle.....	— 10
4. GPAO et statistiques	— 10
4.1 Matières premières.....	— 10
4.2 Procédé.....	— 11
4.3 Expédition	— 11
4.4 Choix du procédé.....	— 11
5. ISO 9002 et HACCP	— 12
5.1 Maîtrise des procédés	— 12
5.2 Actions correctives et préventives	— 12
5.3 Formation	— 12
5.4 HACCP	— 12
5.5 Règles générales d'hygiène.....	— 12
5.6 Détermination des points critiques.....	— 13
5.7 Détermination des actions de maîtrise et de surveillance	— 13
6. Conclusion	— 13
Pour en savoir plus	Doc. F 6 200

6

Le malt, produit semi-fini issu de la germination de l'orge ou du blé, est la matière première de la brasserie. L'industrie brassicole est constituée d'usines de plus en plus importantes et de plus en plus complexes, pour lesquelles l'approvisionnement en malt est un des facteurs les plus déterminants pour la qualité de la bière.

En conséquence, la brasserie exige que le malt soit conforme à l'ensemble de ses spécifications, d'une manière régulière et homogène. Ce n'est pas chose facile si l'on veut bien prendre en compte la variabilité des produits agricoles liés aux conditions pédoclimatiques fluctuantes d'une année à l'autre, d'une région à l'autre. Il s'agit donc, pour le malteur, de canaliser et d'appréhender cette variabilité.

Le travail, en partenariat avec les obtenteurs, sur la matière première, le travail de suivi et de conseil au niveau des cultures, la connaissance géologique et climatique de nos zones limitées d'approvisionnement ne suffisent pas. Il faut aussi maîtriser nos procédés, car même la température et l'humidité (paramètres importants dans le procédé de maltage) fluctuent d'un jour à l'autre et obligent le responsable de fabrication à s'adapter ; il doit mesurer et comprendre ces fluctuations. Pour cela, il a besoin d'accumuler des données fiables et nombreuses d'outils performants pour les traiter, ce d'autant plus que la qualité ne sera mesurée que sur le produit fini et que les corrections en cours de processus ne garantissent pas à 100 % l'assurance d'une bonne qualité du malt. Ce phénomène prend encore plus d'ampleur aujourd'hui car le malteur a dû modifier ses outils de transformation pour les rendre plus performants économiquement, entraînant des quantités de matière première mises en œuvre de plus en plus importantes.

La France a acquis le leadership mondial de l'ingénierie de la malterie et est en plus un parc producteur de malt qui exporte chaque année 1 million de tonnes de malt sur tous les continents.

1. La matière première

1.1 Sélection des orges

Le malteur a toujours eu le souci d'organiser la production des orges de brasserie dans les secteurs agricoles proches de ses outils industriels. Afin d'atteindre cet objectif, les services chargés de recherche et développement ont orienté leur action sur la recherche variétale pour satisfaire les attentes de la filière agriculteurs, malteurs, brasseurs. Cette mission consiste donc à tester un grand nombre de variétés d'orges d'hiver et de printemps dans les régions agricoles de notre secteur d'activité, pour apprécier leurs potentiels agronomiques et qualitatifs. (figures 1 et 2).

Cette étude se partage donc en deux étapes.

■ Première étape

Elle consiste à apprécier la performance agronomique des variétés d'orges. Chaque année, sur les différents sites, sont étudiés environ 250 variétés d'orges d'hiver et 250 variétés d'orges de printemps. Nous participons aux essais de réseaux officiels du Comité permanent de la Sélection, aux réseaux du Barley Comitty European, et de l'Institut français des Céréales. De plus, des variétés proposées par les principaux sélectionneurs européens (Breun, Semundo, Saat-Union, Weibull, Setjet) sont également testées. Toutes ces nouvelles variétés sont jugées par rapport à des variétés de référence, qui sont généralement des variétés reconnues par la filière malterie-brasserie.

Les essais variétaux sont adaptés aux pays dans lesquels nous sommes présents : France, Allemagne, Espagne, Chine, Argentine.

Les observations effectuées sur le terrain tout au long du cycle de végétation nous permettent d'apprendre les niveaux de tolérances aux maladies cryptogamiques, à la verse, aux viroses et à la taille de la plante.

À la moisson, la mesure du rendement de chaque variété complétée par des analyses sur grains (protéines, calibrage, poids de mille grains et dormance) nous permettent de sélectionner les variétés qui seront ensuite testées en micromalterie.

Les variétés les plus performantes en agronomie et en technologie seront ensuite expérimentées dans des essais régionaux

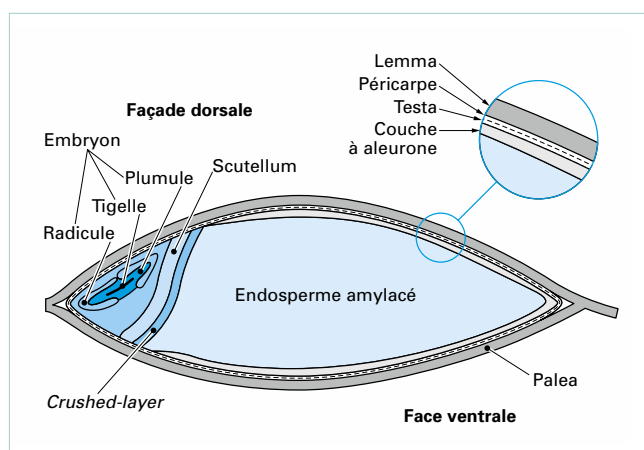


Figure 1 - Coupe longitudinale d'un grain d'orge

conduits par les techniciens de nos coopératives adhérentes (Pour en savoir plus [Doc. F 6 200]).

■ Deuxième étape

Les variétés proposées aux différents services des coopératives (Pour en savoir plus, [Doc. F 6 200]) seront expérimentées dans différentes conditions pédoclimatiques. L'itinéraire technique à leur appliquer est défini par le technicien expérimentateur, en principe celui-ci applique l'itinéraire technique proposé à tous les agriculteurs producteurs d'orges de brasserie de sa région. À la moisson, le technicien transmet au service de promotion et de développement les résultats de rendements ainsi qu'un échantillon de chaque variété d'essai pour analyse sur orge et micromalitage.

L'ensemble des résultats agronomiques et technologiques est interprété par le responsable du service promotion et développement. Un document regroupant tous les résultats et les commentaires est transmis à l'ensemble des responsables techniques des coopératives et aux différents services de la malterie.

Ensuite, des tests en microbrasserie et des tests industriels sur trois à quatre variétés sont réalisés en collaboration avec l'Institut

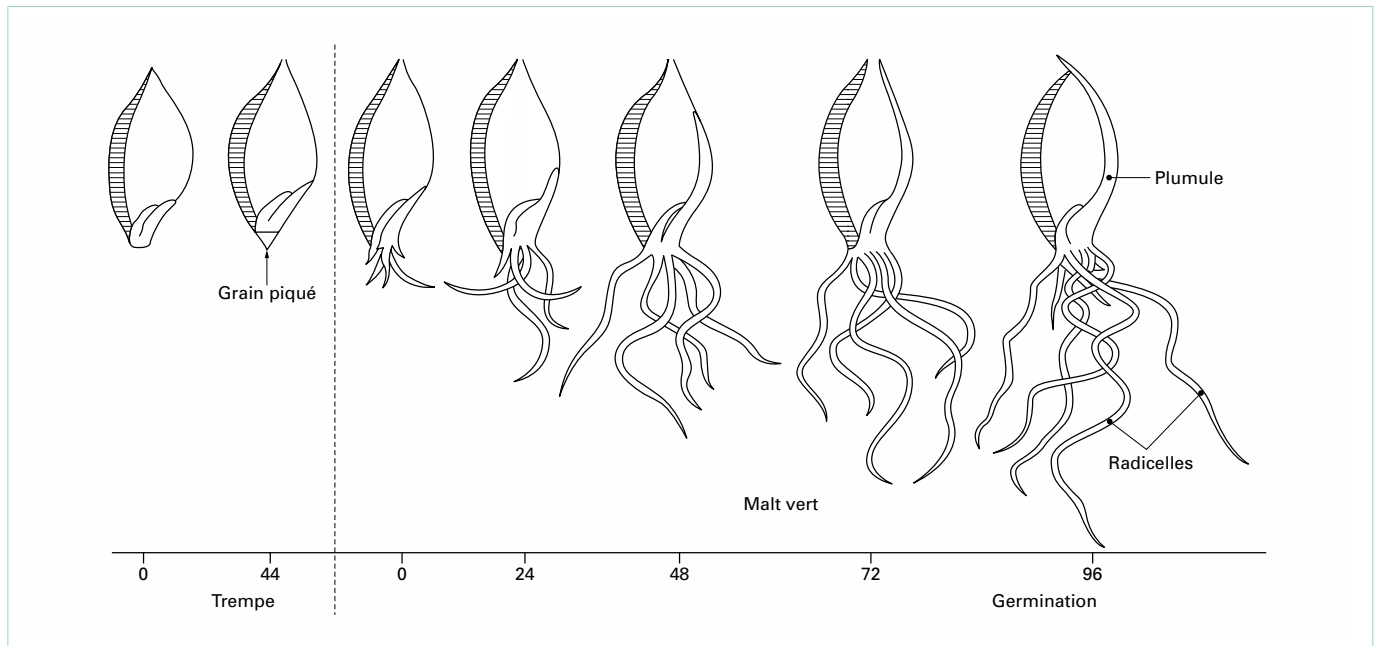


Figure 2 – Évolution morphologique du grain d'orge au cours des étapes de trempage et de germination

français des Boissons et la Brasserie et Malterie, avec nos principaux clients brasseurs européens, pour valider la qualité brassicole.

Tous les résultats agronomiques, malticols et brassicols sont indispensables pour le malteur, car ils lui permettent d'orienter le développement des variétés d'orges les mieux adaptées aux zones de culture, sans préjudice pour la qualité recherchée par les malteurs et brasseurs.

Donc, notre organisation, qui prend en compte tous les partenaires de la filière orge-malt-bière, permet de garantir, aux producteurs, la meilleure valorisation de leurs productions d'orges et, aux industriels malteurs - brasseurs, un approvisionnement en orges et en malt dans les qualités normées dans leurs cahiers des charges.

1.3 Analyse des orges

duction se colorent en rouge. Ce test par contre ne traduit pas ce qui se passe réellement en production et il est nécessaire de s'intéresser au pouvoir et à l'énergie germinative. Le grain est déposé sur plaque de coton entre deux buvards préalablement imbibés d'une quantité d'eau contrôlée. Après trois jours à 20 °C et à l'obscurité, les grains germés sont comptés pour exprimer le pouvoir germinatif. L'analyse est prolongée à cinq jours pour déterminer l'énergie germinative qui normalement approche 100 %. Après récolte, le grain peut être dormant, c'est-à-dire capable d'échanges gazeux et hydrique réduits. Il est alors incapable de germer et un traitement au froid ou un séchage permettent d'annuler cet effet (levée de la dormance). Des anomalies de germination peuvent être dues à des avaries de conservation et notamment à un ensilage avec une humidité élevée du grain.

La teneur en eau, voisine de 13 %, est déterminée par dessiccation de 2 h à 130 °C du grain réduit en farine. Des techniques non

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Fabrication des bières

par **Marc FAIVELEY**

Professeur de microbiologie et biotechnologie
Expert en enzymologie
CHR Hansen, Horsholm, Danemark

1. Principes généraux sur l'hydrolyse en brasserie	F 6 205v2 - 2
1.1 Structure et propriétés de l'amidon	— 2
1.2 Notion d'enzymologie	— 3
1.3 Caractéristiques sensorielles d'une bière	— 6
2. Typologie des bières	— 8
2.1 Présentation des grandes familles de produits	— 9
2.2 Élaboration des bières par pays	— 9
2.3 Bières sans alcool	— 14
3. Qualité des matières premières	— 15
3.1 Eau.....	— 15
3.2 Malts.....	— 16
3.3 Houblons.....	— 18
3.4 Levures.....	— 19
4. Process de fabrication	— 20
4.1 Process général et rôle des opérations unitaires	— 20
4.2 Process industriels	— 22
4.3 Process artisanaux	— 23
4.4 Principaux défauts rencontrés en brasserie	— 24
5. Additifs et auxiliaires technologiques	— 27
6. Innovation en brasserie	— 27
6.1 Système de distribution en évolution	— 27
6.2 Flexibilité des microbrasseries	— 28
6.3 Le « talon d'Achille » des microbrasseries	— 28
7. Conclusion	— 28
8. Glossaire	— 28
Pour en savoir plus	Doc. F 6 205v2

6

Les modes de consommations changent avec une préférence pour les aliments issus de filières courtes, ayant une identité locale ou régionale et sans additif. La microbrasserie répond pleinement à cette tendance et propose une alternative aux bières industrielles. Le secteur de la microbrasserie est toujours en expansion et représente, pour l'année 2018, 6 % en volume de bières produites. Pour cette même année, le nombre de microbrasseries a atteint ainsi un chiffre record de 1 600 unités en France, soit 30 % de créations d'entreprise.

Cet engouement pour des produits plus typés a été compris par les grandes enseignes, qui, à leur tour, adaptent leur offre avec de nouveaux produits ayant une connotation plus artisanale associée à des goûts plus subtils, pour être en rupture avec des bières souvent considérées sans caractère.

Si le contexte est économiquement favorable, l'exigence du consommateur, de plus en plus éduqué sur la bière, ne tolère plus de « fausse note » en termes de qualité produit. Le monde de la microbrasserie doit défendre ses couleurs avec des produits constants et de qualité.

Un second fait marquant concerne les bières à teneur réduite en alcool ou sans alcool, qui suscitent l'intérêt grandissant du consommateur. Ce nouveau défi est lancé aux brasseurs qui doivent trouver des solutions innovantes pour rester dans le giron des bières de caractère.

La bière est la boisson fermentée la plus ancienne au monde ; dès l'Antiquité, une boisson exempte de bactéries pathogènes par la présence d'alcool, enrichie ensuite au Moyen Âge des vertus aseptiques et aromatiques du houblon et qui ne cesse d'évoluer... La bière a été déclinée en une multitude de familles, qui en fait aujourd'hui une boisson « plaisir ».

Cette diversité est expliquée par le type de technique de brassage utilisé et par les matières premières de plus en plus élaborées.

Pour comprendre toutes ces évolutions, cet article présente dans un premier temps l'univers brassicole en Europe et pose les bases scientifiques permettant d'expliquer les choix techniques réalisés en fabrication, au niveau industriel et artisanal.

Le lecteur trouvera en fin d'article un glossaire des termes utilisés.

1. Principes généraux sur l'hydrolyse en brasserie

À la différence des vins, des cidres ou des boissons fermentées à base de fruits, la bière est une boisson élaborée à partir de céréales, dont la quantité de sucres fermentescibles n'est pas définie au départ. En viticulture, la maturation d'un jus de raisin est dépendante des conditions météorologiques et, lors de la vendange, le vigneron transforme les sucres en alcool, mais ne peut interférer sur le titre alcoolique. L'univers de la brasserie est tout autre, puisque le brasseur peut décider de l'équilibre qu'il donne à sa bière en définissant lui-même un ratio sucre/alcool.

Le premier travail du brasseur consiste donc à extraire à partir de l'amidon contenu dans le malt d'orge, des sucres fermentescibles. L'amidon contenu dans l'orge sera progressivement dégradé durant l'**empâtage** (macération à chaud de l'orge). Cette transformation correspond à une **hydrolyse enzymatique de l'amidon** par les enzymes naturelles du malt. L'orge, à la récolte, ne contient pas d'enzymes (amylases). Les enzymes nécessaires au brassage seront synthétisées lors du maltage ; il faut donc distinguer l'**orge** (céréale brute) pour laquelle on ne peut extraire des sucres, du **malt** (orge germinée) rendu perméable et enrichi en enzymes.

L'hydrolyse de l'amidon du malt d'orge pendant l'empâtage permet la formation de deux types de sucres solubles :

- les **dextrines**, sucres non fermentescibles, car le poids moléculaire élevé ne permet pas son assimilation par les levures. Les sucres complexes, dont le poids moléculaire est dépendant du degré d'hydrolyse, confèrent à la bière la saveur sucrée. Plus l'hydrolyse est complète, plus le pouvoir sucrant des dextrines est important ;

- les sucres fermentescibles (**maltose, fructose, glucose**) seront convertis en alcool durant la fermentation alcoolique.

La conduite de l'hydrolyse de l'amidon durant l'empâtage reste une étape déterminante. En effet, l'extraction des dextrines et sucres simples influencera le profil sensoriel de la bière en lui conférant un profil moelleux ou sec.

Le brasseur devra donc déterminer son **rendement d'extraction** des sucres :

$$\text{extraction sucres \%} = \left[\frac{\text{degré Brix fin empâtage} \times 10}{\text{volume du brassin (L)} / (\text{quantité de malt (kg)})} \right] \times 100$$

En microbrasserie, le pourcentage moyen d'extraction du sucre est de l'ordre de 65 % ; en brasserie industrielle, le rendement est plus élevé grâce à un rinçage optimisé des drêches (malt après empâtage), ou par l'utilisation d'amylases exogènes ou d'amidon de riz.

L'hydrolyse de l'amidon est le point central pour comprendre comment fabriquer une bière. Bien que les procédés de fabrication aient une origine très empirique, on est capable aujourd'hui d'expliquer la nature des phénomènes biochimiques et enzymologiques associés à la fabrication de la bière.

1.1 Structure et propriétés de l'amidon

L'amidon [F 4 690] est le **constituant majeur de l'orge** avec une teneur de l'ordre de 60 à 65 %. Après maltage, on enregistre une perte d'environ 10 à 12 % en fonction de l'étape de germination. Compte tenu du séchage de la céréale à la fin du maltage, le taux d'amidon est voisin de 55 à 60 % (tableau 1).

L'amidon est par définition un polyholoside homogène, c'est-à-dire un polymère constitué uniquement d'unités glucose. L'amidon est représenté sous deux formes :

- l'**amylose** (20 à 25 %), correspondant à une forme linéaire associant 200 à 300 unités glucose par liaisons osidiques stabilisées par de nombreuses liaisons hydrogène donnant une forme hélicoïdale (figure 1) ;

- l'**amylopectine** (75 à 80 %), correspondant à une forme ramifiée avec deux types de liaisons osidiques. Comme l'amylose, l'amylopectine est stabilisée par un grand nombre de liaisons hydrogène (figure 2).

L'amidon est insoluble à froid, cette propriété s'explique par les liaisons hydrogène qui, en grand nombre, constituent de véritables barrières pour l'hydratation. Un chauffage est nécessaire pour rompre ces liaisons de faible énergie et permettre l'écartement des chaînes carbonées. L'hydratation de l'amidon est dépendante du pourcentage d'amylose et de la taille des granules qui contiennent l'amidon ; des granules de grosses tailles gélifient plus rapidement. Ainsi, certaines céréales comme le riz ne peuvent s'hydrater (empesage ou gélification) qu'à des températures élevées (80 °C) et destructrices pour l'enzyme. Les bières fabriquées à base de riz doivent alors être pré-gélifées avant leur incorporation avec les autres céréales à l'empâtage. La figure 3 montre l'évolution de la viscosité durant l'empâtage de malt d'orge. La viscosité

Tableau 1 – Composition des principaux constituants biochimiques de l’orge		
Composés biochimiques	Nom	Teneur (en %)
Glucides (70 à 85 %)	Amidon	60 à 65
	Saccharose, glucose	1,8 à 2
	Cellulose	5 à 6
	Hémicellulose (β-glucane, pentosane)	4 à 7
Composés azotés (10,5 %)	Glutélines	3,5
	Prolamines (hordénines)	4,3
	Globulines	1,5
	Albumines	1,2
Lipides (1,5 à 2 %)	Acides gras saturés et insaturés	1,5 à 2
Minéraux (1,5 à 3 %)	Phosphates	0,7
	Silice	0,5
	Potassium	0,4

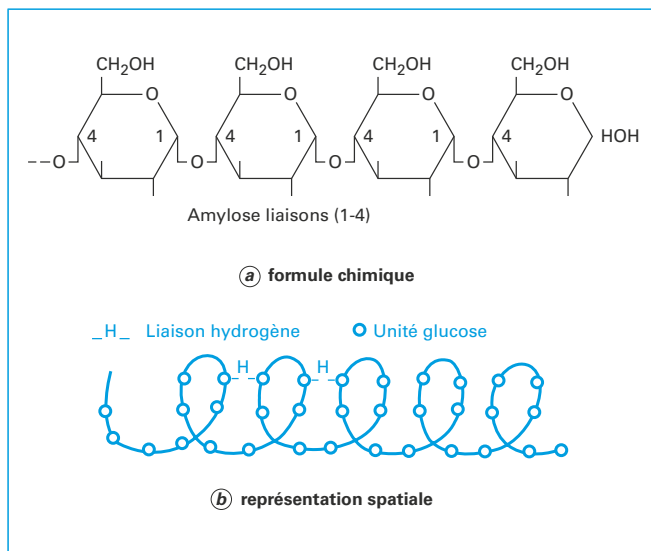


Figure 1 – Représentation de l’amylose

doit être la plus faible possible pour faciliter la diffusion des enzymes sur les chaînes d’amidon. Le maltage facilite l’hydratation de céréales maltées (l’amidon ayant été hydraté une première fois). On estime à environ 80 % de dissolution de la matière sèche du malt à la fin du brassage, car l’hydrolyse du malt reste partielle. Des ramifications constituées par des liaisons osidiques, entre le carbone 1 et le carbone 6 de deux glucoses de l’amylopectine, représentent un encombrement stérique pour l’enzyme ; celle-ci ne pouvant pas accéder au cœur de la structure, on parle alors de dextrine limite (figure 4).

