



Déchets et économie circulaire

Conditions d'intégration pour
une valorisation en filières industrielles



MARIE-AMÉLIE **MARCOUX**
FRANCK **OLIVIER**
FRANÇOIS **THÉRY**



Déchets et économie circulaire

Conditions d'intégration
pour une valorisation en filières industrielles

L*avoisier*
TEC & DOC

editions.lavoisier.fr

Chez le même éditeur

Sous la direction de l'association RECORD

Les polluants et les techniques d'épuration des fumées – Cas des unités de traitement et de valorisation des déchets

S. Biccocchi, M. Boulinguez, K. Diard, 2^e édition, 2009

Les techniques de dépoussiérage des fumées industrielles – État de l'art

S. Biccocchi, 2002

Évaluation du risque écologique des sols pollués

J.-L. Rivière, 1998

Récupération des métaux lourds dans les déchets et boues issues des traitements des effluents – État de l'art

P. Duverneuil, B. Fenouillet, C. Chaffot, 1997

Traitements thermiques des déchets industriels – État de l'art

G. Antonini, P. Gislais, 1995

Également disponibles

Droit de l'environnement – Comprendre et appliquer la réglementation

P. Malingrey, 6^e édition, 2016

La méthanisation

R. Moletta, 3^e édition, 2015

Le traitement des déchets

R. Moletta, 2009

Direction éditoriale : Fabienne Roulleaux

Édition : Mélanie Kucharczyk

Conception couverture : Nord Compo

Fabrication : Estelle Perez

Composition : Desk (53)

Photos de couverture (de gauche à droite) : © M. Schuppich – Fotolia.com,

© Kara – Fotolia.com, © pixabay, © Pixinoo – Fotolia.com,

© Eric Simard – Fotolia.com, © Simon Coste – Fotolia.com

PRÉFACE

L'idée d'une « économie circulaire » a connu un succès grandissant ces dernières années. L'expression, facile à comprendre intuitivement, comporte une forte charge symbolique positive : l'image du cercle évoque la perfection, l'équilibre – et surtout l'éternel recommencement.

La métaphore circulaire appliquée à l'économie doit aussi sans doute sa popularité au fait qu'elle incarne un avatar récent d'un rêve immémorial de l'humanité : le mouvement perpétuel. Grâce au recyclage « infini » des matériaux, le spectre de l'épuisement des ressources semble conjuré. Il n'en est rien, naturellement, car les lois de la physique restent ce qu'elles sont, et notamment la seconde loi de la thermodynamique, exprimant le principe de l'entropie.

L'expression « économie circulaire » reste donc problématique d'un point de vue conceptuel : il serait plus exact de parler d'économie quasi-cyclique (selon le langage plus scientifique de l'écologie industrielle), mais cette formulation, moins attractive, tend à rester confinée dans des cercles restreints. L'image d'une économie circulaire semble ainsi destinée à un bel avenir, au risque de susciter quelques attentes excessives et de faux espoirs.

Il n'en reste pas moins que l'utilisation des ressources matérielles et énergétiques dans le système industriel actuel recèle un potentiel d'optimisation considérable, et la quasi-cyclicité constitue certainement l'une des stratégies pour y contribuer. Toutefois, la mise en œuvre concrète de l'économie circulaire, dans des conditions économiques réelles et sous contraintes réglementaires croissantes, s'avère complexe et laborieuse.

Au-delà de la rhétorique circulaire à la mode, le grand mérite du présent ouvrage est d'analyser, de manière précise et approfondie, des situations concrètes, en se focalisant sur la valorisation des déchets dans huit filières industrielles. La prévention des déchets reste naturellement une priorité, mais elle a ses limites, de sorte que la gestion des résidus demeure un enjeu crucial.

L'économie circulaire permet ainsi d'explorer de nouvelles pistes pour mettre en œuvre une valorisation systématique des flux de déchets dans différentes filières industrielles. Le présent ouvrage fait œuvre utile en explorant de telles pistes, et cette démarche mériterait certainement d'être poursuivie et élargie à d'autres filières, afin de contribuer à la concrétisation progressive d'une économie circulaire (ou quasi-cyclique) durable.

Suren Erkman

Professeur d'écologie industrielle,
Faculté des géosciences et de l'environnement,
Université de Lausanne

RECORD

RECORD est un réseau coopératif centré sur les grands enjeux environnementaux et sanitaires. Il est acteur de la recherche appliquée dans le domaine de la gestion des produits en fin de vie, des déchets et des sols pollués. Comme le montre le présent ouvrage, le réseau positionne ses travaux dans une perspective d'économie circulaire en tissant des liens entre les domaines mentionnés ci-dessus et l'utilisation efficace des ressources, notamment des ressources secondaires.

Créée à l'initiative du ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD est depuis 1990 le lieu d'une **triple coopération** entre **industriels**, **institutionnels** et **chercheurs**, l'objectif principal de RECORD étant la réalisation et le financement d'études et de recherches dans les domaines précités.

Les membres du réseau – groupes industriels et institutionnels – définissent collectivement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Depuis sa création, le réseau a ainsi investi 9,5 M€ dans la recherche, à travers plus de 200 projets réalisés avec quelque 80 partenaires – instituts, universités, laboratoires et bureaux d'études – pour l'équivalent d'un peu plus de 3 000 mois d'études.

