



CEBEDEAU

APPLY SCIENCE,
PROTECT WATER

RESRECOVERY

CIRCULAR WALLONIA



Avec le soutien du
Plan de Relance de la Wallonie





Introduction



RESRECOVERY

Le traitement conventionnel des eaux usées par le procédé à boues activées est largement utilisé pour l'assainissement des eaux usées urbaines et industrielles avant leur rejet dans l'environnement. Ce procédé nécessite de forts besoins énergétiques, principalement liés à la fourniture d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour métaboliser (épurer) la matière organique. Ces eaux usées contiennent diverses matières (Matière organique -C, nutriments -N et P, métaux) qui pourraient être récupérées et utilisées comme matière première pour la production de produits biosourcés, réduisant par ailleurs la consommation nette d'énergie des stations d'épuration.

Malheureusement, le potentiel de récupération de ces matériaux reste largement inexploité en Europe occidentale. En général, les seules filières de valorisation existantes se concentrent sur la valorisation énergétique (digestion anaérobie produisant du biogaz).

Les voies de traitement des eaux usées doivent donc être repensées de manière à ne plus les considérer comme des déchets, mais comme une ressource en eau, en énergie, en nutriments, et autres produits biosourcés. C'est dans cette optique que le SPW a lancé le projet ResRecovery dans la cadre de la stratégie Circular Wallonia afin d'identifier les principaux potentiels de récupération des matières (circularité) présentes dans les eaux usées industrielles et urbaines en Région wallonne.

La valorisation de l'énergie thermique des eaux usées est exclue du champ de la présente étude.



Ressources contenues dans les effluents : principales matières valorisables au fil du procédé épuratoire

Les ressources envisagées dans l'étude peuvent provenir :

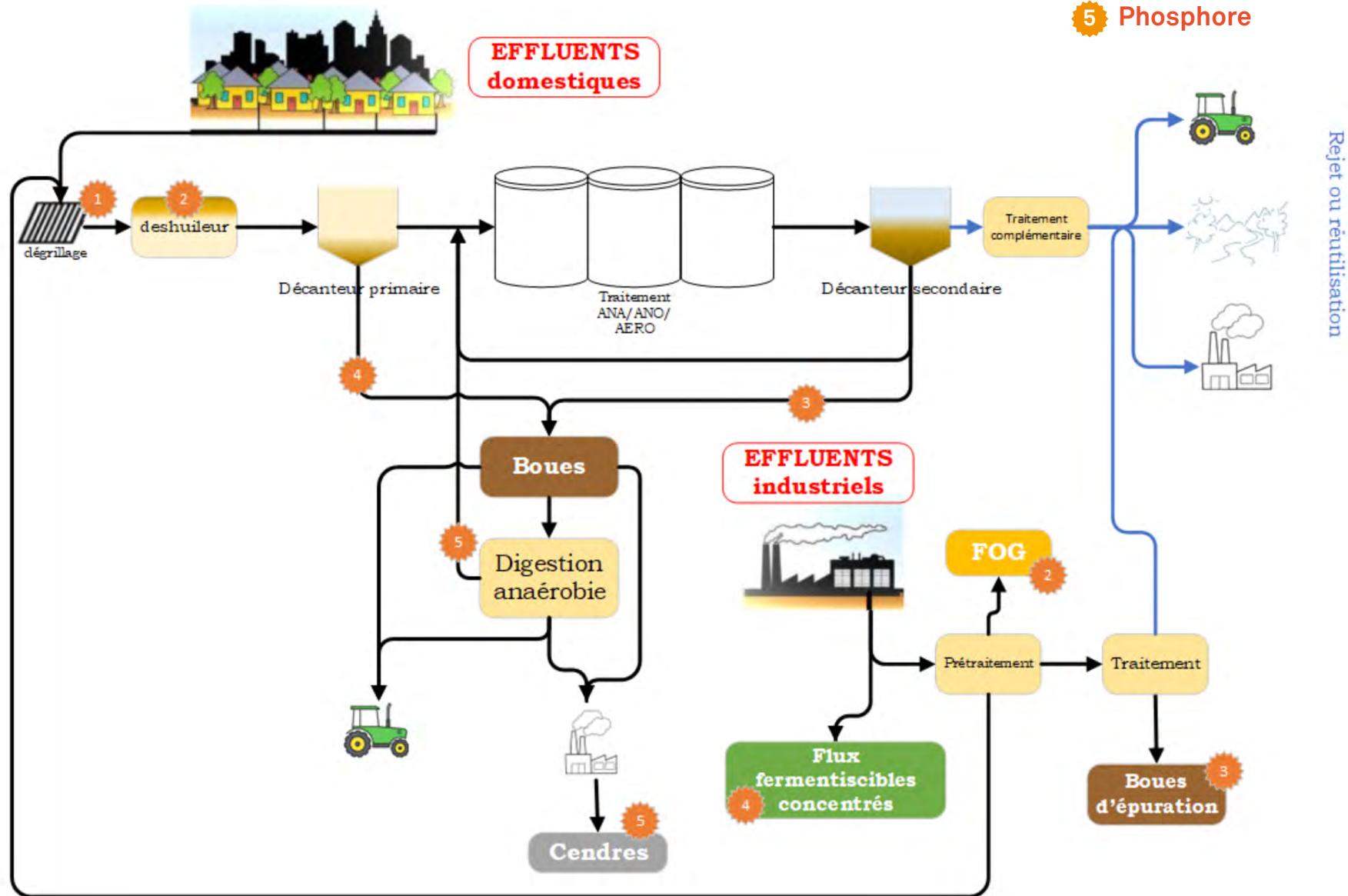
- Des eaux résiduaires urbaines collectées ;
- Des flux au sein des stations d'épuration [STEP] collectives ;
- Des boues d'épuration des stations collectives ou de leurs résidus de traitement ;
- De certains effluents industriels ou des sous-produits de leur traitement sur site ;
- Ou d'une combinaison de ces flux.

Le schéma suivant représente de manière simplifiée les différentes étapes de traitement des eaux résiduaires urbaines, les pratiques de gestion des eaux résiduaires industrielles et les principales matières valorisables dans ces flux.

- On notera que toutes les stations d'épuration ne disposent pas de tous les équipements représentés sur ce schéma ;
- Un nombre restreint de stations (généralement de-très-petite taille) mettent en œuvre des procédés radicalement différents ;
- Quand il a lieu sur site, le traitement des effluents industriels fait appel à des technologies plus variées que pour les effluents domestiques, en fonction du secteur industriel concerné, des objectifs de traitement à atteindre et de contraintes spécifiques à chaque entreprise.



