

Polyphénols et procédés

Sous la direction de :
Sonia Collin et Jean Crouzet



Polyphénols et procédés

**Transformation des polyphénols au travers des procédés
appliqués à l'agro-alimentaire**

Sous la direction de Sonia Collin et Jean Cruzet

Chez le même éditeur

Huiles végétales – Teneurs en matières insaponifiables
Fontanel D., 2011

Additifs et auxiliaires de fabrication dans les IAA
de Reynal B., Multon J.-L., 4^e édition 2009

Précis des risques alimentaires
Moll M., Moll N., 2^e édition 2008

Aliments fonctionnels
Roberfroid M. B., Coxam V., Delzenne N. Coordonnateurs, 2^e édition 2008

Mathématiques appliquées à l'agroalimentaire
Roudot A.-C., 2007

Les polyphénols en agroalimentaire
Sarni-Manchado P., Cheynier V., 2006

Modélisation rhéologique structurelle
Dispersion concentrées et fluides complexes
Quemada D., 2006

Mise en œuvre des matières agroalimentaires (en 2 volumes)
Colonna P., Della Valle G. (Sous la direction de) 2006

Génie industriel alimentaire
Mafart P., Béliard E.

1. *Les procédés physiques de conservation*, 2^e édition 1997
2. *Techniques séparatives.*, 2^e édition 2004



© LAVOISIER, 2011

ISBN : 978-2-7430-1338-7

ISSN : 0993-3948 (AUF)

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands Augustins – 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, d'autre part les analyses et courtes citations justifiées dans le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1^{er} juillet 1992 – art. L. 122-4 et L. 122-5 et Code pénal art. 425).

Avant-propos

La diffusion de l'information scientifique et technique est un facteur essentiel du développement. Aussi, dès 1988, l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF), mandatée par les Sommets francophones pour produire et diffuser livres, revues et cédéroms scientifiques, a créé une collection d'ouvrages en français. Lieu d'expression de la communauté scientifique de langue française, elle vise à instaurer une collaboration entre enseignants et chercheurs francophones en publiant des ouvrages, coédités avec des éditeurs francophones, et largement diffusés dans les pays du Sud grâce à une politique tarifaire adaptée.

La collection se décline en différentes séries :

- *Manuels* : mis à jour régulièrement, ils suivent l'étudiant tout au long de son cursus en incluant les plus récents acquis de la recherche. Cette série didactique est le cœur de la collection ; elle porte sur des domaines d'études intéressant l'ensemble de la communauté scientifique francophone, tout en répondant aux besoins particuliers des pays du Sud ;
- *Savoirs francophones* : cette série accueille les travaux individuels ou collectifs des chercheurs du Nord et du Sud, impliqués dans les différents réseaux thématiques ;
- *Savoir plus universités* : cette série se compose d'ouvrages de synthèse qui font le point sur des sujets scientifiques d'actualité ;
- *Actualité scientifique* : dans cette série sont publiés les actes de colloques et de journées scientifiques organisés par les réseaux thématiques de recherche de l'Agence ;
- *Prospectives francophones* : s'inscrivent dans cette série des ouvrages de réflexion donnant l'éclairage de la Francophonie sur les grandes questions contemporaines ;
- *Dictionnaires* : ouvrages de référence sur le marché éditorial francophone.

La collection de l'Agence universitaire de la Francophonie, en proposant une approche plurielle et singulière de la science, adaptée aux réalités multiples de la Francophonie, contribue à promouvoir la recherche dans l'espace francophone et le plurilinguisme dans la recherche internationale.

Bernard Cerquiglini

Recteur de l'Agence universitaire de la Francophonie

Les auteurs

Meike Bröhan, Université catholique de Louvain, Unité de Brasserie et des Industries Alimentaires, Croix du Sud 2 bte 7, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique).

Delphine Callemien, Université catholique de Louvain, Unité de Brasserie et des Industries Alimentaires, Croix du Sud 2 bte 7, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique).

Mady Cissé, École Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal).

Sonia Collin, Université catholique de Louvain, Laboratoire de brasserie et des industries alimentaires, Unité de Brasserie et des Industries Alimentaires, Croix du Sud 2 bte 7, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique).

Christine Counet-Kersch, Université catholique de Louvain, Unité de Brasserie et des Industries Alimentaires, Croix du Sud 2 bte 7, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique).

Jean Crouzet, Montpellier (France).

