

Table des matières

Préface de Jean-Luc Fugit	1
Préface d'Ignasi Palou-Rivera	5
Préface de Magali Smets	7
Remerciements Jean-Pierre DAL PONT	9
Introduction générale Jean-Pierre DAL PONT	13
Partie 1. Éco-Chimie pour des produits durables[®] : solutions pour une transition chimique	23
Introduction de la partie 1. Philippe GIRARDON et Valérie LUCAS	25

Chapitre 1. Notre habitat : la Terre	29
Philippe GIRARDON	
1.1. État des lieux	29
1.2. Changement climatique.	29
1.3. Les gaz à effet de serre	30
1.4. Limitation des ressources.	30
1.5. Consommation des matières premières (MP) (hors eau et énergie)	31
1.6. Les ressources en énergie	33
1.7. Les minéraux et matériaux stratégiques	34
1.8. L'eau, le bien le plus précieux, source d'enjeux stratégiques	36
1.9. Bibliographie.	37
Chapitre 2. Vers une approche holistique du cycle de la chimie	39
Ismahane REMONNAY	
2.1. Transparence, traçabilité, durabilité, nouvelle collaboration pour une chimie durable et responsable	40
2.2. Une nouvelle stratégie européenne pour accompagner l'ambition « zéro pollution » du pacte vert européen	41
2.3. De nouveaux concepts pour accompagner la création de produits durables : <i>safe and sustainable by design</i>	42
2.3.1. Vers une suppression progressive des substances nocives	42
2.3.2. Vers une approche d'une chimie de « confort » <i>versus</i> une chimie essentielle et durable : le concept d'usage essentiel ou non essentiel	44
2.4. Vers une meilleure connaissance des polluants nocifs, par l'acquisition de données scientifiques robustes	44
2.4.1. Polluants préoccupants : une liste en constante évolution et des critères de plus en plus précis.	44
2.4.2. Réaffirmation du concept <i>chemicals iceberg</i>	45
2.4.3. Y compris les mélanges et les effets cocktails	46
2.4.4. Une substance, une évaluation et l'approche <i>grouping</i>	46
2.4.5. Une feuille de route ambitieuse.	48
2.5. Le nouveau cadre au niveau international	51
2.6. Conclusion et perspectives	53
2.7. Bibliographie.	54

Chapitre 3. Comment piloter l'action ? Les fondamentaux : écoconception, analyse de cycle de vie et économie circulaire . . . 57

Guy-Noël SAUVION

3.1. Recenser les technologies existantes	58
3.2. Passer d'une économie linéaire à une économie circulaire	62
3.3. L'écoconception	69
3.3.1. Écoconception ou éco-innovation ?	73
3.3.2. Création de valeur environnementale	75
3.3.3. La durabilité au sens large.	76
3.4. L'analyse de cycle de vie.	77
3.4.1. Principe et généralités	78
3.4.2. Mise en œuvre dans l'industrie chimique	84
3.4.3. Points d'attention quant à la mise en œuvre de l'ACV	86
3.4.4. Utilisation des résultats de l'ACV	87
3.5. Les outils plus spécifiques à l'industrie chimique	89
3.6. Empreinte et contenu carbone des produits	94
3.6.1. Connexion avec le bilan GES de l'entreprise.	100
3.7. Conclusion	101
3.8. Bibliographie.	101

Chapitre 4. Gaz à effet de serre et changement climatique. 103

Quentin TIZON

4.1. Gaz à effet de serre ?	103
4.2. Quelle influence des gaz à effet de serre sur le climat ?	104
4.2.1. Effet de serre : aubaine ou problème ?	105
4.3. Mesure et évaluation des gaz à effet de serre	107
4.4. Le bilan carbone : principe et méthode.	108
4.5. Quel bilan carbone pour la chimie ?	110
4.6. Stratégie de transition sectorielle : l'exemple de l'ammoniac	111
4.6.1. Exemple de l'ammoniac	111
4.7. Bibliographie.	114

Chapitre 5. Produits écoconçus : problématiques et solutions. . . 115

Valérie LUCAS

5.1. La chimie du végétal : source de matières premières biosourcées.	115
5.1.1. La chimie du végétal	115
5.1.2. Synthons ou intermédiaires chimiques biosourcés.	116
5.1.3. Bioprocédés et biotechnologies.	118

5.1.4. Bioraffineries	118
5.1.5. Biocarburants	119
5.1.6. Bioproduits : biosolvants, biotensioactifs, biolubrifiants, bioplastifiants	119
5.1.7. Biopolymères et plastiques végétaux	119
5.2. Le biomimétisme	120
5.3. Impact santé environnement	121
5.4. Un exemple de cas d'usage : les peintures biosourcées	121
5.5. Bibliographie	123