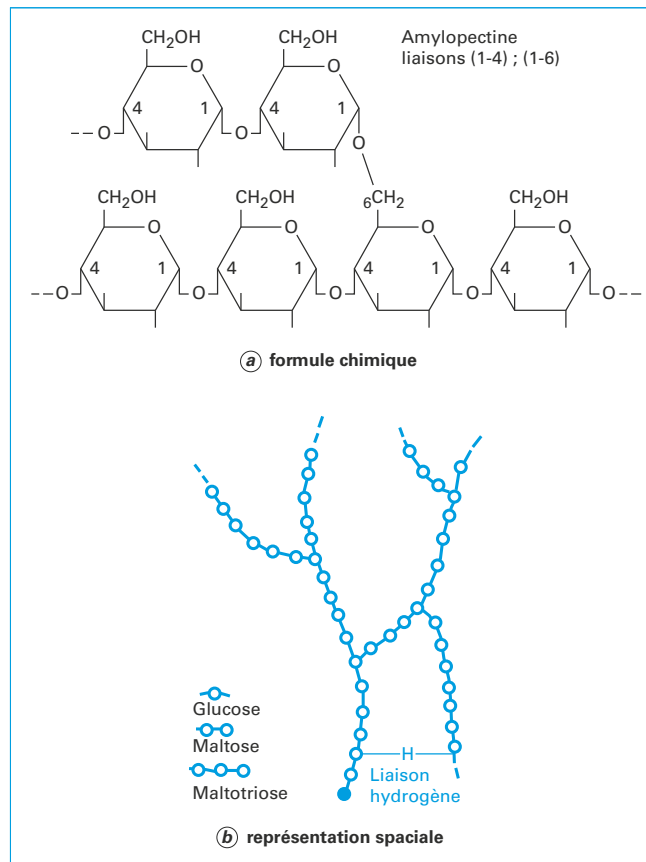


Figure 2 – Représentation de l’amylopectine

L’hydrolyse de l’amidon n’est donc pas totale en dépit de l’activité enzymatique. On considère environ 65 % de production de sucres fermentescibles, 5 à 10 % de dextrans de très petites tailles, le restant étant constitué de dextrans plus complexes.

1.2 Notion d’enzymologie

Une enzyme est une protéine ou hétéroprotéine permettant, comme le ferait un catalyseur, d’accélérer une réaction chimique sans modifier les équilibres réactionnels.

La **vitesse d’hydrolyse** est limitée par la quantité d’enzymes actives dans le moût, car à l’empâtage l’amidon l’emporte en excès par rapport à l’enzyme. La concentration enzymatique est donc le facteur limitant, ce qui peut être corrigé dans certains cas par un ajout d’enzymes d’origine fongique (les spécificités sont très variables en fonction du fournisseur, notamment par rapport à la pureté de l’enzyme et son mode de conservation). L’augmentation de la quantité de malt à l’empâtage ne modifie pas la cinétique enzymatique, mais assure une meilleure protection de l’enzyme par rapport à la température. Cette action reste toutefois très faible et générera d’autres inconvénients (augmentation de la viscosité, rinçages plus importants...).

Les amylases impliquées dans l’hydrolyse de l’amidon sont des hydrolases. On sait aujourd’hui qu’il existe environ 25 formes tridimensionnelles différentes des α-amylases [1] avec des propriétés pouvant varier en fonction des conformations. Quelle que soit la conformation du site actif de l’enzyme, l’activité des amylases reste essentiellement dépendante du pH et de la température

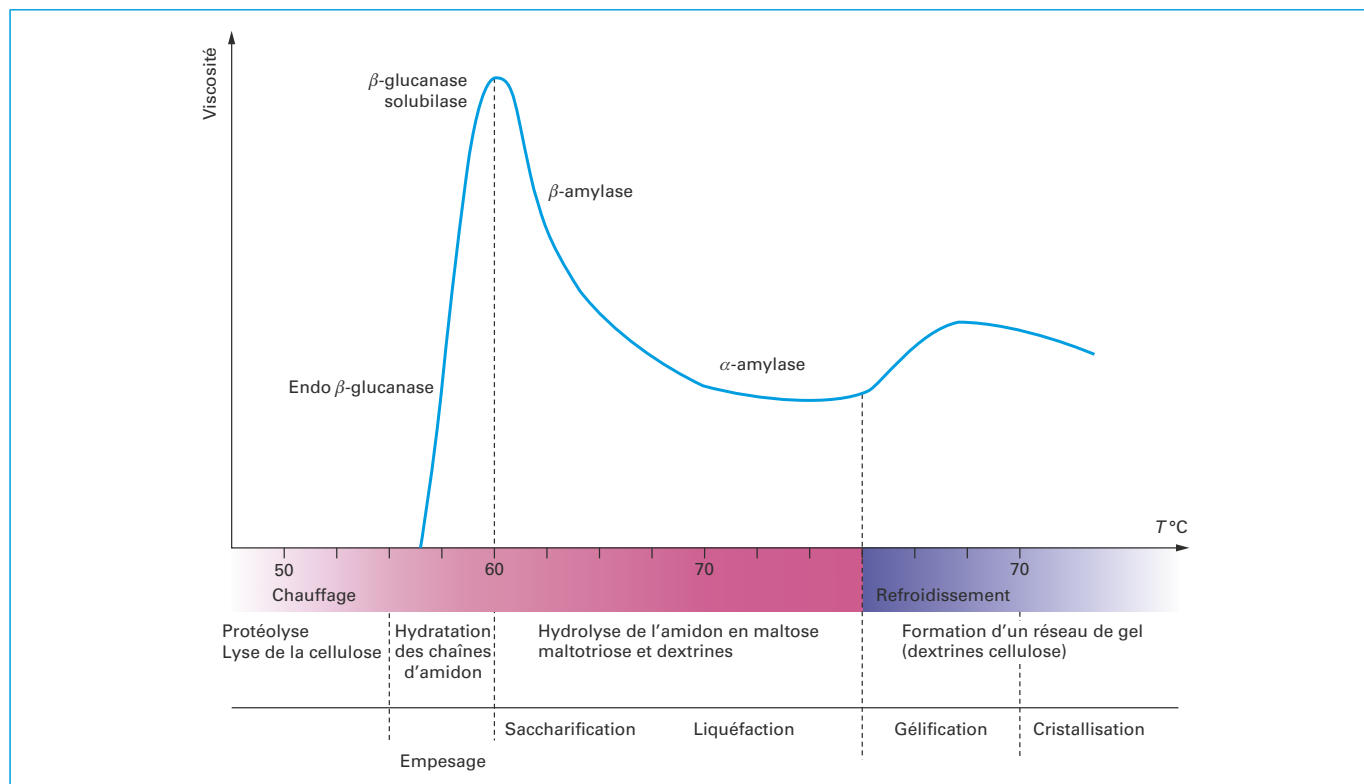


Figure 3 – Évolution de la viscosité de l'amidon en fonction de la température

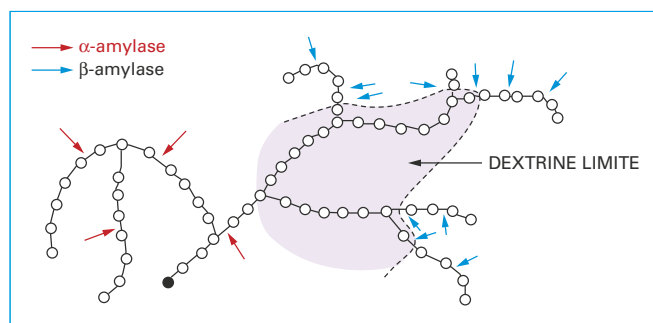


Figure 4 – Hydrolyse de l'amylopectine

(figures 5 et 6). Le pH modifie la charge électrique des acides aminés présents sur le site catalytique de l'enzyme, ce qui rend impossible les réactions de transferts nécessaires à la rupture des liaisons osidiques. La température favorise la formation du complexe enzyme/amidon. Il est donc important de mesurer le pH et de réguler la température et d'apporter les corrections nécessaires durant l'empâtage de façon à optimiser les rendements d'hydrolyse de l'amidon. Le tableau 2 donne les températures et les pH optimaux de l'ensemble des enzymes présentes naturellement dans le malt et ayant un rôle en brasserie.

Le **brassage** s'effectue principalement autour de 60 à 65 °C, ce qui pose le problème de la stabilité de la structure protéique de l'enzyme dans le temps. On évalue à environ 2 h l'activité enzymatique dès l'hydratation du malt, ce qui signifie que le brasseur ne peut allonger indéfiniment les temps de paliers d'hydrolyse et doit,

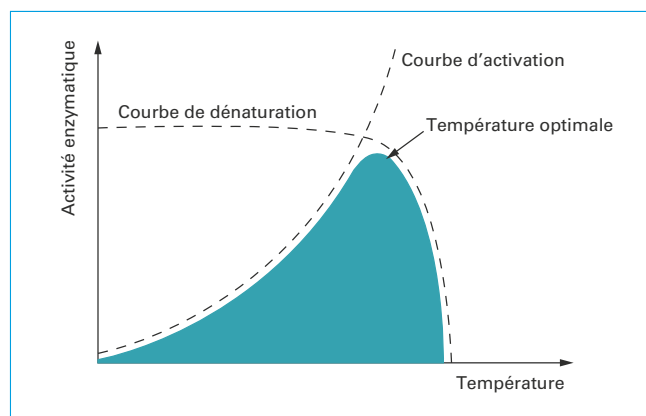


Figure 5 – Activité enzymatique en fonction de la température

par conséquent, suivre l'évolution de l'hydrolyse de l'amidon par densité ou réfractométrie. La figure 7 indique l'effet de la température au moment du brassage sur l'activité enzymatique.

La **stabilité enzymatique** peut être améliorée par l'ajout de calcium. Les amylases sont des métalloenzymes (des ions métalliques stabilisent la structure protéique par des liaisons ioniques) et, en fonction des conformations, on envisage de 1 à 9 ponts calciques. Le calcium n'intervient pas sur l'hydrolyse, car les ponts calciques sont éloignés du site catalytique de l'enzyme, mais l'effet protecteur du calcium sur la structure de l'enzyme est intéressant. Généralement apporté par l'eau de brassage, le calcium est un facteur qui

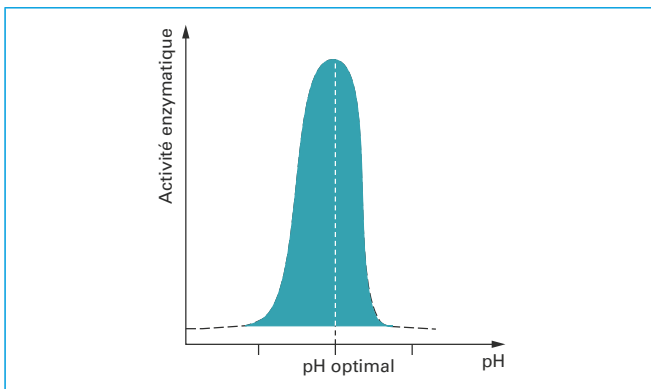


Figure 6 – Activité enzymatique en fonction du pH

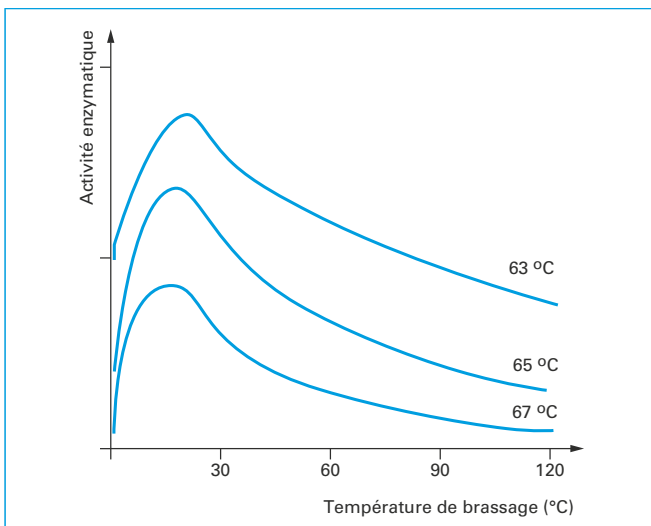


Figure 7 – Effet de la température sur l'activité enzymatique [3]

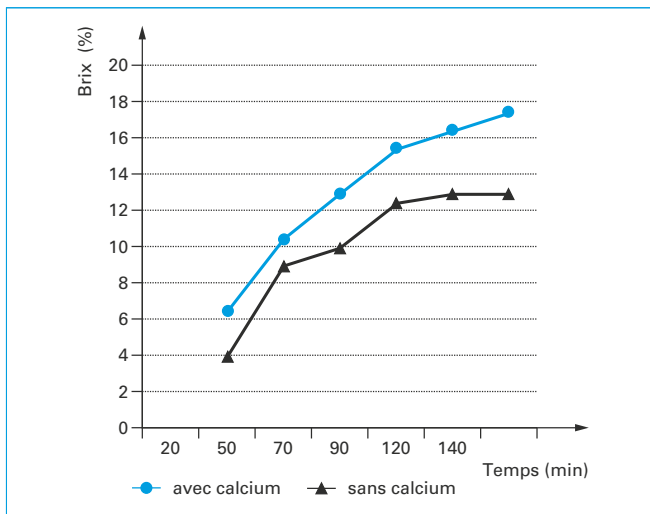


Figure 8 – Effet du calcium sur la stabilité des amylases (essais réalisés avec 250 g · L⁻¹ de malt Pilsen) (ENILBIO Poligny)

permet d'obtenir des cinétiques d'hydrolyse spécifiques pour chaque brasserie comme le montre la figure 8.

Le **mode d'action des amylases** est décrit en 4 étapes, la figure 9 illustre les différents mécanismes biochimiques mis en jeu [2]. L'enzyme se fixe par affinité sur l'intérieur de la chaîne (α -amylase) ou sur les extrémités réductrices (β -amylase) (1) ; il se forme alors un **complexe enzyme/substrat**. Les chaînes d'amidon sont déformées car le complexe enzyme substrat est stabilisé par un grand nombre de liaisons hydrogène entre les acides aminés du site de fixation de l'enzyme et les groupements polaires de la chaîne carbonée. Au niveau de la liaison osidique située sur le site catalytique, l'acide glutamique, sous sa forme protonnée (au pH optimal de l'enzyme), fournit un atome d'hydrogène à l'atome d'oxygène situé sur le carbone 4 de la chaîne, ce qui entraîne une rupture de la liaison osidique. L'acide aspartique est en revanche ionisé au pH optimal de l'enzyme. Fortement électronégatif, il établit une liaison covalente avec le carbone 1, ce qui permet alors la libération d'une partie de la chaîne carbonée (2).

6

Tableau 2 – Activité enzymatique (divers auteurs)			
Nom de l'enzyme	pH optimal	T optimale (en °C)	Rôle
α -amylases	5,6 à 5,8	72 à 75	Formation de dextrans
β -amylases	5,4 à 5,5	60 à 65	Formation de maltose
α (1-6) glucosidases	–	60 à 65	Hydrolyse des liaisons α (1-6) de l'amylopectine (faible teneur)
β -1,4 glucanase	5 à 7	40 à 45	Dégradation de la cellulose en sous unités (micelle)
β -1,3 glucanase		60	
β -glucanase		62	Libération des protéines liées à la cellulose
Protéases	4,6 à 5	60 à 70	Polypeptides/fragment protéiques (poids moléculaire important) responsables de la tenue de mousse
Peptidases		45 à 50	Formation de facteurs (acides aminés)
Aminopeptidases		45	
Carboxypeptidases		50	

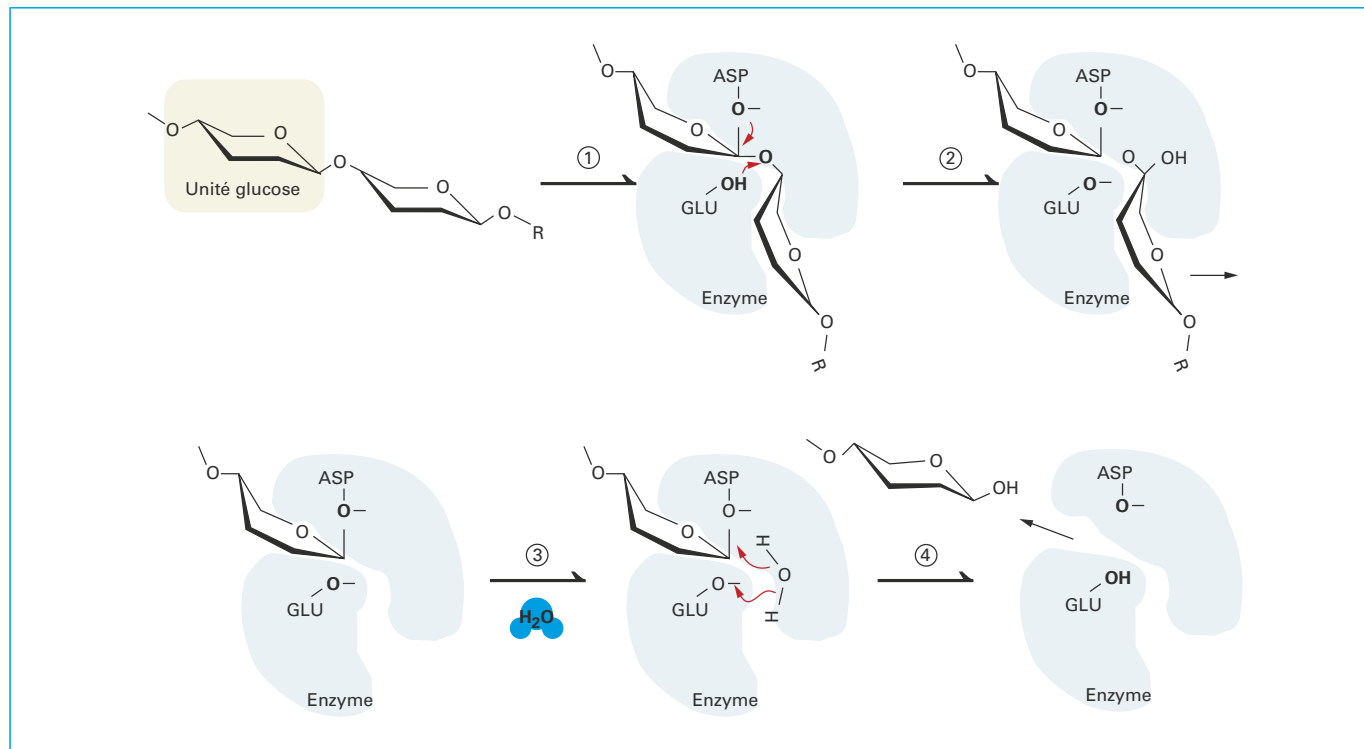


Figure 9 – Mode d'action des α -amylases [2]

Le retour à l'état initial de l'enzyme est assuré par une molécule d'eau (3). L'eau est une molécule polaire qui va se substituer à la molécule de glucose encore rattachée à l'enzyme. L'acide glutamique, fortement chargé négativement, capte un proton de la molécule d'eau. Instable, le groupement OH restant se fixe sur le carbone 1 de la chaîne carbonée, ce qui rend possible l'éjection du glucose (4). Le mode d'action enzymatique met en lumière l'importance du pH sur les transferts réactionnels permettant la rupture des structures de l'amidon.

1.3 Caractéristiques sensorielles d'une bière

Le travail du brasseur consiste à élaborer une bière équilibrée. En brasserie, on identifie principalement trois composantes sensorielles : l'**acidité**, l'**amertume**, la **saveur sucrée**. L'alcool peut être considéré comme un exhausteur de goût. L'acidité doit être la plus faible possible, car cette saveur ne s'accorde pas avec l'amertume. Cela explique pourquoi une contamination bactérienne à l'origine d'une production d'acide est très vite perçue en dégustation.

L'appréciation sensorielle de la bière sera donc fonction de la perception d'un équilibre entre :

- la teneur en alcool ;
- la teneur en sucres résiduels ;
- l'intensité de l'amertume.

L'équilibre de la bière sera en partie décidé par le brasseur au niveau de la conduite de l'hydrolyse de l'amidon car, en fonction des paliers de température choisis, il pourra favoriser l'extraction de dextrines ou de maltose. La figure 10 schématise le devenir de l'amidon au cours de l'empâtage.