- 1 Cellulose
- 2 Biodiesel
- 3 Biochar
- 4 PHA
- 5 Phosphore

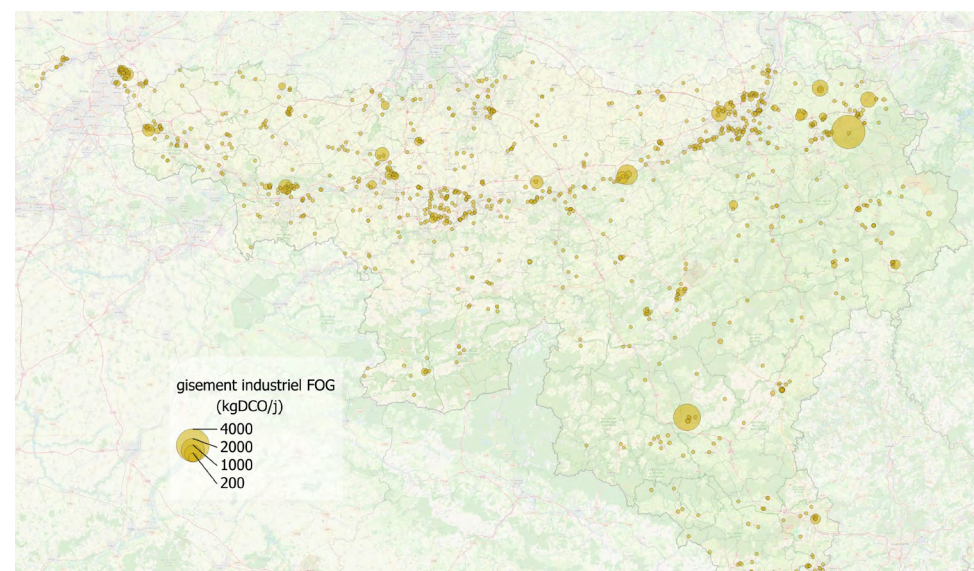
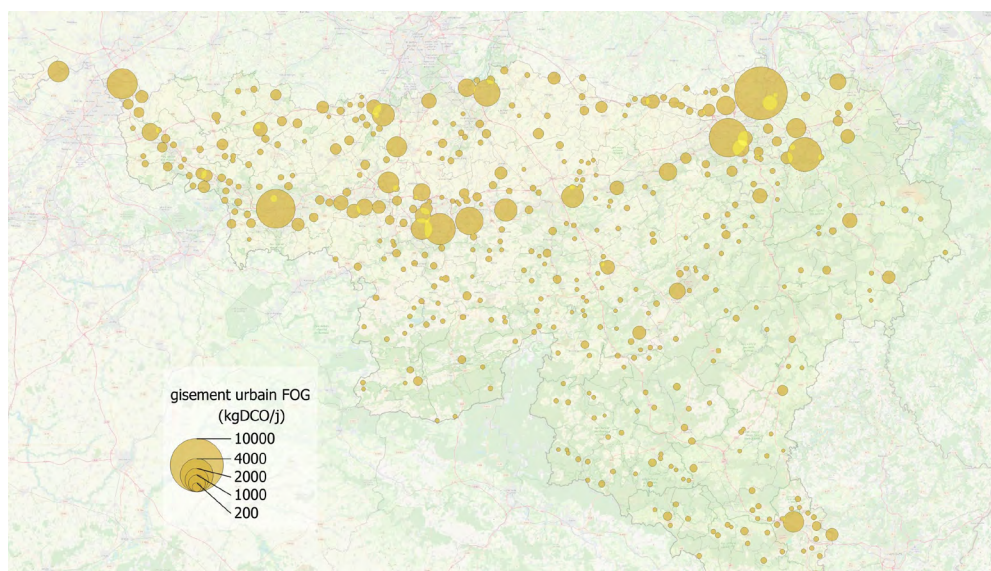




