

FICHES RESSOURCES

Dossier sur le compostage des boues d'épuration urbaines

Version 2020



Ce dossier a été réalisé par le groupe de travail Boues de l'Astee, rattaché aux commissions Assainissement et Déchets et propreté.

Dossier sur le compostage des boues d'épuration urbaines

Version 2020

Groupe de travail animé par
Romain Girault (Inrae)

Ont contribué à la rédaction et/ou à la relecture des fiches dans le cadre du groupe de travail

Emmanuel Adler (Rispo)
Laeticia Aubeut-Chojnacki (GRDF)
Sandra Bapst (SMRA68)
Lionel Benard (Siaap)
Gilbert Bridoux (Saur)
Hubert Brunet (Syprea)
Magalie Denisan (SUEZ)
Hubert Dupont (SUEZ)
Muriel Floriat (Amorce)
Romain Girault (Inrae)
Sabine Houot (Inrae)
Michel Lafforgue (Suez Consulting)
Annie Larrivet (Ministère des Finances)
Pamela Macquet (Saur)
Jean-Luc Martel (Biotval)
Clotilde Pinet (Fnade)
Fabienne Sylvain (V2R)
Anne Trémier (Inrae)

L'Astee remercie les personnes suivantes, qui ont apporté leur aide en participant à la relecture de ce document

Stéphane Garnaud-Corbel (OFB)
Solène Le Fur (Astee)
Lucile Marsollier (MTES/DEB)
Julie Reynaud (OIEau)

Sommaire

Édito 13

Fiche 1

Traitement, élimination et valorisation des boues d'épuration en Europe 14

Fiche 2

Quelques chiffres pour comprendre la filière française de compostage des boues 16

Fiche 3

Avantages et inconvénients du compostage des boues en comparaison d'une valorisation agronomique directe des boues brutes 19

Fiche 4

Le structurant : un co-substrat indispensable au compostage des boues 22

Fiche 5

Transparence et traçabilité des boues de station d'épuration : environnement réglementaire et normatif 25

Fiche 6

Les transferts dans l'environnement des contaminants contenus dans les boues et composts 27

Fiche 7

Les filières alternatives au compostage de boues d'épuration 32

Édito

La réglementation concernant le retour au sol des boues (seules ou en compost) a été débattue lors du projet de loi relatif à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire en fin d'année 2019. La loi¹ a été publiée au *Journal officiel* le 11 février 2020, elle contient un article (Art. 86) dédié aux boues de station d'épuration. Cet article impose une révision des référentiels applicables aux boues d'épuration en vue de leur usage au sol, avant le 1^{er} juillet 2021. De plus, les conditions dans lesquelles les boues peuvent être compostées seront déterminées par voie réglementaire.

Ces dispositions pourraient impacter les filières de compostage des boues d'épuration. Ces dernières sont construites par essence sur le principe d'un mélange entre :

- la boue, déchet organique pâteux, compact et fermentescible. Par «boue» il est entendu boues issues du traitement des eaux usées domestiques ;
- un co-produit structurant, dont la fonction est notamment d'apporter une porosité nécessaire pour l'aération du tas de compost. Ce rôle est en général assuré par des déchets verts et/ou par les refus de criblage.

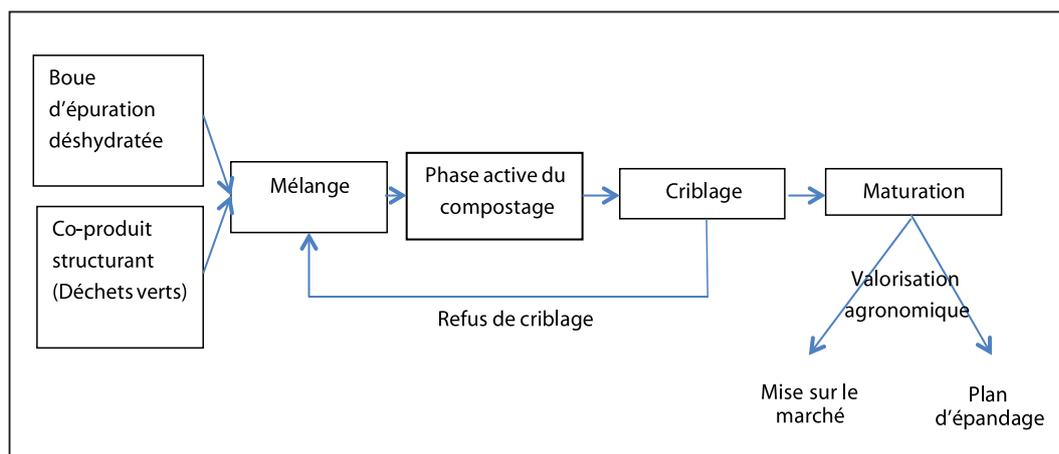


Schéma d'une filière de compostage type des boues d'épuration en France

Dans ce contexte d'évolution réglementaire, l'Association scientifique et technique pour l'eau et pour l'environnement (Asteé) a souhaité contribuer aux débats en cours. Ce travail n'a pas vocation à être exhaustif, mais il rassemble, sous forme de fiches, une synthèse d'éléments déterminants à la compréhension de ces filières.