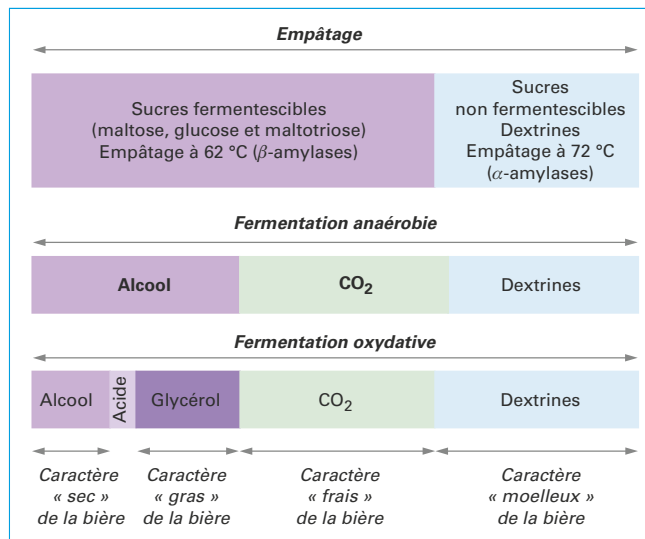


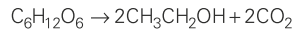
Figure 10 – Importance de l'hydrolyse de l'amidon sur les caractéristiques de la bière

■ La teneur en alcool

Le maltose, le glucose et le fructose sont fermentés par l'ensemble des levures. Ces dernières, utilisées en fermentation basse température, auront une fermentation des maltotrioses partielle comparée aux levures utilisées en fermentation haute température. Toutefois, on peut établir une corrélation directe entre la teneur en alcool produite et la teneur en sucres fermentescibles.

Exemple :

À partir de l'équation de la fermentation alcoolique, on peut calculer un rendement théorique de production d'alcool :



Rendement théorique alcool = quantité d'alcool produite/quantité de sucres mis en jeu

Rendement alcool = $2 \times 46/180 = 0,51$ soit 51 % (46 et 180 g · mol⁻¹ correspondant respectivement à la masse molaire de l'éthanol et du glucose). La fermentation de 100 g de sucre permet la production de 51 g d'alcool pur.

Si l'on veut connaître la quantité théorique de sucre qu'il faut mettre en œuvre pour obtenir 1 % d'alcool, on utilise le rendement calculé (0,51 %) :

- 1° d'éthanol ou 1 % correspond à 10 mL d'éthanol par litre de bière ;
- 10 mL d'éthanol correspondent à 8 g d'éthanol (densité de l'éthanol = 0,8) ;
- 8 g d'alcool sont obtenus par fermentation de 15,68 g de sucre soit 16 g de glucose (8/0,51).

Ce calcul théorique n'est qu'une approximation qui ne tient pas compte de la quantité de substrat consommée pour la maintenance cellulaire. Sur l'exemple de la production d'alcool en vinification, on établit un rendement pratique de 17 g de sucre / 1 % d'alcool. En effet, la consommation de sucre dépend du taux d'alcool produit. Il est plus difficile pour la levure de fabriquer de l'éthanol en fin de fermentation, lorsque la quantité d'alcool est déjà élevée, ce qui explique que le rendement (17 g de sucre / 1 % alcool) est plus élevé en vinification que dans d'autres secteurs où les boissons fermentées ont un taux d'alcool plus faible.

Il est donc important de suivre durant l'empâtage l'évolution du degré Brix (pourcentage de matière sèche en solution). Le degré Plato est plus utilisé en brasserie, mais reste équivalent au degré Brix.

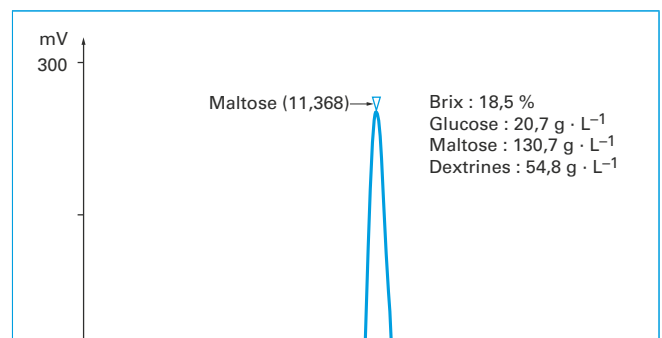
On peut par approximation établir la corrélation entre la mesure de la densité et la mesure du degré Brix. La figure 11 montre (avec la précision des résultats expérimentaux) la conversion possible entre les deux grandeurs. Le suivi du Brix ou de la densité ne présente d'intérêt qu'au moment du brassage ; son évolution caractérise l'activité enzymatique. La mesure du Brix ou de la densité en fin de fermentation est perturbée par la quantité d'alcool et les acides extraits du houblon pendant l'ébullition.

La teneur en sucres résiduels

Les sucres résiduels rendent la bière « moelleuse », « visqueuse » ou encore « lourde ». Cette caractéristique est essentiellement due à la nature et à la teneur en dextrines résiduelles. L'équilibre recherché peut correspondre à un ratio alcool (g · L⁻¹)/ sucres résiduels (g · L⁻¹) = 1. L'estimation de ce ratio suppose que l'on soit capable de mesurer les dextrines formées au cours de l'empâtage. Or, cette détermination étant délicate à mesurer, le taux de dextrines est souvent calculé.

Durant l'empâtage, le moût est constitué de glucose, maltose, maltotriose et de dextrines (figure 12). L'ensemble de ces sucres n'ont pas les mêmes propriétés optiques ; notamment diméthyle sulfure, les dextrines complexes réfractent plus difficilement. Le moût correspond donc à un mélange complexe. Ainsi, la mesure de la densité ou du degré Brix par réfractométrie ne permet pas de distinguer en temps réel les différentes molécules formées. L'analyse par chromatographie est plus précise. Cette méthode permet de séparer les différentes molécules en fonction de leur polarité et de leur taille.

Le tableau 3 récapitule les suivis réalisés avant et après fermentation sur 25 brassins différents avec des cycles thermiques et des quantités de malts utilisés différents. En établissant le postulat que les sucres fermentescibles ont été transformés en totalité en alcool, on peut déduire la quantité de dextrines et établir une estimation du pourcentage d'atténuation (sur la quantité totale de sucre détectée avant fermentation, on détermine le pourcentage correspondant aux sucres fermentés). En rapport avec les résultats obtenus dans le tableau 3, on remarque que l'atténuation sur l'ensemble des brassins est en moyenne de 68 % avec une variation de ± 6 %. Cette approche permet une approximation intéressante du potentiel alcool et de l'équilibre du produit fini.



La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Secteur brassicole

Caractéristiques technico-économiques

par **Luc FILLAUDEAU**

Ingénieur HEI génie chimique

*Docteur en génie des procédés industriels de l'Université de technologie de Compiègne
Institut national de la recherche agronomique (INRA)*

et **Pascal BLANPAIN-AVET**

*Docteur en génie des procédés industriels de l'Université de technologie de Compiègne
Chargé de Recherche à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA)*

1. Le procédé brassicole et la bière	F 6 210 - 2
1.1 Procédé brassicole.....	— 2
1.2 Composition de la bière.....	— 4
2. Étude du marché	— 6
2.1 Critères légaux et technico-économiques.....	— 6
2.2 Le marché.....	— 8
3. Conclusion	— 11
Pour en savoir plus	Doc. F 6 210



Dans le domaine agroalimentaire, l'industrie brassicole se positionne comme un pôle économiquement important, avec une production mondiale proche de 1,25 milliards d'hectolitres (estimation pour 1995), ce qui place la bière au deuxième rang des boissons élaborées, derrière le thé. Ce secteur, issu d'une longue tradition, n'en est pas moins dynamique et ouvert aux technologies modernes. La recherche-développement dans l'industrie brassicole est très active et constitue un investissement stratégique pour les brasseurs, compte tenu du marché fortement concurrentiel et en constante évolution.

Les domaines scientifiques jouant un rôle en brasserie sont variés et comprennent : la génétique des plantes et des micro-organismes, la biologie moléculaire, la microbiologie, la chimie minérale, organique et analytique ainsi que le génie des procédés (génie chimique et biochimique).

Sans doute, le résultat le plus évident et le plus marquant de l'implantation de nouvelles technologies aux différentes étapes du procédé brassicole est la diffusion sur le marché de nouveaux produits depuis les deux dernières décennies. Leur importance a été accrue par les modifications de tendances des consommateurs, l'apparition de nouvelles stratégies commerciales et les changements économiques à travers le monde. C'est ainsi que depuis le début des années 1990, des produits nouveaux sur le segment des bières spéciales et de spécialité s'imposent sur le marché par le biais du développement des microbrasseries.

L'histoire de la bière montre que ce produit est célèbre depuis la plus haute Antiquité : 7 000 ans avant notre ère, la bière était déjà un produit de fabrication ménagère chez les Sumériens, Chaldéens et Assyriens. Cette boisson, provenant de la fermentation d'un extrait aqueux de céréales germées, additionné de houblon, est le fruit d'un long processus faisant appel à de nombreuses opérations successives : le brassage, le houblonnage, l'ébullition, le traitement du moût, la fermentation, la garde, la clarification, la stabilisation et la stérilisation.

Le nombre considérable d'ouvrages et de publications scientifiques traitant de la fabrication de la bière nous a conduit à limiter notre présentation aux axes sui-

vants : en premier lieu, le procédé brassicole et la composition de la bière, puis une analyse du marché mondial et français de la bière. Cet article comprend deux parties dans lesquelles le lecteur trouvera les informations suivantes :

- la description du procédé brassicole ;
- une analyse physico-chimique de la bière ;
- un aperçu de l'importance économique de la bière ;
- une description des principales caractéristiques du marché.

Des mêmes auteurs, l'article F 3 260 est consacré aux applications en brasserie de la micro-filtration tangentielle.

1. Le procédé brassicole et la bière

1.1 Procédé brassicole

D'après la législation, la bière est une **boisson provenant de la fermentation d'un extrait aqueux de céréales germées et additionnée de houblon**.

La bière se distingue du vin par une teneur en alcool beaucoup plus faible (3 à 7 % en volume pour la bière, contre 10 à 15 % pour le vin) et une teneur en extrait non fermenté beaucoup plus élevée (l'extrait de la bière contient environ 80 % en masse d'hydrates de carbone non fermentés). Sa caractéristique principale est sa mousse, qui se forme lors du dégagement de dioxyde de carbone.

La production de bière passe alternativement par trois étapes de réactions biochimiques et de séparations solide/liquide (figures 1 et 2). Les différentes étapes d'élaboration de la bière sont présentées sommairement ci-après.

De nombreux ouvrages de références traitent de la fabrication de la bière dont [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] et [8].

■ Les matières premières

Ce sont principalement l'orge, le houblon et l'eau.

■ Le maltage

Cette opération est indépendante de la brasserie proprement dite. Celle-ci transforme l'orge en malt en trois étapes :

- 1) *le trempage* qui fournit aux grains l'humidité dont ils ont besoin ;
- 2) *la germination* qui vise à préparer les matières de réserve présentes dans les grains de céréale à la stabilisation ;
- 3) *le touraillage* qui consiste à arrêter la germination.

L'orge, la matière première fondamentale de la bière, subit donc un début de germination jusqu'à ce que la réserve de nutriments (*endosperme*) disponible pour supporter la croissance du germe du grain ait subi une certaine dégradation par l'action des enzymes formées. Ces enzymes continueront à dégrader le contenu du grain lors du brassage, permettant cette fois une dissolution adéquate. Le malt est donc une céréale – généralement de l'orge – qui a germé durant une période limitée avant d'être séchée.

■ La mouture et le brassage

Le but du brassage est de tirer du malt et des grains crus, préalablement moulus, la plus grande quantité d'extrait, de la meilleure qualité possible. C'est une opération assez complexe et les conditions opératoires (dilution, température, durée des paliers, pH...) sont définies en fonction du type de malt disponible.

■ La filtration du moût et le lavage des drêches

Toutes les matières solubles désirables ayant été dissoutes par le brassage, le moût clair est séparé de la partie insoluble, appelée « drêche », au cours d'une première opération de filtration. Celle-ci se déroule en deux phases : écoulement du moût dense, puis récupération de l'extrait qui imbibe encore la drêche par des lavages à l'eau chaude.

■ L'ébullition des moûts et le houblonnage

Après filtration et élimination de la drêche, les moûts sont soumis à une ébullition d'une heure et demie environ. Cette ébullition est généralement très intense (grande consommation d'énergie) car le brasseur souhaite une évaporation horaire de 6 à 10 % du volume du brassin.

La réussite de cette opération est fondamentale pour la qualité finale de la bière et ses objectifs sont :

- l'inactivation des enzymes et la stérilisation du moût : ce critère est satisfait sans difficulté après un chauffage à 100 °C durant 15 à 20 min entraînant la destruction des enzymes encore actives et des micro-organismes ;
- la concentration du moût : l'ébullition du moût permet l'ajustement de la densité par l'élimination d'eau ;
- la coagulation d'une partie des protéines du moût : les protéines coagulables du moût sont susceptibles de précipiter lors de stades ultérieurs de la fabrication (par l'association avec des polyphénols). Ce précipité protéique forme l'essentiel du « trouble gros » ;
- l'extraction et l'isomérisation des résines amères du houblon : le houblon est ajouté au brassin à raison de 1 à 2 g · L⁻¹ et l'ébullition permet de solubiliser les substances amères (isomérisation des acides α en acides iso- α ; en particulier pour l'humulone se transformant en trans- et cis-isohumulone). La durée optimale de l'ébullition (à pression atmosphérique), du point de vue de l'amertume, est de 90 min, ce qui justifie la durée de cette opération ;
- l'élimination des substances volatiles nuisibles à la saveur de la bière. Celles-ci sont générées par les composés du malt, du houblon ainsi que ceux formés pendant la fabrication du moût (des composés tels que l'acétate d'éthyle 130 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, l'éthanol 50 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, le butanedione-2,3 50 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, etc. ont été identifiés [1]. Des aldéhydes, pyrazynes, et autres hétérocycles provenant des réactions de Maillard et de Strecker entre sucres et acides aminés ont aussi été identifiés.

On remarque donc que les différents buts poursuivis lors de l'ébullition des moûts justifient pleinement à la fois la durée d'une

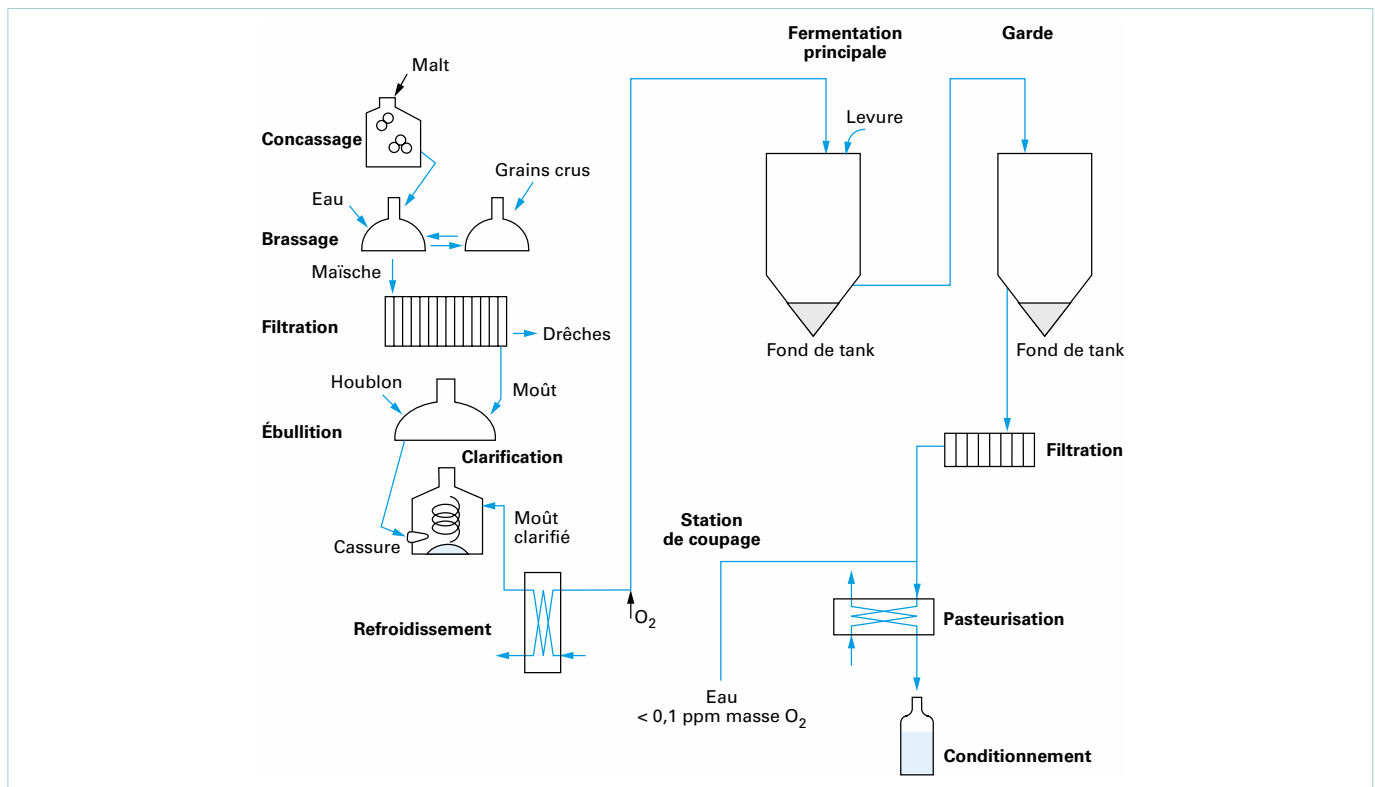


Figure 1 – Procédé brassicole

heure et demie et un taux d'évaporation de l'ordre de 10 %. Le pH du brassin diminue de 5,5 - 5,4 à 5,2. Une distinction doit être faite sur la cassure formée en chaudière, qu'on appelle « trouble gros » ou « *trub* gros » et le trouble qui ne se forme qu'au refroidissement et qu'on appelle « trouble fin » ou « *trub* fin ».

■ La séparation du *trub* et du houblon épuisé

Après ébullition, le moût bouillant passe par un système généralement assez simple (centrifugeuse, décanteur) permettant d'éliminer la drêche de houblon et le précipité protéique (*trub* gros). La séparation plus ou moins efficace de ce précipité joue un rôle très important pour la suite des opérations car il entraîne dans ce cas...

se déroule en deux étapes. Elle transforme une partie des sucres fermentescibles en alcool.

Dans la première étape, les levures se multiplient quatre à cinq fois et leur population peut alors atteindre 50 à 60 millions de cellules par millilitre. Cette croissance se fait à partir du substrat présent dans le moût (acide aminé, glucose, fructose, saccharose...).

Pendant la seconde étape, la levure commence à se séparer du milieu. Cette séparation prend des formes extrêmement variables en fonction du type de levure, de son état physiologique, des matières premières utilisées et de la forme de la cuve. Le transvasement

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.



Filière de production : produits d'origine végétale

(Réf. Internet 42433)

1- Légumes et légumineuses

2- Céréales

3- Huiles végétales

4- Sucres

5- Thé, café et cacao

6- Bières

7- Fruits

	Réf. Internet	page
Transformation et conservation des fruits. Préservation de la structure initiale	F6272	135
Transformation et conservation des fruits. Perte de la structure initiale	F6273	139
Transformation et conservation des fruits. Aspects économiques et réglementaires	F6274	143
Élaboration des jus de pommes et des cidres	F6275	145
Congélation de produits végétaux. Maîtriser la qualité des fruits congelés	F6277	149
Jus d'orange concentré : extraction et conservation	F6280	157
Formulation des préparations de fruits	F6290	161

8- Algues



Sur www.techniques-ingenieur.fr

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires

Transformation et conservation des fruits

Préservation de la structure initiale

par **Pierre BRAT**

Ingénieur de recherches au CIRAD, Montpellier

et **Bernard CUQ**

Professeur à l'école nationale supérieure d'Agronomie, Montpellier

1. Contexte et enjeux	F 6 272 – 2
1.1 Qualités nutritionnelles	- 2
1.2 Description des fruits charnus comme matière première pour la transformation	- 2
1.3 Démarches pour la transformation et la conservation des fruits [1].....	- 3
2. Étapes préliminaires pour la conservation et la transformation des fruits	- 3
2.1 Paramètres essentiels de conservation des fruits au cours du stockage	- 3
2.2 Lavage.....	- 6
2.3 Tri	- 6
2.4 Calibrage.....	- 6
2.5 Parage : dénoyautage, équeutage et pelage	- 6
3. Conservation des fruits « en préservant la structure initiale » ..	- 7
3.1 Découpe	- 7
3.2 Blanchiment	- 8
3.3 Fruits prêts à l'emploi (dits de 4 ^{ème} gamme)	- 8
3.4 Traitements thermiques : l'appertisation (conserves)	- 10
3.5 Surgelés.....	- 11
4. Séchage	- 12
4.1 Séchage par voies thermiques	- 12
4.2 Procédés de déshydratation-imprégnation par immersion (DII)	- 14
5. Conclusion : préserver la qualité originelle des fruits frais	- 15
Références bibliographiques	- 16



Les fruits, à l'exception des graines, sont des aliments riches en eau dont l'apport en protéines et en lipides est limité. Compte tenu de leur richesse en vitamines et autres oligoéléments essentiels, ce sont des aliments diététiques de choix. En effet, les végétaux (et notamment les fruits) contiennent de nombreux facteurs nutritionnels (fibres, sels minéraux, vitamines, flavonoïdes, polyphénols, antioxydants naturels, etc.) dont les effets positifs sur la prévention de maladies graves ont été scientifiquement démontrés par de nombreuses études épidémiologiques.