Les projets pilotés par RECORD ont donné lieu à la publication de 60 états de l'art, 20 thèses et 6 ouvrages de référence chez Lavoisier Tec & Doc. Outre les programmes réalisés, cette coopération fait de RECORD un lieu privilégié d'échanges ainsi qu'un outil de veille technologique et scientifique.

Les thèmes abordés par RECORD s'articulent autour de quatre axes principaux :

- connaissance et caractérisation – méthodes et outils ;
- développement des filières de valorisation et de traitement ;
- évaluation des impacts et des risques sanitaires et environnementaux ;
- évaluation des dimensions économiques et sociales.

Au terme de la réalisation des études engagées, certaines d'entre elles peuvent faire l'objet d'ouvrages permettant une plus large diffusion des connaissances scientifiques et techniques acquises. Nous souhaitons ainsi participer à une démarche collective de progrès relative au devenir des produits en fin de vie et des déchets et ainsi promouvoir les solutions les mieux adaptées permettant la mise en œuvre de projets industriels innovants.

Les travaux réalisés par RECORD reçoivent le soutien financier de l'ADEME.

Les membres de RECORD :

ADEME, EDF, ENGIE, Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, RENAULT, SARPI VEOLIA, SCORE LCA, SNCF, SOCOTEC, SOLVAY, SUEZ, TIRU, TOTAL, TRÉDI

En savoir plus : www.record-net.org



LES CO-AUTEURS

Cet ouvrage résulte d'une démarche collective initiée par RECORD et ses membres. Au lancement de ce projet, partant de son expérience de gestion des déchets au sein d'EDF, François Théry a impulsé l'idée selon laquelle mieux connaître les spécifications en entrée de filières industrielles permettrait d'identifier de nouvelles possibilités de valorisation des déchets dans une optique d'économie circulaire. Alors président de l'association RECORD, il a souhaité promouvoir cette idée en engageant le projet du présent ouvrage au sein de l'association. Marie-Amélie Marcoux et Franck Olivier, du bureau d'études ECOGEOS, ont alors été missionnés pour codiriger la rédaction de cet ouvrage et coordonner les enquêtes nécessaires. En soutien aux trois co-auteurs de l'ouvrage, Perrine Vincent a participé au travail de coordination et de préparation du manuscrit.

ECOGEOS

ECOGEOS est un bureau d'études ayant vocation à fournir assistance scientifique et technique et conseils dans le domaine de l'ingénierie environnementale. Ses activités portent plus particulièrement sur la caractérisation des déchets, l'optimisation et la sécurisation des installations de traitement – valorisation de déchets, le développement de méthodes et procédés ainsi que la réalisation d'enquêtes, états de l'art et évaluations. ECOGEOS consacre 30 % de ses activités à des travaux de R&D, dans une démarche de mise en synergie des acteurs institutionnels, académiques et industriels autour des problématiques de traitement et valorisation de déchets et de gestion durable des ressources naturelles.

www.ecogeos.fr

Ce travail collectif rassemble les contributions d'auteurs d'horizons variés. Les ingénieures d'ECOGEOS Perrine Vincent et Elsa Dufresne ont respectivement corédigé la première partie et le chapitre sur la valorisation des déchets plastiques. Des industriels se sont investis pour faire valoir l'intégration des déchets en tant que ressources dans les filières industrielles relevant de leurs spécialités : Fabrice Abraham (Renault) et Frédéric Viot (Plastic Omnium) concernant les plastiques, Louis de Reboul (Veolia) pour le bois et enfin Coryse Coudray (EDF) pour les techniques routières et la valorisation des déchets en cimenteries. Les enseignants-chercheurs Pierre Buffière et Patrick Germain du laboratoire LGCIE-DEEP à l'INSA de Lyon ont pour leur part mobilisé leur expertise relative à la méthanisation des déchets.

Tableau I. Les co-auteurs des chapitres.

Chapitres	Auteurs	Entité
Introduction	François Théry	EDF ; RECORD
Partie 1 : Une démarche pour intégrer les déchets dans les filières industrielles		
1	Évolution de la politique des déchets vers une économie circulaire	Perrine Vincent Marie-Amélie Marcoux Ecogeos Ecogeos
2	Éligibilité des déchets aux critères permettant leur valorisation en filières industrielles	Marie-Amélie Marcoux Perrine Vincent Ecogeos Ecogeos
Partie 2 : Analyse des conditions d'intégration de déchets pour huit filières industrielles		
3	Fabrication de verre à partir de matière première recyclée	Marie-Amélie Marcoux Ecogeos
4	Fabrication de plastique à partir de matière première recyclée	Elsa Dufresne Fabrice Abraham Frédéric Viot Ecogeos Renault Plastic Omnium
5	Utilisation de co-produits et déchets de bois dans l'industrie du bois	Franck Olivier Louis de Reboul Ecogeos Veolia
6	Régénération des solvants	Marie-Amélie Marcoux Ecogeos
7	Utilisation de matériaux de substitution en technique routière	Franck Olivier Coryse Coudray Ecogeos EDF
8	Utilisation de matières premières et de combustibles de substitution en cimenterie	Franck Olivier Coryse Coudray Ecogeos EDF
9	Méthanisation de déchets organiques	Marie-Amélie Marcoux Pierre Buffière Patrick Germain Ecogeos INSA de Lyon INSA de Lyon

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage est le fruit d'une coopération entre plusieurs personnes qui ont contribué à sa réalisation et que nous tenons à remercier.