Groupe de travail Boues de l'Asteé

¹ Loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire

Nota Bene : Dans tout ce document, les termes « Boues d'épuration » et « Boues » sont utilisés pour désigner les boues issues du traitement des eaux usées domestiques.

Traitement, élimination et valorisation des boues d'épuration en Europe

L'objectif de cette fiche est de présenter les différentes solutions de traitement et valorisation des boues d'épuration dans quelques pays européens. Tous les pays ayant développé des systèmes d'assainissement sont confrontés à la problématique du traitement, de la valorisation ou de l'élimination des boues d'épuration. Les solutions mises en œuvre découlent des contextes politiques, réglementaires, technologiques et environnementaux propres à chaque pays.

- La production de boues d'épuration urbaines en Europe avoisine les 10 millions de tonnes de matière sèche par an.
- Les boues sont principalement traitées par digestion et par compostage.
- La valorisation agronomique est prépondérante dans l'Union Européenne (UE).
- Les choix des filières de traitement, de valorisation ou d'élimination des boues sont basés sur des considérations politiques découlant de spécificités nationales.

Les données présentées ci-après sont issues de la base de données Eurostat et d'un questionnaire portant sur les modes de traitement, la destination des boues et la position des parties prenantes adressé par la Fédération européenne du retour au sol (EFAR : www.efar.be) à des référents experts dans ce domaine. Les réponses à ce questionnaire ont été obtenues pour les États membres suivants: Allemagne, Pays Bas, République Tchèque, Royaume Uni, Italie, Irlande, Belgique, Hongrie, Pologne, Portugal.

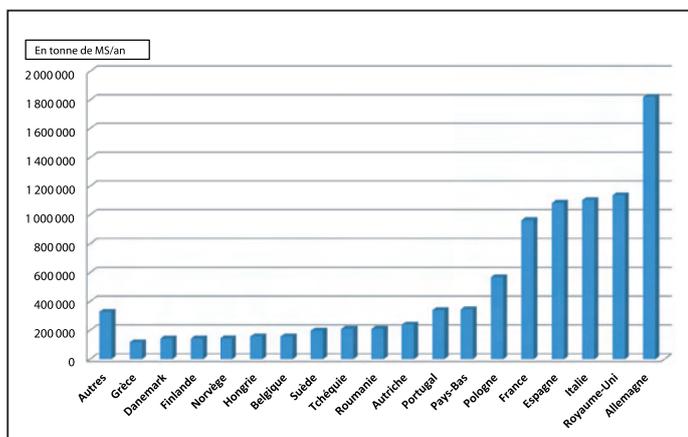
Boues produites en Europe : quantités, mode de traitement et destination

En Europe, les plus grands producteurs de boues d'épuration sont l'Allemagne, puis le Royaume-Uni, l'Espagne, l'Italie et la France qui cumulent à eux seuls près de 65% du tonnage total annuel produit en Europe (figure 1).

Les modes de traitement appliqués aux boues préalablement à leur élimination ou à leur valorisation sont la digestion anaérobie, le compostage et le chaulage et dans la plu-

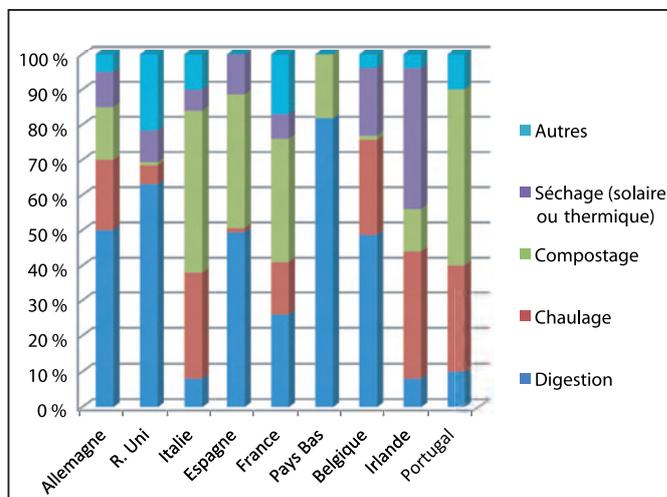
part des cas une déshydratation partielle par des moyens mécaniques ou quasi-totale par séchage thermique. L'Allemagne, le Royaume-Uni et les Pays-Bas digèrent plus de 50% des boues produites. De leur côté, la France, l'Italie et l'Espagne compostent plus de 30% des boues produites sur leur territoire. La totalité des pays qui compostent des boues utilisent des déchets verts comme co-produit et déclarent être autorisés à traiter conjointement les boues et les biodéchets (déchets biodégradables de jardin ou de parc, déchets alimentaires ou de cuisine). La figure 2 ci-dessous présente les modes de traitement des boues avant valorisation ou élimination. À noter que certaines boues compostées ou séchées ont pu faire l'objet d'une digestion préalable mais que les données permettant de quantifier la part de ces doubles traitements ne sont pas disponibles.

