

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

Sélection des cultivars en relation avec la transformation

(Andrea Maestrelli et Jean-Marc Chourot)

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

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 ₂	93
7.4. Effets combinés de bas niveaux d'O ₂ et de niveaux élevés de CO ₂	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

Récolte des fruits (*Francis Sévila*)

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^e 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 ^e gamme	167
1.2.2.	Pasteurisation en vrac à la vapeur et sous vide : flash pasteurisation	169
1.2.3.	Traitement par le CO ₂	171
1.2.4.	Traitements flash vapeur et CO ₂	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

Séchage	<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

Conserve appertisée (*Michel Biton*) _____ 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 saveur	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

Jus de fruits (<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.	Tamissage – 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. Tehniques 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'hydrogénotartrate 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