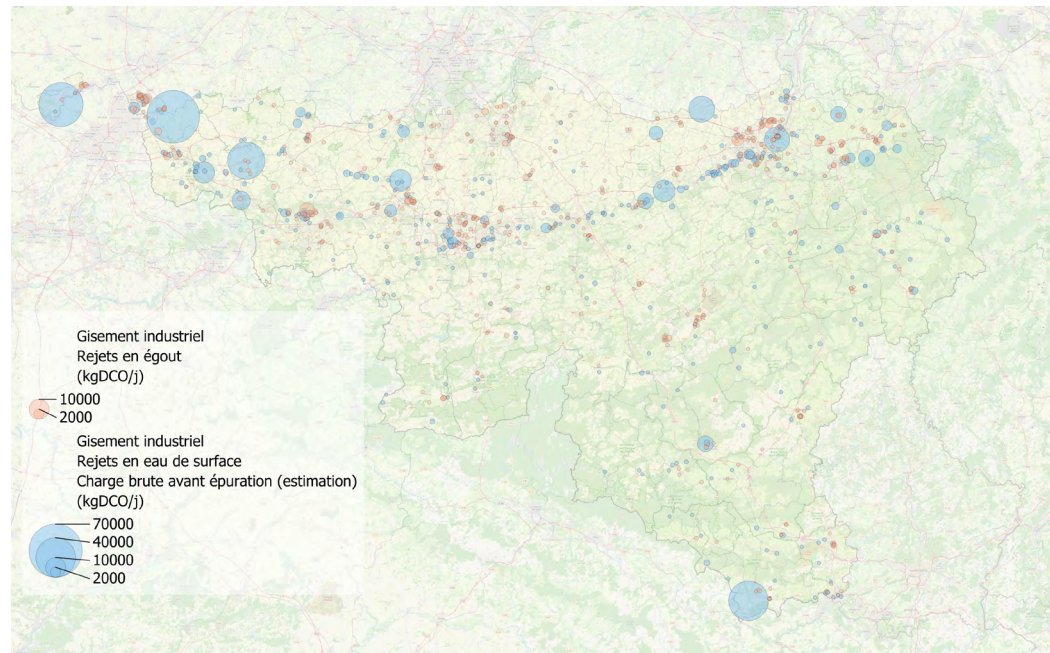
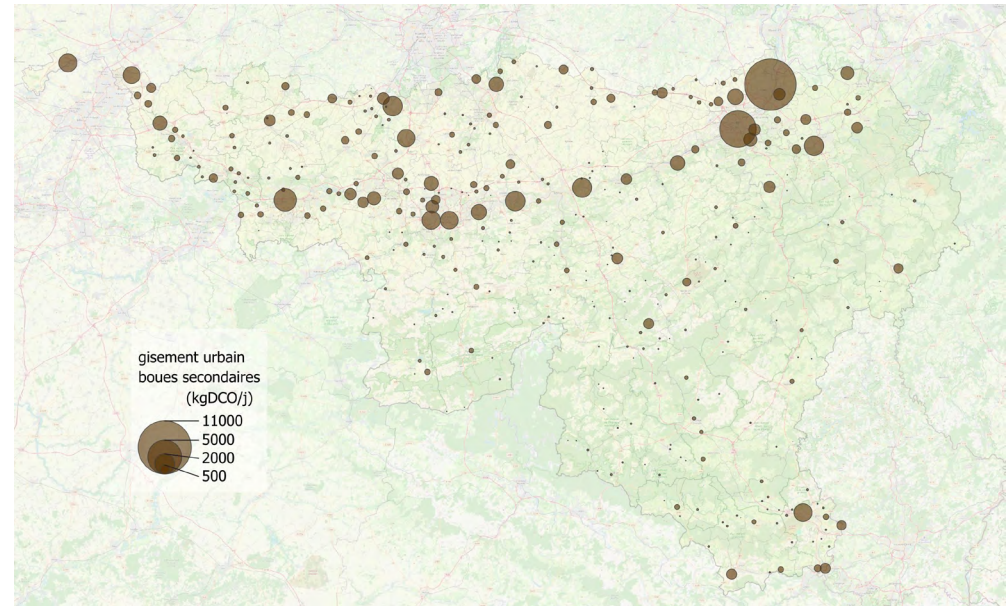
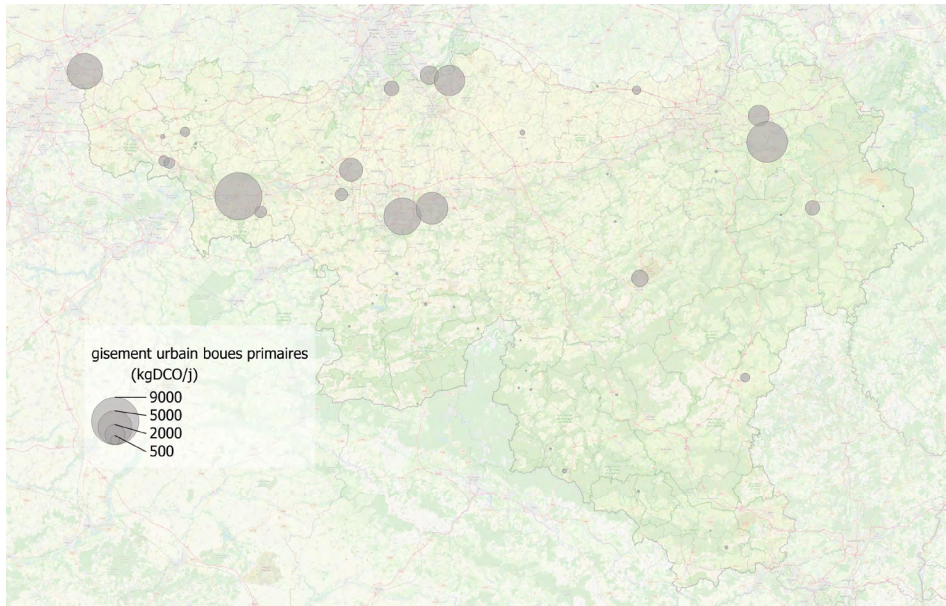
Ressources contenues dans les effluents : gisements et distribution géographique

Les ressources valorisables sont réparties de manière non uniforme sur le territoire de la Région wallonne. Les cartes ci-dessous représentent la répartition des quantités produites annuellement (estimation) des FOG¹ d'origine domestique/urbaine et industrielle, des boues primaires et secondaires et des charges organiques brutes (avant épuration) pour les rejets industriels.

En fonction des équipements existants, ces gisements ne sont pas nécessairement tous récupérables.



¹ Fat Oil and Grease, les matières grasses séparées par flottation en entrée de nombreuses stations





Scénarios de valorisation de la matière organique



Origine :

La cellulose est un des éléments structurels fondamentaux des plantes. Le papier toilette en est composé à 89% et devient la source principale de cellulose retrouvée dans les eaux usées. La consommation en papier toilette en Europe est de 10 à 13 kg/personne par an. La cellulose est résistante à la dégradation et se retrouve principalement dans les boues de station d'épuration. Elle peut facilement être récupérée par simple filtration à l'entrée des stations d'épuration puis pressée et séchée.

Équipements nécessaires :

Les équipements sont assez simples : filtre ou filtre à bande rotative en entrée de station (en aval du dégrilleur) et unité de conditionnement (déshydratation, séchage, éventuellement pelletisation)

Cellulose

Intérêt :

Diminution du coût de traitement des eaux résiduaires urbaines [ERU] (diminution de la consommation d'énergie et des productions de boues). Substitut à la cellulose d'origine végétale.

Gisement potentiel :

3.800 t/an en équipant 22 stations les plus rentables (~ 30% du gisement total RW).

Utilisateurs potentiels :

- Producteurs de panneaux isolants
- Intégration dans l'asphalte
- Production de BIOCHAR.



Scénarios de valorisation de la matière organique



Origine :

Les FOG sont en général évacuées pour traitement par un collecteur agréé ou, dans les STEP urbaine de taille importante, traitées par voie biologique éventuellement après saponification. Mais les FOG peuvent aussi être transformées en BIODIESEL, un carburant de synthèse renouvelable obtenu par transestérification. De nombreuses industries, essentiellement agroalimentaires, génèrent également des résidus FOG, même lorsqu'elles rejettent en égout.

Équipements nécessaires :

Une unité centralisée de transformation, incluant les étapes de séchage sous vide, extraction, transestérification et distillation/purification.

Intérêt :

Diminution du coût de traitement des FOG. Production d'un biocarburant de seconde génération sans concurrence avec la production alimentaire.