La valorisation agronomique que ce soit par épandage direct (avec ou sans méthanisation préalable) ou après compostage et pour la reconstitution de sols en vue de la réhabilitation



Source : Eurostat 2010-2015.

Figure 1. Production de boues d'épuration dans les différents pays européens en tonnes de matière sèche (MS) par an



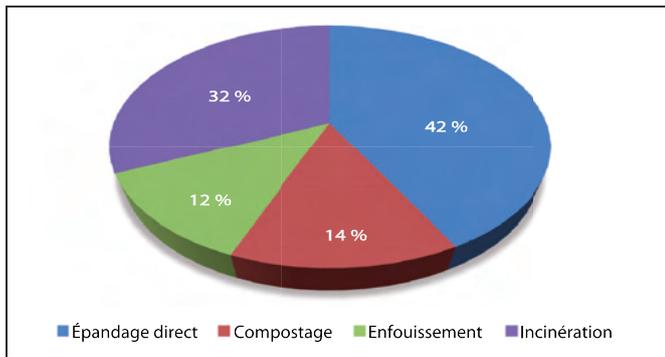
Source : questionnaire EFAR.

Figure 2. Filières de traitement appliquées aux boues dans différents pays européens

de sites est prépondérante en Europe (figure 3 et 4). Elle permet de bénéficier de la valeur fertilisante et amendante de près des deux tiers des boues produites. La répartition entre les différents types de valorisation varie selon les pays. En tête de l'utilisation agricole se trouvent le Portugal (90%), l'Irlande, le Royaume-Uni, l'Espagne, la France et l'Albanie (plus de 75% des boues produites).

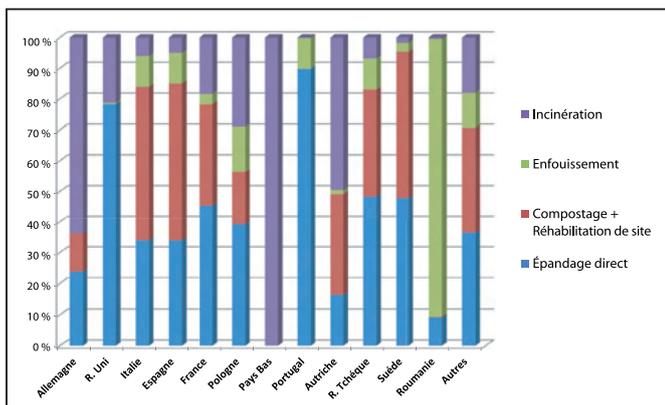
L'incinération quant à elle, est prédominante aux Pays-Bas (près de 100%), en Allemagne (70%) en Belgique (60%) et en Autriche (51%). Il faut noter toutefois qu'aucun de ces pays n'interdit la valorisation agronomique des boues d'épuration mais qu'ils restreignent cette pratique soit du fait de la production excédentaire de déjections animales soit pour privilégier des savoir-faire industriels spécifiques existants sur leur territoire national.

L'enfouissement reste une voie minoritaire au niveau des différents pays de l'Union (< 10%) et concerne principalement Malte (100%), la Serbie, la Bosnie-Herzégovine, la Croatie et la Roumanie (75%).



Source : Eurostat 2015.

Figure 3. Destination des boues urbaines au sein de l'Union Européenne



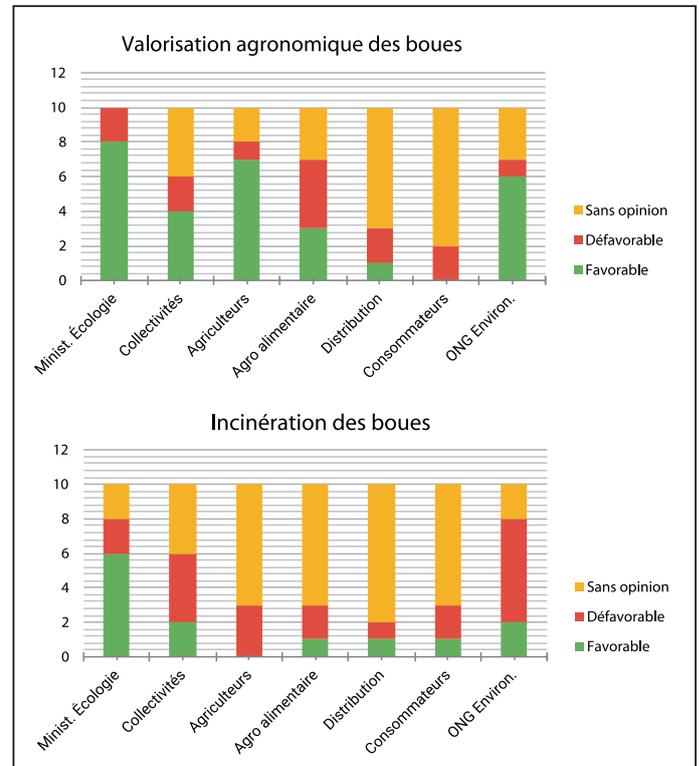
Source : Eurostat 2015.

