

Table des matières

Préface de Laurent Baseilhac	1
Préface de Vincent Lafèche	3
Préface de June Wispelwey	7
Introduction	9
Jean-Pierre DAL PONT et Marie DEBACQ	
Chapitre 1. Les bio-industries à l’heure de la transition numérique : importance et nouvelles avancées	17
Philippe JACQUES	
1.1. Introduction	17
1.2. Diversité des produits et des applications	20
1.2.1. Les fermentations en agroalimentaire	21
1.2.2. Les produits à base de biomasse	23
1.2.3. Les produits à base de métabolites	23
1.3. Processus traditionnel de mise au point d’un produit de la microbiologie industrielle	24
1.4. Sélection et optimisation des souches	26
1.4.1. Évolution des techniques de criblage des souches	26
1.4.2. Évolution des technologies de modifications génétiques, de la mutagenèse au hasard à la technologie CRISPR-Cas9	29
1.5. Procédés de production et de purification	30

1.5.1. Besoins des micro-organismes	30
1.5.2. Procédés de production	31
1.5.3. Procédés en aval de la fermentation (<i>downstream processing</i> , DSP)	35
1.5.4. Procédés couplés	36
1.5.5. Apport de la microfluidique (<i>scale-up/scale-down</i>)	37
1.5.6. Intensification des procédés	37
1.6. Concepts innovants	38
1.6.1. Réacteurs à biofilm	38
1.6.2. Cultures mixtes et cascades de micro-organismes	38
1.7. Vers une bio-industrie numérique.	38
1.8. Remerciements	39
1.9. Glossaire	40
1.10. Bibliographie	44

Chapitre 2. Production d'hydrogène par vaporeformage 45

Marie BASIN, Diana TUDORACHE, Matthieu FLIN, Raphaël FAURE
et Philippe ARPENTINIER

2.1. La production industrielle d'hydrogène	45
2.1.1. Les procédés de production de l'hydrogène	45
2.1.1.1. Historique	45
2.1.1.2. Comparaison des procédés	46
2.1.2. Le vaporeformage de gaz naturel.	48
2.1.2.1. Vue d'ensemble du procédé	48
2.1.2.2. Le prétraitement du gaz naturel	49
2.1.2.3. Les technologies de vaporeformage.	51
2.1.2.4. La séparation et la purification de l'hydrogène	65
2.1.2.5. Optimisation du procédé en fonction des besoins.	71
2.2. Les problématiques et contraintes d'opération des unités de vaporeformage.	73
2.2.1. Température des tubes et durée de vie.	73
2.2.2. Désactivation du catalyseur	75
2.2.3. Corrosion par effusement métallique (<i>metal dusting</i>).	80
2.2.4. Flexibilité en matières premières des unités de vaporeformage	80
2.3. Les développements industriels récents répondant au réchauffement climatique	81
2.3.1. Le rôle de l'hydrogène dans la transition énergétique.	81
2.3.2. Le captage du CO ₂ dans les unités de production d'hydrogène	82
2.3.3. Le réacteur-échangeur (« zéro vapeur »)	85
2.3.4. Les axes de recherche actuels.	86

2.3.4.1. L'intensification des procédés	86
2.3.4.2. Les limitations du procédé de vaporeformage	88
2.3.4.3. L'intensification des procédés appliquée au vaporeformage : le réacteur microstructuré (fabrication additive)	88
2.3.5. Autres voies de recherche pour fournir la chaleur de réaction	92
2.4. Bibliographie	93

Chapitre 3. L'industrialisation : de la recherche au produit fini. 95

Jean-Pierre DAL PONT

3.1. Anatomie d'un procédé	96
3.2. Évaluation d'un procédé	97
3.3. Industrialisation d'un procédé	98
3.3.1. Les bases de l'industrialisation	98
3.3.2. L'ingénierie de réalisation	100
3.4. Notion de projet industriel	101
3.5. Organisation type d'un projet industriel	102
3.6. Les étapes d'un projet industriel vues par l'ingénierie – Les validations.	104
3.7. Les outils du management de projet en ingénierie – Activités connexes	107
3.7.1. Conceptualisation du procédé : le rendre visible.	107
3.7.2. Management de projet	108
3.7.3. Le <i>reporting</i> – <i>Executive summary</i>	108
3.7.4. Autres notions	108
3.8. Intensification des procédés (IP) – Miniaturisation	109
3.9. Couplage investissement/ventes – Construction modulaire.	110
3.10. Économie industrielle circulaire – Plateformes – Centralisation – Décentralisation	111
3.11. Opérations à l'étranger – Transfert de technologie	111
3.12. Conclusion	112
3.13. Encadrés	113
3.14. Bibliographie	124

Chapitre 4. Les opérations 127

Jean-Pierre DAL PONT

4.1. L'outil industriel vu par les flux et les <i>Enterprise Resource Plannings</i> (ERP)	128
4.2. La <i>supply chain</i>	129
4.3. La typologie des moyens de production : l'analyse VAT	130

