

# Table des matières

## Chapitre 1

### **Filière fruits : approche technico-économique**

(Jean-Claude Montigaud)

---

Introduction	1
1. Brève description de la filière fruits	4
1.1. Chiffres clefs	4
1.1.1. Sous-filière fruits frais	4
1.1.2. Sous-filière fruits transformés	7
1.2. Aperçu du fonctionnement de la filière fruits	11
1.2.1. Deux sous-filières autonomes	11
1.2.2. ... Parfois complémentaires et concurrentes	12
1.2.3. ... Avec un centre-moteur constitué par le rayon ultra-frais	14
2. Dynamique de la filière fruits	15
2.1. Relations industrie-grande distribution	15
2.1.1. Les offreurs peuvent différencier leurs produits de plusieurs façons	16
2.1.2. Conséquences du processus	18
2.1.3. Éléments d'explication	20
2.2. Apparition d'un « nouveau » consommateur	25
2.2.1. Évolution comparée des consommations à base de fruits	25
2.2.2. « Nouveaux » consommateurs	26
2.2.3. Vers de nouvelles approches marketing pour les fournisseurs et distributeurs de fruits frais	28
2.3. Processus d'innovation	29
2.3.1. Grandes tendances de l'innovation dans les IAA	30
2.3.2. Filière fruits à travers le concept de trajectoire technologique	31
2.3.3. Rappel sur les technologies utilisées	34
Éléments de conclusion et présentation du contenu de l'ouvrage	36
Remerciements	38
Références bibliographiques	39

## Chapitre 2

### Sélection des cultivars en relation avec la transformation

(Andrea Maestrelli et Jean-Marc Chourot)

	41
Introduction .....	41
1. Les fruits : définition et facteurs d'aptitude technologique .....	42
1.1. Définition du fruit : de la fleur à la transformation .....	42
1.2. Définition du fruit parfait pour la transformation .....	43
2. Multiplication des plantes et sélection de variétés .....	44
2.1. Multiplication végétative .....	45
2.2. Croisements .....	45
2.3. Greffage .....	45
2.4. Problèmes posés par les techniques classiques .....	45
2.5. Micropropagation .....	47
2.6. Techniques du génie génétique au service de l'amélioration des espèces .....	47
3. Contraintes de production et facteurs externes influençant la qualité des fruits transformés .....	50
3.1. Contraintes agroéconomiques .....	50
3.2. Contraintes agroclimatiques .....	52
3.3. Contraintes technologiques .....	52
3.3.1. Résistance mécanique des fruits .....	53
3.3.2. Morphologie .....	54
3.3.3. Texture .....	54
3.3.4. Couleur .....	56
3.3.5. Exemple d'intégration entre les contraintes imposées par les fruits et la fabrication de produits intermédiaires d'intérêt stratégique .....	58
3.4. Facteurs organosensoriels et nutritionnels .....	62
4. Mesures et techniques d'évaluation des variétés de fruits pour la transformation .....	64
4.1. Évaluation de l'aptitude des fruits à la transformation .....	64
4.1.1. Évaluation des caractéristiques organosensorielles .....	64
4.1.2. Morphométrie .....	66
4.1.3. Texture .....	67
4.1.4. Couleur .....	70
4.1.5. Indice réfractométrique .....	71
4.1.6. Autres méthodes d'analyse d'intérêt pour l'évaluation de la qualité .....	73
4.2. Mémorisation du cultivar .....	74
Conclusion .....	74
Remerciements .....	75
Références bibliographiques .....	75