Biodiesel

Gisement potentiel :

La conversion du gisement total de FOG estimé dans les ERU en RW produirait environ 1.500 t biodiesel/an. Néanmoins, toutes les stations d'épuration ne sont pas équipées de déshuileurs et le taux de récupération de celles-ci est relativement faible. Ainsi, on évalue que 2.000 t de FOG sont récupérées chaque année, soit un potentiel de production de biodiesel d'environ 300 t/an. D'autre part, on estime qu'environ 3.200 t de FOG sont retirées annuellement des rejets industriels. La valorisation de ces deux ressources porterait le potentiel à près de 800 t biodiesel/an.

Utilisations potentielles :

Généralement produit à partir d'huiles végétales, souvent comestibles, ou, plus rarement, à partir d'huiles usagées, le biodiesel est déjà largement implanté sur le marché. La production de biodiesel à partir de résidus d'épuration représente une alternative au diesel pétrosourcé qui n'entre pas en concurrence avec la production alimentaire.



Scénarios de valorisation de la matière organique



Origine :

Le biochar est un charbon issu de la pyrolyse (traitement à haute température en absence d'oxygène, s'apparentant à la distillation) de biomasse d'origines diverses. Les boues secondaires de station d'épuration et/ou la cellulose récupérée en tête de station peuvent être valorisées en tant que biochar. Le biochar peut ensuite être éventuellement activé pour avoir des propriétés comparables au charbon actif. La production de biochar, s'accompagne en outre de production de résidus liquides et gazeux : le bio-oil et le pyrogaz qui peuvent être valorisés thermiquement (notamment, pour le séchage de la biomasse).

Équipements nécessaires :

La pyrolyse est une opération qui doit être réalisée dans des installations industrielles centralisées, comprenant un séchage des boues, un four de pyrolyse et des installations annexes de conditionnement du biochar, de traitement du bio-oil, des gaz et fumées.

Intérêt :

Valorisation du potentiel fertilisant (dont P) des boues secondaires en éliminant la problématique des micropolluants organiques et des microplastiques.

Biochar

Gisement potentiel :

Les productions des boues de stations d'épuration en Région wallonne dépassent les 50.000 t MS/an, ce qui permettrait en théorie de produire de l'ordre de 15.000 t biochar/an. Néanmoins, toutes les boues ne sont pas valorisables essentiellement en raison de coûts de transport vers le ou les centres de pyrolyse (dont le nombre sur le territoire est forcément limité). On peut raisonnablement imaginer de produire 5.000 à 6.000 t biochar/an dans 2 unités. En collectant et valorisant les boues secondaires de stations d'épuration industrielles situées à proximité de ces centres, on pourrait produire 40% de plus, soit un total d'environ 8.000 tonnes annuelles.

Utilisations potentielles :

Parmi les nombreux usages possibles, le biochar peut être utilisé comme amendement du sol, comme matériau pour des aménagements urbains, comme additif pour des bétons ou des asphaltes, comme matériau isolant, dans le traitement de l'eau ou des effluents gazeux. Il est en outre considéré comme un puits de carbone.



Scénarios de valorisation de la matière organique



Origine :

Les polyhydroxyalcanoates (PHA), ou polyesters d'hydroxyalcanoate, sont des polymères thermoplastiques biodégradables, biocompatibles et compostables, mais également stables dans l'air, inertes, résistants à l'humidité et insolubles dans l'eau, produits par une variété de bactéries. Les flux chargés en matière organique fermentescible sont particulièrement adaptés pour la production d'AGV (Acides Gras Volatils) et la production bactérienne de PHA : c'est le cas des boues primaires de stations d'épuration, des matières de vidange des fosses septiques (hypothèse à valider) ou de certains flux industriels concentrés.

Équipements nécessaires :

Unités biologiques de production de PHA (production d'AGV par fermentation, enrichissement des bactéries accumulatrices de PHA) et déshydratation/séchage de la biomasse produite. Unité (centralisée) d'extraction des PHA, purification et conditionnement.

Intérêt :

Production de plastiques biosourcés ET biodégradables (la biodégradabilité de la plupart des plastiques biosourcés courants actuellement est contestée).

PHA

Gisement potentiel :

Dans la configuration actuelle du parc épuratoire (relativement peu de stations d'épuration sont équipées d'un décanteur primaire), on estime le gisement total en boues primaires équivalent à 18,8 t DCO/an, ce qui permettrait de produire 2,6 t PHA/an. Toutefois :

- Certains gisements de boues primaires sont actuellement utilisés pour la production de biogaz (valorisation énergétique) ;
- La dispersion des infrastructures sur le territoire impacte négativement les coûts de transport.

En intégrant ces paramètres, on peut raisonnablement envisager de mobiliser, dans des conditions soutenables, un gisement d'effluents adéquats pour la production de 2.500 à 4.000 t PHA/an, soit environ 2,5% de la capacité mondiale de production recensée en 2023. Une augmentation très importante de cette dernière est annoncée pour les années à venir.

Utilisations potentielles :

Les utilisations des PHA sont multiples. Dans le cas de PHA produits à partir d'eaux usées, on peut citer des applications d'emballages non alimentaires ou cosmétiques, les films agricoles, les filaments d'impression 3D, l'utilisation en tant qu'additifs pour la copolymérisation afin d'améliorer les propriétés du PLA, entre autres.



Scénarios de valorisation des nutriments : cas du phosphore



Origine :

La seule voie d'élimination du phosphore dans une station d'épuration est l'exportation via les boues. Les stations devant respecter des normes strictes sur la teneur en phosphore au rejet pratiquent la déphosphatation, soit par voie biologique, misant sur une suraccumulation du phosphore dans la biomasse, soit par voie physico-chimique, par précipitation de phosphates, le plus souvent de fer ou d'aluminium, puis décantation et élimination avec les boues secondaires. Le phosphore est un élément capital pour la production d'engrais, secteur représentant près de 90% de la demande en roche phosphatée. En raison de son importance économique et du risque relatif à son approvisionnement, contrôlé à 85% par 5 pays dont 70% par le Maroc à lui-seul, la roche phosphatée et le phosphore sont classés au rang des matières premières critiques au niveau européen. Le projet de révision de la directive sur le traitement des eaux résiduaires urbaines impose, sans encore en définir exactement les contours, la valorisation du phosphore présent dans les eaux résiduaires.