Nous remercions tout d'abord chaleureusement la direction de RECORD en la personne de Bénédicte Couffignal, ainsi que le directoire scientifique représenté par Patrick Germain et Rémy Bayard, avec lesquels nous avons eu des échanges fréquents et riches d'enseignements.

Par ailleurs, nous remercions les membres du comité de pilotage du projet RECORD « Caractérisation des déchets en vue de leur valorisation », qui ont activement participé à la construction et à l'enrichissement de cet ouvrage par leurs nombreux apports, en termes de documentation mais aussi en termes de réflexions et de contacts. Nous tenons ainsi à remercier pour leur investissement : Fabrice Abraham (Renault), Lauro Cimolino (SOCOTEC France), Rafaëlle Desplats (ADEME), Nadia Djemel (Total), Sylvain Durécu (Trédi), Céline Gemise-Fareau (Sarpì Veolia), Guillaume Louchez (Suez), Aurélie Martin (SNCF), Hervé Romano (EDF).

La seconde partie de cet ouvrage reposant pour beaucoup sur des retours d'expérience, nous souhaitons remercier tous les experts qui ont pris le temps de répondre à nos questions et ont fortement contribué, par leur partage d'informations, à la production de cet ouvrage. Nous remercions tout particulièrement : Baptiste Anger (EDF), Marie April (ADEME), Guillaume Bastide (ADEME), Jean-François Blot (ADEME), Breffni Bolze (Vicat), Robert Bonnefoy (Valorplast), Pierre Casabonnet (Veolia), Yvan Cellier (Speichim), Laurent Chateau (ADEME), Pierre Clottes (Grand Lyon), Fabrice Copin (ATILH), Jean-Jacques Couchoud (Consultant pour PlasticsEurope), Cécile Des Abbayes (Eco-mobilier), Laurent Eisenlohr (CEREMA), Laurent Fouquet (Suez), Olivier François (Galoo Plastics), Laurent Gallien (Serep Sarpì Veolia), Olivier Greze (Suez), Jean-Pierre Harry (Suez Terralys), Olivier Hugon-Nicolas (UIPP), Paul Huguen (Lille Métropole), Michel Jonas (SPR ; Syres), Agnès Jullien (IFSTTAR), André Kunégel (ADEME), Olivier de Lagausie (SIEL), Sandra Le Bastard (ADEME), Marc Madec (Fédération de la Plasturgie et des composites), Marie-Claire Magnié (Suez), Skander Mani (Pôle Européen de la Plasturgie), Florence de Mengin Fondragon (Valdelia), Olivier Merindol (Lafarge), René Moletta (Moletta Méthanisation), Jérôme Piejak (Pôle Européen de la Plasturgie), Bertrand Reygnier (EcoLogic), Laurent Rouvreau (BRGM), Matthias Staub (Veolia – TVF Waste solutions) et Jean-Marie Tanguy (SYPAL).

Au sein d'Ecogeos, nous remercions également Guillaume Perrin pour son travail de mise à jour de la base de données référençant les textes relatifs à la caractérisation des déchets en vue de leur valorisation, ainsi que Marta Matias pour sa participation à la préparation du manuscrit.

BASE DE DONNÉES CARAVADE

En parallèle de cet ouvrage, RECORD a réalisé un état des lieux des méthodes et procédures de caractérisation liées à la valorisation des déchets. Ceci a conduit à constituer une base de données, regroupant les références de l'ensemble des textes présentant les procédures de caractérisation des déchets en vue de leur valorisation :

www.record-net.org/caravade/

Cette base de données, établie en novembre 2015, recense au niveau national :

- les **textes réglementaires** régissant le traitement des déchets et leur caractérisation ;
- les **normes** concernant leur échantillonnage et leur caractérisation ;
- les **principaux guides** recommandant des procédures de caractérisation des déchets en vue de leur valorisation/élimination ou décrivant les typologies de déchets acceptables par filière.

Les informations répertoriées dans la base de données incluent les paramètres à caractériser en entrée de filière, les valeurs seuils et les procédures d'échantillonnage et de caractérisation existantes.

Cette base de données permet d'identifier ces informations par type de déchet, par filière de traitement ou encore par type de caractérisation.

CARAVADE complète ainsi cet ouvrage : les références utiles à la démarche d'intégration de déchets dans les différentes filières industrielles présentées dans la seconde partie de ce livre sont notamment disponibles au sein de la base de données.