Figure 4. Destination des boues urbaines au sein des différents pays de l'Union Européenne

Position des parties prenantes

En 2019, un questionnaire a été diffusé aux membres d'EFAR et à des experts reconnus pour évaluer la position des parties prenantes vis-à-vis des différentes filières de valorisation et d'élimination des boues. Des réponses ont été obtenues pour les pays suivants : Allemagne, Pays-Bas, République

Tchèque, Royaume-Uni, Italie, Irlande, Belgique, Hongrie, Pologne et Portugal. Il apparaît que la valorisation agronomique bénéficie d'une meilleure acceptation sociétale que l'incinération notamment auprès des associations de protection de l'environnement et des organisations agricoles.



Figures 5 et 6. Position des parties prenantes sur l'incinération et la valorisation agronomique des boues

Démarches de qualité applicables à la valorisation agronomique des boues

Outre une norme européenne sur les bonnes pratiques pour l'utilisation agricole des boues et une norme ISO en cours de finalisation, différents pays de l'Union Européenne ont développé des systèmes d'assurance qualité afin de mieux encadrer cette pratique : notamment le Biosolids Assurance Scheme (UK), le référentiel REVAQ (Suède), la certification des épandages agricoles de matières fertilisantes recyclées (Fr).

Points à retenir

- La valorisation agronomique est utilisée par la quasi totalité des pays de l'Union Européenne et constitue le débouché pour plus de 50% de la production de boues d'épuration. Cette filière bénéficie d'une meilleure acceptation sociétale que l'incinération qui concerne un peu moins du tiers des boues produites.
- Près de 25% des boues sont compostées avant d'être épandues sur les sols agricoles.
- La totalité des États membres de l'Union Européenne qui compostent des boues utilisent des déchets verts comme co-produit.
- Il est à noter que, certains pays européens (Pologne, Suède) pratiquent le mélange des boues d'épuration avec des biodéchets en digestion anaérobie.

Quelques chiffres pour comprendre la filière française de compostage des boues

L'objectif de cette fiche est de rappeler quelques chiffres utiles à la compréhension de la filière française de compostage des boues urbaines. Ils se basent en grande partie sur les données du Syndicat mixte recyclage agricole du Haut-Rhin (SMRA68).

Place du compostage dans la valorisation des boues

Selon les chiffres du ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES), en 2014, 33% des boues produites en France étaient compostées avant d'être épandues. Cependant, derrière cette moyenne nationale, se cache une très grande variabilité liée au contexte de chaque territoire. Ainsi, à titre d'exemple, en 2014, 89% des boues produites dans l'ex-région Languedoc-Roussillon étaient compostées, contre seulement 24% des boues produites dans l'ex-région Rhône-Alpes [AERMC, 2016].

Quelques éléments sur les caractéristiques agronomiques des composts de boues

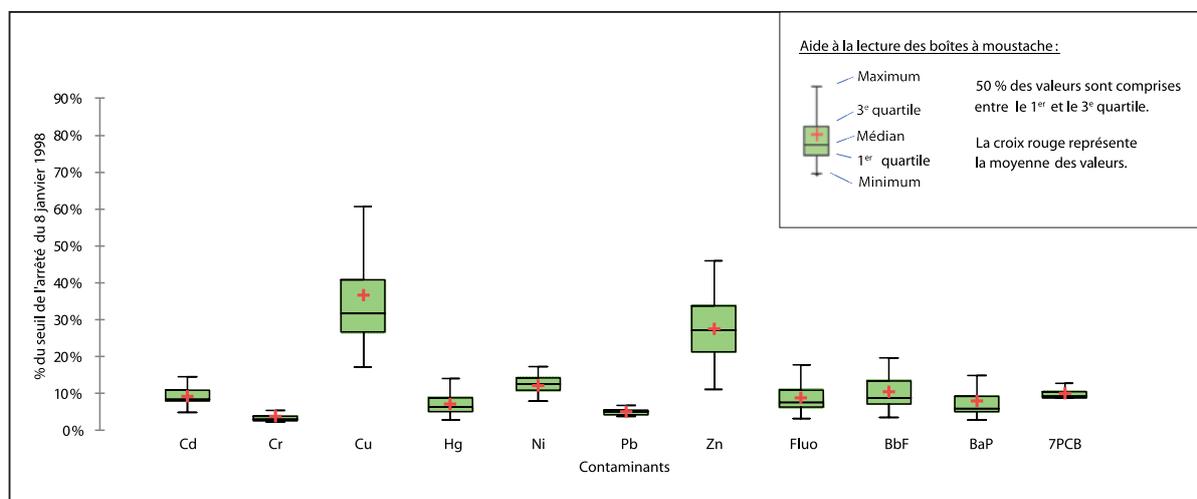
Selon les conclusions de l'expertise scientifique collective « matières fertilisantes d'origine résiduaire » [HOUOT *et al.*, 2014], les teneurs en nutriments dans les composts de boues sont très variables en fonction de l'origine des boues et des co-produits qui sont ajoutés lors du compostage. D'une manière générale, les composts de boues sont parmi les composts contenant le plus d'azote (en moyenne 2,3% de matière sèche (MS) contre 1,5% MS