Phosphore

Le phosphore contenu dans les boues d'épuration peut être :

- Directement valorisé par épandage des boues en agriculture, ce qui peut dans certains cas être compromis par la présence de polluants métalliques, organiques ou microplastiques dans les boues ;
- Extrait par un procédé directement intégré dans les stations d'épuration, généralement par précipitation sous forme de struvite (phosphate mixte d'ammonium et de magnésium) ou de phosphate de calcium, des flux liquides : le plus souvent à partir de l'effluent liquide de digestion anaérobie des boues secondaires. Les boues peuvent également être hydrolysées pour maximiser l'extraction du phosphore avant précipitation. La récupération du phosphore sous forme de struvite s'accompagne également de récupération d'azote ;
- Récupéré sous forme de phosphate de calcium ou, plus rarement d'acide phosphorique, à partir des cendres d'incinération des boues secondaires par procédé thermo-chimique ou autre. Les cendres d'incinération peuvent également directement remplacer un certain pourcentage de roche phosphatée pour la production de superphosphates par l'industrie des engrais.

La récupération à partir des cendres d'incinération est la plus performante, permettant d'atteindre plus de 90% de récupération.



Phosphore

Équipements nécessaires :

La récupération du phosphore à partir des digestats de boues nécessite évidemment la présence d'un digesteur et implique la multiplication des unités de précipitation de relativement petite taille (quelques dizaines-100 t P/an). Il est également préférable de limiter ces techniques aux stations pratiquant la déphosphatation biologique plutôt que chimique. L'installation d'un réacteur de production de struvite en marge des installations de digestion anaérobie présente en outre l'avantage de protéger ces dernières, la précipitation non souhaitée de la struvite au sein des réacteur et canalisations étant souvent problématique.

La récupération à partir des cendres nécessite une installation centralisée de mono-incinération des boues (sans mélange avec d'autres déchets/résidus) ce qui n'est pas la pratique actuelle en Région wallonne. À l'échelle de l'UE-27, environ 15% des boues produites sont traitées par mono-incinération (2019) mais la Commission espère atteindre 25% d'ici 2050, essentiellement en remplacement de la co-incinération et de la mise en décharge. Signalons qu'un projet est porté par Aquafin avec la construction d'un mono-incinérateur à Gand dans l'objectif de traiter l'ensemble des boues produites en Région flamande d'ici 2040.

L'unité de récupération de phosphore permettrait la récupération de plusieurs centaines de tonnes de P/an.

Intérêt :

Récupération du phosphore, ressource non renouvelable, critique et d'intérêt stratégique.

Mise en conformité par rapport aux objectifs de la (future) nouvelle version de la Directive européenne sur le traitement des eaux résiduaires.

Gisement potentiel :

Sur l'ensemble de la Région wallonne, on estime que les ERU collectées charrient près de 1.520 tonnes de phosphore par an, dont 1.469 tonnes vers les stations prises en compte dans l'étude. 1.162 tonnes de phosphore, soit près de 80% du gisement sont piégés dans les boues secondaires. On estime le potentiel de récupération selon 3 scénarios :

- Mono-incinération de l'ensemble des boues secondaires et récupération de 85% du phosphore (valeur sécuritaire) : 988 t P récupérés/an ;
- Selon le schéma actuel de traitement : récupération (30%) du phosphore dans les digestats (limité aux 4 stations d'épuration actuellement équipées d'un digesteur) et dans les jus de déshydratation des boues (10%) pour les autres stations : 130 t P récupérés/an ;
- Dans l'hypothèse de l'équipement de 26 digesteurs supplémentaires (option envisageable pour répondre aux objectifs d'autonomie énergétique imposés par la révision de la Directive sur le traitement des eaux résiduaires) : 258 t P récupérés/an.

Les effluents d'industries laitières, des abattoirs, de la transformation des fruits et légumes et du traitement de la pomme de terre présentent également un potentiel de valorisation du phosphore non négligeable, bien que difficile à évaluer sans connaissance des infrastructures de traitement en place. On peut estimer qu'une vingtaine d'entreprises de ces secteurs cumulent un potentiel de récupération de l'ordre de 40 t P/an.

Utilisations potentielles :

La struvite peut être valorisée directement en tant que fertilisant biosourcé. La teneur en P de la struvite est de l'ordre de 12% (9% Mg, 5% N). Les cendres de mono-incinération permettent la récupération du phosphore soit par substitution directe de la roche phosphatée utilisée par l'industrie de production d'engrais (NPK ou super-phosphates), soit par extraction du phosphore sous différentes formes.