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ABS	Acrylonitrile butadiène styrène
ACA	Arséniate de cuivre ammoniacal
ACC	Acide aminocyclopropane carboxylique
ACV	Analyse du cycle de vie
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AE	Agrégats d'enrobés
AEP	Alimentation en eau potable
AFOCO	Association française des opérateurs sur coproduit
AGV	Acides gras volatils
AM	Arrêté ministériel
ANC	<i>Acid neutralisation capacity</i> (capacité de neutralisation des acides)
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOX	<i>Adsorbable organic halogen</i> (halogène organique adsorbable)
AP	Arrêté préfectoral
AR	Arase terrassement
ARF	Association des régions de France
ATEE	Association technique énergie environnement
ATILH	Association technique de l'industrie des liants hydrauliques
B[a]P	Benzo-a-Pyrène
BDE	Bromodiphénylethers
BMC	<i>Bulk molding compound</i>
BMP	<i>Biochemical methane potential</i> ou potentiel biométhanogène (PBM)
Br	Brome
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
BTEX	Benzènes, toluènes, éthylbenzènes et xylènes
BTP	Bâtiment et travaux publics
CAP	Certificat d'acceptation préalable
CARB	<i>California air resources board</i>
CCA	Cuivre chrome arsenic
CCB	Cuivre chrome bore
CCTG	Cahier des clauses techniques générales
CDD	Combustible dérivé de déchets
CE	Conformité européenne
CED	Catalogue européen des déchets
CEE	Communauté économique européenne
CEN	Centre européen de normalisation

- CEREMA Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
- CERTU Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (désormais intégré au CEREMA)
- CETE Centre d'études techniques de l'équipement (désormais intégré au CEREMA)
- CETMEF Centre d'études techniques, maritimes et fluviales (désormais intégré au CEREMA)
- CFC Chlorofluocarbure
- CFTR Centre français des techniques routières
- CIT Carbone inorganique total
- CLP *Classification, labelling, packaging* (classification et étiquetage des produits)
- CLS Combustible liquide de substitution
- CMR Cancérogène, mutagène, toxique pour la reproduction
- CMS Combustibles et matériaux de substitution
- CODERST Conseil de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques
- COT Carbone organique total
- COV Composés organiques volatils
- CPG Chromatographie en phase gazeuse
- CPG/SM Couplage de la chromatographie en phase gazeuse à la spectrométrie de masse
- CPN Coupe pétrolière naphta
- CS Collectes sélectives
- CSHPF Conseil supérieur d'hygiène publique de France
- CSR Combustible solide de récupération
- CSS Combustible solide de substitution
- CTBA Centre technique du bois et de l'ameublement
- CTO Composés traces organiques
- CTP Centre technique du papier
- DAE Déchets d'activités économiques
- DASRI Déchets d'activités de soins à risques infectieux
- DBO Demande biologique en oxygène
- DCO Demande chimique en oxygène
- DD Déchets dangereux
- DDA Déchets diffus amiantés
- DDS Déchets diffus spécifiques
- DDT Dichlorodiphényltrichloroéthane
- DEA Déchets d'éléments d'ameublement
- DEEE Déchets d'équipements électriques et électroniques (ou D3E)

DEIC	Déchets d'emballages industriels et commerciaux
Dh	Coefficient de Deval
DIB	Déchets industriels banals
DIS	Déchets industriels spéciaux
DMA	Déchets ménagers et assimilés
DND	Déchets non dangereux
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DSB	Déchets solides broyés
DTQD	Déchets toxiques en quantités dispersées
EEE	Équipements électriques et électroniques
Eh	Potentiel d'oxydoréduction
EPF	European Panel Federation
ERDF	Électricité Réseau Distribution France
ESB	École supérieure du bois
ETM	Éléments traces métalliques
ETS	<i>Emissions trading system</i> (système d'échange de quotas d'émissions)
EVA	Ethylène-acétate de vinyle
FAM	<i>Friable asbestos material</i>
FBF	France Bois Forêt
FCBA	Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement
FEDEREC	Fédération des entreprises du recyclage
FFDU	Fabrication, formulation, distribution et utilisation
FFOM	Fraction fermentescible des ordures ménagères
FIP	Fiche d'identification préalable
FNB	Fédération nationale du bois
FNTP	Fédération nationale des travaux publics
FS	Friabilité des sables
FTP	Fiche technique produit
GIE	Groupement d'intérêt économique
GNT	Grave non traitée
GNV	Gaz naturel véhicule
GR	Grave recyclage
GT	Grave traitée
GTR	Guide des terrassements routiers
GTS	Guide des traitements des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HCFC	Hydrochlorofluorocarbure
HCT	Hydrocarbures totaux

HFC	Hydrofluorocarbure
Hg	Mercuré
HLR	Huile légère revalorisée
IAA	Industrie agroalimentaire
Ic	Indice de consistance
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
IDRRIM	Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité
IEC	Institut de l'économie circulaire
IFSTTAR	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
IME	Installation de maturation et d'élaboration
INRETS	Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (désormais intégré à l'IFSTTAR)
Ip	Indice de plasticité
IPA	Isopropanol ou alcool isopropylique
IPI	Indice portant immédiat
IPTS	Institute for Prospective Technological Studies
ISDD	Installation de stockage de déchets dangereux
ISDI	Installation de stockage de déchets inertes
ISDND	Installation de stockage de déchets non dangereux
JO	Journal officiel
JRC	Joint Research Center
KSP	<i>Ceramic, stones, porcelain</i> (céramiques, pierres, porcelaines)
LA	Essai de Los Angeles
LAC	Laitier d'aciérie de conversion
LAFE	Laitier d'aciérie de four électrique
LCPC	Laboratoire central des Ponts et Chaussées (désormais intégré à l'IFSTTAR)
LERMAB	Laboratoire d'études et de recherche sur le matériau bois
LFC	Liquide fluide circulant
LH	Liant hydraulique
LHF	Laitier de haut-fourneau
LHR	Liant hydraulique routier
LIPS ou LIBS	Spectroscopie de plasma induite par laser
LT ECV	Loi de transition énergétique pour la croissance verte
MAFOR	Matières fertilisantes d'origine résiduaire
MDE	Micro-Deval en présence d'eau
MDF	<i>Medium density fiberboard</i> (panneau de fibres à densité moyenne)
MEEDE	Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2007-2016)