Chapitre 6. Peintures et durabilité 125

Bernard CHAPUIS

6.1. Composants d'une peinture	126
6.2. Production d'une peinture	128
6.3. Hygiène industrielle	129
6.4. Normes et réglementations	129
6.5. Labellisation	131
6.6. Bibliographie	132

Chapitre 7. Quelques cas d'usage 133

Philippe GIRARDON

7.1. La mode et l'habillement	133
7.2. Les cosmétiques	134
7.3. Matériaux d'emballage : problématique du recyclage	135
7.4. Déchets : recyclage des plastiques et autres matériaux	135
7.5. Bibliographie	138

Chapitre 8. Emballages et traceurs pour l'industrie du futur 139

Claude LAMBERT

8.1. Pourquoi des emballages ? Protéger et assurer la traçabilité des produits	140
8.2. Pourquoi tracer les emballages ?	140
8.3. Principe et définitions : procédure de marquage/traçage	141
8.4. Stratégie et sélection, écoconception	142
8.4.1. Le marquage de surface	142
8.4.2. Le marquage dans la masse	143
8.4.3. Compatibilité de différents marquages simultanés	143

8.5. Applications	143
8.5.1. Les plastiques	143
8.5.2. Emballages	144
8.5.3. Recyclage : nouveaux matériaux	144
8.6. Traceurs et imprimantes 3D	144
8.7. Santé : innocuité. Contact alimentaire	145
8.8. Traceurs et société	145
8.9. Bibliographie	146

Conclusion de la partie 1. Entre contradictions, défis et opportunités	147
Jean-Pierre DAL PONT	

Partie 2. Toxicologie et écotoxicologie : contribution à la conception de nouvelles substances chimiques	151
---	------------

Introduction de la partie 2. Objectif du guide technique	153
Alain LOMBARD	

Chapitre 9. Méthodologie au stade recherche de nouvelles molécules, substances et ingrédients	155
Alain LOMBARD, Philippe LEMAIRE, Jacques L'HARIDON, Michel ROYER et Paule VASSEUR	

9.1. Démarche de définition de la structure chimique cible	158
9.1.1. Définition des alertes fondées sur les dangers potentiels : utilisation de modèles <i>in silico</i>	158
9.1.2. Détection d'un potentiel CMR (cancérogène, mutagène, reprotoxique) par des méthodes <i>in silico</i>	159
9.2. Propriétés physico-chimiques des substances	161
9.3. Stratégie de modélisation et acceptabilité des niveaux d'alerte santé, environnement, sécurité	166
9.4. Propriétés de persistance et de bioaccumulation (P-B)	168
9.4.1. Persistance (P)	169
9.4.2. Bioaccumulation (B)	170
9.5. Écotoxicologie, toxicité environnementale	171
9.5.1. Tests rapides de <i>screening</i> en écotoxicologie	171
9.5.2. Tests de <i>screening</i> d'un potentiel PE sur le plan écotoxicologique	173

9.6. Toxicologie humaine	174
9.6.1. Stratégie des tests de tolérance locale sur cultures cellulaires . . .	174
9.6.2. Études de toxicité systémique aiguë et de toxicité systémique subchronique et chronique	176
9.6.3. Identification des propriétés CMR : cancérogène, mutagène et reprotoxique	177
9.6.4. Détection des propriétés de perturbation endocrinienne (PE) . . .	181
9.7. Conclusion du guide technique	183
9.7.1. Élaboration d'un tableau de synthèse	183
9.7.2. Mode d'emploi du tableau de synthèse	184
9.7.3. Utilisation pratique du guide	184
9.8. Bibliographie.	185

Chapitre 10. Explications détaillées des tests : aide à la décision pour l'évaluation des dangers de nouvelles substances 191

Alain LOMBARD, Philippe LEMAIRE, Jacques L'HARIDON et Paule VASSEUR

10.1. Utilisation de modèles : tests <i>in silico</i>	192
10.1.1. Relation Quantitative Structure Activity/Quantitative Structure Activity Relationships (QSAR)	192
10.1.2. Analyse de tendances, lecture croisée <i>read-across</i>	192
10.1.3. Modèles dose-réponse	193
10.1.4. Modèles basés sur des règles établies (<i>rule-based models</i>)	193
10.1.5. Le modèle Toolbox de l'OCDE.	194
10.2. Écotoxicologie	196
10.2.1. Définitions	196
10.2.2. Évaluation de l'impact en écotoxicologie	197
10.2.3. Tests d'écotoxicité	199
10.3. Toxicologie	202
10.3.1. Corrosion oculaire.	203
10.3.2. Irritation cutanée.	203
10.3.3. Irritation oculaire	204
10.3.4. Sensibilisation cutanée	205
10.4. Évaluation d'un potentiel toxique	207
10.4.1. Études de cytotoxicité	207
10.4.2. Logiciels pour la conception de molécules chimiques de l'Institut suisse de bioinformatique (SIB).	207
10.5. Modèles basés sur les facteurs d'incertitude (<i>UF models</i>).	208