## Chapitre 3

**Maturation des fruits** (*Jean-Claude Pech, Mondher Bouzayen et Alain Latché*)

Introduction	79
1. Fruits climactériques et non climactériques	80
2. Biosynthèse et action de l'éthylène	81
2.1. Biosynthèse	81
2.2. Mode d'action de l'éthylène : perception et transduction du signal	82
3. Développement de l'aptitude à mûrir	84
4. Régulation de la maturation des fruits non climactériques	87
5. Mutants et génotypes à maturation altérée ou modifiée	88
6. Contrôle de la maturation par la biotechnologie	89
7. Effet des facteurs externes sur la maturation	92
7.1. Effets de la température	92
7.2. Rôle de l'oxygène	93
7.3. Effets du CO <sub>2</sub>	93
7.4. Effets combinés de bas niveaux d'O <sub>2</sub> et de niveaux élevés de CO <sub>2</sub>	94
7.5. Effets d'autres gaz	94
7.6. Importance de l'humidité relative de l'atmosphère	94
7.7. Effets des rayonnements	95
7.8. Effets d'autres stress	95
Conclusion	95
Références bibliographiques	96

## Chapitre 4

<b>Récolte des fruits</b> ( <i>Francis Sévila</i> )	103
1. Une mécanisation plus ou moins aboutie	103
1.1. Une mécanisation souhaitée	103
1.2. Une approche systémique nécessaire	104
1.3. Effort de recherche et de développement industriel ancien et significatif : des résultats variables selon les conditions de production	104
2. Généralités techniques sur la récolte mécanisée des fruits	105
2.1. Aides mécaniques à la récolte	105
2.2. Détachement des fruits	106
2.3. Sélectivité en récolte des fruits	107
2.4. Stockage au champ et transport	107
2.5. Qualité des fruits	108
3. Aspects économiques d'une mécanisation de la récolte des fruits	109
4. Exemples de systèmes de récolte mécanisée des arbres fruitiers	110
4.1. Vibreurs de tronc d'arbres fruitiers	110
4.2. Machines de récolte des fruits avec vibreurs	114
4.3. Récolte fruit par fruit des arbres fruitiers	115
4.3.1. Systèmes d'aide mécanique à la récolte	115

4.3.2. Systèmes prototypes de récolte robotisée .....	115
5. Récolte des baies et du raisin .....	116
Références bibliographiques .....	118

### Chapitre 5

## Fruits frais prêts à l'emploi dits de « 4<sup>e</sup> gamme »

(Patrick Varoquaux) .....	119
Introduction .....	119
1. Grands types d'altération, symptômes et prévention .....	121
1.1. Altérations d'origine physiologique .....	121
1.1.1. Respiration .....	121
1.1.2. Sénescence et éthylène .....	121
1.1.3. Déviation métabolique .....	123
1.1.4. Maladies physiologiques du froid .....	123
1.2. Altérations d'origine enzymatique .....	123
1.2.1. Altération de la couleur .....	123
1.2.2. Altération de la texture .....	130
1.2.3. Altération de l'arôme .....	135
1.3. Altérations d'origine microbiologique et risques hygiéniques .....	136
1.3.1. Contamination microbienne naturelle des fruits .....	136
1.3.2. Prévention de la prolifération des micro-organismes .....	137
2. Fabrication .....	143
2.1. Lavage et désinfection des fruits entiers .....	143
2.2. Parage .....	145
2.3. Lavage – Rinçage .....	145
2.4. Égouttage .....	146
2.5. Conditionnement .....	146
2.5.1. Mélange (cas des salades de fruits) et pesage .....	147
2.5.2. Conditionnement .....	147
2.5.3. Injection de gaz .....	147
2.6. Conservation sous atmosphère modifiée .....	148
Conclusion .....	150
Références bibliographiques .....	151

### Chapitre 6

## Technologies « douces » de pasteurisation et de stérilisation

(Bernard Cuq et Patrick Varoquaux) .....	159
Introduction .....	159
1. Traitements thermiques de pasteurisation .....	160
1.1. Traitements thermiques par « effet Joule » .....	160
1.1.1. Tube à passage de courant (TPC) .....	160
1.1.2. Chauffage ohmique .....	164