MEEM	Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (2016)
MEK	Méthyléthylcétone
META	Microscopie électronique à transmission analytique
MFI	<i>Melt flow index</i> (indice de fluidité à chaud)
MFSC	Matières fertilisantes et supports de culture
MIBK	Méthylisobutylcétone
MIDND	Mâchefer d'incinération de déchets non dangereux (précédemment appelés MIOM)
MIOM	Mâchefer d'incinération des ordures ménagères
ML	Métaux lourds
MO	Matière organique
MOCP	Microscopie optique à contraste de phase
MODECOM®	Méthode de caractérisation des ordures ménagères
MONS	Matière organique non synthétique
MPS	Matière première de substitution
MS	Matière sèche
Mtep	Millions de tonnes équivalent pétrole
MTLH	Matériau traité au liant hydraulique
MV	Matière volatile
NF	Norme française
NH ₄ ⁺	Ion ammonium
NTK	Azote total Kjeldahl
OCDE	Organisation for Economic Cooperation and Development
OFEV	Office fédéral de l'environnement suisse
OFRIR	Observatoire français des ressources pour les infrastructures
OM	Ordures ménagères
OMR	Ordures ménagères résiduelles
OPN	Optimum proctor normal
OSB	<i>Oriented strand board</i> (panneau de grandes particules orientées)
PA	Polyamide
PAP	Porte à porte
PAQ	Plan d'assurance qualité
PBB	Polybromobiphényles
PBDE	Polybromodiphényléthers
PBT	Polybutylène téréphtalate
PC	Polycarbonate
PCB	Polychlorobiphényle
PCDD	Polychlorodibenzodioxine
PCDF	Polychlorodibenzofurane
PCI	Pouvoir calorifique inférieur
PCP	Pentachlorophénol

PCS	Pouvoir calorifique supérieur
PCT	Polychloroterphényle
PEbd	Polyéthylène basse densité
PEhd	Polyéthylène haute densité
PET	Polyéthylène téréphtalate
PF	Plateforme support de chaussée
pH	Potentiel hydrogène
PLA	Polylactide (acide polylactide)
PMMA	Polyméthylméthacrylate
POP	Polluants organiques persistants
PP	Panneaux de particules (bruts) (Chapitre 5)
PP	Polypropylène (Chapitre 4)
PPGDD	Plan de prévention et de gestion des déchets dangereux
PPGDND	Plan de prévention et de gestion des déchets non dangereux
PPR	Périmètre de protection rapprochée
PPSM	Panneaux de particules surfacés mélaminés
PS	Polystyrène
PSE	Polystyrène expansé
PS-HI (HIPS)	<i>High-impact polystyrene</i> (polystyrène « choc »)
PST	Partie supérieure des terrassements
PTFE	Polytétrafluoroéthylène
PTM	Prescriptions techniques minimales
PTM Q1 et PTM Q2	Prescriptions techniques minimales de qualité 1 et de qualité 2, pour le verre d'emballage
PU	Polyuréthane
PUNR	Pneu usagé non réutilisable
PVB	Polyvinyle butyral
PVC	Polychlorure de vinyle
RBA	Résidu de broyage automobile
RDF	<i>Refuse derived fuels</i> (combustible solide de récupération)
REACH	<i>Registration, evaluation, authorization and restriction of chemicals</i> (Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques)
REFIOM	Résidu d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères
REP	Responsabilité élargie des producteurs
RF	Retardateur de flamme
RFB	Retardateur de flamme bromé
RFF	Réseau ferré de France
ROHS	<i>Restriction of hazardous substances</i> (restriction de substances dangereuses)
RTR	Recommandations pour les terrassements routiers

SARL	Société à responsabilité limitée
SEILA	Syndicat de l'emballage industriel et de la logistique associée
SEPA	State Environmental Protection Administration of China
SETRA	Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (désormais intégré au CEREMA)
SFIC	Syndicat français de l'industrie cimentière
SIEL	Syndicat des industries de l'emballage léger en bois
SINOE®	Système d'information et d'observation de l'environnement (ADEME)
SMC	<i>Sheet molding compound</i> (composé de moulage en feuille)
SNC	Schistes noirs criblés
SNTV	Schistes noirs tout venant
SRBTP	Syndicat de recycleurs du BTP
SRC	Schistes rouges concassés
SRTV	Schistes rouges tout venant
SSD	Sortie du statut de déchets
STEP	Station d'épuration
SVHC	<i>Substance of very high concern</i> (substance extrêmement préoccupante), selon REACH
SYNAREP	Syndicat professionnel du recyclage des palettes
SYPAL	Commission palettes de la Fédération nationale du bois
SYRES	Syndicat de régénération de solvants
T	Tonne
Tep	Tonne équivalent pétrole
TGAP	Taxe générale sur les activités polluantes
TM	Traitement mécanique
TMB	Tri mécano-biologique
UASB	<i>Upflow anaerobic sludge blanket</i> (digesteur anaérobie à flux ascendant)
UE	Union européenne
UIB	Union des industries du bois
UIC	Union internationale des chemins de fer
UIPP	Union des industries des panneaux de process
UNEP	United Nation Development Program
UNPG	Union nationale des producteurs de granulats
USIRF	Union des syndicats de l'industrie routière française
VBS	Valeur au bleu de méthylène des sols
VB O/D	Valeur au bleu de méthylène sur la fraction 0/D
VHU	Véhicule hors d'usage
W _n	Teneur en eau naturelle
W _{opm}	Teneur en eau à l'optimum Proctor modifié
W _{opn}	Teneur en eau à l'optimum Proctor normal