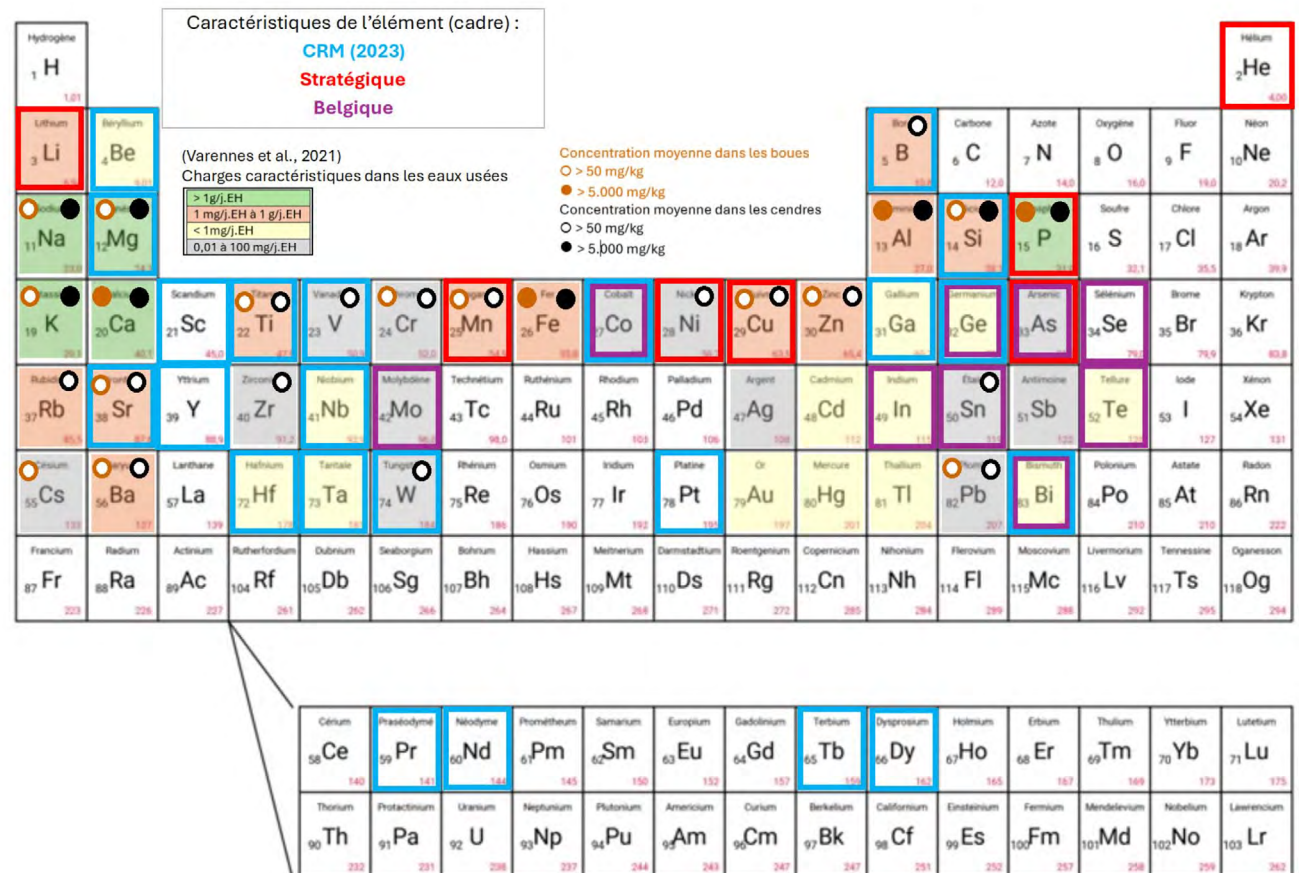
Scénarios de valorisation des métaux

En théorie, de nombreuses technologies pourraient être adaptées à la récupération des métaux à partir d'eaux résiduelles (ou de leurs sous-produits de traitement), néanmoins peu de technologies sont déjà au stade de la démonstration, encore moins du développement industriel ; des pistes restent à investiguer et des connaissances à développer.

On notera que les possibilités de récupérer le fer et l'aluminium, conjointement à la récupération du phosphore des cendres d'incinération de boues, sont des pistes intéressantes, essentiellement dans l'optique d'une réutilisation au sein même du procédé épuratoire, en tant que coagulant.

La figure ci-contre met en évidence :

- Les éléments identifiés comme matières premières de grande importance pour l'économie de l'UE et présentant un risque élevé associé à leur approvisionnement dans le cadre du Critical Raw Materials Act (liste 2023) ;
- Parmi ceux-ci, les éléments d'importance stratégique pour les technologies et secteurs stratégiques de l'UE ;
- Les éléments pour lesquels la Belgique se classe comme 1er producteur (de matières premières raffinées) au rang européen ;
- La présence des éléments dans les ERU ainsi que dans les boues de STEP et leurs cendres d'incinération.





Le tableau ci-contre reprend une évaluation de différents métaux critiques, stratégiques ou autres.

Sont mis en évidence les métaux pour lesquels un intérêt potentiel est identifié parce que le gisement estimé dans les eaux résiduaires (urbaines ou industrielles) est non négligeable par rapport à la demande EU27 et au regard de la criticité et de l'intérêt stratégique de cet élément et/ou dont le prix du marché est intéressant².

ÉLÉMENT	IMPORTANCE DU GISEMENT ERU + ERI ³ % DEMANDE EU27 ⁴	SECTEURS INDUSTRIELS	PRIX MOYEN MARCHÉ (2020)	FLUX DANS LEQUEL L'ÉLÉMENT SE RETROUVE APRÈS ÉPURATION E=Eau B = Boues C = Cendres d'incinération des boues
	0,01 À 0,1 % 0,1 À 1 %		€ 1 À 10 €/Kg € € > 10 €/Kg	
Li		nd	€ €	E
Sr		nd		E-B-C
Li		nd		E-B-C
Mn		nd	€	E-B-C
Co		nd	€ €	E-B-C
Ni		Métal, Blanchisserie, Industrie des peroxydes, Déchets, Papier/Carton, Carrières et Cimenteries	€	E-B-C
Cu		Métal, Papier/Carton, Déchets, Engrais	€	B-C
B		nd		E-B-C
Si		nd	€	E-B-C
As		Métal, Déchets, Stations de production d'eau potable, Verre, Pétrochimie et chimie organique	€	E-B-C
Cr		Métal, Papier/Carton	€	B-C
Pb		Métal, Déchets, Blanchisseries, Nettoyage cuves, Papier/Carton, Carrières et Cimenteries	€	B-C
Ag		Textile, Ind Pharma, Peroxydes, Verre, Carrières et Cimenteries	€ €	B-C
Zn		Peroxydes, Métal, Déchets, Papier/Carton, Carrières et Cimenteries	€	E-B-C
Cd		Peroxydes, Blanchisseries, Métal, Déchets, Réparation auto., Papier/ Carton	€	
Hg	nd	Textile, Ind Pharma, Peroxydes, Blanchisseries, Réparation auto., Pomme de terre, Pétroch. et chim.org. Déchets	nd	

² Les informations relatives à la demande et aux prix du marché sont issues des « raw materials factsheets » (<https://screen.eu/crms-2023/>)

³ Le gisement est estimé sur base des mesures de charges polluantes des entreprises soumises à la taxe sur les rejets industriels et sur les informations de Elodie Varennes, Denise Blanc-Biscarat, Lucie Gueret, Céline Lagarrigue, J.M. Choubert. Etude technico-économique sur l'opportunité de récupération des métaux contenus dans les eaux usées domestiques. [Rapport de recherche] 70, INRAE; INSA Lyon; Agence de l'eau Rhône- Méditerranée-Corse.2020. hal-03217186v2

⁴ À titre comparatif, la population en Région wallonne équivaut à ~ 0,8% de la population EU27.



Synthèse



Le tableau annexé reprend les caractéristiques des principales voies de valorisation identifiées ainsi que les interactions (compatibilité/incompatibilité) entre celles-ci sous forme d'une matrice des ressources alternatives.