1.2.	Pasteurisation sous vide et traitements combinés	167
1.2.1.	Pasteurisation de type 5° gamme	167
1.2.2.	Pasteurisation en vrac à la vapeur et sous vide : flash pasteurisation	169
1.2.3.	Traitement par le CO <sub>2</sub>	171
1.2.4.	Traitements flash vapeur et CO <sub>2</sub>	175
2.	Traitements non thermiques de pasteurisation	175
2.1.	Traitements d'ionisation	175
2.1.1.	Radiations ionisantes	176
2.1.2.	Actions des radiations ionisantes	177
2.1.3.	Installations d'ionisation	179
2.1.4.	Applications pour le traitement des fruits	181
2.1.5.	Détection des produits ionisés et réglementation	183
2.1.6.	Conclusion	185
2.2.	Pascalisation	185
2.2.1.	Traitements haute pression	185
2.2.2.	Hautes pressions	185
2.2.3.	Actions des hautes pressions	186
2.2.4.	Équipements de pressurisation	189
2.2.5.	Applications pour le traitement des fruits et produits dérivés	192
2.2.6.	Autres applications	193
2.2.7.	Conclusion	194
2.3.	Champs électriques pulsés	194
2.3.1.	Introduction	194
2.3.2.	Actions des champs électriques	195
2.3.3.	Équipements de traitements par des champs électriques pulsés	201
2.3.4.	Applications des champs électriques pulsés	202
2.3.5.	Conclusion	203
	Références bibliographiques	204

### *Chapitre 7*

<b>Séchage</b>	<i>(Jean-Jacques Bimbenet)</i>	209
1.	Sécher des fruits : pourquoi ?	209
1.1.	Conserver, alléger et créer des propriétés nouvelles	209
1.2.	À quoi servent les fruits séchés ?	210
1.3.	Quelles sont les qualités recherchées ?	210
1.4.	Quelques données économiques sur les fruits secs	211
2.	Bases physiques du séchage et du stockage	212
2.1.	L'eau et le fruit	212
2.2.	Modes de séchage	214
2.2.1.	Ébullition	214
2.2.2.	Entraînement	215
2.3.	Transferts de chaleur et de matière – Cinétiques de séchage	216
2.4.	Aspects énergétiques – Bilans de matière et de chaleur	219
2.5.	Stockage	220

3.	Facteurs de modification des qualités	220
3.1.	Réactions biochimiques	221
3.2.	Pertes d'arômes	222
3.3.	Aspects mécaniques	222
3.4.	Réhydratation	223
4.	Techniques de séchage	224
4.1.	Séchoirs	224
4.1.1.	Techniques traditionnelles : air ambiant, vent et soleil	224
4.1.2.	Séchoirs à air chaud « artificiel »	224
4.1.3.	Lyophilisation	227
4.1.4.	Séchoirs à purées et à concentrés	227
4.2.	Pré et post-traitements	229
4.2.1.	Prétraitements	229
4.2.2.	Post-traitements	230
5.	Procédés spéciaux et recherche-développement	231
5.1.	Procédés d'expansion	231
5.2.	Séchage sous vide	232
5.3.	Procédés d'assainissement	232
5.4.	Produits complexes	232
	Références bibliographiques	233

### *Chapitre 8*

<b>Conserve appertisée</b>	<i>(Michel Biton)</i>	235
1.	Préparation	235
1.1.	Lavage	235
1.2.	Calibrage	236
1.3.	Pelage	237
1.3.1.	Pelage mécanique	237
1.3.2.	Pelage par choc thermique	237
1.3.3.	Pelage chimique	237
1.4.	Dénoyautage	237
1.5.	Équeutage	238
2.	Emboîtage	238
2.1.	Emboîtage volumétrique	238
2.2.	Emboîtage par pesée	239
3.	Jutage	239
3.1.	Rôle du sirop	239
3.1.1.	Sucres utilisés	239
3.1.2.	Influence de la nature des sucres sur le rendement	240
3.2.	Techniques de jutage	241
3.2.1.	Jutage à reflux	241
3.2.2.	Jutage sous vide	241
4.	Traitements thermiques	242
4.1.	Barèmes	242

4.2. Autopasteurisation .....	243
4.3. Pasteurisateurs .....	243
4.4. Autres procédés .....	244
4.4.1. Conditionnement aseptique en emballage continu .....	244
4.4.2. Conditionnement aseptique en grand conditionnement .....	244
5. Choix des emballages .....	244
5.1. Emballages métalliques .....	244
5.2. Emballage en verre .....	245
Références bibliographiques .....	246