Les filières fruits et légumes doivent s'adapter à un environnement éminemment changeant. En bout de chaîne, les consommateurs ont de nouvelles exigences en termes de praticité, santé, qualité, etc. Concurrencés par les produits transformés (du simple produit 4^{ème} gamme aux produits ultra-frais, conserves et jus), les fruits frais tentent de maintenir leur part de marché.

Au niveau législatif, les fruits et légumes non transformés forment une catégorie de produits bien identifiés par les textes : « ... les denrées alimentaires non transformées sont celles qui n'ont subi aucun traitement entraînant un changement substantiel de leur état d'origine. Toutefois, elles peuvent, par exemple, avoir été divisées, séparées, tranchées, désossées, hachées, écorchées, épluchées, pelées, moulues, coupées, lavées, parées, surgelées, congelées, réfrigérées, broyées ou décortiquées, conditionnées ou non... » (Arrêté du 2 octobre 1997 – Art. 13). Ainsi, au sein même de la filière des fruits frais, des **évolutions fortes** apparaissent :

- recherche, par le consommateur, de fruits ayant des capacités à la conservation (en froid ou en tempéré) de plus en plus élevées ;
- demande de fruits « hors saison » (fraises ou cerises en hiver) d'où un accroissement des transports et des technologies de conservation ;
- suite à une diminution des temps consacrés à la préparation des repas, une évolution des modes de consommation peut être constatée avec une mutation du fruit frais entier vers des fruits type 4^{ème} gamme, c'est-à-dire des fruits préalablement pelés, tranchés et conservés sous atmosphère protectrice.

Dans ce dossier, nous aborderons les diverses étapes nécessaires à la conservation de la qualité originelle des fruits. Deux autres dossiers [F 6 273] et [F 6 274], traiteront, respectivement, de l'absence de cette préservation élémentaire et des aspects économiques et réglementaires liés à cette filière.

1. Contexte et enjeux

1.1 Qualités nutritionnelles

Une alimentation riche en fruits et légumes est un facteur clé de protection contre les maladies cardio-vasculaires et les cancers épithéliaux. Leur richesse en micronutriments, antioxydants et en fibres alimentaires est, en grande partie, à l'origine de ces effets bénéfiques.

De plus, l'augmentation de la consommation de fruits et légumes réduit la densité énergétique, propriété fortement recommandée lors de surcharges pondérales.

Bien que les fruits et légumes ne soient pas une source énergétique importante de l'alimentation (moins de 5 %), ils constituent cependant l'une des principales sources en fibres, vitamines, minéraux et autres composants biologiquement actifs. Cet effet protecteur pourrait s'expliquer par l'action de plusieurs de ces composants alimentaires dont les activités individuelles et/ou synergiques ont été démontrées sur des modèles expérimentaux cellulaires ou animaux. Plusieurs hypothèses actuelles sur le mode d'action des micronutriments suggèrent différents mécanismes d'action possibles dans la prévention des cancers, des maladies cardio-vasculaires, de la cataracte ou encore de l'ostéoporose.

Les caroténoïdes, la vitamine C, la vitamine E, les folates, les polyphénols et les flavonoïdes (souvent présents en quantités importantes dans les fruits et légumes) sont actuellement reconnus comme des micronutriments antioxydants, en plus de leurs effets propres. D'ailleurs, l'un des modes d'action des micronutriments, actuellement très étudié, est justement leur action cellulaire protectrice vis-à-vis des agents agresseurs oxydants.

Parmi les substances antioxydantes figurent les vitamines C, E et la plupart des caroténoïdes, précurseurs ou non de la vitamine A. De nombreuses études portent sur une action protectrice possible de ces antioxydants dans les maladies cardiovasculaires (vitamines C et E) et dans la cancérogenèse (vitamines C, E, et vitamine A). Pour le cancer, ce sont des centaines d'études épidémiologiques qui plaident en faveur de l'effet protecteur d'une consommation abondante de fruits et de légumes.

Ces vitamines jouent aussi un rôle préventif dans la formation de la cataracte et dans le vieillissement, de manière plus générale.

En revanche, quand on s'intéresse au rôle spécifique de certains composés (antioxydants ou fibres), les résultats sont nettement moins probants, l'explication possible étant la complexité **compositionnelle des fruits et des légumes et les possibles effets synergiques**.

Les recommandations préventives actuelles restent globales sur la consommation de fruits et de légumes, sources d'antioxydants naturels. L'importance des différents composants contenus dans les fruits et légumes ne fait plus de doute, il est donc primordial de satisfaire les besoins nutritionnels de chaque personne en chacun de ces éléments. Ceci peut être obtenu à travers une alimentation variée, équilibrée, riche en fruits et légumes et, par conséquent, en antioxydants.

1.2 Description des fruits charnus comme matière première pour la transformation

Qu'il s'agisse de vente en frais ou de transformation, la sélection des fruits et leurs prétraitements sont basés sur un processus commun, mais avec néanmoins certains critères différents.

Le **critère commun** est la **qualité du fruit**, tant au niveau organoleptique, que sanitaire. Le tableau 1 présente les caractéristiques physico-chimiques de 3 fruits parmi les plus consommés : la pomme, l'abricot et l'orange. L'influence variétale étant très importante dans ce cas, les valeurs présentées sont des données extrêmes prenant en compte les variétés les plus courantes.

Toute transformation est une atteinte à l'intégrité de l'organisme vivant qu'est le fruit. Elle va le rendre plus vulnérable aux facteurs extérieurs et en accélérer la dégradation, comme le montre la susceptibilité des produits de la 4^{ème} gamme à l'oxydation ou aux attaques par les levures.

Tableau 1 – Principales caractéristiques physico-chimiques des 3 fruits parmi les plus consommés

Fruit	pH	Acidité titrable (% d'acide majoritaire)	Extrait sec soluble (°Brix)	Matière sèche (%)
pomme (1)	3,3-3,7	0,48-0,67	11,5-16,0	12,4-17,3
abricot (2)	3,68-4,35	0,58-1,05	10,7-17,1	12,0-19,1
orange (3)	3,0-3,7	0,53-1,02	11,2-13,6	12,3-14,7

- (1) Valeurs minimales et maximales de 8 variétés destinées à la production de jus.
 (2) Valeurs minimales et maximales de 2 variétés (Blenheim, Tilton) destinées à la production de purée.
 (3) Valeurs minimales et maximales de 18 variétés.

L'aspect flateur d'un fruit conditionne sûrement un premier achat, mais seule sa valeur gustative assure la pérennité de sa consommation.

soit éliminée par différence de concentrations entre le produit et une solution concentrée (confisage, déshydratation osmotique), ou par traitement thermique (séchage, lyophilisation).

1.3 Démarches pour la transformation et la conservation des fruits [1]

Malgré leur grande diversité, la description technologique des fruits peut être envisagée de manière simplifiée. On peut considérer un fruit comme une simple association de constituants élémentaires fonctionnels : de l'eau, des agropolymères (protéines, polysaccharides, lipides, polyphénols, etc.) et des micronutriments (molécules de petite taille telles que les sucres, arômes, vitamines, minéraux, etc.). La proportion relative des constituants varie fortement d'un fruit à un autre.

■ La conservation et/ou la transformation des fruits peuvent être envisagées selon **diverses voies technologiques de transformation**. La figure 1 les présente ainsi que leurs incidences sur les éventuelles pertes en constituants du fruit. De plus, cette figure replace les différents paragraphes de ce travail dans le cadre d'une approche technologique.

■ La **seconde partie** (cf. § 2) **concerne les étapes préliminaires** à la conservation et à la transformation des fruits. Il s'agit, principalement, des étapes de lavage, de triage, de calibrage et de parage (dénoyautage, équeutage, pelage). Notons, cependant, que le contrôle visuel à l'arrivée des fruits, ainsi que leur pesée, font partie intégrante de cette démarche. L'ensemble de ces étapes ne change pas structurellement la composition du fruit, mais peut entraîner des pertes en métabolites (suite au lavage) et en eau (sudation du fruit pelé).

■ La conservation des fruits peut être envisagée **en préservant l'état frais** des produits sur la période la plus longue possible, pour des fruits entiers. Les fruits doivent alors rester vivants (maintien de la structure initiale) jusqu'à leur ingestion par le consommateur. Cette approche comprend les étapes de découpe, de blanchiment et de conservation sous atmosphère modifiée (cf. § 3).

En raison du caractère saisonnier de la production des fruits, leur **conservation en préservant la structure initiale sur de longues périodes** est possible à l'aide des procédés « classiques » de conservation pour inactiver les réactions de dégradation (physiologiques, enzymatiques et microbiologiques).

À titre d'**exemple**, on peut citer la mise en œuvre de **traitements par le froid (surgélation), ou la chaleur (stérilisation)** pour la production de fruits surgelés ou de conserves de fruits. Ces traitements conduisent à la **mort des tissus**.

Il n'y a pas, pour ces opérations, de séparation sélective des constituants des fruits.

■ Enfin, la **modification de la teneur en eau** (séchage) fait appel à une déshydratation plus ou moins poussée des tissus, que l'eau

2. Étapes préliminaires pour la conservation et la transformation des fruits

Dès la récolte, le maintien de l'état vivant et la préservation des qualités des fruits (et notamment, de leur état d'hydratation) nécessitent d'adopter des mesures protectrices. Celles-ci sont particulièrement importantes lorsque les fruits entiers sont destinés à une commercialisation à l'état frais, ou sous la forme de végétaux prêts à l'emploi.

La préservation des qualités originelles des produits nécessite la **maîtrise conjuguée** des conditions de récolte, de manipulation et de distribution, ainsi que des paramètres de stockage associant chaîne du froid et contrôle de l'humidité relative de l'atmosphère.

2.1 Paramètres essentiels de conservation des fruits au cours du stockage

■ Réfrigération

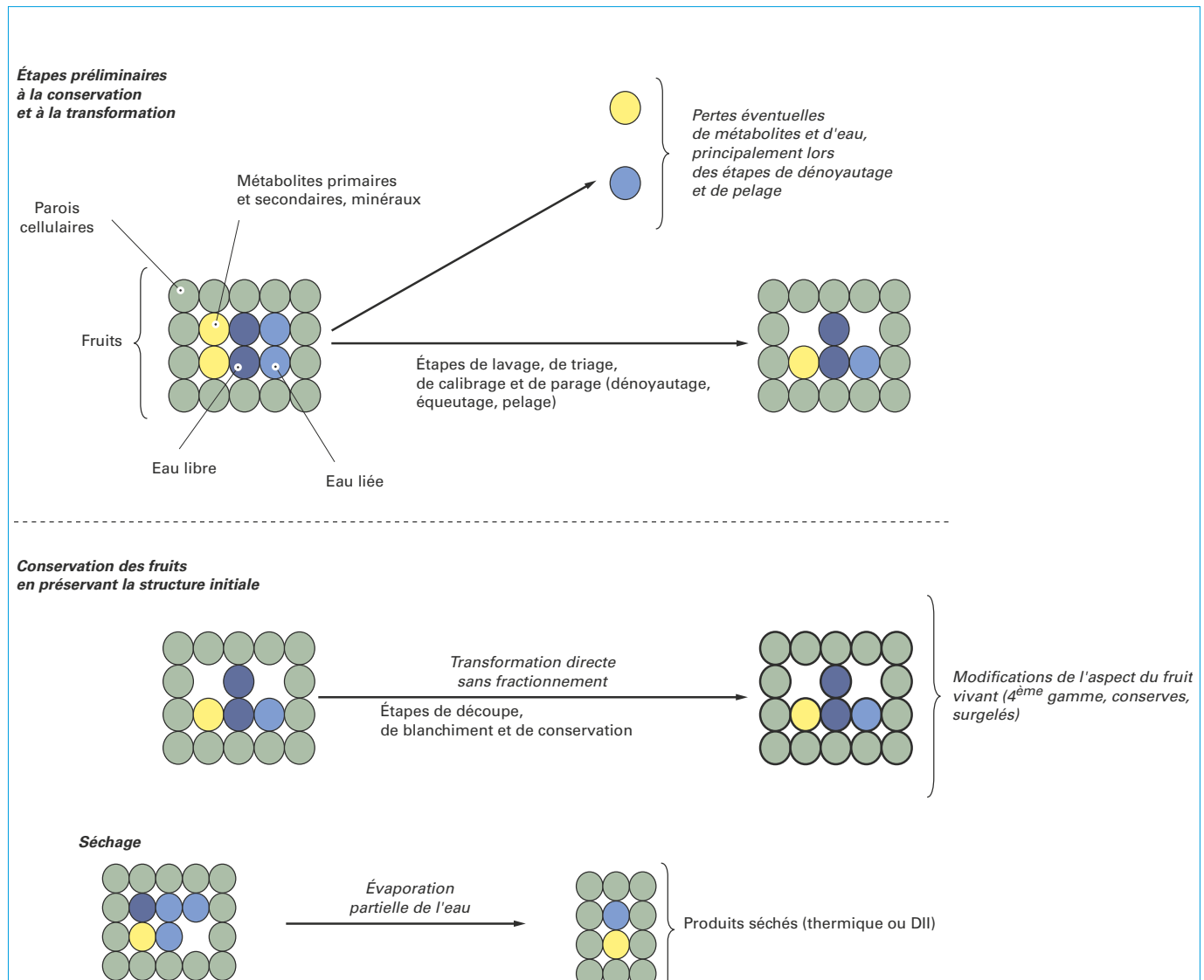
Aussitôt après la récolte, une réfrigération rapide permet de ralentir la plupart des processus physiologiques (respiration et consommation de sucres, en particulier), ainsi que les pertes en eau. Ainsi, l'intensité respiratoire est divisée par un facteur 2-3 lorsque la température est abaissée de 10 °C. Cette étape de pré-réfrigération peut être réalisée de différentes manières :

- **circulation d'air forcé** (melons, raisins) ;
- **immersion dans de l'eau froide** (pêches) ;
- **recouvrement avec de la glace fondante**.

Pendant le stockage et la distribution, le maintien de l'état réfrigéré permet de ralentir les processus métaboliques liés à la maturation et, éventuellement, à la croissance, mais aussi de limiter le développement des micro-organismes et de réduire les pertes en eau par transpiration. Une valeur de température comprise entre 0 et 5 °C est recommandée pour la plupart des fruits.

Notons, cependant, qu'un grand nombre de fruits, lorsqu'ils sont soumis à une température trop basse (spécifique pour chaque fruit et, parfois même, pour chaque variété) présente un **ramollissement assez marqué** appelé communément « **chilling injury** ».

TRANSFORMATION ET CONSERVATION DES FRUITS



La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Transformation et conservation des fruits

Perte de la structure initiale

par **Pierre BRAT**

Ingénieur de recherches au CIRAD, Montpellier

et **Bernard CUQ**

Professeur à l'école nationale supérieure d'Agronomie, Montpellier

1. Conservation des fruits après extraction, séparation et/ou transformation	F 6 273 – 2
1.1 Jus	– 3
1.2 Purée	– 6
1.3 Confitures	– 9
2. Cracking des éléments fonctionnels des fruits	– 10
2.1 Valorisation des agropolymères (polysaccharides, pectines)	– 10
2.2 Valorisation des micronutriments (arômes, colorants)	– 11
2.2.1 Extraction des composés d'arôme	– 11
2.2.2 Extraction des colorants	– 12
Références bibliographiques	– 13

La transformation des fruits sous différentes formes de boissons (jus, nectars, boisson à base de fruits) apparaît comme la plus importante voie de transformation en France. En effet, la production de confitures et d'autres conserves de fruits était, en 2003, de l'ordre de 70 000 tonnes (données extrapolées des consommations de sucre), soit seulement 5 à 6 % des volumes de fruits transformés en jus.

Dans ce dossier, nous aborderons donc la **question de la transformation et de la conservation des fruits, au niveau de leur perte de structure initiale**. Deux autres dossiers [F 6 272] et [F 6 274], traitent, respectivement, de la préservation de leurs qualités originelles et des aspects économiques et réglementaires liés à cette filière.

7

1. Conservation des fruits après extraction, séparation et/ou transformation

Bien que les fruits soient soumis à différentes étapes technologiques, entraînant une dégradation de leur cohésion cellulaire, ils doivent subir, dans tous les cas, les 4 opérations de lavage, égouttage, calibrage et triage (cf. § 2) auxquelles s'ajoutent, bien sûr, la pesée et le contrôle visuel des fruits, dès réception.

Les voies technologiques de conservation des fruits peuvent être scindées en 4 parties (cf. figure 1) :

- fabrication de jus ;
- fabrication de purées et leur concentration ;
- préparation de fruits entiers, ou en morceaux, et leur stabilisation par séchage ;
- préparation de confitures.

Remarque : la préparation d'alcool, à partir de fruits riches en sucres fermentescibles, ne sera pas abordée ici ; les quantités transformées (à l'exception de la production de vin) restent très faibles au regard des autres procédés de stabilisation et de transformation.

Notons que, lors de la préparation des fruits, la présence de fausses coupes (fruits mal coupés) et de jus de coupe (variable selon les fruits transformés) entraînera nécessairement la fabrication de jus ou de purée.

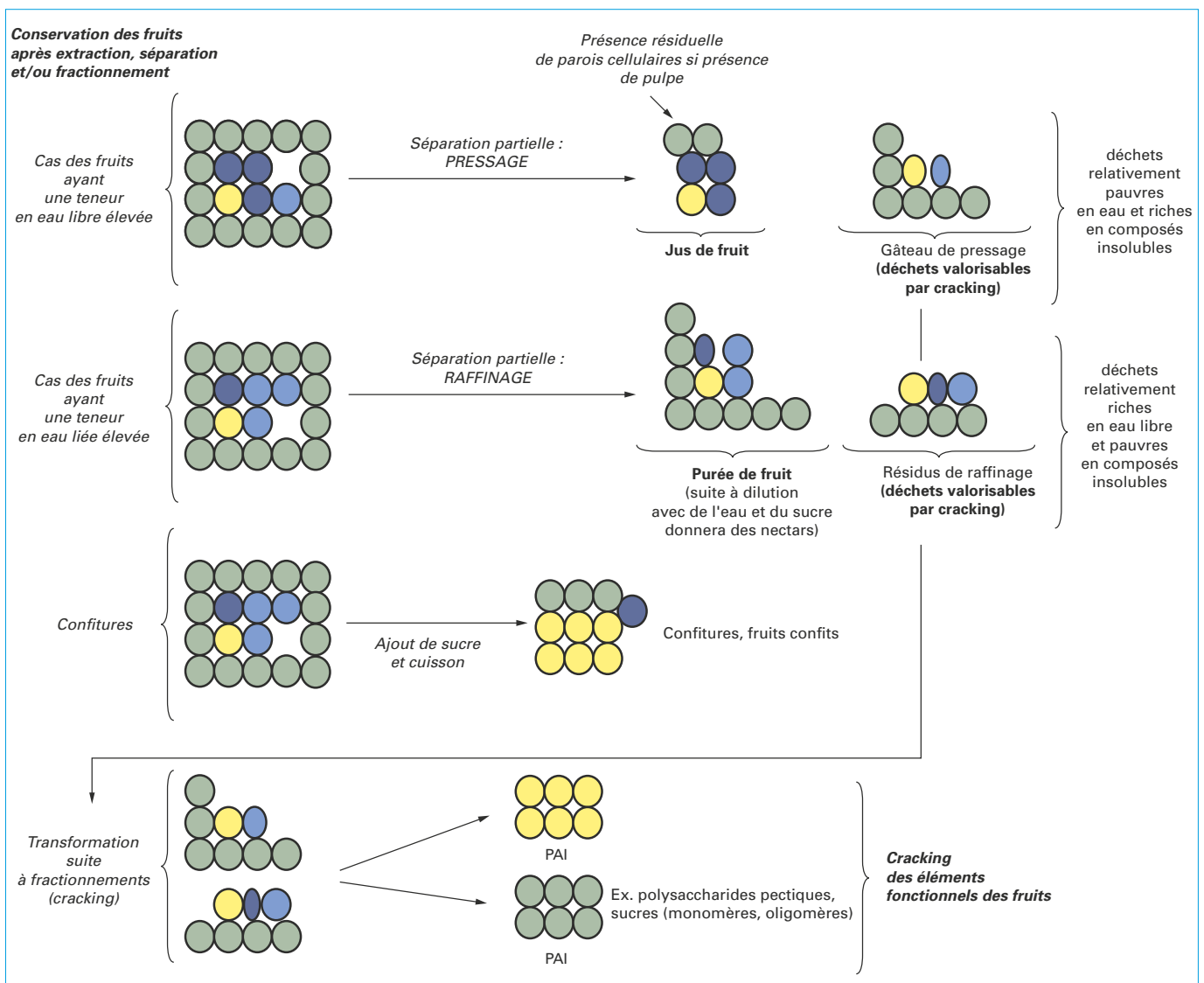


Figure 1 - Diverses voies technologiques de conservation des fruits

1.1 Jus

Comme présenté précédemment, lorsque la proportion d'eau libre dans un fruit est suffisante, celui-ci peut être directement pressé afin d'obtenir un jus. Outre les étapes traditionnelles de lavage, calibrage, triage et parage, différents prétraitements peuvent être conduits, préalablement au pressage, selon le type de fruits et leur maturité. Le cas particulier des agrumes est présenté ultérieurement dans ce paragraphe.