pour un compost de déchets verts) et de phosphore (en moyenne 3,5% MS en P₂O₅ contre 0,6% MS en P₂O₅ pour un compost de déchets verts). Plus le compost contient de boues, plus les teneurs en azote et en phosphore sont élevées. Néanmoins, l'azote contenu dans le compost est peu disponible pour les cultures à court terme.

Environ 40% du carbone contenu dans les composts de boues contribue à l'augmentation du stock de carbone dans les sols. Ce chiffre est largement supérieur à celui observé pour des boues brutes (environ 25%) du fait de la biodégradation partielle de la matière organique lors du procédé et des ajouts de structurant.

Quelles caractéristiques ont les boues destinées au compostage en termes de contaminants réglementés ?

Il est difficile d'accéder aux caractéristiques moyennes des boues destinées au compostage en France car celles-ci ne sont pas centralisées. La *figure 1* représente les caractéristiques des boues entrant sur les plateformes de compostage dans le département du Haut-Rhin. On observe que les teneurs en contaminants sont inférieures aux seuils



Fluo : fluoranthène ; BbF : benzo(b)fluoranthène, BaP : benzo(a)pyrène, PCB : polychlorobiphényle.

Figure 1. Composition moyenne des boues brutes destinées à être compostées dans le Haut-Rhin (données brutes fournies par le SMRA68 pour la période 2015-2017 sur 26 stations de traitement des eaux usées)

réglementaires. Classiquement, le cuivre et le zinc sont les contaminants dont les teneurs sont les plus proches de ces derniers. Ces contaminants peuvent être issus de rejets industriels et artisanaux dans le réseau d'assainissement, des canalisations domestiques d'eau potable ou des ruissellements sur les terrains viticoles (cuivre) et des eaux de ruissellements de toiture (zinc principalement).

Comment évoluent les teneurs en contaminants réglementés entre l'entrée et la sortie d'une plateforme de compostage ?

Au cours du procédé de compostage des boues, les teneurs mesurées en contaminants métalliques et organiques réglementés peuvent évoluer essentiellement du fait de trois processus :

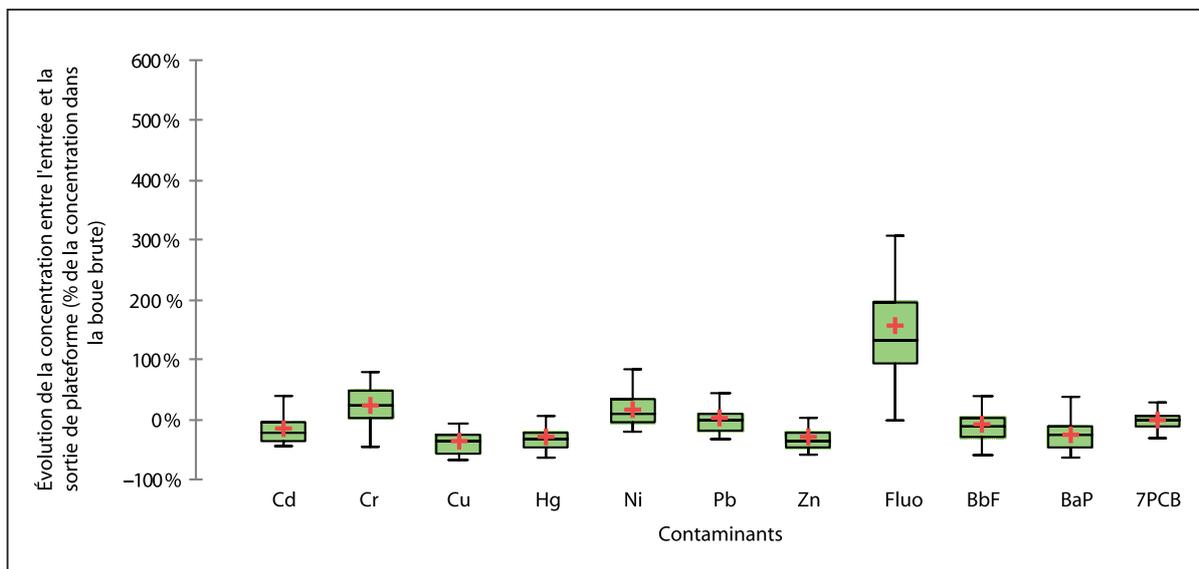
- la dégradation de la matière organique. Cette dernière engendre la dégradation de 30 à 45% des matières sèches des boues. Les teneurs en contaminants étant exprimées

par rapport à la matière sèche du compost, le compostage peut engendrer une modification des teneurs observées même dans le cas où le contaminant concerné n'est pas impacté par le procédé ;

- l'ajout de co-produits (structurant,...) dont une partie de la matière sèche peut-être incorporée au compost final et dont les teneurs en contaminants peuvent différer de celles des boues ;
- la dégradation de contaminants organiques lors du procédé, cette dernière étant, en général, négligeable ou nulle pour les contaminants réglementés.