SOMMAIRE

Préface	V
Record	VII
Les co-auteurs	IX
Remerciements	XI
Base de données CARAVADE	XIII
Sigles et abréviations	XV
Sommaire	XXIII
Introduction	1

Une démarche pour intégrer les déchets dans les filières industrielles

CHAPITRE 1

Évolution de la politique de gestion des déchets vers une économie circulaire –

Perrine Vincent, Marie-Amélie Marcoux	7
1. À propos du « déchet »	7
1.1. Le « déchet » du point de vue réglementaire	7
1.2. Analyse sémantique du « déchet »	9
1.3. Début de l'utilisation du terme déchet et de l'économie linéaire	10
1.4. Représentations sociales des déchets	11
1.5. Le « déchet » comme objet sans valeur	13
2. Construction de la réglementation des déchets en vue de leur valorisation	14
2.1. Une réglementation impulsée par l'Europe	14
2.2. Principes politico-juridiques de la gestion des déchets	15
2.3. Des directives européennes à la législation française	16
3. Responsabiliser le producteur de déchets	17
3.1. Du principe de pollueur-payeur à celui de responsabilité élargie du producteur	17
3.2. Mise en œuvre des filières REP en France	20
3.3. Enjeux et pistes d'amélioration des filières REP	21
4. Hiérarchiser les modes de traitement	22
4.1. Une hiérarchie à trois niveaux selon la directive européenne de 1991	22
4.2. Des difficultés de mise en œuvre du principe de hiérarchisation	23
4.3. Une hiérarchie à cinq niveaux avec la directive européenne de 2008	24
4.4. Une hiérarchie à quatre niveaux en France	25
4.5. Mise en œuvre du principe de hiérarchie des modes de traitement et enjeux	25
5. Permettre la sortie du statut de déchet	27
5.1. Contexte de l'émergence du concept de sortie du statut de déchet	27
5.2. Conditions de sortie du statut de déchet	27
5.3. Mise en œuvre de la réglementation	28
5.4. Déchets faisant l'objet de demandes de sortie de statut de déchet	30
5.5. Enjeux de la sortie du statut de déchets	30
6. Favoriser l'économie circulaire	31
6.1. Contexte d'émergence de l'« économie circulaire »	31

6.2. Définition initiale de l'économie circulaire	32
6.3. Des appropriations de la notion par les acteurs économiques et politiques	34
6.4. Implications des acteurs pour promouvoir l'économie circulaire en France	36
6.5. Législations européenne et française pour l'économie circulaire	37
6.6. Définitions de l'économie circulaire et concepts clés associés retenus en France	37
7. Une proposition : valoriser les déchets selon les besoins en ressources des filières industrielles	39

CHAPITRE 2

Éligibilité des déchets aux critères permettant leur valorisation

en filières industrielles – Marie-Amélie Marcoux, Perrine Vincent

1. Identifier de nouvelles possibilités de valorisation des déchets	45
1.1. Une organisation par filière de valorisation de déchets	45
1.2. Des acteurs en recherche d'informations	48
1.3. Des informations diverses et disparates	49
1.4. Une stratégie pour élargir les possibilités de valorisation	50
2. Caractérisation des déchets	52
2.1. Définition et classification des déchets dans le cadre réglementaire	52
2.2. Sources d'informations pour établir une méthode de caractérisation	55
2.3. Plan d'essai définissant les étapes de caractérisation	55
2.4. Échantillonnage	56
2.5. Analyse : caractérisation intrinsèque et du comportement en scénario	58
3. Conditions d'acceptation au sein des filières industrielles	60
3.1. Contraintes réglementaires générales	60
3.2. Contraintes spécifiques pour les filières REP	61
3.3. Contraintes technico-économiques	64

Analyse des conditions d'intégration de déchets pour huit filières industrielles

CHAPITRE 3

Fabrication de verre à partir de matière première recyclée – Marie-Amélie Marcoux

1. Filière du verre	73
1.1. Définition du verre	73
1.2. Classification et typologies du verre	74
1.3. Procédés de fabrication du verre	75
2. Valorisation des déchets de verre	76
2.1. Historique et réglementation	76
2.2. Types de déchets de verre et principaux modes de valorisation	77
3. Fabrication de verre creux	80
3.1. Étapes de fabrication du verre creux	80
3.2. Exigences liées à la fabrication de verre creux	80
3.3. Origines et qualité des déchets de verre creux brut collecté	82
3.4. Traitement des déchets de verre creux	82
4. Filière de recyclage du verre plat	86
4.1. Origines des déchets de verre	86