10.6. Tests rapides pour la détection du pouvoir mutagène	209
10.6.1. Première possibilité : réalisation de deux tests miniaturisés réglementaires en microméthodes	209
10.6.2. Deuxième possibilité : méthode à haut débit sur des biomarqueurs.	213
10.6.3. Stratégie de tests <i>Add and Read</i>	215
10.7. Détection du potentiel cancérigène <i>in vitro</i>	218
10.7.1. Test sur organoïdes humains.	219
10.8. Tests pour déterminer le potentiel reprotoxique des substances	220
10.8.1. Toxicité sur la reproduction	220
10.8.2. Toxicité pour le développement embryonnaire.	221
10.9. Détection des perturbateurs endocriniens <i>in silico</i> et <i>in vitro</i>	226
10.9.1. Les perturbateurs endocriniens : présentation générale	226
10.9.2. Les récepteurs nucléaires, membranaires et le cytochrome P450	227
10.9.3. Détection d'un potentiel PE, tests <i>in silico</i>	232
10.9.4. Détection d'un potentiel PE, tests <i>in vitro</i>	233
10.9.5. Test de détection d'effets non médiés par des récepteurs nucléaires	236
10.9.6. Méthodes <i>in vitro</i> cellulaires, lignées bioluminescentes	237
10.9.7. Tests <i>in vitro</i> en cours de développement	237
10.10. Liste des sigles	238
10.11. Composition du groupe de travail	240
10.12. Bibliographie	241

Chapitre 11. Interventions des experts invités 249

Alain LOMBARD, Stéphane PIRNAY, Patrick BALAGUER et Philippe HUBERT

11.1. L'expert toxicologue... Expert au service de la sécurité de tous !	249
11.2. Étude des interactions entre des composés environnementaux et les récepteurs nucléaires	253
11.2.1. Action des PE sur les hormones.	254
11.2.2. Les récepteurs nucléaires.	255
11.2.3. Méthodes de détection des récepteurs nucléaires.	257
11.2.4. Exemples	258
11.2.5. La méthode de gène rapporteur MELN (<i>luciferase-transfected human breast cancer cell line gene-reporter assay</i>)	259
11.2.6. Automatisation de la méthode à la luciférase	260
11.2.7. Interactions des composés environnementaux	262
11.2.8. En conclusion	264

11.3. Pepper, accélérateur de la lutte contre les perturbateurs endocriniens	265
11.3.1. Pepper : accélérer la lutte contre les perturbateurs endocriniens grâce à la validation	266
11.3.2. Les perturbateurs endocriniens	268
11.3.3. Le besoin de sortir de l’univers du doute	271
11.3.4. Les travaux de Pepper et sa gouvernance	274
11.3.5. Le futur de Pepper en Europe : acquis et défis	280

Partie 3. Industrialisation des produits 283

Introduction de la partie 3. 285

Jean-Pierre DAL PONT

Chapitre 12. L’entreprise et son outil industriel 287

Michel ROYER et Patrick DUCOURET

12.1. Les pères fondateurs	288
12.2. Les 4 piliers de l’entreprise.	290
12.3. Anatomie d’une entreprise : les fonctions	290
12.4. L’outil industriel	291
12.4.1. Anatomie d’une usine : ses fonctions	292
12.4.2. Typologie des moyens de production : l’analyse VAT	293
12.4.3. Entreprise et outil industriel vus par les flux	293
12.5. Stratégie industrielle de l’entreprise.	294
12.6. Bibliographie	299

Chapitre 13. De la recherche à l’usine : le processus d’industrialisation 301

Jean-Pierre DAL PONT

13.1. Notions de base.	301
13.2. Organisation d’un projet, du laboratoire à la réalisation.	303
13.3. Organisation d’un projet en phase de réalisation	304
13.4. Le management de projet	305
13.5. Écueils et embûches du management de projet	305
13.6. Bibliographie	306