	Cellulose filtration sur toile de rouffant	Biodiesel estérification des FOG de dégraisage/désalage	PHA production par la biomasse à partir de matrices fermentescibles et extraction	BIOCHAR pyrolyse des brouis secondaires et, éventuellement, de la cellulose. éventuellement activation chimique	P (struvite) Précipitation de MgNH ₄ PO ₄ dans les jus de digestion des boues	P à partir des cendres d'incinération	N	métaux	biogaz	ressource critique	durabilité	gisement (certaines données des hypothèses de scénarios "raisonnables")	prix débouchés marché	maturité	aspect réglementaire	ERU	ERI	équipement nécessaire	structure du parc et taille des STEP	filière d'épuration
Cellulose		combinaison possible, pas d'interaction	La récupération de cellulose réduit la production de boues primaires et donc la production de PHA. Cet effet est toutefois limité par le caractère modérément, voire peu, fermentescible de la cellulose.	La cellulose récupérée peut être convertie en BIOCHAR	combinaison possible, pas d'interaction	combinaison possible, pas d'interaction	combinaison possible, pas d'interaction	combinaison possible, pas d'interaction	La récupération de cellulose réduit la production de boues et donc la production de biogaz. Cet effet est toutefois limité par le caractère modérément, voire peu, fermentescible de la cellulose.	NON	Economie d'énergie dans la station	~ 3.800 t/an (~ 10 % de la consommation de papier hygiénique RW ou 10% des collectes papier-carton en Province de Jilge)	~ 50 à 150 €/t Matériaux de construction (isolation, asphalte...)	OUI	usage en tant que déchet recyclé (semaire papier/carton)	OUI	NON (sauf secteur papier/carton)	équipement limité et simple (filtre-redoute)	La dilution des ERU, le faible taux de charge et le fractionnement du parc épuratoire augmentent les coûts de récupération de la cellulose	toutes
Biodiesel		combinaison possible, pas d'interaction			combinaison possible, pas d'interaction	combinaison possible, pas d'interaction	combinaison possible, pas d'interaction	combinaison possible, pas d'interaction	combinaison possible, pas d'interaction	NON	Biocarburant sans concurrence avec les cultures alimentaires	~ 1.000 m ³ /an (0,2 % de la consommation de biodiesel belge)	Biocarburant prix du marché (2021) diesel pétrolier ~ 0,53 €/L biodiesel conventionnel ~ 0,72 €/L	relativement mature (mature à partir d'autres sources)	Objectif RED II (14% d'énergie renouvelable pour les transports, augmenté à 20% par RED III - novembre 2023)	OUI	oui Industries agroalimentaires	unité de production centralisée (estérification, distillation, purification)	peu d'impact	nécessite un dégraisseur
PHA			La production de PHA réduit la production de boues secondaires et donc le potentiel de production de BIOCHAR		combinaison possible, pas d'interaction	La production de PHA implique le mécanisme inverse de la diétophosphatation biologique et libre donc le P présent dans les boues. Sans rendre la récupération du P à partir des cendres d'incinération impossible, elle apparaît néanmoins ces dernières.	Combinaison favorable. La digestion anaérobie des boues génère de l'ammonium qui pourrait être récupéré par stripping	combinaison possible, pas d'interaction	La production de PHA à partir des boues fait concurrence à la biométhanisation	NON	Plastique biosourcé biodégradable	~ 2.000 à 4.000 t/an (~ capacité européenne actuelle)	Films agricole Filament impression 3 D PHA actuellement peu commercialisés (seulement 1% du marché des plastiques biosourcés) mais croissance attendue Production actuellement essentiellement en Asie Prix du marché de l'ordre de 10-20 €/kg	relativement mature	Manque de cadre légal sur les matières premières durables pour l'industrie chimique. Certains Etats Membres (P, NL, CE, IT) sollicitent la mise en œuvre d'un cadre législatif européen en soutien au glissement du carbone biosourcé vers le carbone biosourcé, nécessité de soutenir la compétitivité européenne dans ce domaine (mai 2024)	OUI	oui effluents industriels concentrés et fermentescibles	centres de production/enrichissement (estérification, distillation, purification)	La petite taille et la dispersion des stations limite les possibilités de mise en œuvre et augmentent les coûts (transport) > 30 % du coût de production)	ERU : nécessite un décanteur primaire
BIOCHAR				La production de BIOCHAR à partir des boues secondaires est incompatible avec la digestion des boues et la production de struvite	combinaison possible, pas d'interaction	La production de BIOCHAR à partir des boues fait concurrence à la biométhanisation	Différentiel. L'azote contenu dans les boues de stations d'épuration est détruit avec la pyrolyse.	combinaison possible, pas d'interaction	La production de BIOCHAR à partir des boues fait concurrence à la biométhanisation	NON	BIOCHAR = puits de carbone Contaminants organiques détruits par la pyrolyse Régénération du phosphore en tant que fertilisant Plus durable que le charbon, acide (traitement des effluents)	~ 5.675 t/an (~ 5 % de la capacité européenne actuelle, tous substrats confondus)	produit d'amendement du sol traitement de l'eau (micropolluants) aménagements urbains (sol) soif de béton marché en expansion	relativement mature	BIOCHAR à partir de boues de STEP pas reconnu par le règlement UE (2018/1009 (fertilisants) + législation régionale en cours de révision Peut contribuer aux objectifs de traitement des micropolluants (UWWTD révisé)	OUI	possibilité de traiter certaines boues industrielles (agroalimentaire, papier/carton) limitation par la distance du centre de pyrolyse et la qualité des boues (métaux)	centres de pyrolyse	Limité à certaines STEP (transport)	nécessite un atelier de déshydratation des boues (coût de transport)
P (struvite)					Combinaison a priori favorable, dans le sens où la struvite incorpore P et N, mais la récupération de N est limitée pas la stoechiométrie et le ratio N/P des digestats.			combinaison possible, pas d'interaction	Combinaison favorable (boite nécessaire) : la digestion anaérobie libère les phosphates récupérables sous forme de struvite	OUI	récupération du phosphore (ressource non renouvelable et critique), et réduction des risques d'eutrophisation	130-250 tP/an sur les boues urbaines (dépend du scénario de valorisation énergétique) (~ 3-6 % de la consommation d'engrais P minéral en RW - 2020)	fertilisant mais concurrence (coût) des fertilisants de synthèse, nécessité des incitants	OUI	reconnu par le règlement UE n° 2019/1009 (fertilisants) + législation régionale en cours de révision	OUI	oui effluents de digesteurs industriels et effluents riches en P (brasserie, pomme de terre...)	Digestion anaérobie + installation spécifique pour la précipitation de la struvite	Limité à certaines STEP (digesteur et salle critique)	EBPR digesteur
P (cendres)				Antagoniste et dépend de la nature des boues incinérées : si il s'agit de boues brutes, la récupération de P est maximale mais l'azote est perdu, si il s'agit de boues égoutées, la récupération de P dans les cendres est moindre (mais possibilité de récupérer sous forme de struvite dans les digestats) mais l'azote peut être récupéré dans les digestats.	combinaison possible, pas d'interaction	Relativement défavorable : la teneur en P des boues égoutées est inférieure à celle des boues brutes		combinaison possible, pas d'interaction	Combinaison nécessaire : récupération de l'azote par stripping dans les digestats	NON	récupération du phosphore (ressource non renouvelable et critique), et réduction des risques d'eutrophisation	~ 1.000 tP/an sur les boues urbaines uniquement (~ 25% de la consommation d'engrais P minéral en RW - 2020)	fertilisant mais forte concurrence (coût) des fertilisants de synthèse, nécessité des incitants	OUI	reconnu par le règlement UE n° 2019/1009 (fertilisants) + législation régionale en cours de révision	OUI	oui boues biologiques de traitement d'effluents industriels (brasserie, pomme de terre...)	Incinérateur de boues + installation d'extraction de P	Requiert une incinération des boues centralisée et dédiée	toutes (filières intensives)
N					combinaison possible, pas d'interaction			combinaison possible, pas d'interaction	Combinaison nécessaire : récupération de l'azote par stripping dans les digestats	NON	Réduit la consommation d'énergie pour la nitrification des jus de digestion et diminution de l'énergie requise par le procédé Haber-Bosch	~ 10 à 120 t/an et couplé à la récupération de P (struvite) ~ 200 t/an en moyenne sur les effluents de digesteurs (alternance de boues)	fertilisant mais forte concurrence (coût) des fertilisants de synthèse, nécessité des incitants	OUI (stripping)	sauf flux très spécifiques	OUI	Digestion anaérobie + installation spécifique pour le stripping	Limité à certaines STEP (digesteur)	nécessite un digesteur	
métaux						combinaison possible, pas d'interaction	Certains métaux sont des ressources critiques, voire stratégiques			NON	Récupération de métaux pouvant être réutilisés dans la STEP (ex. aluminium), récupération de métaux critiques, de sources renouvelables	très variable et encore relativement mal connu	Fe et Al pour les STEP en nitrification. Métaux rares/précieux/critiques	NON	à confirmer	oui secteur déchets, métaux...	technologies non matures	technologies non matures	technologies non matures	
biogaz										NON	Valorisation énergétique, réduction du volume de boues (transport)	non étudié ici	non étudié ici	OUI	objectif de neutralité énergétique (UWWTD révisé)	OUI	oui effluents industriels concentrés et fermentescibles	digesteur valorisation énergétique (COSENU...)	non étudié ici	nécessite un digesteur