La *figure 2* représente l'évolution des teneurs en contaminants réglementés entre les boues brutes et les composts de boues observées dans le Haut-Rhin.

Trois types d'effets peuvent être distingués et sont résumés dans le *tableau I*.



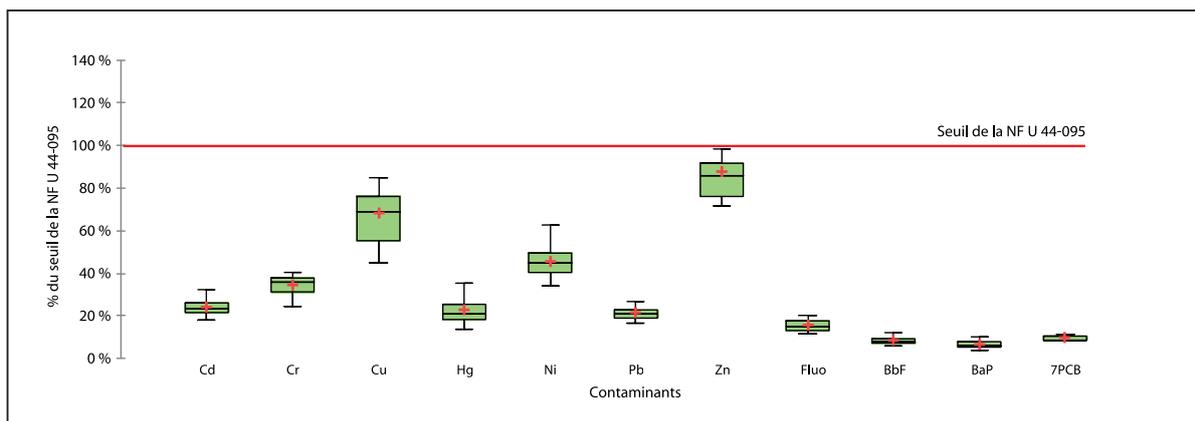
Fluo : fluoranthène, BbF : benzo(b)fluoranthène, BaP : benzo(a)pyrène, PCB : polychlorobiphényle.

Figure 2. Évolution des teneurs en contaminants entre les boues brutes et les composts de boues dans le Haut-Rhin (données brutes fournies par le SMRA68 pour la période 2015-2017 sur 26 stations de traitement des eaux usées)

Contaminants dont la teneur a tendance à baisser	Contaminants dont la teneur mesurée augmente entre 0 et 50 %	Contaminants dont la teneur mesurée augmente de plus de 50%
Cuivre, Zinc, Mercure, Cadmium, Benzofluoranthène, Benzopyrène	Chrome, Nickel, Plomb, 7 PCB	Fluoranthène
L'effet de l'apport de co-produits présentant une plus faible teneur que les boues supplante celui dû à la dégradation de la matière organique des boues.	Contaminants pour lesquels la dégradation de la matière organique lors du procédé engendre une augmentation de la teneur mesurée par rapport à la matière sèche du compost ou contaminant pouvant être apporté lors du procédé via l'usure des pièces mécaniques (crible pour Cr et Ni)	L'apport de co-produits significativement plus concentrés pour cet élément que les boues engendre une teneur dans le compost significativement supérieure à celle observée sur la boue brute

PCB : polychlorobiphényle.

Tableau I. Synthèse de l'évolution des teneurs en contaminants entre les boues brutes et le compost de boues



Fluo : fluoranthène ; BbF : benzo(b)fluoranthène, BaP : benzo(a)pyrène), PCB : polychlorobiphényle.

Figure 3 : Teneurs en contaminants organiques et métalliques observées sur les composts de boues dans le Haut-Rhin en pourcentage des seuils prévus par la norme NFU 44-095 (données brutes fournies par le SMRA68 pour la période 2015-2017 sur 26 stations de traitement des eaux usées)

Quelles teneurs en contaminants organiques et métalliques ont les boues compostées ?

La figure 3 présente la distribution des teneurs en contaminants des boues compostées sur le département du Haut-Rhin [SMRA68, 2015-2017]¹. On peut noter que pour la plupart des contaminants, les teneurs sont largement inférieures aux seuils de la NFU 44-095. Les trois contaminants dont les teneurs se rapprochent le plus des seuils

de la norme sont le cuivre et le zinc. Ces éléments sont responsables de la plupart des non-conformités observées sur les composts de boues lors des audits effectués sur les plateformes.