4.4. L'anatomie d'une usine.	131
4.5. Les systèmes de management des opérations, la course à l'excellence	132
4.5.1. Bref historique du management des opérations industrielles	133
4.5.2. Le toyotisme	134
4.5.2.1. Le toyotisme en tant que système de management	135
4.5.2.2. L'homme au travail	135
4.5.2.3. Les outils managériaux	135
4.6. Le compte de résultat analytique (CRA) : mesure de la performance et outil de pilotage	136
4.6.1. Le prix de revient (PR).	136
4.6.1.1. Coûts proportionnels (CP)	136
4.6.1.2. Coûts non proportionnels (CNP).	136
4.6.2. Les marges	137
4.6.3. Le point mort : l'absorption des frais fixes	139
4.6.4. La spirale infernale des frais fixes	139
4.6.5. Commentaires sur les marges	140
4.7. L'usine : mesure de la performance et tableaux de bord	141
4.8. Le management du changement.	142
4.8.1. Les processus : intégrité et robustesse du système.	143
4.8.2. Aspects humains et climat de confiance.	143
4.8.3. Management du(des) savoir(s) (<i>knowledge management</i>) et cœurs de métier (<i>core competencies</i>).	144
4.8.4. Amélioration continue et recherche d'innovation	145
4.8.5. Recherche de percée technologique (<i>breakthrough</i>) et innovation.	145
4.8.6. Les opérations à l'étranger	146
4.8.7. Et demain ?	146
4.9. Bibliographie	147

**Chapitre 5. L'entreprise et l'usine du futur à l'ère
de la transition numérique 149**

Jean-Pierre DAL PONT

5.1. De révolution industrielle en révolution industrielle.	149
5.1.1. La première révolution industrielle (1712-1860) : la vapeur, source d'énergie.	150
5.1.2. La deuxième révolution industrielle (1860-1960) : de l'artisanat à l'entreprise industrielle	151
5.1.2.1. Des hommes, des robots, des machines.	151
5.1.2.2. La cybernétique (<i>cybernetics</i>)	153

5.1.2.3. Des calculateurs et des hommes	154
5.1.3. La troisième révolution industrielle (1960-1990) : l'essor de l'informatique industrielle	155
5.1.3.1. Les prémices	155
5.1.3.2. La période 1960-1990	155
5.1.4. La quatrième révolution industrielle (1990-aujourd'hui)	156
5.1.4.1. La connexion omniprésente	157
5.2. L'intelligence artificielle (IA) : apprentissage profond (<i>deep learning</i>) et apprentissage automatique (<i>machine learning</i>)	157
5.3. Mégadonnées (Big Data)	159
5.3.1. Caractérisation	161
5.4. Les outils et technologies numériques au service de l'entreprise industrielle	162
5.4.1. Produits, innovation, gestion	163
5.4.2. De nouveaux outils	164
5.4.3. Jumeaux numériques (<i>digital twins</i>)	166
5.4.4. L'ingénierie revisitée	166
5.4.5. Imprimante 3D (tridimensionnelle) ou fabrication additive	168
5.4.6. Robots, robotique, exosquelettes	169
5.4.7. Drones	170
5.4.8. Management des opérations	171
5.4.8.1. Outils de gestion	171
5.4.8.2. Mise en place de la transition numérique	171
5.5. Encadrés	172
5.6. Bibliographie	227

Chapitre 6. Et demain... 229

Jean-Pierre DAL PONT

6.1. Le début d'une épopée : business, sciences, techniques, la fuite en avant	230
6.2. Intelligence artificielle (IA) et filières économiques	231
6.2.1. Médecine et santé	231
6.2.2. Nexus eau-énergie-nourriture-climat	232
6.2.3. Réseau électrique intelligent (<i>Smart Grid</i>)	232
6.2.4. Intelligence artificielle et <i>Smart City</i>	233
6.3. Intelligence artificielle et consommateur	233
6.4. Intelligence artificielle, environnement et facteur humain	234
6.5. L'homme au cœur du dispositif, au cœur du système	234
6.5.1. Hommes et robots	235
6.6. Robustesse, résilience et fragilité des systèmes	236

6.7. GAFA : préoccupations, peurs, mythes, phantasmes	237
6.8. Les entreprises industrielles face au numérique	238
6.8.1. Cybercriminalité et ubérisation	238
6.8.2. <i>Software hybridation</i>	239
6.8.3. Après le fordisme et le toyotisme, le teslisme ?	240
6.8.4. Entreprise et gouvernance : les produits.	241
6.8.5. L'ingénieur de procédé, le management de projet	242
6.9. Vers une <i>Black Box Society</i> ?	242
6.10. Conclusion	243
6.11. Encadré	245
6.12. Bibliographie	255
Liste des encadrés	257
Liste des auteurs.	259
Index	261
Sommaire de <i>Les industries de procédés 1</i>.	269