### Chapitre 9

## **Fruits et produits dérivés congelés – Conditions de congélation et de conservation et qualité** (Guy Letang et Jean-Marc Chourot) \_\_\_\_\_ 247

Introduction .....	247
1. Contexte économique .....	249
2. Matière première .....	249
2.1. Espèces et variétés .....	249
2.2. Récolte .....	250
2.3. Traitements avant congélation .....	250
2.4. Jus, concentrés de jus et purées de fruits .....	251
3. Emballage .....	252
4. Processus de la congélation .....	252
4.1. Aspects thermiques .....	252
4.2. Cristallisation de l'eau .....	254
4.3. Développement et progression d'une zone de congélation .....	254
4.4. Modélisation du processus : allure et temps de congélation .....	255
5. Influence des conditions de congélation et d'entreposage sur la qualité .....	260
5.1. Conséquences physiques de la présence de glace .....	260
5.1.1. Conséquences de la cristallisation de l'eau pendant la congélation .....	260
5.1.2. Modification des cristaux de glace au cours de la conservation .....	261
5.1.3. Dessiccation des aliments au cours de la congélation et de l'entreposage .....	261
5.2. Évolution biochimique des produits végétaux congelés au cours de la conservation .....	262
5.2.1. Évolution de la couleur .....	263
5.2.2. Évolution de la flaveur .....	263
5.2.3. Évolution de la texture .....	263
5.2.4. Autres modifications biochimiques (pH, pectines, nutriments)... .....	263
5.3. Influence de la température et de la durée d'entreposage .....	264
6. Procédés et équipements de congélation et d'entreposage .....	267
6.1. Considérations générales .....	267
6.2. Existence d'une température de milieu réfrigérant optimale .....	267

6.3.	Efficacité de l'échange de chaleur en surface	268
6.4.	Systèmes de congélation à production de froid mécanique	271
6.4.1.	Congélation dans l'air	271
6.4.2.	Congélation par immersion	275
6.4.3.	Congélation par contact	276
6.4.4.	Congélation par contact/immersion	278
6.5.	Systèmes de congélation à production de froid cryogénique	278
6.6.	Complémentarité des systèmes de congélation mécanique et cryogénique	280
6.6.1.	Augmentation de la capacité d'une installation de froid mécanique	281
6.6.2.	Amélioration de la qualité du produit et de l'efficacité du procédé	281
	Conclusion	284
	Références bibliographiques	285

### *Chapitre 10*

<b>Jus de fruits</b> ( <i>Alain Baron</i> )	287
Introduction	287
1. Réglementation	288
2. Extraction des jus	289
2.1. Préparation des fruits	289
2.2. Pressurage	290
2.2.1. Théorie	290
2.2.2. Pressoirs et extracteurs	291
3. Rôle des enzymes pectinolytiques dans les jus	298
3.1. Pectines	298
3.1.1. Régions homogalacturonanes (HG)	300
3.1.2. Régions rhamnogalacturonanes (RG)	301
3.1.3. Xylogalacturonanes	302
3.1.4. Propriétés des pectines	302
3.2. Enzymes pectinolytiques	304
3.2.1. Enzymes saponifiantes	304
3.2.2. Enzymes dépolymérisantes	304
3.3. Stabilisation des jus troubles	307
3.3.1. Nature et composition du trouble	307
3.3.2. Mécanisme de la déstabilisation	309
3.3.3. Prévention de la déstabilisation	310
3.4. Clarification des jus	313
3.4.1. Clarification par enzymage et collage	313
3.4.2. Clarification par microfiltration tangentielle	314
3.5. Les enzymes pectinolytiques comme aide au pressurage	320
4. Macération et liquéfaction	321
4.1. Macération	321
4.2. Liquéfaction	323