Les fruits durs, type pomme ou poire, sont en général réduits en cossettes, à l'aide de râpes ou de « broyeur à couteaux » (figure 2). Le broyat ainsi obtenu est pressé, via différentes approches technologiques. On distingue ainsi les systèmes de pressage discontinus type « presse à paquet » (figures 3 et 4) pour les petites installations ou type « presse à corbeille », en conditions industrielles.



Figure 2 – Broyage des pommes dans un « broyeur à couteaux »



Figure 4 – Toiles de contention des broyats dans la « presse à paquets »

Une fois le jus obtenu, celui-ci est soumis, suivant le type de fruit, à différentes étapes de traitement enzymatique (figure 5) avant d'être concentré ou pasteurisé en l'état.

■ Les deux grands types de jus

Conformément à la législation européenne, il existe 2 types de jus :

- les « **purs jus** » obtenus par simple pression des fruits, sans adjonctions d'aucune sorte (sucre, additifs) ;
- les « **jus à base de concentrés (ABC)** » élaborés à partir de jus concentrés. Les produits sont reconstitués en réincorporant au jus de fruits concentré la même quantité d'eau que celle extraite lors de la concentration. Cette concentration a pour but de faciliter le stockage et le transport.

Les jus à base de concentré sont principalement des jus d'agrumes : le lieu de production étant, en général, très éloigné des sites de distribution et de consommation, une pré-étape de concentration est nécessaire pour diminuer le poids financier du transport. En revanche, les fruits produits sur les zones de consommation (exemple, la pomme ou le raisin) ne sont que très rarement concentrés, cette étape technologique induisant des pertes aromatiques conséquentes, ainsi qu'une perte des notes de fraîcheur du produit fini.

■ Les jus d'agrumes

Les jus d'agrumes, conformément à la législation européenne,

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Transformation et conservation des fruits

Aspects économiques et réglementaires

par **Pierre BRAT**

Ingénieur de recherches au CIRAO, Montpellier

et **Bernard CUQ**

Professeur à l'école nationale supérieure d'Agronomie, Montpellier

1. Données économiques	F 6 274 –	2
1.1 Marché français des fruits frais	–	2
1.2 Marché français des fruits transformés	–	2
2. Réglementation	–	3
2.1 Jus de fruits	–	3
2.2 Jus de fruits obtenus à partir d'un concentré	–	4
2.3 Jus de fruits concentré	–	4
2.4 Jus de fruits déshydratés/en poudre	–	4
2.5 Nectars de fruits	–	4

Dans ce dossier, nous aborderons les aspects économiques et réglementaires liés à cette filière des fruits et légumes.

Deux autres dossiers [F 6 272] et [F 6 273] traitent respectivement des questions fondamentales relatives aux profondes mutations de ce secteur, exigées par un contexte commercial en pleine évolution : la préservation des qualités originelles des fruits et, inversement, la perte de leurs structures initiales.

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Élaboration des jus de pommes et des cidres

par **Jean-Michel LE QUÉRÉ**

Ingénieur UTC

Ingénieur de Recherche INRA – Unité de Recherches Cidricoles, Bio-transformation des fruits et légumes

Rémi BAUDUIN

Ingénieur Agronome

Responsable transformation – Institut Français des Productions Cidricoles (IFPC) – Directeur de l'UMT cidricole

et **Alain BARON**

Docteur ès sciences

Directeur de l'Unité de Recherches Cidricoles, Bio-transformation des fruits et légumes

1. De la pomme aux moûts bruts	F 6 275 - 2
1.1 Matière première, sa production et sa gestion.....	— 2
1.2 Extraction des moûts	— 3
1.3 Composition des moûts bruts.....	— 4
2. Étapes spécifiques à l'élaboration des jus de pomme	— 6
2.1 Procédés de clarification	— 6
2.2 Traitement de stabilisation microbienne	— 8
3. Étapes spécifiques à l'élaboration des cidres	— 8
3.1 Clarification des moûts pour l'élaboration des cidres	— 8
3.2 Fermentations	— 9
3.3 Altérations levuriennes et bactériennes.....	— 11
3.4 Interventions technologiques de finition des cidres	— 12
Pour en savoir plus	Doc. F 6 275

Le cidre et le jus de pomme ne sont pas des aliments indispensables sur le plan de l'apport nutritionnel de base, même s'il existe des micro-nutriments jugés favorables à la santé : polyphénols, vitamines et potassium. On peut considérer, par conséquent, que ce sont avant tout des « boissons plaisir ». Les composants hédoniques de la qualité sont donc essentiels pour la décision d'achat du consommateur et vont logiquement constituer l'objectif principal du cidrier.

Les perceptions gustatives peuvent, dans une certaine mesure, être reliées à la composition biochimique. C'est le cas pour les saveurs sucrées, acides et amères. Le lien entre les perceptions olfactives et l'analyse des composés volatils est moins aisé à établir mais certaines évolutions sont cependant identifiables par des marqueurs : c'est le cas notamment des principaux défauts qui ont été clairement répertoriés.

Les critères analytiques qui reflètent les saveurs ou qui sont marqueurs d'une évolution sont effectivement pris en compte dans les objectifs qui sont traduits en spécifications internes des produits et parfois entérinés dans les définitions légales. Enfin, le cidrier souhaite préserver dans le temps les qualités du produit, c'est-à-dire stabiliser le cidre sur le plan physico-chimique et

microbiologique. De ces objectifs et contraintes découlent les méthodes d'élaboration que nous allons décrire dans ce chapitre.

En complément de cette description rationnelle, il faut signaler que l'évaluation sensorielle reste cependant un outil indispensable, au moins au stade de l'assemblage final, pour prendre en compte la qualité hédonique globale du produit fini.

1. De la pomme aux goûts bruts

L'industrie cidricole française transforme les pommes en plusieurs produits dont le jus de pomme et le cidre. D'autres produits en sont issus mais ne seront pas traités dans le cadre de ce chapitre : les eaux de vie de cidre, dont le Calvados est le plus connu, proviennent de la distillation d'un cidre et le Pommeau est un assemblage de jus et d'eau de vie de cidre.

1.1 Matière première, sa production et sa gestion

La matière première des cidreries est en général constituée de variétés spécifiques de pommes produites pour cet usage. Ces variétés diffèrent des pommes de table sur le plan des comportements agronomiques et des contraintes de production. Peuvent s'y ajouter des écarts de tris de pommes de table et des jus concentrés.

1.1.1 Variétés de pommes spécifiques et classification

L'INRA a répertorié et identifié plus de 1 000 variétés de pommes à cidre parmi lesquelles près de 350 sont décrites par J.-M. Boré [1]. Une vingtaine d'entre elles sont utilisées de façon significative. Leur principale spécificité par rapport aux pommes de table est sans doute leur richesse en polyphénols ; celle-ci est d'ailleurs utilisée, conjointement à l'acidité, pour les classer (figure 1).

1.1.1.1 Mode de production et alternance

Le verger cidricole est presque exclusivement implanté dans le Grand-Ouest français : régions Bretagne, Basse et Haute-Normandie et Pays de Loire. Deux modes de production co-existent. La majorité des pommes à cidre vendues (80 %) proviennent de vergers spécialisés dits « vergers basse tige » et le complément par le verger traditionnel « haute tige ». Cette production se distingue de celle des pommes de table :

- **par le contexte de production.** Les vergers sont, pour la grande majorité, intégrés dans des exploitations de polyculture élevage sous forme d'ateliers de production. Sur 10 000 producteurs seuls 20 % sont spécialisés ;

- **par les caractéristiques agronomiques des variétés.** Elles sont, en particulier, caractérisées par une forte fluctuation de production d'une année à l'autre. Cette « alternance » peut être réduite en régulant la charge de l'arbre (quantité de fruits par arbre) au moyen d'un éclaircissage (élimination d'une partie des fleurs ou des fruits en formation). Ces variétés présentent en outre une faible sensibilité aux maladies (sauf au feu bactérien) qui permet une production à faible intrant phytosanitaire ;

- **par le mode de valorisation de la récolte.** Les fruits sont exclusivement destinés à la transformation. Le niveau d'exigence est donc différent de celui requis pour les pommes de table : pas de

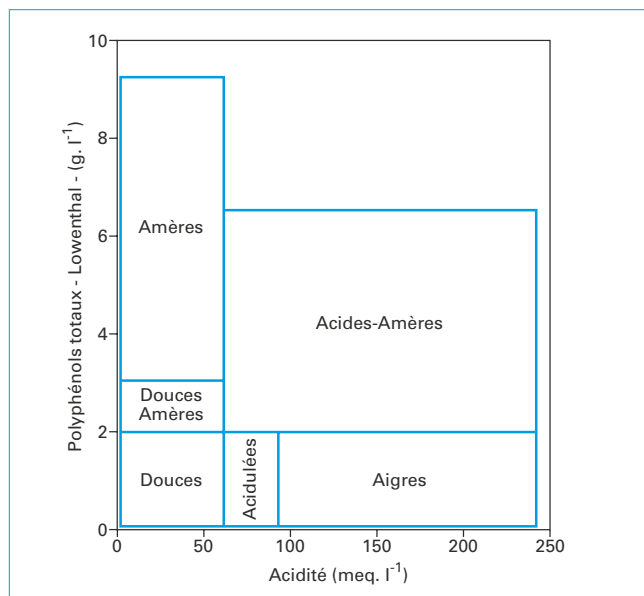


Figure 1 – Classement des variétés de pommes à cidre



Figure 2 – Récolte mécanique dans un verger de pommes à cidre

calibre minimum ni de contraintes d'aspect visuel, ce qui permet également de limiter les traitements mais aussi d'effectuer une récolte mécanisée des fruits chutés au sol.

1.1.1.2 Mode de récolte et prévention de la dégradation des fruits

Dans les conditions actuelles de récolte, les pommes chutent au sol soit naturellement, soit par secouage mécanique à l'époque de leur chute naturelle. Les fruits sont récoltés au sol, le plus souvent, par récolte mécanisée (figure 2), comprenant un andainage puis

un entraînement des fruits vers un dispositif élévateur qui les déverse dans une remorque.

Deux aspects de ce mode de récolte sont déterminants pour l'évolution sanitaire des fruits : le contact avec le sol (de durée variable, en moyenne de sept jours) et les multiples chocs (chute de l'arbre et chocs à la récolte) susceptibles de générer des blessures de l'épiderme qui seront des portes d'entrée pour les micro-organismes d'altération. Ces aspects peuvent interagir avec les caractéristiques des fruits (dureté de la pulpe, porosité de la peau) et la durée de conservation.

Les altérations peuvent être regroupées en trois catégories [2] en fonction de leur origine et de leur mode de propagation :

- **les altérations présentes sur le pommier** : elles sont dues à des moisissures (*Monilia fructigena*, *Monilia laxa*) qui se développent sur les fruits dans l'arbre puis en cours de conservation. Sur certaines variétés, les dégâts peuvent être importants et justifier d'un traitement spécifique du verger ;

- **les atteintes dues à des moisissures du sol** : ces moisissures dites telluriques (*Phytophthora sp.* et *Fusarium sp.*) pénètrent dans les fruits en contact avec le sol soit par les blessures, soit directement au travers de l'épiderme poreux. C'est la plus grande cause initiale d'altération des fruits et l'allongement du temps de séjour au sol est un facteur déterminant ;

- **les altérations à contamination secondaire** dues à des moisissures des genres *Botrytis* et *Penicillium*. Ces moisissures peuvent se développer sur des fruits véreux, blessés ou déjà altérés par d'autres pourritures. Parmi elles *Penicillium expansum* est responsable de la production de la patuline, une mycotoxine dont la teneur maximale dans les jus et les cidres ne doit pas dépasser $50 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ selon la réglementation. La limitation à sept jours du délai entre la récolte et la transformation, assortie d'un tri des pommes avant transformation permet de réduire fortement ce risque sanitaire.

1.1.1.3 Réception, stockage et maturation

En cidrerie, les fruits sont réceptionnés sur des aires bétonnées et y séjournent jusqu'à leur transformation. La tendance actuelle est de réduire ce temps de stockage d'une part pour limiter les altérations sur fruit, mais aussi pour conserver une texture de fruit compatible avec un bon rendement d'extraction (le délai actuel est inférieur à 5 jours). Cependant certains producteurs fermiers restent attachés à une maturation longue des pommes avant pressage. Celle-ci doit être alors réservée à des fruits tardifs (chute en saison froide), récoltés manuellement et bien triés à la récolte.

1.1.2 Autres matières premières

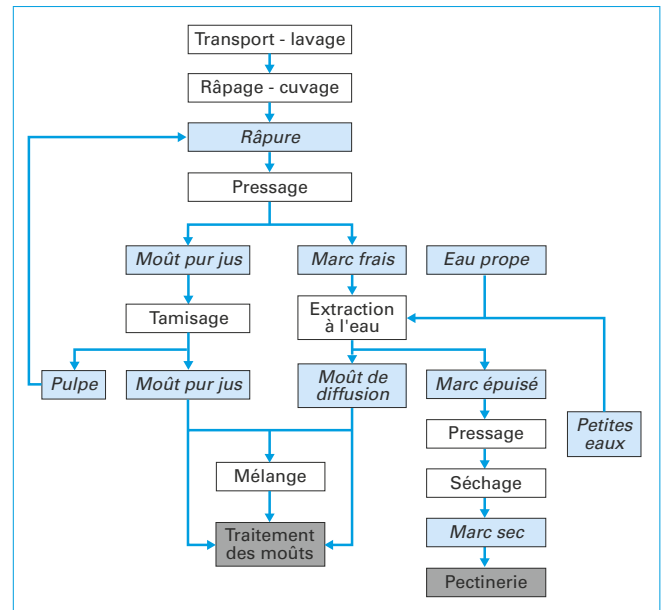


Figure 3 - Extraction des moûts de pomme



Figure 4 - Stockage des fruits sur aire bétonnée

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Congélation de produits végétaux

Maîtriser la qualité des fruits congelés

par **Sophie CHASSAGNE-BERCES**

Docteur-Ingénieur en Sciences et procédés alimentaires

Fernanda FONSECA

Chargée de recherche INRA

et **Michèle MARIN**

Professeur AgroParisTech

1. Tissus végétaux	F 6 277 - 2
1.1 Structure	— 2
1.2 Compartiments cellulaires	— 3
1.3 Composition globale moyenne.....	— 3
1.4 Caractérisation de la qualité des tissus.....	— 5
1.5 Évolution au cours de la maturation	— 6
2. Procédé de congélation	— 7
2.1 Techniques industrielles de congélation de produits végétaux	— 7
2.2 Mécanismes physiques de la congélation	— 9
2.3 Dynamique de congélation et mécanismes d'altération	— 11
2.4 Impacts des processus de décongélation et de stockage.....	— 13
3. Congélation et qualité des végétaux congelés	— 13
3.1 Caractérisation de la congélation de l'eau dans les produits végétaux ..	— 15
3.2 Caractérisation de la qualité des végétaux congelés.....	— 18
3.3 Influence de facteurs liés au produit	— 23
3.4 Influence de facteurs liés à la technologie.....	— 25
4. Conclusion	— 28
Pour en savoir plus	Doc. F 6 277

Depuis quelques années, la consommation des fruits et légumes est largement encouragée par des campagnes de promotion, telles que le 1^{er} Plan national de nutrition santé (PNNS), prônant la consommation d'au moins 5 fruits et légumes par jour sous toutes leurs formes : crus, cuits, surgelés ou en conserve pour manger « mieux ». Bien que la consommation des fruits et légumes frais (8,496 millions de tonnes) reste majoritaire par rapport à celle des fruits et légumes transformés (15 %), seule la consommation des produits transformés est en augmentation (+ 2 % environ par an) (données 2007).

Les fruits et les légumes sont, pour la plupart, des organes végétaux fragiles hautement périssables, qui, dès la récolte, subissent des évolutions physiologiques marquées. Si les étapes de post-récoltes ne sont pas maîtrisées, la qualité des fruits et légumes, tant au plan organoleptique que sanitaire, peut se détériorer rapidement. Les procédés de transformation tels que l'appertisation, la congélation (surgélation) et le séchage permettent d'augmenter significativement les délais de conservation. La congélation est un des procédés de conservation des produits alimentaires qui s'est le plus développé au cours des trente dernières années. Elle concerne une large gamme de produits. Les

CONGÉLATION DE PRODUITS VÉGÉTAUX

fruits et légumes congelés présentent de nombreux atouts répondant aux nouvelles exigences des consommateurs (praticité d'usage, disponibilité toute l'année, bonne conservation à domicile, qualité gustative appréciée).

La production de fruits et légumes surgelés en France, qui ne représente toutefois que 4 % de la totalité des fruits et légumes (données 2007), est un marché à haut potentiel. La congélation permet de délivrer des produits dont la qualité nutritionnelle est bien souvent considérée supérieure à celle rencontrée dans les autres aliments transformés. Au cours de la congélation, l'eau contenue dans la structure cellulaire se transforme en glace, réduisant également le déclenchement des processus microbiologiques et enzymatiques conduisant au développement de couleurs et de saveurs non désirées. En contre-partie, la congélation provoque des modifications physiques et chimiques qui peuvent conduire à une perte de qualité (texture, turgescence) après décongélation. La vitesse de congélation et la température finale de stockage à l'état congelé, sont des paramètres critiques pour le maintien des propriétés sensorielles, fonctionnelles ou encore biologiques après la congélation des produits agricoles et biologiques. Les mécanismes complexes de dégradation de la qualité des tissus végétaux, associés à la mobilité et la transformation de l'eau en glace sont encore mal connus, et difficiles à caractériser par des méthodes simples.

Les observations publiées à ce jour demeurent très macroscopiques. En conséquence, les solutions technologiques pour améliorer la qualité des produits végétaux congelés reposent encore sur un raisonnement très empirique.

1. Tissus végétaux

1.1 Structure

Les organes des fruits et légumes sont complexes et résultent de l'association intime d'une grande diversité de tissus.

Exemple

La pomme (figure 1) est constituée, de la périphérie vers le centre [1], de :

- l'épiderme ou cuticule : surface du fruit en contact avec le milieu extérieur (2-7 % du poids total) ;
- le mésocarpe ou parenchyme : chair comestible du fruit (92-97 % du poids total) ;
- l'endocarpe : renferme les pépins (0,05 à 1 % du poids total).

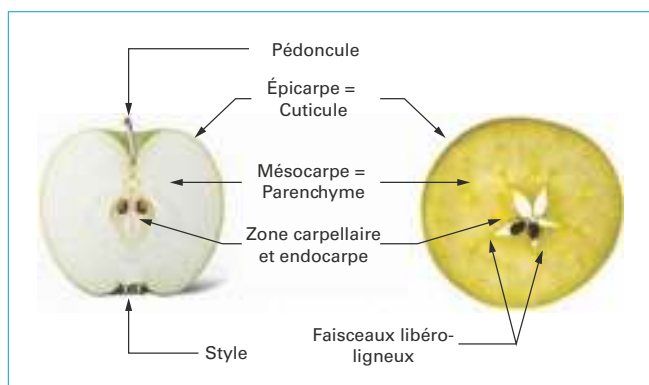


Figure 1 - Coupes longitudinale et transversale d'une pomme

Comme illustré sur la figure 1, le parenchyme occupe la majeure partie du fruit. Il est constitué de cellules végétales et d'espaces intercellulaires, qui diffèrent en formes (polyédriques ou sphériques), tailles (entre 50 et 500 µm), et assemblages selon le type de fruit [2].

Le parenchyme de la pomme est bien décrit dans la littérature et caractérisé par son anisotropie croissante depuis la couche (cortex) externe vers le cœur du fruit [3] [4]. En effet, à la périphérie, les cellules n'ont pas d'orientation précise. Elles sont de formes aplaties, sphériques et petites (50 µm de diamètre) [3] [5]. La taille des cellules augmente avec la profondeur, jusqu'à atteindre un diamètre maximal d'environ 300 µm. Elles sont alors allongées radialement vers le cœur du fruit, formant ainsi une structure en colonne [3] [6]. Puis, au niveau de la zone carpellaire, la taille des cellules diminue autour de 130-160 µm ([3] [5], figure 2).