Conclusions

On identifie plusieurs incitants à la mise en place de stratégie de récupération de matière dans les eaux usées qui peuvent éventuellement se combiner entre eux :

- Exploiter des sources alternatives de matières premières (potentiellement) critiques : c'est le cas du phosphore et de certains métaux ;
- Remplacer des produits pétrosourcés par des produits biosourcés : exemple des PHA, du biodiesel ;
- Réduire la consommation d'énergie des stations d'épuration : exemple de la cellulose, des PHA ;
- Valoriser les boues d'épuration, éventuellement au sein même de la station : exemple du biochar.

Pour certaines de ces matières, des installations industrielles sont déjà en fonction, ou proches de l'être, chez nos voisins européens.

Certains freins ou obstacles doivent néanmoins être levés. On citera :

- La concurrence entre la valorisation matière et la valorisation énergétique (concurrence avec la biométhanisation) ;
- Les infrastructures d'épuration à adapter pour permettre la récupération de certaines matières ;
- La structure « morcelée » du parc épuratoire wallon, liée à la configuration du territoire, qui limite la mise en œuvre d'installation de grande capacité ;
- Les technologies encore à développer, notamment en ce qui concerne les métaux ;
- Le coût de production des matières alternatives qui reste encore souvent supérieur au prix des matières conventionnelles ;
- La nécessité d'identifier des utilisateurs potentiels aux matières alternatives ;
- Le statut de déchet de certaines matières.

En mai 2024, les Pays-Bas, la France, la République Tchèque et l'Irlande interpellent la Commission européenne en plaidant pour la mise en œuvre d'une législation encadrant le remplacement du carbone pétrosourcé par du carbone biosourcé, dans une approche similaire à ce qui a été fait pour les énergies renouvelables. Cette législation devrait permettre :

- Le développement de marchés pour les produits biosourcés ;
- Un soutien à l'industrie stratégique dans ce domaine ;
- Une stratégie assurant la disponibilité du carbone durable, alignée avec la Directive Cadre sur les déchets et la stratégie UE pour la bioéconomie ;
- Assurer un développement cohérent et limiter les obstacles législatifs.

Le Rapport complet peut être obtenu via ce lien :

[Rapport complet](#)

Retrouvez l'ensemble de nos brochures
Circular Wallonia sur cebedeau.be



0. Circular Wallonia

2. Baromètre de l'Eau

3. WaterLoop Diagnostic

4. Water Audit Zoning



Le CEBEDEAU en deux mots

Fondé en 1947 comme spin-off de l'Université de Liège, le **CEBEDEAU** est devenu un centre de recherche et d'expertise privé spécialisé dans la durabilité de l'eau.

Ses principaux domaines d'expertises comprennent le traitement, l'échantillonnage et les analyses des eaux, le traitement des données, la microbiologie environnementale, ainsi que le cadre légal et administratif lié au domaine de l'eau.

Le **CEBEDEAU** agit pour une gestion durable des ressources en eau, grâce à son expertise technique et ses recherches scientifiques au service des entreprises et des collectivités.

Contact

CEBEDEAU

Allée de la découverte, 11
4000 Liège

info@cebedeau.be

www.cebedeau.be

[LinkedIn](#)



Wallonie

Avec le soutien du
Plan de Relance de la Wallonie



CIRCULAR
WALLONIA

L'eau est une des six chaînes de valeur prioritaires
retenues dans la stratégie Circular Wallonia.