Sylvain Guyot, INRA, UR117, Recherches Cidricoles, Biotransformation des Fruits et Légumes, Domaine de la Motte BP 35327, F-35653 Le Rheu Cedex (France).

Vesna Jerkovic, Université catholique de Louvain, Unité de Brasserie et des Industries Alimentaires, Croix du Sud 2 bte 7, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique).

Julie Laille, Université catholique de Louvain, Unité de Brasserie et des Industries Alimentaires, Croix du Sud 2 bte 7, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique).

Fanny Nguyen, Université catholique de Louvain, Unité de Brasserie et des Industries Alimentaires, Croix du Sud 2 bte 7, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique).

Sabrina Nizet, Université catholique de Louvain, Unité de Brasserie et des Industries Alimentaires, Croix du Sud 2 bte 7, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique).

Pascal Poupard, INRA, UR117, Recherches Cidricoles, Biotransformation des Fruits et Légumes, Domaine de la Motte BP 35327, F-35653 Le Rheu Cedex (France).

Mama Sakho, École Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal).

Cédric Saucier, Faculté d'Œnologie, UMR 1219 INRA, ISVV, Université de Bordeaux, 351 Cours de la Libération, 33405 Talence Cedex (France). Department of Chemistry, University of British Columbia Okanagan, FIP 348, 3333 University Way, Kelowna, BC (Canada).

Aurore Timmermans, Université catholique de Louvain, Unité de Brasserie et des Industries Alimentaires, Croix du Sud 2 bte 7, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique).

Avant-propos

Pour une chimiste de vocation, épicurienne convaincue et amoureuse des pays du Sud, peut-on imaginer plus belle science que celle des polyphénols ?

De structures monomériques simples comme l'acide gallique ou plus complexes comme les flavonoïdes, les polyphénols n'ont pas fini d'émerveiller le *chimiste* de par leur aptitude à (co)-polymériser, menant à une multitude de molécules aux couleurs enivrantes, aux arômes et saveurs inégalés, voire même aux propriétés « troublantes ».

Le *nutritionniste* ne peut aussi qu'être émerveillé par cette classe de molécules, tant les allégations santé qu'on leur attribue sont aujourd'hui nombreuses. La biodisponibilité des polyphénols reste toutefois posée et les propriétés *in vivo* des métabolites doivent être déterminées.

Que dire du *biochimiste*, pour lequel tant de questions restent ouvertes concernant les voies métaboliques, en particulier celles qui mènent aux oligomères et tannins, ou de l'*agronome* qui dispose de nombreuses possibilités pour influencer l'efficacité de la biosynthèse, la culture biologique ressortant notamment comme une alternative menant à un enrichissement en polyphénols.

Le *coopérant* pourra également être confronté au monde des polyphénols lorsqu'il recherchera des matières premières susceptibles d'être valorisées dans les pays du Sud.

En espérant que cet ouvrage puisse créer de nombreuses vocations aux saveurs et aux couleurs du Sud...

Sonia Collin,
Professeur ordinaire à l'Université catholique de Louvain.

Table des matières

Les auteurs	V
Avant-propos	VII
Introduction	1

Partie 1

Structures, analyse et propriétés des polyphénols

Chapitre 1

Nomenclature et voies de synthèse des principaux polyphénols

1. Flavonoïdes	5
2. Acides phénoliques et tannins hydrolysables.....	11
3. Stilbènes	16
4. Lignines et subérines.....	17
5. Voies de biosynthèse des polyphénols.....	18

Chapitre 2

Extraction et analyse des polyphénols

1. Analyses globales	29
2. Extractions sélectives.....	33
3. Analyses chromatographiques	35
4. Détections sélectives	37

Chapitre 3

Propriétés des polyphénols

1. Arôme, goût et astringence.....	45
2. Propriétés tannantes et instabilité colloïdale.....	48
3. Propriétés antioxydantes	50

4. Couleur	51
5. Propriétés anti-fongiques et anti-bactériennes	54
6. Impact sur la santé.....	54
7. Voies d'absorption, métabolisme et biodisponibilité	56

Partie 2

Impact des procédés utilisés dans l'industrie agro-alimentaire sur la structure et les propriétés des polyphénols

Chapitre 1

Les polyphénols dans les produits cacaotés et dans le chocolat Impact des procédés de fermentation, de torréfaction et de conchage