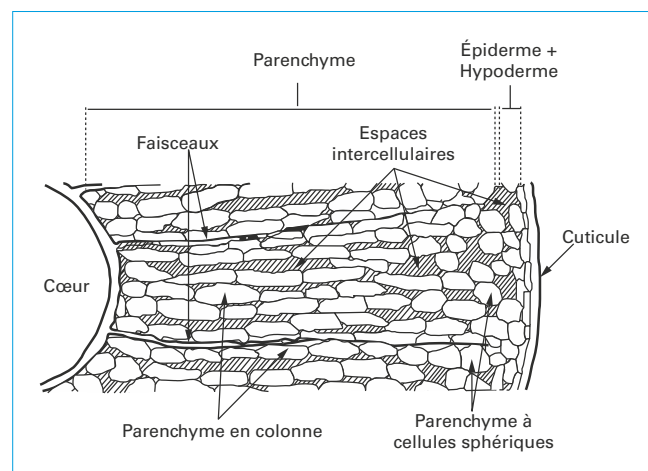


Figure 2 - Schéma d'une section radiale de cortex de pomme

Le parenchyme de pomme est également caractérisé par une densité relative inférieure à 1, comprise entre 0,5 et 0,9 [7]. De larges espaces intercellulaires sont clairement visibles sous microscope [5]. Ces espaces intercellulaires présentent une orientation similaire à celle des cellules, depuis la surface vers le cœur du fruit [3]. À la périphérie, ces espaces, sans organisation particulière sont de forme sphérique avec un diamètre de 100-200 µm. Vers l'intérieur du tissu, ils s'allongent radialement et peuvent atteindre 4 000 µm de long pour une hauteur de 100-200 µm de diamètre. Le volume des espaces intercellulaires est estimé autour de 20-27 % pour différentes variétés de pommes [8].

Selon les observations au microscope photonique de la région parenchymateuse du melon par Mastrangelo [9], le tissu est composé de cellules sphériques présentant deux tailles différentes, avec des espaces intercellulaires réduits. Les cellules de mangue sont plutôt sphériques, de petites tailles, autour des 100 µm de diamètre.

1.2 Compartiments cellulaires

Les cellules végétales sont des unités structurales et fonctionnelles, qui ont à la base la même organisation que les cellules animales. Elles s'entourent d'une membrane plasmique et contiennent, en particulier :

- un noyau ;
- des mitochondries sites de la respiration ;
- du réticulum endoplasmique ;
- un appareil de Golgi ;
- des lysosomes ;
- des ribosomes ;
- des peroxyosomes ;
- un cytosquelette (figure 3) [170].

Toutefois, les cellules végétales se distinguent des cellules animales par trois caractéristiques cytologiques majeures :

- la vacuole ;
- la paroi ;
- les plastes et pigments assimilateurs, tels que les chlorophylles, les caroténoïdes et les phycobilines.

1.2.1 Vacuole

La vacuole occupe 80 à 90 % du volume cellulaire (figure 3). Les cellules jeunes possèdent plusieurs petites vacuoles, alors que la cellule adulte se caractérise par une vacuole unique. La vacuole est limitée par une membrane : le tonoplaste ou membrane vacuolaire. Elle contient le suc vacuolaire dont la composition varie en fonction de l'état du fruit. Son rôle est dédié au stockage :

- de l'eau ;
- de solutés organiques (des oses tels que le glucose et le fructose, des diholosides comme le saccharose, des acides organiques, des acides aminés) ;
- d'ions minéraux ;
- parfois de pigments (anthocyanes).

La vacuole joue un rôle majeur dans la régulation des grandes fonctions physiologiques de la cellule végétale (pH, pression osmotique, concentrations ioniques).

1.2.2 Membrane

Le tonoplaste, ou membrane vacuolaire est la membrane qui sépare la vacuole du cytoplasme dans une cellule végétale (figure 3) [170]. Sa perméabilité sélective aux solutés stockés dans la vacuole joue, en particulier, un rôle dans le processus osmotique de la cellule végétale.

Exemple

C'est le cas lors de la congélation/décongélation où des phénomènes de plasmolyse et de turgescence peuvent avoir lieu.

1.2.3 Paroi

■ La **paroi cellulaire** est l'enveloppe la plus externe de la cellule végétale. Elle détermine la taille et la forme, tout en assurant la cohésion des cellules. Elle est responsable de la rigidité des végétaux et joue un rôle de barrière. Elle protège ainsi la cellule contre :

- les infections :
 - virales,
 - fongiques,
 - bactériennes ;
- les chocs osmotiques ou physiques.

Elle intervient dans les échanges intercellulaires *via* les plasmodesmes, canaux traversant la paroi. Elle est perméable aux ions et aux petites molécules (sucres, acides aminés) constituant une voie de compartimentation et de transport des métabolites.

La **paroi végétale** est constituée majoritairement de :

- polysaccharides (60 à 85 %) ;
- protéines (6 à 15 %) ;
- lignines (2 à 12 %).

Trois niveaux d'organisation peuvent se distinguer suivant l'évolution du tissu végétal :

- la lamelle moyenne constituant la couche la plus externe ;
- la paroi primaire, mince, semi-rigide, composée de polysaccharides ;
- la paroi secondaire, rigide, dense et inextensible, rarement présente dans le cas des fruits.

Exemple

Comme l'illustre la figure 4 [173], citons la paroi d'une pomme Granny Smith, majoritairement composée de polysaccharides (oses totaux), qui peuvent être classés en 3 familles :

- la cellulose ;
- les hémicelluloses ;
- les pectines.

Ces polysaccharides sont des polymères constitués d'oses neutres (59,1 % masse sèche) et d'oses acides (30,8 % masse).

Les principaux oses neutres de la paroi sont le glucose (35,3 % masse) et l'arabinose (15,3 % masse) [10].

■ La **composition et l'architecture des parois**, varient, non seulement d'une espèce végétale à l'autre, mais également d'un type cellulaire à l'autre (épiderme, parenchyme, phloème, xylème). Les polymères sont toujours les mêmes, mais leurs proportions varient significativement entre les espèces et entre les tissus. De plus, des variations spatiales de l'organisation des polymères pariétaux existent au sein de la lamelle moyenne, des jonctions intercellulaires, ou bien encore des plasmodesmes. Enfin, la paroi est une structure dynamique qui subit au cours du temps des modifications liées à l'élongation des végétaux et à la différenciation cellulaire. Il est donc difficile de définir un modèle unique et précis de l'architecture des parois.

1.3 Composition globale moyenne

Les fruits sont majoritairement composés d'eau (entre 85 et 90 %) et de sucres (en moyenne 12 %) et possèdent une faible teneur en lipides (< 1 %) et en protéines (< 1 %). Ils constituent une source de minéraux et de vitamines, notamment les vitamines A et C. Les sucres et les acides organiques sont les principaux constituants hydrosolubles.

Dans le tableau 1 [13] est rapportée la composition chimique moyenne de trois fruits. Ces variations de composition confèrent aux fruits des qualités organoleptiques différentes.

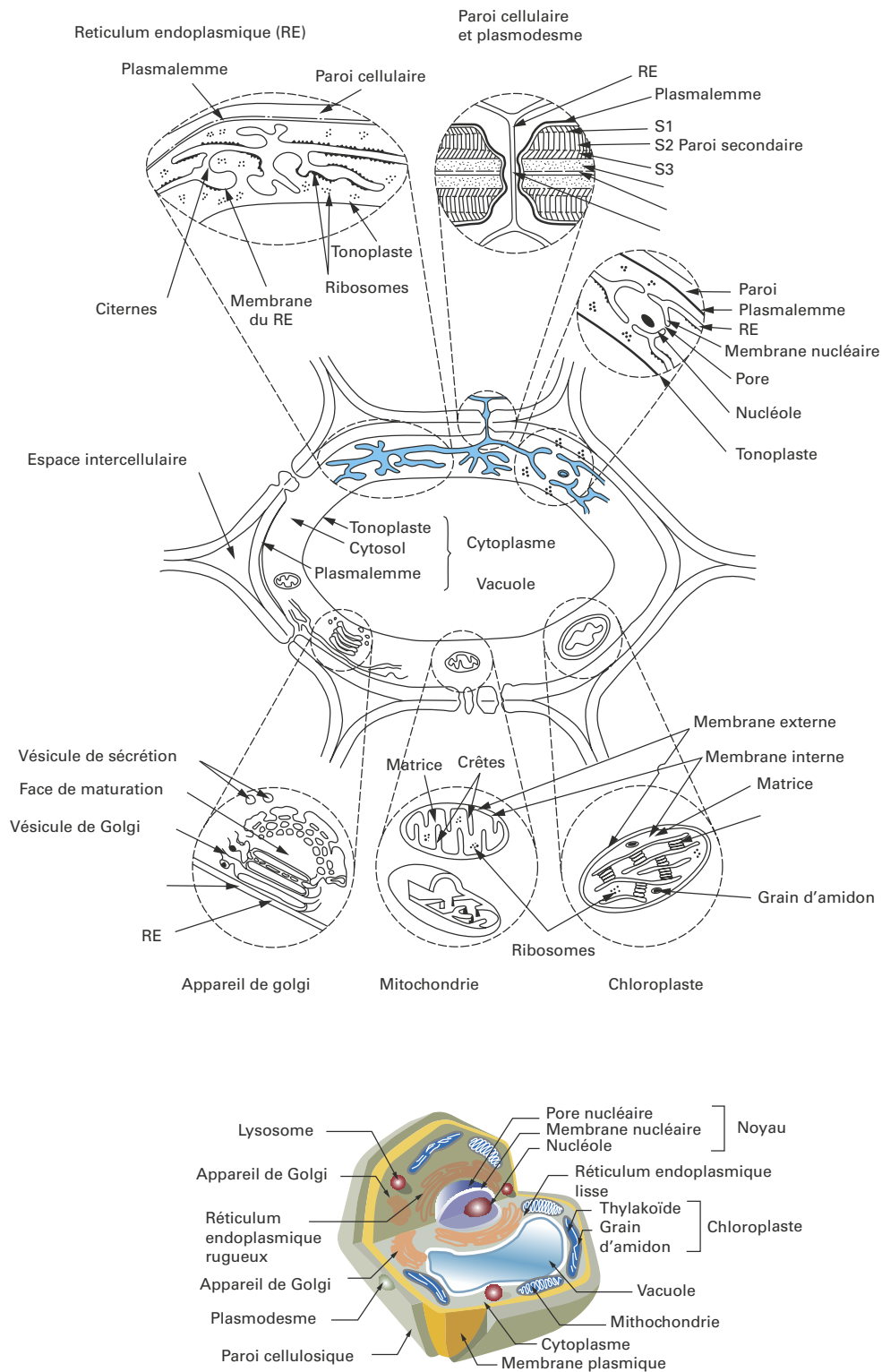
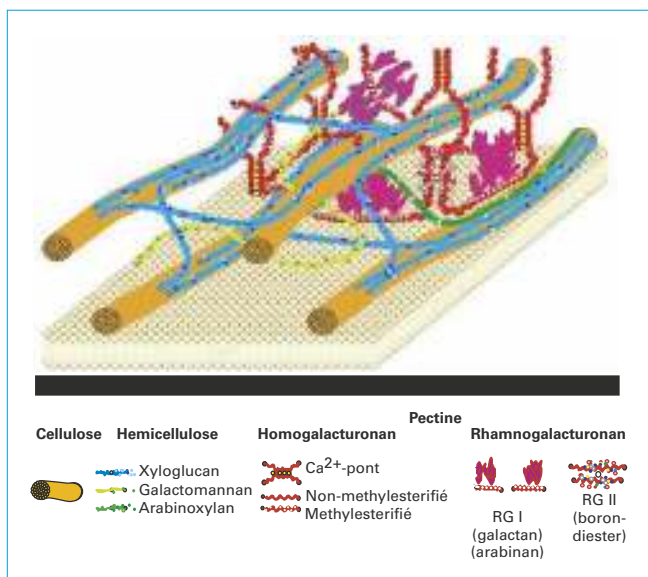


Figure 3 - Schéma d'une cellule végétale et de sa paroi

Tableau 1 – Composition chimique moyenne d'une pomme, d'un melon et d'une mangue à maturité

Composés	Pomme (g)	Melon (g)	Mangue (g)
Eau	84,9	85,4	82
Glucides	10,911	12,4	12,45
• Glucose	2,029	1,6	0,85
• Fructose	5,736	1,3	2,6
• Saccharose	2,546	9,5	9
• Amidon	0,6	/	/
Lipides	0,58	0,10	0,45
Protéines	0,34	0,90	0,60
Acides organiques	0,45	0,075	0,338
• Acide malique	0,42	/	0,074
• Acide citrique	0,03	0,075	0,264
Fibres	2,02	0,73	1,70
Minéraux	0,32	0,40	0,50

Les valeurs sont représentées pour 100 g de fruit.

**Figure 4 – Modèle d'organisation des polysaccharides dans la paroi primaire**

Les facteurs de variation de la composition des fruits peuvent être nombreux :

- l'espèce ;
- la variété ;
- les conditions pédo-climatiques ;
- la localisation des fruits sur l'arbre ;
- le degré de maturité.

1.4 Caractérisation de la qualité des tissus

La texture des fruits et légumes est un des éléments essentiels à leur acceptation par le consommateur. Elle est appréciée au

moment de l'achat (par le toucher et la vue) et au moment de la consommation (par le goût).

Plusieurs définitions sont trouvées dans la littérature. Dans le cas des fruits et légumes, Bourne [11] a proposé une définition plus précise : « la texture est l'ensemble des caractères physiques résultant des éléments structuraux de l'aliment, évalués par la sensation du toucher dans la main ou dans la bouche, associés à la déformation, à la désintégration et à l'écoulement suite à l'application d'une force, mesurés en fonction de la force, de la distance et du temps ».

Les organes des fruits et légumes sont complexes et comprennent une gamme de contributions de structures à la texture dont une hiérarchisation a été proposée par Waldron (figure 5) [12]. Cette classification reflète l'importance successive des différentes échelles de la molécule (polymères) aux organes « fruits ».

- La **texture des tissus** est une réponse globale qui résulte d'un ensemble de propriétés mécaniques et physico-chimiques (pression de turgescence interne des cellules, adhésion inter-cellulaire).
- Les **fonctions des tissus** peuvent changer tout au long du cycle de vie des cellules et des organes, avant (croissance) et après récolte (post-traitements, stockage).

Étudier les mécanismes au niveau de la cellule (paroi, vacuole), en lien avec l'organisation tissulaire (parenchyme), semble être une échelle pertinente et déterminante pour faire le lien entre structure et texture, lors de l'évolution du tissu végétal pendant un processus de congélation.

■ Spécificités des tissus

Les tissus caractéristiques des fruits présentent toutefois quelques spécificités qui rendent la relation structure/texture complexe à appréhender. Ainsi, aux côtés du système cellulaire riche en eau, les fruits présentent des poches gazeuses (20 % dans le tissu). Contrairement aux légumes, les fruits ne contiennent que peu de structures squelettiques de type lignine ou cellulose. De plus, ils présentent des activités enzymatiques pectinolytiques très intenses.

• Résultante de la présence d'eau en forte proportion, et de structure compartimentée rigide (paroi), une pression hydrostatique cellulaire, ou « **pression de turgescence** », est exercée par

CONGÉLATION DE PRODUITS VÉGÉTAUX

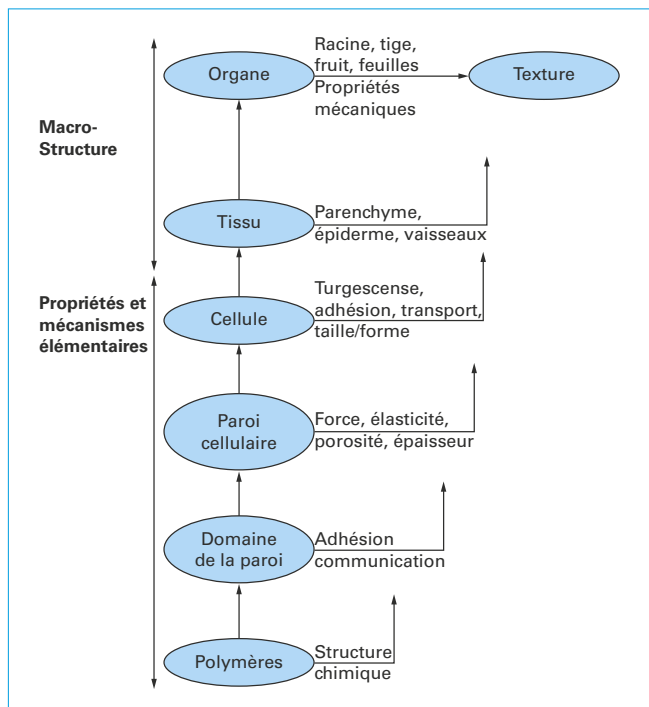


Figure 5 – Hiérarchisation des structures dans la plante

les fluides cellulaires sur la membrane cytoplasmique et la paroi cellulaire. Moteur de l'expansion cellulaire dans les organes en développement, cette pression a un impact sur la déformation et les propriétés mécaniques des cellules et des tissus [2] [14] [15]. Cette pression de turgescence peut diminuer au cours de la maturation et du ramollissement des fruits. Elle peut être liée :

- à une modification du potentiel osmotique (transformation de l'amidon en petits métabolites, modification de la perméabilité des membranes cytoplasmique et vacuolaire ; modification de la concentration en osmolytes apoplastiques...);
- à la dégradation des substances pectiques hydrolysées par des enzymes pectinolytiques, comme les polygalacturonases ;
- à l'action des pectinéméthylestérases [16].

• La **morphologie cellulaire** joue aussi un rôle important quant à leur tenue au cours des traitements thermiques (froid ou chaud). La faible épaisseur de la paroi des fruits ne permet pas une résistance mécanique importante vis-à-vis des augmentations brusques observées de la pression ou du volume de la cellule, notamment, lors de la congélation ou de la déshydratation osmotique des tissus végétaux. Cette fragilité est amplifiée par la grande taille des cellules.

■ Évaluations techniques

La texture d'un fruit est donc un paramètre complexe, déterminé par différentes caractéristiques physiques qui résultent de la composition et de l'organisation structurale à différents niveaux d'échelle d'étude : de l'échelle moléculaire à l'échelle macroscopique.

Plusieurs techniques instrumentales sont nécessaires pour évaluer les propriétés texturales d'un fruit, avant et après congélation, en considérant tous les niveaux d'échelle : mesures mécaniques, microscopiques ou biochimiques. Ces techniques seront détaillées § 3 sur les méthodes de caractérisation de la qualité des produits végétaux.

■ Paramètre de la couleur

La couleur est une des caractéristiques les plus importantes de la qualité d'un fruit, car c'est le premier attribut perçu par le consommateur. Les couleurs des fruits mûrs résultent de la présence, dans leur composition, de molécules issues pour la plupart du métabolisme secondaire des végétaux. La couleur de la plupart des fruits sucrés de consommation courante (pommes, prunes, cerises, fraises...) provient surtout de molécules de nature phénolique appartenant à la catégorie des flavonoïdes.

Ainsi, la couleur rouge du raisin, du cassis ou de la fraise est due aux anthocyanes, tandis que la couleur jaune de la peau de pommes Golden est due aux flavonols. D'autres groupes de pigments naturels existent tels que les caroténoïdes : responsables de la couleur rouge de la tomate ou la chlorophylle : responsable de la couleur verte des fruits et légumes. La couleur est classiquement mesurée, soit par un colorimètre, soit par un spectrophotomètre.

Le modèle de représentation mathématique de la couleur le plus couramment utilisé est la méthodologie tristimulaire CIE (Commission internationale de l'éclairage) Lab.

■ Propriétés physico-chimiques

Celles des produits végétaux, telles que le pH, l'acidité, la teneur en sucres ou encore en eau, sont responsables des caractéristiques sensorielles (acide, sucré, amer, juteux...) des fruits et légumes lors de leur consommation.

- L'évaluation du pH et de l'acidité titrable des fruits, avant et après congélation s'effectue toujours, soit à partir d'un jus obtenu après broyage des morceaux décongelés, soit à partir de l'exsudat obtenu après décongélation.
- La teneur en sucres est classiquement évaluée à l'aide d'un spectrophotomètre. Toutefois, pour obtenir une composition plus précise selon le type de sucres (glucose, fructose, mannose), les méthodes de spectrométrie de masse sont employées.

1.5 Évolution au cours de la maturation

Un processus physiologique commun aux fruits est la maturation qui correspond à des bouleversements biochimiques profonds, conduisant au développement de qualités organoleptiques nouvelles. Elle se manifeste par :

- un changement de couleur (disparition de la chlorophylle) ;
- le développement de la saveur et des arômes ;
- une modification de la texture conduisant à une perte de fermeté.