Chapitre 14. Travailler par projet	307
Jean-Pierre DAL PONT, Patrick DUCOURET et Michel ROYER	
14.1. L'industrialisation : des étapes pour l'ingénieur de procédés	307
14.2. La simulation et la modélisation à l'heure de l'intelligence artificielle (IA)	309
14.3. L'ingénierie de projet (<i>project engineering</i>)	312
14.3.1. Une succession d'étapes	312
14.3.2. L'ingénierie de projet : notions de base et sociétés d'ingénierie.	314
14.4. Le dossier de demande de crédits : dossier d'investissement	317
14.5. Bibliographie	318
Chapitre 15. Comprendre les marges	319
Jean-Pierre DAL PONT	
15.1. Notions de prix de revient	319
15.2. Le compte de résultat analytique (CRA) comme outil décisionnel, limité à la marge brute	321
15.2.1. Chiffre d'affaires	321
15.2.2. La marge de contribution.	321
15.2.3. La marge brute	322
15.2.4. Les amortissements	323
15.3. Les autres marges	324
15.3.1. L'atelier	325
15.3.2. Flux de trésorerie	326
15.4. Quelques aphorismes	327
15.5. Bibliographie	327
Chapitre 16. Management de la technologie	329
Jean-Pierre DAL PONT et Patrick DUCOURET	
16.1. Nature et importance de la technologie.	329
16.2. Technologie, savoir-faire et management des connaissances (<i>knowledge management</i>)	331
16.3. Entreprise et écosystème, technologie et entreprise industrielle	333
16.4. Analyse stratégique et cadre du progrès	334
16.5. Amélioration de l'existant et amélioration incrémentale	335

16.6. Recherche de percée technologique (<i>breakthrough</i>)	337
16.7. Sérendipité et innovation : les freins au changement, la fonction recherche et développement (innovation)	338
16.8. Maturité de la technologie	339
16.9. Méthodes japonaises.	340
16.10. La propriété intellectuelle	341
16.11. Bibliographie	342

Chapitre 17. Choix des sites industriels 343

Jean-Pierre DAL PONT

17.1. Construire « nouveau » sur site nouveau	344
17.1.1. Site.	344
17.1.2. Ressources	344
17.1.3. Réglementations	345
17.1.4. Aspects financiers	345
17.2. Construire « nouveau » sur un site existant	345
17.2.1. Les aspects gouvernance	345
17.2.2. Disponibilité des ressources et coûts	346
17.3. Relation usine existante/atelier nouveau	347
17.3.1. Aspects culturels : comparaison de deux modes de fonctionnement industriel	347
17.4. Construire à l'étranger.	348
17.5. Bibliographie	349

Chapitre 18. L'usine du futur : nouveau paradigme 351

Jean-Pierre DAL PONT, Patrick DUCOURET et Michel ROYER

18.1. Révolution numérique et outils numériques	354
18.1.1. Internet des objets (<i>Internet of Things</i> , IoT), <i>Industrial Internet of Things</i> (IIoT)	355
18.1.2. Jumeau numérique (<i>digital twin</i>)	355
18.1.3. Imprimante 3D et fabrication additive (FA).	356
18.1.4. L'opérateur augmenté.	357
18.1.5. Assistance cognitive, réalité augmentée et réalité virtuelle.	358
18.1.6. Assistance physique : des robots et des hommes.	358
18.1.7. Interface homme/machine, interaction homme/machine (IHM) à l'heure du numérique	360
18.1.8. Pilotage informatique entreprise et pilotage informatique usine	361

18.2. Le procédé au cœur du processus d'industrialisation.	363
18.2.1. Recherche d'efficacité et intensification des procédés	363
18.2.2. L'optimisation CAPEX-OPEX	365
18.2.3. Démarche durabilité.	365
18.3. Les fondamentaux	366
18.3.1. Maîtrise des opérations	366
18.3.2. L'usine transparente, une usine tournée vers le client	367
18.3.3. La recherche de la résilience, de la robustesse et de la sûreté de fonctionnement	367
18.3.4. Vers l'usine et l'entreprise du futur.	370
18.4. Bibliographie	372

Chapitre 19. L'intelligence générative : une révolution à nos portes 375

Willi MEIER

19.1. Relever les défis et saisir les opportunités : un aperçu de l'industrie chimique mondiale en 2024	376
19.2. Transformer l'industrie chimique mondiale : le rôle de l'IA et de ChatGPT en 2024	378
19.3. Optimisation des conditions de réaction pour une synthèse chimique.	380
19.4. Chaîne d'approvisionnement et opérations	382
19.5. Scénario : conformité avec les règlements REACH	384
19.6. Scénario : détection et intervention en cas de fuite de gaz toxique	386
19.7. Scénario : développement d'un plastique biodégradable pour les emballages alimentaires	390
19.8. Application de ChatGPT à un problème de séparation liquide/liquide	392
19.9. Bibliographie	394

Conclusion de la partie 3 395

Jean-Pierre DAL PONT

Glossaire. Pour en savoir plus 399

Conclusion générale. Quelles perspectives pour demain ?	403
Jean-Pierre DAL PONT, Philippe LEMAIRE, Alain LOMBARD et Valérie LUCAS	
Liste des auteurs	417
Index	419