¹ À noter que dans ce département, les plateformes fonctionnent majoritairement en logique « déchets » (six gisements sur une cinquantaine en logique de mise sur le marché et les composts ne sont dans ces cas pas soumis aux seuils de la NFU 44-095, mais à ceux de l'arrêté du 8 janvier 1998.)

Points à retenir

- Les composts de boues font partie des composts les plus concentrés en azote et en phosphore.
- L'impact du compostage sur les contaminants est très variable selon les éléments concernés.
- Sur les données étudiées, la plupart des teneurs en contaminants sont significativement inférieures aux seuils de la NFU 44-095. Le cuivre et le zinc étant les éléments dont les teneurs sont les plus proches de ces seuils.

Bibliographie

AERMC (AGENCE DE L'EAU RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE) (2016) : *Qualité des boues recyclées des stations d'épuration urbaines – Bassin RMC (évolution de 2000 à 2014)*

HOUOT S., PONS M.N., PRADEL M., TIBI A. (2014) : *Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier, impacts agronomiques, envi-*

ronnementaux, socio-économiques. Rapport INRA-CNRS-Irstea (France). 930p.

SMRA68 [SYNDICAT MIXTE RECYCLAGE AGRICOLE DU HAUT-RHIN] : *Données SMRA sur les caractéristiques des composts de boues de 26 stations entre 2015 et 2017 analysées par les membres du GT boues de l'Astee*.

Avantages et inconvénients du compostage des boues en comparaison d'une valorisation agronomique directe des boues brutes

L'orientation d'une filière de valorisation des boues vers un compostage avant valorisation agronomique repose essentiellement sur sa pertinence au regard du contexte territorial, tant au niveau agricole que sociétal. Cette fiche propose une synthèse des principaux avantages et inconvénients du compostage des boues, en comparaison à une valorisation agronomique directe de ces dernières.



Plateforme de compostage des boues



Épandage agricole des boues

Le compostage en bref

Le compostage des boues permet de traiter simultanément boues et déchets verts de nos communes. Externaliser le procédé sur une plateforme dédiée permet de diminuer les volumes de produit à stocker sur sites : stations d'épuration et déchetterie. Au final, les quantités à valoriser sont moindres et plus faciles à gérer, et le produit obtenu bénéficie d'une meilleure image que les boues brutes auprès du public et des agriculteurs (aspect, caractéristiques physiques et propriétés agronomiques). Mais, le site de compostage, lui, peut être source de nuisances olfactives, voire de poussières et/ou de prolifération de mouches, et donc être mal accepté (plaintes de la part des riverains).

Si le compostage est deux à trois fois plus cher que l'épandage direct des boues (par exemple dans le Haut-Rhin, les coûts sont de l'ordre de 70€ la tonne de matière brute pour du compostage contre 25 à 35€ la tonne pour une valorisation par épandage direct), cela reste moins coûteux que l'incinération (plus d'une centaine d'euros par tonne de matière brute). Dans les secteurs où les épandages de boues brutes ne sont pas possibles (types de sol, rotations culturales, exposition et sensibilité des populations aux nuisances...), le compostage permet d'augmenter les possibilités de valorisation agricole, de limiter le recours à l'incinération et, donc, le nombre d'usines ou de sites à prévoir.

Côté producteurs de boues (collectivités et industriels)

Le compost de boues est un produit stabilisé : il n'est pas source de nuisances olfactives à la différence des boues brutes, du stockage jusqu'à l'épandage, et ses conditions d'emploi sont plus souples (niveau d'aptitude du sol à l'épandage, proximité des habitations, etc.). Plus sec et homogène que les boues brutes dont il est issu, il est plus facile à manipuler et à stocker (tenue en tas).

En contrepartie, le procédé est coûteux. En effet, le site de production doit être performant, correctement encadré (cf. arrêtés du 22 avril 2008 pour les plateformes de compostage soumises à autorisation et du 20 avril 2012 pour celles soumises à enregistrement). Il nécessite une surface conséquente et étanchéifiée, une main d'œuvre qualifiée, des équipements et du matériel adaptés, dont une lagune de récupération des jus et un pont bascule. Il sera, de préférence, clôturé et couvert, avec utilisation de masquant et/ou traitement des odeurs. À ceci s'ajoute le coût du transport (de la station d'épuration au site de compostage, puis du site de compostage aux parcelles d'épandage), la consommation énergétique lors du traitement (manipulation, aération forcée...), ainsi que les mesures à prendre en matière d'hygiène et de sécurité (dégagement d'ammoniac lors des retournements, parfois risques sanitaires ou liés à la circulation d'engins).