1. Polyphénols retrouvés dans les produits cacaotés.....	69
1.1. Flavonoïdes	69
1.1.1. Flavan-3-ols et procyanidines.....	69
1.1.2. Acides phénoliques et tannins hydrolysables	76
1.1.3. Stilbènes	76
2. Extraction et analyse des polyphénols dans les produits cacaotés	78
3. Impact des procédés utilisés dans la fabrication du chocolat	86
3.1. Comparaison de différentes origines après fermentation, séchage et torréfaction des fèves de cacao	86
3.2. Évolution des polyphénols durant le conchage du chocolat.....	93

Chapitre 2

Les polyphénols de la pomme. Impact des procédés cidricoles

1. Polyphénols de la pomme à cidre	103
1.1. Flavonoïdes	104
1.2. Acides hydroxycinnamiques	109
2. Extraction et analyse des polyphénols de la pomme et du cidre	110
2.1. Extraction	110
2.2. Analyse des polyphénols natifs	110
2.3. Analyse et caractérisation des produits formés lors de l'oxydation des polyphénols en modèle jus de pomme et cidres	116
3. Impact des procédés cidricoles	134
3.1. Généralités	134
3.2. Oxydation enzymatique et rétention sur la paroi, deux phénomènes majeurs impliquant les polyphénols lors de la préparation des moûts.....	138
3.3. Du fruit au moût brut non clarifié	140
3.4. Du moût brut au cidre.....	146
3.5. Conclusion.....	149

Chapitre 3

Les polyphénols du malt, du sorgho, du houblon et de la bière. Impact du maltage des céréales, des procédés de conditionnement du houblon et des étapes de fabrication de la bière

1. Polyphénols retrouvés dans la bière et ses matières premières.....	159
1.1. Flavonoïdes	159
1.2. Acides hydroxybenzoïques, acides hydroxycinnamiques et composés dérivés	174
1.3. Stilbènes	181
2. Extraction et analyse des polyphénols de la bière et ses matières premières.....	185
3. Impact des procédés utilisés en brasserie.....	214
3.1. Impact des étapes de fabrication de la bière	214
3.2. Impact des traitements de filtration de la bière sur sa composition polyphénolique et sa stabilité colloïdale	214
3.3. Impact du vieillissement de la bière sur les arômes phénoliques et la couleur	216
3.4. Impact des procédés de conditionnement du houblon.....	218

Chapitre 4

Les polyphénols du raisin. Impact des étapes de fabrication du vin

1. Polyphénols du raisin et du vin	231
1.1. Flavonoïdes et anthocyanes.....	231
1.2. Acides hydroxybenzoïques, acides hydroxycinnamiques et composés dérivés	235
1.3. Stilbènes	236
2. Extraction et analyse des polyphénols du raisin et du vin	250
3. Impact des procédés œnologiques	254
3.1. Réactions d'association et de dégradation des anthocyanes.....	254
3.2. Polymérisation directe des anthocyanes et des flavanols	256
3.3. Polymérisation indirecte des anthocyanes et des flavanols	260
3.4. Pyranoanthocyanes	264

Chapitre 5

Les polyphénols dans les fruits et calices tropicaux Impact des procédés utilisés dans la fabrication des jus

1. Polyphénols dans les fruits tropicaux et dans <i>Hibiscus sabdariffa</i>	277
1.1. Phénols volatils	284
1.2. Flavonoïdes	289
1.3. Hydroxy-xanthones.....	294
1.4. Acides phénoliques et tannins hydrolysables.....	294
1.5. Stilbènes	297
2. Extraction et analyse des polyphénols des fruits et produits dérivés	298
2.1. Extraction	298

2.2. Analyse	302
2.3. Détection et identification des composés phénoliques	305
3. Impact des procédés utilisés dans la fabrication des jus	311
3.1. Conservation post-récolte.....	311
3.2. Actions des enzymes	312
3.3. Effets des traitements thermiques	316
3.4. Effets des traitements physiques.....	320
3.5. Effets du stockage	320
Index	333

Introduction

Les bioingénieurs de l'alimentaire sont quotidiennement confrontés au monde passionnant des polyphénols. La composition des aliments est toutefois étroitement liée aux procédés technologiques mis en œuvre. Ainsi, l'étude des polyphénols dans un chocolat, un vin, une bière, un cidre ou un jus de fruits est bien plus complexe que celle menée sur le cacao, le raisin, le malt, le houblon, la pomme ou les fruits tropicaux, car elle doit aussi intégrer tous les mécanismes de synthèses non enzymatiques qui prennent place lors de la production ou le vieillissement de la denrée alimentaire.