5. Désamérisation des jus d'agrumes .....	324
5.1. Composés amers .....	324
5.2. Méthodes de désamérisation .....	327
5.2.1. Traitements du végétal .....	327
5.2.2. Traitements enzymatiques du jus .....	327
5.2.3. Traitements du jus par des résines .....	330
6. Stabilisation microbiologique .....	331
6.1. Flore contaminante .....	331
6.2. Traitements thermiques .....	332
6.2.1. Barèmes de pasteurisation .....	332
6.2.2. Techniques de pasteurisation et de conditionnement .....	334
6.3. Traitements hautes pressions (HP) .....	336
Références bibliographiques .....	338

### Chapitre 11

## Produits à base de fruits tropicaux et subtropicaux

**pour réutilisation industrielle** (Didier Ollé, Pierre Brat, Max Reynes  
et Jean-Marc Brillouet) \_\_\_\_\_

345

Introduction .....	345
1. Produits de transformation .....	346
1.1. Types de produits .....	346
1.2. Importance de la transformation .....	347
2. Technologies d'élaboration des concentrés .....	348
2.1. Jus concentrables .....	348
2.1.1. Cas des agrumes .....	348
2.1.2. Cas du fruit de la passion .....	352
2.1.3. Cas de l'ananas .....	353
2.2. Technologies de concentration .....	355
2.2.1. Concentration par évaporation .....	355
2.2.2. Concentration par couplage ultrafiltration (UF) / osmose inverse (OI) .....	360
2.2.3. Techniques à l'étude .....	361
3. Technologies d'élaboration des purées .....	362
3.1. Structure et composition des fruits concernés .....	362
3.2. Étapes de transformation .....	364
3.2.1. Schéma classique .....	364
3.2.2. Broyage par flash-détente .....	366
3.3. Produits obtenus .....	368
3.3.1. Purées .....	368
3.3.2. Purées concentrées .....	368
4. Produits alimentaires intermédiaires (PAI) .....	369
4.1. PAI obtenus à partir des coproduits d'agrumes .....	369
4.1.1. Huiles essentielles .....	369
4.1.2. Pectines .....	373

4.2. Papaine et bromélaïne : deux PAI de type enzymatique .....	377
4.2.1. Activités protéolytiques .....	377
4.2.2. Vers de nouvelles utilisations .....	377
Conclusion .....	378
Références bibliographiques .....	378

### Chapitre 12

#### **Produits de grignotage et produits frits**

(Olivier Vitrac et Anne-Lucie Raoult-Wack) \_\_\_\_\_ 383

Introduction .....	383
1. Traitements en solutions sucrées : confisage, semi-confisage, déshydratation osmotique et déshydratation-imprégnation par immersion .....	384
1.1. Principe des différentes techniques « déshydratation-imprégnation par immersion » .....	385
1.2. Applications de la DII à l'élaboration de produits de grignotage à base de fruits .....	386
1.3. Maîtrise du procédé de DII appliqué aux fruits – Relations procédé/qualité .....	389
1.4. Mise en œuvre et équipements .....	392
1.5. Qualité des fruits par DII – Aspects réglementaires et méthodes de caractérisation et de prédiction .....	393
2. Procédé de friture appliqué à la fabrication de chips de fruits .....	396
2.1. Procédé de friture : principes de base et règles de conduite du procédé .....	396
2.2. Applications de la friture à l'élaboration de chips de fruits .....	399
2.3. Maîtrise du procédé de friture appliqué aux fruits : les relations procédé/qualité .....	403
2.4. Équipements de friture .....	407
2.5. Réglementation et recommandations .....	409
Conclusion .....	411
Références bibliographiques .....	412

### Chapitre 13

#### **Conservation par le sucre : confitures, gelées, fruits sur sucre**

(Michel Biton) \_\_\_\_\_ 421

1. Produits .....	421
1.1. Confitures, gelées et marmelades .....	421
1.2. Compotes et purées .....	422
1.3. Fruits sur sucre .....	422
2. Technologie des confitures, gelées et marmelades .....	422
2.1. Conservation .....	422
2.2. Gélification .....	422
2.2.1. Propriétés des gels, pectines, eau, sucres .....	422
2.2.2. Pectines et gels pectiques .....	423