Les fruits peuvent être classés en deux catégories : **climactériques et non climactériques**, selon qu'ils présentent, ou non, un pic de respiration et de synthèse d'éthylène au moment de la maturation, qui sera responsable de l'initiation des phénomènes biochimiques [17].

Les fruits climactériques, tels que la pomme, le melon ou la mangue, ont la propriété de pouvoir mûrir après la récolte, contrairement aux fruits non climactériques, tels que la fraise, le raisin ou le citron.

Ainsi, le stade de maturité des fruits à la récolte aura une influence déterminante sur leur aptitude à la conservation et leur qualité finale.

Une récolte précoce aboutit à l'obtention de fruits sous-développés (calibre et coloration insuffisants, qualité gustative médiocre). À l'inverse, une récolte tardive aboutit à l'obtention

de fruits de qualité supérieure (taux de sucres plus élevé, arômes développés), mais son aptitude à la conservation est fortement réduite. La date de récolte optimale est donc différente, selon que le fruit est destiné à la longue conservation ou à une consommation immédiate. Après la récolte, les fruits doivent être conservés dans des atmosphères adaptées (température, humidité, composition gazeuse...) pour ralentir la maturation.

L'entreposage sous Atmosphère contrôlée (AC), en régulant la température et les concentrations normales en oxygène et en dioxyde de carbone, permet de ralentir l'évolution des fruits en réduisant, notamment, les taux de respiration et de mûrissement.

Exemple

Dans le cas des pommes, les conditions généralement recommandées pour l'Atmosphère contrôlée correspondent à des fourchettes de 2,5 à 3 % d'O₂, de 2,5 à 4,5 % de CO₂, à une température entre 0 et 3 °C [18].

2. Procédé de congélation

2.1 Techniques industrielles de congélation de produits végétaux

Les procédés de congélation courants dans les industries agro-alimentaires utilisent des sources frigorifiques soit mécanique, soit cryogénique, soit par association des deux [19].

De nouvelles technologies reposant sur des couplages sont apparues depuis une dizaine d'années. Les caractéristiques technologiques, les avantages et les inconvénients de ces différentes techniques sont présentés et discutés de manière synthétique.

2.1.1 Froid mécanique

Les congélateurs à froid mécanique sont largement répandus à l'échelle industrielle. On distingue trois méthodes :

- la **congélation par air** ;
- la **congélation par immersion** dans des solutions à bas point de fusion de congélation (saumure) ;
- la **congélation par contact direct** sur une surface pré-refroidie.

■ Congélation par air

Cette catégorie regroupe des techniques allant de la simple chambre froide, où le produit est placé dans de l'air stagnant

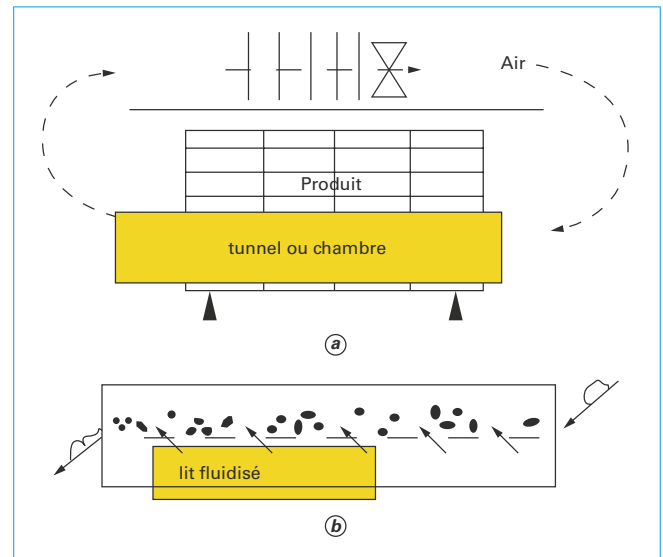


Figure 6 – Techniques de congélation par air

■ Congélation par immersion

Les produits sont immergés ou aspergés par un fluide maintenu liquide à basse température. Les liquides employés peuvent être :

- des saumures (une solution aqueuse de chlorure de sodium à 23 % présente un point de congélation à - 21 °C) ;
- des solutions aqueuses de glycérol (point de congélation de - 39 °C à 70 %) ;
- des solutions aqueuses contenant du sucre et du sel ;
- des solutions de propylène glycol (- 51 °C à 60 %) ;
- des mélanges aqueux de plusieurs solutés.

Ce procédé de congélation rapide convient, avec des solutions aqueuses contenant du sucre, pour des fruits et légumes emballés ou non, de petite taille et de forme variée. Dans tous les cas, il faut s'assurer de l'innocuité des solutions d'immersion vis-à-vis des produits.

■ Congélation par contact direct

Cette technique consiste à mettre le produit à congeler en contact avec une surface maintenue à basse température à l'aide d'un agent réfrigérant. Différentes configurations existent : les congélateurs à plaques ou encore les congélateurs à surfaces

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Jus d'orange concentré : extraction et conservation

par **Jacques BENAICHE**
Président-directeur général
Société CULINA SA

1. L'orange : le fruit	F 6 280 – 2
1.1 Les variétés d'oranges : un large choix, selon la saison et la provenance ..	— 2
1.2 Composition de l'orange.....	— 3
1.3 L'orange et la santé.....	— 4
2. La vitamine C	— 4
2.1 Description physico-chimique	— 5
2.2 Déficience en vitamine C.....	— 5
2.3 Rôle métabolique de la vitamine C	— 5
2.4 Appréciation du statut vitaminique.....	— 5
2.5 Estimation des besoins en vitamine C.....	— 6
2.6 Sources naturelles de vitamine C.....	— 6
2.7 Détection de l'acide L-ascorbique industriel par analyse isotopique dans les jus d'orange	— 6
2.8 Dosage des « vitamines C ».....	— 7
3. Réglementation et normalisation	— 7
4. Les différents jus d'orange	— 8
4.1 Matière première	— 9
4.2 Jus de fruits présentés en vitrine réfrigérée	— 9
5. Fabrication et conservation des jus d'orange	— 11
5.1 Pasteurisation	— 11
5.2 Autres techniques.....	— 12
5.3 Intérêt de la surgélation	— 13
6. Jus d'orange concentrés surgelés	— 14
6.1 Fabrication des jus de fruits concentrés surgelés.....	— 14
6.2 Avantages du procédé	— 15
Références bibliographiques	— 15



Les jus d'orange sont les jus de fruits les plus consommés en France, totalisant près de 60 % des ventes. La gamme de produits proposés est aussi très vaste et le consommateur a de bonnes raisons de se perdre entre les rayons frais et ambiants, les différentes appellations, les qualités affichées et les défauts occultés, sans oublier la publicité ciblée qui rend cette boisson presque incontournable.

La multiplicité des jus d'orange a plusieurs origines et les critères de choix sont généralement les suivants :

- la provenance géographique du fruit ;
- la variété ;
- leur mode de production (conventionnel ou biologique) ;

- le procédé de fabrication : extraction du jus, addition de substances, dilution ;
- la conservation : sans traitement, pasteurisé, flash-pasteurisé, haute pression, concentré, surgelé et le délai de consommation qui y est associé ;
- la composition du jus : pur, reconstitué à base de concentré, contenant ou non du sucre, des pulpes et des additifs (conservateurs, acidifiants, arômes...), nectar ;
- la qualité gustative et nutritionnelle, notamment la teneur en vitamine C (et récemment en calcium) associée à la « fraîcheur » du jus ;
- l'emballage (bouteille, brick), les mentions portées sur l'étiquetage, le packaging ;
- la présentation au consommateur dans les linéaires : rayon frais ou ambiant ;
- le prix.

Le jus d'orange est, en tout premier lieu, une boisson dont la fonction principale est de désaltérer ; de plus, son goût, à la fois acidulé et sucré, est agréable et très apprécié.

Mais l'orange est aussi un aliment de grande qualité par sa richesse en nutriments indispensables à l'organisme tels que la vitamine C : l'homme doit absolument la trouver dans son alimentation car il ne peut en réaliser la synthèse. Or, le consommateur d'aujourd'hui a pris conscience du rôle capital de l'alimentation dans le maintien d'une bonne santé : l'atout « vitalité et bien-être » apporté par l'orange est connu de tous.

Il faut avouer qu'il a été beaucoup influencé par la publicité diffusant largement l'image dynamique et bienfaisante du grand verre de jus d'orange au petit déjeuner. La vitamine C est parée de toutes les vertus demandées à notre époque : tonique, antistress, anti-infectieuse... elle a de quoi séduire !

L'idéal reste le fruit que l'on presse juste avant consommation. Encore faut-il qu'il soit mature, fraîchement cueilli et exempt de pesticides afin de profiter de tous ses bienfaits. Malheureusement, les oranges sont souvent importées de pays lointains. Si les jus d'orange offrent un bon compromis, il faut cependant bien les choisir et ne pas confondre véritable jus d'orange et boissons aux oranges qui n'ont qu'un faible pourcentage de fruits, jus de fruits frais et jus de fruits réfrigérés qui sont pasteurisés, déchiffrer les étiquettes en jonglant entre des termes marketing accrocheurs et des textes réglementaires parfois flous, se déjouer des fraudes...

Cet article développe les principales méthodes de fabrication et de conservation, ainsi que les caractéristiques des différents jus d'orange obtenus tout en rappelant les textes qui les réglementent. L'exemple des jus concentrés surgelés étoffe cette étude.

Il convient toutefois d'évoquer tout d'abord la matière première, l'orange fruit (variétés, composition et qualités), puis de s'attarder sur l'un de ses plus importants composants du point de vue nutritionnel et qui en a fait sa célébrité, à savoir la vitamine C.

D'où vient ce succès ?

7

1. L'orange : le fruit

1.1 Les variétés d'oranges : un large choix, selon la saison et la provenance

Les origines ainsi qu'un bref historique de l'orange sont donnés en encadré.

L'orange est l'espèce de *citrus* la plus importante. Elle se dit *larenja* au Portugal, *arancia* en Italie, *naranja* en Espagne, *tchina* dans les pays du Maghreb, *portokal* en Grèce et *tapouz* en Israël.

■ Variétés

● Oranges navels

Elles se caractérisent par une excroissance plus ou moins prononcée, appelée ombilic (*navel* = ombilic en anglais) et par une quasi-absence de pépins. Leur chair est peu croquante, juteuse et parfumée. On les pèle facilement et ce sont d'excellentes oranges à

Origine et histoire de l'orange

La plus ancienne référence à l'orange se trouve dans l'un des cinq livres canoniques attribués à Confucius, le Livre des Histoires, soit au total cinq volumes datés entre le 8^e et le 5^e siècle avant J.-C. On y apprend qu'à cette époque l'empereur recevait comme offrandes des oranges et des pamplemousses, surtout en provenance de la province fertile de Houai, au sud-est de la Chine. Cette coutume se perpétua sous la dynastie des Tang (618-907 après J.-C.).

L'orange est sans doute originaire du Sud-Est asiatique : on en retrouve la trace, en Chine, 2200 ans avant notre ère, puis chez les Sumériens et dans l'ancienne Égypte. En Afrique du Nord, elle était cultivée depuis le 2^e ou le 3^e siècle, bien avant d'être introduite dans le sud de l'Europe par les Arabes, aux environs de l'an 1000. Mais ce n'est qu'au 15^e siècle que l'orange « douce », telle que nous la consommons maintenant (*Citrus sinensis*), fit son apparition dans nos contrées : les Portugais en rapportèrent des plants de leurs escales à Ceylan et dans les comptoirs chinois (les premières oranges parvenues en Europe étaient des oranges amères, fruit du bigaradier). C'était alors un cadeau aussi rare que précieux et fort apprécié à la Cour. Peu de courtisans ont poussé le zèle comme l'a fait le chevalier Paul qui possédait à Toulon un superbe jardin garni d'orangers. Ayant appris que le roi Louis XIV désirait les admirer, il eut l'idée de confire sur les arbres une partie des oranges. Le roi et sa cour en restèrent ébahis et plusieurs dames de la Cour s'imaginèrent que, en Provence, les oranges pommes d'or venaient toutes confites sur les arbres. C'est pour pouvoir produire ce fruit du soleil, même sous nos climats, que l'on construisit alors des abris spécialisés, les orangeries ; les plus célèbres furent celles d'Amboise, pour le roi Charles VIII, et de Versailles pour Louis XIV.

On voit souvent le nom d'Outspan accolé à celui de l'orange : l'explication prend sa source en Afrique du Sud. Les pionniers, Français huguenots, Irlandais, Anglais, Néerlandais, Boers, formaient un bivouac le soir en disposant leurs wagons en cercle pour se protéger des attaques et pouvaient ainsi se restaurer en paix. En néerlandais se mettre en bivouac se dit faire « *uitspan* ». Le bivouac prit ainsi le nom de outspan et comme on mangeait couramment des oranges lors de cette pause, le mot devient synonyme d'orange...

déguster « en fruits ». On trouve la *Naveline* (naveline précoce), la *Washington navel* et la *Thomson navel*, grosse orange bien colorée, et la *Navel late*, orange ovale, à peau rugueuse et à chair bien sucrée.

- **Oranges blondes**

Leur chair est orange clair ou moyen, avec peu ou pas de pépins. Parfumées et très juteuses, ce sont des oranges à jus. On trouve la *Shimouti* en provenance d'Israël (décembre à mars), la *Salustiana*, de forme un peu aplatie, sans pépins et qui vient d'Espagne (novembre à mai), la *Valencia late*, bien colorée, juteuse et acidulée, qui est très consommée comme orange tardive.

- **Oranges sanguines**

capité pour ses vertus toniques. Toutefois, elle se consomme à la fin des repas comme fruit digeste ou incorporée dans les salades, les plats ou les desserts pour sa fraîcheur et sa note acidulée.

1.2 Composition de l'orange

Avec plus de 85 % d'eau, l'orange est un fruit particulièrement juteux et désaltérant. C'est dans cette eau de constitution que se trouvent, sous forme dissoute, les principaux éléments nutritifs.

- **Glucides**

La teneur en sucres peut varier selon la variété mais elle est de 8,5 à 12 % dans le fruit à maturité. Représentés par le saccharose (40 %), le fructose et le glucose, ce sont des sucres facilement assimilables qui fournissent rapidement de l'énergie à l'organisme.

- **Acides organiques (1,2 %)**

Ce sont surtout de l'acide citrique et un peu d'acide malique qui apportent à l'orange sa saveur acidulée. Le secret d'une bonne orange résulte de l'équilibre entre son acidité et son goût sucré. En effet, au cours de sa maturation, la teneur en glucides s'élève, tandis que celle des acides organiques diminue, et c'est la proportion relative entre sucres et acides qui confère au fruit une saveur plus ou moins douce ou acidulée.

- **Couleur et acidité**

Plus les oranges sont cultivées près de l'Équateur, plus elles possèdent un épiderme clair (vert/jaune), alors que celles qui en sont éloignées sont beaucoup plus colorées. Ce phénomène est lié à l'intensité des écarts de température entre le jour et la nuit. Ceux-ci sont bien marqués dans le bassin méditerranéen, surtout dans sa partie continentale. En effet, les pigments orangés se développent (aux dépens de la chlorophylle) quand les températures se rafraîchissent, en automne par exemple. En revanche, les variétés tardives qui sont encore sur l'arbre au printemps peuvent reverdir si les températures sont trop élevées. De même, les fruits cultivés dans les zones à saisonnalité marquée ont une acidité plus élevée que ceux qui proviennent des régions à hiver chaud. Ainsi, les oranges les plus colorées sont également souvent les plus acides : tel est le cas des oranges sanguines.

- **Autres composants énergétiques**

Ils ne tiennent qu'une place négligeable dans la composition de l'orange. Les lipides sont concentrés dans les pépins et la pulpe n'en referme que des traces. Enfin, comme tous les fruits à jus, l'orange contient peu de protéines. C'est pourquoi l'orange est un fruit peu énergétique avec en moyenne 45 kcal/100 g. Il en est de même pour

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

Formulation des préparations de fruits

par **Alain ETIEVANT**

Responsable innovation chez Frutarom

et **Xavière DELOLME**

Ingénieur de l'École nationale supérieure de biologie appliquée à la nutrition et à l'alimentation (ENSBANA)

Chef de projet Recherche & Développement chez Frutarom

1	Préparations de fruits : définition	F 6 290 - 2
2	Sourcing des matières premières agricoles	— 3
3	Fabrication et conservation des préparations de fruits	— 6
4	Gestion de la qualité : critères à respecter	— 8
5	Champ d'applications des préparations de fruits	— 9
6	Succès d'un produit alimentaire intermédiaire	— 10
7	Conclusion	— 11
	Pour en savoir plus	Doc. F 6 290

Les préparations de fruits sont des produits alimentaires intermédiaires utilisés en tant que supports d'arômes.

Initialement utilisées dans l'industrie laitière, les préparations de fruits ont su trouver leur place dans de nombreux secteurs tels que la pâtisserie, la biscuiterie ou l'industrie des glaces. Sources d'éléments nutritifs et aromatiques, elles confèrent au produit final une grande partie de ses qualités organoleptiques. La formulation des préparations de fruits demande une certaine connaissance des matières premières agricoles et une maîtrise des fonctionnalités des autres constituants. En outre, le procédé de fabrication est déterminant pour l'obtention d'un produit de qualité, ne présentant aucun risque sanitaire pour le consommateur.

Aujourd'hui, la tendance du marché est de s'approvisionner localement et de miser sur des produits hauts de gamme. On assiste, en effet, à un retour au naturel, avec un souhait d'intégrer l'amont pour le fabricant de produits alimentaires intermédiaires. Les fruits sous labels officiels de qualité et d'origine ont le vent en poupe car ils apportent une promesse de qualité. Le développement durable joue également un rôle et incite les entreprises à limiter leur empreinte CO₂.

Les industriels doivent donc résoudre le paradoxe de créer des produits de plus en plus qualitatifs, sans pour autant trop augmenter le prix de vente. Les démarches de partenariat entre différents acteurs du marché sont pertinentes car elles permettent de former des équipes pluridisciplinaires aux compétences complémentaires.

1. Préparations de fruits : définition

D'abord, un peu d'histoire résumée dans l'encadré 1.

Encadré 1 – Petite histoire des préparations de fruits

Créées en 1952 à Reinach en Suisse, les préparations de fruits ont permis aux laiteries suisses de se différencier et d'anticiper les attentes des consommateurs.

Ce n'est que dans les années 1970 que les préparations de fruits arrivent en France. Puis, dès 1990, les yaourtières commencent à surfer sur l'image santé des ferments (probiotiques) et des fruits. Les yaourts aux fruits rencontrent un franc succès et leur commercialisation s'accroît de façon considérable.

Les technologies de transformation des fruits se développent en parallèle. L'objectif est d'acquérir des fruits divers et variés tout au long de l'année. Les industriels commencent donc à s'approvisionner sur les deux hémisphères dans le but de pallier le problème de saisonnalité. Les fruits exotiques font évidemment partie du paysage, la banane étant notamment l'un des premiers fruits employés.

En outre, les transformateurs commencent à utiliser des morceaux de fruits et pas seulement des purées ou des jus. Ils procèdent également à un traitement thermique doux afin d'obtenir des produits semi-stériles et de retirer les conservateurs.

Au fil du temps, les opérations de fabrication sont optimisées, les fruits sont de meilleure qualité, notamment grâce aux techniques de conservation appliquées par les premiers transformateurs, et la durée de vie des préparations de fruits augmente.

1.1 Produits alimentaires intermédiaires (PAI)

Les activités de transformation alimentaire sont organisées selon le schéma suivant : les producteurs et les premiers transformateurs fournissent les matières premières agricoles aux fabricants de PAI ; ces derniers mettent au point des produits spécifiques à forte valeur ajoutée, qui sont ensuite livrés aux industries alimentaires et assemblés en produits finis, pour un marché de grande consommation finale.

Les produits intermédiaires représentent entre 5 et 55 % du produit final. Ils sont donc soumis à une législation particulière.

Les fabricants de PAI sont actuellement plus nombreux que les industriels de l'agroalimentaire.

Les PAI sont de véritables vecteurs d'innovation : ils permettent en effet de répondre aux besoins croissants de qualité et de flexibilité du marché.

1.2 Composition des préparations de fruits

1.2.1 Fruits

La teneur en fruit d'une préparation est variable, elle s'élève en moyenne à environ 75 %. En effet, si, à l'origine, la fabrication des

préparations de fruits était assez analogue à celle des confitures (50 % de fruits/50 % de sucre), la tendance actuelle est de limiter la teneur en sucre et d'augmenter la proportion de fruits.

Ces derniers sont présents sous forme de fruits entiers découpés, de purée ou jus concentrés, et parfois, sous forme déshydratée. Les fruits secs sont également utilisés (noisettes, amandes, noix...), mais dans une moindre mesure.

1.2.2 Sucres

■ Le **saccharose** est le sucre le plus couramment utilisé dans la fabrication des préparations de fruits. Cependant, il peut être associé à du sirop de glucose-fructose, sucre issu de l'hydrolyse enzymatique de l'amidon.