4.2. Types de verre produits	87
4.3. Conditions particulières de valorisation	87
4.4. Processus de recyclage	88
5. Synthèse : contraintes d'intégration des déchets en entrée d'unité verrière	89
CHAPITRE 4	
Fabrication de plastique à partir de matière première recyclée –	
Elsa Dufresne, Fabrice Abraham, Frédéric Viot	93
1. Les plastiques et leur valorisation	93
1.1. Plastiques	93
1.2. Déchets plastiques	95
1.3. Filières de valorisation des plastiques	102
1.4. Recyclage mécanique des plastiques	103
2. Contraintes régulant l'admission en unité de recyclage	112
2.1. Contraintes en entrée d'unité de recyclage	112
2.2. Contraintes en sortie d'unité de recyclage	115
2.3. Exemple des paramètres contrôlés pour le recyclage de PP par Plastic Omnium	119
2.4. Aspects économiques	120
3. Méthodes de caractérisation	120
3.1. Caractérisation des plastiques en général	121
3.2. Caractérisation des déchets de plastiques	124
3.3. Caractérisation des matières plastiques recyclées	124
3.4. Caractérisation spécifique à certains produits : cas des emballages	125
4. Synthèse : contraintes d'intégration des déchets plastiques en entrée de filières de valorisation	125
CHAPITRE 5	
Utilisation de coproduits et déchets de bois dans l'industrie du bois –	
Franck Olivier, Louis De Reboul	131
1. Présentation de la filière bois	132
1.1. Panorama	132
1.2. Traitement du bois	133
1.3. Classification du bois	134
1.4. Acteurs de la filière	139
2. Différentes filières de valorisation du bois usagé	141
2.1. Définitions	141
2.2. Valorisation matière	141
2.3. Valorisation agronomique	142
2.4. Valorisation énergétique	142
2.5. Bilan de la valorisation matière et énergétique des bois A et B	143
3. Cadre réglementaire et normatif relatif à la valorisation matière du bois	143
3.1. Réglementation applicable aux déchets de bois	143
3.2. Normes en vigueur pour les différents types de valorisation	146
4. Valorisation matière du bois usagé	148
4.1. Filières de production de déchets de bois	148
4.2. Exutoires « matière » du bois	150

4.3. Mode de prétraitement du bois usagé avant valorisation	155
4.4. Critères d'acceptation du bois usagé	156
4.5. Freins à la valorisation matière du bois	159
4.6. Évolution de la filière	159
5. Synthèse	160

CHAPITRE 6

Régénération de solvants – Marie-Amélie Marcoux

1. Régénération de solvants	165
1.1. Solvants	165
1.2. Solvants usés	166
1.3. Régénération des solvants usés	168
2. Contraintes régulant l'admission des solvants usés en filière de régénération	174
2.1. Contraintes réglementaires	174
2.2. Contraintes économiques	177
2.3. Contraintes techniques	179
3. Procédure d'acceptation	181
4. Synthèse : contraintes d'intégration des déchets en entrée d'unité de régénération	183

CHAPITRE 7

Utilisation de matériaux de substitution en technique routière –

Franck Olivier, Coryse Coudray

1. Présentation de la filière technique routière	188
1.1. Quelques chiffres	188
1.2. Structure d'une route	190
1.3. Granulats employés en technique routière	191
1.4. Principaux acteurs de la filière	193
2. Réglementation, guides et normes	195
2.1. Guides géotechniques encadrant la filière	195
2.2. Guides environnementaux encadrant la filière	196
2.3. Monographies OFRIR	202
2.4. Normes encadrant la valorisation des matériaux dans le domaine routier	202
3. Critères de valorisation en technique routière des déchets issus du BTP	205
3.1. Typologie des déchets issus du BTP	205
3.2. Typologie et codification des matériaux concernés par le projet de guide d'application SETRA sur les déchets de déconstruction du BTP	205
3.3. Déchets de déconstruction issus du BTP	206
3.4. Cadre réglementaire et normatif spécifique	208
3.5. Critères de valorisation en technique routière	209
4. Critères de valorisation en technique routière des résidus et sous-produits industriels et miniers	216
4.1. Laitiers sidérurgiques	216
4.2. Laitiers non ferreux	219
4.3. Mâchefers d'incinération des déchets non dangereux (MIDND)	220
4.4. Schistes houillers	224

4.5. Autres déchets miniers	226
4.6. Cendres de combustion de charbon	227
4.7. Sables de fonderie	230
5. Critères de valorisation en technique routière des matériaux et sous-produits naturels	232
5.1. Matériaux et sous-produits de carrière	232
5.2. Terres excavées	233
5.3. Matériaux naturels avec matière organique	235
5.4. Sédiments et boues de dragage	236
5.5. Matériaux et boues de curage	239
6. Conclusion : atouts et freins à l'utilisation de matériaux alternatifs en technique routière	240