L'allongement de la durée de vie de l'aliment est plus que jamais une priorité du monde industriel. Les polyphénols possèdent des atouts indéniables pour inhiber les réactions radicalaires destructrices dans la denrée. Ils renforcent également la perception... soyeuse dans un grand vin rouge, en générant au cours de son vieillissement des interactions complexes avec d'autres composantes du nectar. Ils peuvent aussi toutefois être source de nouveaux problèmes, en créant par exemple au fil du vieillissement un trouble colloïdal par interaction avec les protéines de la bière.

C'est sous cet angle novateur que nous avons voulu aborder dans cet ouvrage la chimie des polyphénols, tant de fois revisitée. Le réseau de chercheurs GP3A (Génie des Procédés Appliqué à l'Agro-Alimentaire) de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) s'intéresse depuis une décennie à cette problématique à laquelle il a consacré ses premières journées scientifiques tenues en septembre 2008 à l'Université catholique de Louvain (Louvain-la-Neuve, Belgique). De là est née l'idée de ce livre qui, outre son rôle comme ouvrage de référence pour les étudiants de Master, vise aussi à initier de nouvelles vocations parmi les chercheurs du monde francophone, qu'ils soient des pays du Nord ou d'horizons plus lointains.

Sonia Collin,

Professeur ordinaire à l'Université catholique de Louvain.

Au-delà de leur implication reconnue dans l'« effet-santé » de l'aliment, les polyphénols participent aussi pleinement aux caractéristiques organoleptiques des denrées alimentaires et jouent un rôle important sur la durée de vie des aliments. Ils peuvent favoriser la conservation, mais également générer des problèmes de couleurs ou d'instabilité colloïdale au cours du temps.

Or, la composition polyphénolique des aliments est étroitement liée aux procédés technologiques. Rédigé par des spécialistes de chaque filière, *Polyphénols et procédés* est le premier ouvrage à proposer un examen complet de l'évolution polyphénolique lors de la transformation des aliments. Cette étude complexe intègre notamment tous les mécanismes de synthèses non enzymatiques qui prennent place lors de la production ou le vieillissement de la denrée alimentaire.

Pour mieux cerner les processus en jeu, l'ouvrage présente tout d'abord un rappel synthétique et didactique des acquis généraux sur les polyphénols en exposant leur nomenclature, leurs propriétés physico-chimiques et biochimiques, et les méthodes analytiques exploitées pour leur caractérisation.

Le devenir des polyphénols est ensuite étudié dans la deuxième partie, au travers de cinq grandes filières alimentaires : – cacao-chocolat – pomme-cidre – malt-bière – raisin-vin – fruits tropicaux-jus.

Toutes les données pour l'analyse et le suivi de production sont répertoriées, notamment :

- les procédés d'extraction des polyphénols ;
- les résultats détaillés des analyses chromatographiques ;
- les processus biochimiques impliqués ;
- les impacts sur les qualités organoleptiques au cours du vieillissement du produit.

De nombreuses formules, développées de molécules, illustrent les transformations en jeu, et de nombreux tableaux synthétisent la multitude des informations rassemblées.

Synthèse complète et actuelle des connaissances scientifiques et techniques sur le devenir des polyphénols, cet ouvrage s'adresse à tous les chercheurs, ingénieurs, biochimistes des industries alimentaires ainsi qu'aux étudiants en biochimie.

Les coordonnateurs

Sonia COLLIN, docteur en sciences chimiques, est professeur ordinaire au *Earth and Life Institute* et responsable du laboratoire de brasserie et des industries alimentaires.

Jean CROUZET, docteur ès sciences physiques, ingénieur diplômé de l'École nationale supérieure agronomique de Montpellier, est professeur honoraire des Universités.

Respectivement coordinatrice et coordonnateur-fondateur du réseau de chercheurs *GP3A (Génie des procédés appliqués à l'agro-alimentaire)* de l'AUF, ils ont rassemblé, dans cet ouvrage, les contributions de treize spécialistes de ce domaine de recherche.

Diffusion : Éditions Tec & Doc

ISSN (AUF) : 0993-3948
ISBN : 978-2-7430-1338-7

Prix public : 79 €

Prix préférentiel AUF - pays en
développement : 25 €



9 782743 013387