Selon la teneur en fructose, on parle de sirop de glucose-fructose ([fructose] < 42 %), ou d'isoglucose ([fructose] ≥ 42 %). Lorsque la concentration en fructose est de 42 %, le pouvoir sucrant du sirop est égal à celui du saccharose. Cependant, on utilise des sirops dilués, avec des teneurs de 10 à 20 % de fructose, pour des raisons de quotas.

Le sirop de glucose-fructose est intéressant, non seulement pour ses propriétés technologiques (rétenteur d'eau, caractère élastique), mais aussi d'un point de vue économique (faible coût par rapport au saccharose, transport facilité grâce à la forme liquide). En outre, contrairement au saccharose, il s'agit d'un produit non abrasif.

■ Le **fructose** est, quant à lui, utilisé dans les produits allégés en association avec des édulcorants. Grâce à son pouvoir sucrant environ 1,2 fois plus élevé que celui du saccharose, la quantité ajoutée est moindre.

On trouve aussi les fructo-oligosaccharides (FOS), qui sont des polymères à chaîne courte composés majoritairement de fructose. Souvent utilisés, les FOS sont appréciés pour leur effet nappant en bouche et pour leur faible apport calorique (1 à 2 kcal/g). Ils possèdent, en outre, un caractère bifidogène et sont reconnus en tant que fibres solubles (par exemple : l'inuline, extraite de la racine de chicorée).

■ Une autre alternative consiste à utiliser des **édulcorants** ; qui existent sous deux formes.

- Les **édulcorants intenses**, qui ont un pouvoir sucrant très supérieur à celui du saccharose, sont employés afin de réduire considérablement l'apport calorique du produit. L'aspartame et l'acésulfame de potassium sont les deux édulcorants de synthèse les plus utilisés. On trouve aussi le sucralose, le néotame, ou encore la saccharine.

Actuellement, de nouveaux édulcorants font leur apparition, notamment le rébaudioside A, édulcorant naturel, plus connu sous le nom de Stevia.

- Les **édulcorants de charge**, ou polyols, ont un pouvoir sucrant inférieur ou proche de celui du saccharose. Très peu employés, leur intérêt réside surtout dans leur capacité à abaisser l'Aw.

Ils doivent néanmoins être introduits en faible quantité, car ils entraînent des désagréments intestinaux.

■ Enfin, le **miel** peut également jouer le rôle d'agent sucrant. Dans les préparations de fruits, on cherche avant tout à obtenir la dénomination « miel » pour le côté naturel du produit, la note associée étant finalement peu appréciée.

1.2.3 Agents de texture

Ce sont des additifs qui permettent de stabiliser, et d'homogénéiser, les préparations de fruits. En effet, les préparations sont amenées à subir un certain nombre d'étapes susceptibles de les déstabiliser : le transport maritime par exemple, par l'intermédiaire des mouvements de houle, ou les variations de températures et la durée de stockage.

En outre, lors de la vidange du container chez un industriel laitier par exemple, la quantité de fruits doit être rigoureusement identique dans chaque pot de yaourt. Il est donc nécessaire d'assurer une dispersion homogène des divers constituants (morceaux de fruits, sucres) et de veiller à limiter au maximum les réactions chimiques (hydrolyses acides).

Dans une préparation de fruits, on emploie généralement un épaississant et un gélifiant.

■ Les **épaississants** permettent d'augmenter la viscosité du produit, et de le stabiliser pendant la fabrication. On utilise notamment :

- l'amidon ;
- la gomme xanthane (E415) ;
- la gomme de guar (E412) ;
- ou la farine de graines de caroube (E410).

L'amidon constitue la substance de réserve de nombreux végétaux, en particulier des céréales et des pommes de terre. Souvent transformé à des fins industrielles, l'amidon natif devient un amidon modifié. Ce dernier est alors codifié par le système de numérotation des additifs (*Codex Alimentarius*), de E1401 à E1450 selon le traitement subi.

■ Les **gélifiants**, quant à eux, tels que les carraghénanes (E407), l'alginate de sodium (E401) et les pectines (E440), forment un réseau, ou gel, qui assure le maintien de la structure du produit, notamment au cours des étapes de transport et de vidange des containers. Il faut cependant limiter la viscosité des préparations car une viscosité trop élevée freine les échanges thermiques lors de la fabrication.

Les agents de texture doivent être choisis en fonction de l'application finale. Dans la plupart des cas, on souhaite éviter les interactions avec la masse du client. Les pectines, par exemple, ne doivent pas réagir avec le calcium du lait.

En ce qui concerne les amidons natifs, le risque de rétrogradation est important. Il faut donc être prudent lors de leur utilisation afin d'éviter tout problème de synérèse dans le produit final.

1.2.4 Colorants

Les colorants alimentaires sont ajoutés aux aliments afin de rétablir, ou de renforcer leur couleur d'origine, ou pour les rendre plus appétents.

Les arômes naturels sont constitués de plusieurs centaines de composés volatils. La note aromatique typique d'un aliment relève souvent d'un ou de quelques composés seulement. Mais, il arrive parfois que la combinaison de tous les constituants soit nécessaire. Tout comme les colorants, la tendance actuelle est d'opter pour des arômes naturels.

1.3 Propriétés nutritionnelles des fruits transformés

Les fruits se caractérisent par leur faible apport calorique et leur contenu élevé en vitamines, minéraux et, dans une moindre mesure, en fibres. Les pertes dues à la transformation, ou lors du stockage, restent modérées et si l'on considère uniquement les produits sans sucre ajouté, il n'y a pas de différence nutritionnelle significative entre un fruit frais et un fruit transformé.

En effet, un produit cueilli à maturité, transformé rapidement, notamment grâce au procédé IQF (*Individual Quick Frozen* : système de surgélation rapide adapté aux petits produits fragiles ou individuels), aura une teneur plus élevée en micronutriments qu'un produit destiné au marché du frais. Le fruit frais, quant à lui, subit une chaîne logistique d'une certaine durée, ainsi que des transports ultérieurs avec ruptures de chaînes du froid [1].

L'objectif actuel des transformateurs est d'associer diverses technologies afin de préserver au mieux les qualités nutritionnelles.

L'évolution de la teneur en nutriments, au cours du stockage et des transformations, reste cependant bien spécifique à chaque composé. Ainsi, les vitamines C, B1 et B9 sont des molécules solubles qui vont subir des pertes assez importantes ; alors que les minéraux, les fibres, et dans une moindre mesure les polyphénols, semblent être des composés assez stables [1].

En conclusion, malgré l'absence de lien de cause à effet entre la consommation de fruits et la prévention de certaines pathologies, les bénéfices nutritionnels des fruits transformés ne sont pas négligeables. Qu'ils soient transformés ou non, les fruits sont largement préconisés dans une alimentation équilibrée.

2. Sourcing des matières

La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.



Filière de production : produits d'origine végétale

(Réf. Internet 42433)

1- Légumes et légumineuses

2- Céréales

3- Huiles végétales

4- Sucres

5- Thé, café et cacao

6- Bières

7- Fruits

8- Algues

Macroalgues tropicales : une ressource durable d'avenir

Réf. Internet page

BIO9040 167

➔ [Sur www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr)

- Saisissez la référence Internet pour accéder directement aux contenus en ligne
- Retrouvez la liste complète des ressources documentaires

Macroalgues tropicales : une ressource durable d'avenir

par **Mayalen ZUBIA**

*Maître de conférences
 Université de Polynésie française, UMR-EIO, Faa'a, Tahiti, Polynésie française*

et **Lydiane MATTIO**

*Consultante, Brest, France
 Honorary Research Associate
 University of Cape Town, Afrique du Sud*

1. Industrie des macroalgues	BIO 9 040	- 2
1.1 Marché et tendances.....	—	2
1.2 Principales espèces valorisées.....	—	2
2. Techniques de production	—	3
2.1 Récolte d'algues « sauvages »	—	3
2.2 Algoculture	—	5
3. Utilisations, propriétés et valorisation	—	5
3.1 Algues tropicales dans l'alimentation humaine.....	—	5
3.2 Industrie des phycocolloïdes	—	6
3.2.1 Agars.....	—	6
3.2.2 Carraghénanes.....	—	8
3.2.3 Alginates (ou acide alginique)	—	8
3.3 Applications santé et bien-être	—	8
3.3.1 Applications biomédicales et pharmaceutiques	—	9
3.3.2 Applications cosmétiques	—	9
3.3.3 Aliments fonctionnels et nutraceutiques	—	9
3.3.4 Santé et nutrition animale.....	—	9
3.4 Industries durables	—	10
3.4.1 Des algues pour une agriculture plus écologique	—	10
3.4.2 Bioremédiation par les algues	—	10
3.4.3 Bioénergies.....	—	10
3.4.4 Bioplastiques et emballages alternatifs.....	—	11
4. Conclusion	—	11
5. Glossaire	—	12
Pour en savoir plus	Doc. BIO 9 040	

Les algues représentent aujourd'hui une industrie en plein essor, pratiquée dans une cinquantaine de pays et représentant près de 50 % des productions maricoles, avec un marché en croissance contribuant significativement à l'économie bleue. Le plus grand marché des produits à base d'algues est celui de l'alimentation humaine et des phycocolloïdes destinés aux industries agro-alimentaire, pharmaceutique et cosmétique, mais les propriétés des algues sont très diversifiées et les potentialités de valorisation sont remarquables, allant des molécules anticancéreuses et nutraceutiques aux engrais et biocarburants en passant par l'assainissement de l'environnement et les bioplastiques.

Bien que l'aquaculture et l'industrie des algues marines à grande échelle soient une pratique courante et une source de revenu précieuse en Asie, elle en est encore à ses débuts dans d'autres parties du monde, et en particulier

dans de nombreux pays tropicaux qui recensent une diversité d'algues encore largement inexploitées. Cette diversité représente d'importantes opportunités économiques, d'innovation et de développement durable, notamment pour l'amélioration des moyens d'existence des communautés côtières tropicales.

Cet article présente un aperçu de l'industrie actuelle des macroalgues tropicales et explore les tendances, les défis et les possibilités de développement de cette industrie.

1. Industrie des macroalgues

1.1 Marché et tendances

Le marché mondial des macroalgues marines est en pleine expansion et a été évalué à plus de 10 milliards de dollars US (environ 28 millions de tonnes de poids frais par an en 2016) [1] [2]. La culture des algues marines en mer s'est développée rapidement au cours des 50 dernières années et l'algoculture est maintenant un secteur clé de l'industrie mondiale de l'aquaculture. Au niveau mondial, 93 % de la production totale des algues provient de l'aquaculture [2] [3]. La Chine est actuellement le plus grand producteur (48,7 %), suivie de l'Indonésie (36,6 %) et des Philippines (5,7 %), avec une production estimée à plus de 90 % des algues comestibles dans le monde [2].

Qu'est-ce qu'une macroalgue ?

Les macroalgues sont les algues visibles à l'œil nu par opposition aux microalgues (par exemple diatomées, phytoplancton, zooxanthelles) qui ne peuvent être observées qu'au microscope. Les macroalgues représentent environ 11 000 espèces [6] réparties en trois groupes phylogénétiques différents : les rouges (*Rhodophyta*), les vertes (*Chlorophyta*) et les brunes (*Phaeophyceae*) (figure 1). Leur morphologie est très diversifiée, du plus simple filament à des formes très complexes, qui peuvent être calcifiées et articulées, avec des structures spécialisées pour la capture de la lumière, la reproduction, la flottaison et la fixation au substrat.

La production (collecte sauvage et algoculture) de macroalgues tropicales est plus importante que celle des macroalgues tempérées et atteint 55 % de ce marché mondial en 2016 [2] [4]. Le plus

gros producteur était l'Indonésie (11 672 194 tonnes), suivie de la Chine (2 982 930 tonnes), des Philippines (1 404 782 tonnes), de la Malaisie (205 989 t) et de la République-Unie de Tanzanie et de Zanzibar (111 141 t) [2] (figure 2).

Le reste de la production tropicale enregistrée par la FAO [2] (environ 206 000 tonnes) est réparti entre une vingtaine d'autres pays dont (par ordre décroissant de production) l'Inde, Madagascar, le Mexique, les îles Salomon, le Vietnam et la Papouasie Nouvelle-Guinée. D'autres pays présentent des productions plus faibles ou en cours de développement par exemple à l'île Maurice et Mayotte avec des essais de culture de *Hypnea* spp. [5] et en Polynésie française avec des essais de culture de *Caulerpa racemosa* (M. Zubia, pers. com.).

La production mondiale des algues marines (algoculture) présente un taux de croissance de 5,5 % entre 2010 et 2016 [2]. En outre, la Commission européenne a reconnu que les algues (macroalgues et microalgues) sont une option prometteuse pour la sécurité alimentaire et que d'ici 2054 la culture collective d'algues pourrait atteindre la production de 56 millions de tonnes de protéines (18 % du marché des protéines).

1.2 Principales espèces valorisées

Sur les 11 000 espèces de macroalgues répertoriées dans le monde [6], au moins 221 espèces sont utilisées, dont 152 pour l'alimentation et 101 pour la production de colloïdes [7]. Seulement une centaine de taxons sont cultivés, le reste est récolté à l'état sauvage ou échoué sur la plage. Une synthèse des principales espèces utilisées est présentée dans le tableau 1. Environ 98 % de la production annuelle totale est due à seulement cinq de ces espèces (*Eucheuma*, *Gracilaria*, *Laminaria*, *Porphyr*a, *Undaria*) qui sont principalement cultivées pour les colloïdes ou l'alimentation humaine. La plus grande partie de la production est constituée d'algues



Figure 1 – Exemples de macroalgues tropicales appartenant aux trois groupes : les algues rouges (*Trichogloea* sp., à gauche), les algues vertes (*Caulerpa racemosa*, au centre) et les algues brunes (*Padina boryana*, à droite) (crédit photo : M. Zubia)

2. Techniques de production

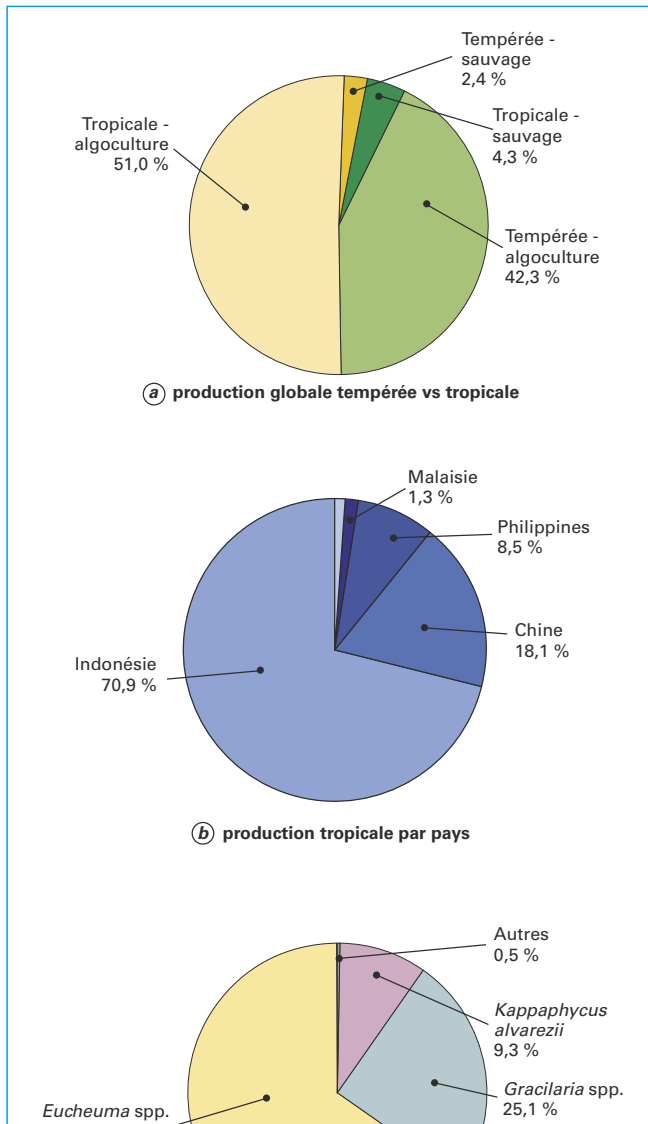
2.1 Récolte d'algues « sauvages »

Si la collecte de grandes algues brunes des régions tempérées est une activité bien développée à l'échelle industrielle en Europe, comme en Bretagne, dans les régions tropicales, la collecte d'algues « sauvages » est une activité souvent traditionnelle et de subsistance. C'est le cas en particulier dans le Pacifique, notamment à Hawaï [8] ou à Fidji [9]. La collecte de ces algues y est une tradition familiale plutôt réservée aux femmes [10] et dédiée principalement à la consommation humaine. Les genres les plus couramment collectés sont *Caulerpa*, *Gracilaria*, *Hypnea*, *Sargassum* et *Ulva* [11]. À Hawaï, les algues sont associées à des légendes et des mythes et sont encore aujourd'hui utilisées lors de cérémonies traditionnelles.

Les préoccupations et les défis concernant l'impact environnemental de la récolte sauvage (risque de surexploitation) et le déclin des populations naturelles en raison du changement climatique, la saisonnalité des espèces, les problèmes de permis de collecte dans certains pays ou de disponibilité de sites d'exploitation côtiers peuvent représenter un frein à l'intensification de l'activité et conduisent à considérer la culture des algues marines comme une option plus durable et plus rentable pour les industries.

Néanmoins, la prolifération de certaines espèces offre de nouvelles perspectives de valorisation pour la collecte d'espèces sauvages et en laisse de mer. C'est le cas des échouages massifs de *Sargassum* depuis plusieurs années dans les Caraïbes [12], à Fidji [13] ou encore en Polynésie française [14] [15] (figure 3).

De nombreuses autres espèces d'algues sont mises en cause dans des phénomènes de prolifération (*Boodlea*, *Caulerpa*, *Dictyosphaeria*, *Dictyota*, *Lobophora*...) [16] et d'invasion (*Asparagopsis*) [17]. Ces proliférations se multiplient, du fait des bouleversements climatiques et des pressions anthropiques croissantes [16]. Certains pays sont confrontés à des proliférations d'ampleur considérable (exemple : *Sargassum* en Guadeloupe, *Gracilaria* à Fidji), ce qui génère des troubles d'ordre économique mais aussi sanitaire (dégagement de H₂S) [12] [13]. Ces algues deviennent des déchets encombrants dont la gestion est souvent coûteuse et difficile. Une des solutions envisagées est alors la valorisation industrielle qui consiste à les transformer pour leur conférer une valeur économique.



La suite de cet article ne fait pas partie de l'extrait en consultation gratuite.

Si vous souhaitez accéder au contenu intégral de cette base documentaire, rendez-vous à la fin de ce document.

Et pour toute question sur nos offres d'abonnement, n'hésitez pas à contacter le service Relation clientèle au 01 53 35 20 20 ou par email à l'adresse infos.clients@teching.com.

GAGNEZ DU TEMPS ET SÉCURISEZ VOS PROJETS EN UTILISANT UNE SOURCE ACTUALISÉE ET FIABLE

Techniques de l'Ingénieur propose la plus importante collection documentaire technique et scientifique en français !

Grâce à vos droits d'accès, retrouvez l'ensemble des **articles et fiches pratiques de votre offre, leurs compléments et mises à jour,** et bénéficiez des **services inclus.**



RÉDIGÉE ET VALIDÉE
PAR DES EXPERTS



MISE À JOUR
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE
SUR TOUS SUPPORTS
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS
DANS CHAQUE OFFRE

- > **+ de 350 000 utilisateurs**
- > **+ de 10 000 articles de référence**
- > **+ de 80 offres**
- > **15 domaines d'expertise**

- Automatique - Robotique
- Biomédical - Pharma
- Construction et travaux publics
- Électronique - Photonique
- Énergies
- Environnement - Sécurité
- Génie industriel
- Ingénierie des transports
- Innovation
- Matériaux
- Mécanique
- Mesures - Analyses
- Procédés chimie - Bio - Agro
- Sciences fondamentales
- Technologies de l'information

**Pour des offres toujours plus adaptées à votre métier,
découvrez les offres dédiées à votre secteur d'activité**

Depuis plus de 70 ans, Techniques de l'Ingénieur est la source d'informations de référence des bureaux d'études, de la R&D et de l'innovation.

www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com

LES AVANTAGES ET SERVICES compris dans les offres Techniques de l'Ingénieur

ACCÈS



Accès illimité aux articles en HTML

Enrichis et mis à jour pendant toute la durée de la souscription



Téléchargement des articles au format PDF

Pour un usage en toute liberté



Consultation sur tous les supports numériques

Des contenus optimisés pour ordinateurs, tablettes et mobiles

SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



Questions aux experts*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



Impression à la demande

Commandez les éditions papier de vos ressources documentaires



Alertes actualisations

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

ILS NOUS FONT CONFIANCE



www.techniques-ingenieur.fr

CONTACT : Tél. : + 33 (0)1 53 35 20 20 - Fax : +33 (0)1 53 26 79 18 - E-mail : infos.clients@teching.com