2.2.3.	Formation des gels pectiques .....	423
2.2.4.	Conditions optimales de gélification et leurs incidences sur le produit fini .....	423
2.2.5.	Pectines du commerce .....	424
2.3.	Formulation et calcul du rendement industriel .....	424
2.3.1.	Formulation .....	424
2.3.2.	Calcul du rendement .....	425
2.4.	Étapes de la fabrication .....	426
2.4.1.	Préparation des fruits .....	426
2.4.2.	Cuisson de la confiture .....	427
2.4.3.	Conditionnement et refroidissement .....	427
2.4.4.	Entreposage .....	428
2.5.	Choix des emballages .....	428
3.	Technologie des compotes et purées de fruits .....	429
3.1.	Cuisson .....	429
3.2.	Tamisage – Raffinage .....	430
3.3.	Préchauffage .....	430
3.4.	Emboîtage – Conditionnement .....	430
3.5.	Cas particulier : conditionnement aseptique en emballage continu ....	430
4.	Fabrication des fruits sur sucre .....	430
4.1.	Principe .....	430
4.2.	Préparation de fruits .....	431
4.3.	Ajout des agents de texture .....	431
4.4.	Traitement thermique .....	431
4.5.	Cas particulier des fruits sur sucre destinés à la pâtisserie .....	431

### *Chapitre 14*

## **Procédés d'extraction, de concentration et de fractionnement d'arômes, de colorants et d'acides organiques**

*(Magali Bes, Jean-Louis Escudier et Jean Mourgues)* \_\_\_\_\_ 433

Introduction .....	433
1. Technologies .....	434
1.1. Techniques d'extraction .....	434
1.1.1. Extraction au solvant .....	434
1.1.2. Extraction par détente sous vide : flash-détente .....	449
1.1.3. Extraction assistée par micro-ondes .....	451
1.1.4. Extraction par fluides supercritiques .....	452
1.1.5. Extraction par gaz inerte : colonne à cônes rotatifs .....	455
1.2. Techniques de fractionnement / concentration .....	457
1.2.1. Techniques de fractionnement par membranes .....	457
1.2.2. Techniques de distillation .....	460
1.2.3. Techniques d'adsorption .....	461
1.3. Techniques de récupération d'arômes lors de l'élaboration de concentrés de jus de fruits .....	463

2.	Composés volatils d'arômes	464
2.1.	Définitions légales pour les arômes alimentaires	464
2.2.	Définitions et nature des arômes de fruits	466
2.3.	Production d'arômes à partir de fruits	466
3.	Extraction d'acides organiques	467
3.1.	Acide citrique	467
3.1.1.	Production d'acide citrique à partir de citrate de calcium précipité dans le jus de citron	467
3.1.2.	Production d'acide citrique par voie microbiologique	468
3.2.	Acide tartrique	469
3.2.1.	Production de tartrate de calcium	469
3.2.2.	Fabrication d'acide tartrique à partir de tartrate de calcium	471
3.2.3.	Autres méthodes de fabrication de l'acide tartrique	473
3.2.4.	Fabrication de l'hydrogéntartrate de potassium ou « crème de tartre »	473
3.2.5.	Fabrication du tartrate double de potassium et de sodium	473
3.2.6.	Données économiques sur la production d'acide tartrique	473
3.3.	Acide malique	474
3.3.1.	Possibilités d'extraction à partir du jus de pomme	474
3.3.2.	Possibilités d'extraction à partir du moût de raisin destiné à produire du moût concentré rectifié ou sucre de raisin	475
3.4.	Acides de fruits pour la cosmétique	478
4.	Extraction des colorants anthocyaniques : exemple du raisin	479
4.1.	Richesse en anthocyanes du marc de raisin	480
4.2.	Conservation des marcs	480
4.3.	Technologies de production	480
4.3.1.	Méthode traditionnelle à l'anhydride sulfureux	480
4.3.2.	Extraction continue sur marc de raisin	481
4.3.3.	Procédé par résine adsorbante	482
4.4.	Caractérisation analytique des colorants anthocyaniques extraits	483
4.5.	Utilisations	484
	Conclusion	484
	Références bibliographiques	484