CHAPITRE 8

Utilisation de matières premières et de combustibles de substitution

en cimenterie – Franck Olivier, Coryse Coudray	245
1. Présentation de la filière cimentière	246
1.1. Description des procédés de fabrication du ciment	246
1.2. Principales étapes de fabrication du ciment	248
1.3. Classification du ciment	249
1.4. De la co-incinération au coprocessing	251
1.5. Filière cimentière française en quelques chiffres	252
1.6. Principaux acteurs de la filière cimentière	252
2. Réglementation encadrant la valorisation matière et énergétique des déchets en cimenterie	255
2.1. Réglementation française et européenne	256
2.2. Normes relatives à la valorisation des déchets en cimenterie	258
3. Typologie des déchets valorisables en cimenterie	261
3.1. Déchets utilisés en substitution matière	262
3.2. Déchets dangereux (DD) utilisés en substitution énergétique	266
3.3. Déchets non dangereux (DND) utilisés en valorisation mixte énergétique et matière	267
3.4. Déchets interdits	272
4. Critères d'acceptation des matières premières de substitution (MPS) en cimenterie	273
4.1. Charte de bonne pratique des industriels	273
4.2. Directive élimination des déchets en cimenterie de l'OFEV (Suisse)	273
4.3. Critères spécifiques aux laitiers de haut-fourneau	275
4.4. Critères spécifiques aux cendres volantes	275
4.5. Critères spécifiques aux fumées de silice	276
4.6. Critères spécifiques aux terres polluées	276
4.7. Teneurs en composés organiques	277
5. Critères d'acceptation des combustibles de substitution en cimenterie	277
5.1. Critères liés à la valeur énergétique des déchets	277
5.2. Critères liés à la nature et à la structure des déchets	280
5.3. Critères liés à la composition des déchets en métaux	282
5.4. Critères liés à la présence dans les déchets de composés indésirables	284

5.5. Critères liés à l'homogénéité et à la régularité des flux	286
5.6. Type et niveau d'incidence des caractéristiques des combustibles de substitution	287
6. Procédure technique et administrative d'admission des déchets en cimenterie	288
6.1. Préparation des déchets	288
6.2. Procédure de préadmission en cimenterie	288
6.3. Procédure d'admission en cimenterie	289
7. Synthèse	291

CHAPITRE 9

Méthanisation de déchets organiques –

Marie-Amélie Marcoux, Pierre Buffière, Patrick Germain 297

1. Méthanisation	298
1.1. Principe de la méthanisation	298
1.2. Mise en œuvre de la méthanisation en digesteur	300
1.3. Gisements potentiels	304
1.4. Différentes unités de méthanisation	305
1.5. Panorama de la filière de méthanisation en France	308
2. Contraintes régulant l'admission des déchets en unité de méthanisation	309
2.1. Contraintes réglementaires	309
2.2. Contraintes technico-économiques	310
2.3. Caractéristiques du substrat et impact sur la digestion anaérobie	311
2.4. Impact des caractéristiques du substrat sur le biogaz produit	315
2.5. Impact des caractéristiques du substrat sur la qualité des digestats	318
3. Procédure d'acceptation	319
3.1. Suivi recommandé : guide ADEME	319
3.2. Suivi pratiqué couramment	322
4. Synthèse : contraintes d'intégration des déchets en entrée d'unité de méthanisation	324

Conclusion 329**Glossaire** 333

Le concept d'économie circulaire est mis en avant depuis une dizaine d'années, avec la prise de conscience du caractère non renouvelable de nos ressources. S'inscrivant directement dans ce cadre, cet ouvrage propose une démarche de recherche de nouvelles pistes de valorisation des déchets et des produits en fin de vie visant à les intégrer en tant que ressources dans les activités industrielles.

La première partie retrace l'évolution de la **politique environnementale de gestion des déchets**, qui a progressivement conduit à promouvoir l'économie circulaire. Elle présente une **démarche itérative de recherche d'éligibilité** des déchets aux critères permettant leur intégration en filières industrielles ; en complément en ligne, le lecteur peut accéder à une **base de données** relative à la caractérisation des déchets en vue de leur valorisation.

La seconde partie, constituée de monographies structurées, dresse un **état des lieux des exigences techniques, réglementaires et environnementales** relatives à la valorisation des déchets pour **différentes filières** : fabrication de verre, de matériaux plastiques, de ciment, industrie du bois, régénération de solvants, techniques routières et méthanisation.

Par son apport tant méthodologique que pratique, cet ouvrage s'adresse aux divers acteurs impliqués dans la valorisation des déchets : les industriels, les prestataires de services, les collectivités ainsi que les enseignants et étudiants des cursus spécialisés en environnement.

Cet ouvrage collaboratif a été réalisé sous la direction de l'association RECORD. Le bureau d'études Ecogeos a assuré la co-direction de la rédaction et la coordination des enquêtes. Des industriels et des chercheurs se sont par ailleurs investis pour évaluer l'intégration des déchets en tant que ressources dans les filières relevant de leurs spécialités.

Marie-Amélie Marcoux est chef de projet R&D chez Ecogeos, ingénieur INSA de Lyon en Génie des procédés environnementaux, Docteur en sciences de la Terre et de l'Environnement, Université de Grenoble.

Franck Olivier est gérant d'Ecogeos, ingénieur HEI (Lille), Docteur en sciences de la Terre et de l'Environnement, Université de Grenoble.

François Théry est chercheur expert « Management durable des déchets » EDF R&D, ingénieur ENSCI Céramiques industrielles, Limoges. Il a été président de RECORD de 2009 à 2014.