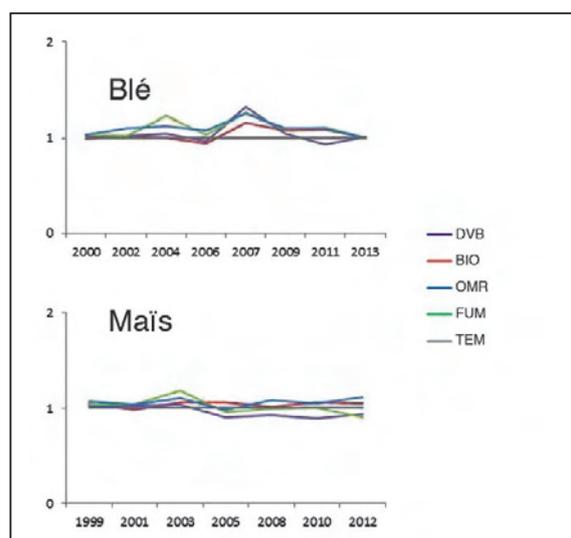
Par ailleurs, si les flux de matières sont tracés sur les sites de compostage (registres des entrées et des sorties), ceci implique un double suivi analytique, des boues à l'entrée de la plateforme et du compost à la sortie.

Côté agriculteurs et grand public

Le compost est un produit très intéressant d'un point de vue agronomique. C'est un produit plus complet que les boues, à la fois fertilisant (apport d'éléments nutritifs aux plantes) et amendement (améliore les propriétés physiques des sols). Plus riche en potasse et en phosphore, il permet de faire l'impasse sur la fumure de fond. L'azote apporté est, lui, moins disponible immédiatement pour les cultures, mais libéré à plus long terme via la minéralisation de la matière organique des sols augmentée par des apports réguliers (figure 1) [PELTRE *et al.*, 2012], ce qui limite les risques de fuites de nitrates dans l'environnement [CHALHOUB *et al.*, 2013; NOIROT-COSSON *et al.*, 2016] et permet une utilisation plus large que les boues brutes (types de sols, périodes d'autorisation d'épandage au regard de la Directive Nitrates¹, etc.). Riche en matière organique, il a aussi des effets bénéfiques sur la biologie du sol (populations de vers de terre par exemple, [CAPOWIEZ *et al.*, 2009]), sa structure et sa stabilité [ANNABI *et al.*, 2011], comme le montrent les résultats de l'essai de longue durée QualiAgro mené par l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) de Grignon et Veolia dans les Yvelines. Cela garantit une meilleure porosité du sol et, donc, une meilleure infiltration de l'eau de pluie, un meilleur enracinement des cultures et une plus grande disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes. Il contribue ainsi à limiter l'érosion et les « coulées de boues ». Enfin, il favorise la rétention d'eau et permet de limiter les besoins en irrigation [EDEN *et al.*, 2017].

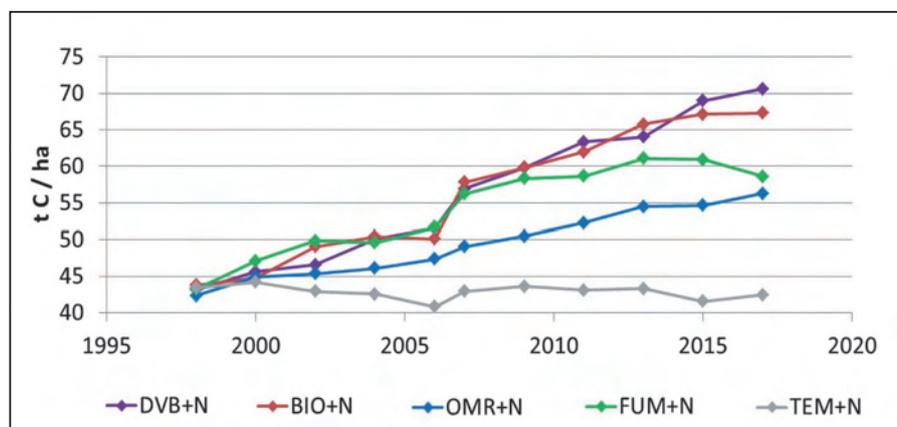
En matière d'innocuité, il faut noter que seules des boues qui pourraient être épandues directement en agriculture, avant leur entrée sur le site de compostage, sont acceptées

pour la fabrication de compost à vocation agricole et que le compost doit respecter *a minima* les mêmes critères réglementaires que les boues initiales. La montée en température au cours du procédé de fabrication garantit, elle, une hygiénisation et favorise l'élimination des germes pathogènes et d'adventices². Le compost peut également être normalisé (cf. fiche n°5 : environnement réglementaire et normatif) : le panel d'éléments à mesurer est alors plus large que dans les boues (inertes, autres métaux et agents pathogènes, Indice de stabilité de la matière organique (ISMO) et les teneurs à respecter sont plus contraignantes. Les mesures doivent aussi attester de la régularité dans le temps du produit. Il peut alors être mis sur le marché, y compris à destination du grand public ou des collectivités.



DVB : compost de boues ; BIO : compost de biodéchets ; OMR : compost d'ordures ménagères résiduelles ; FUM : fumier de bovins ; TEM : témoin sans apport organique.

Figure 2. Évolution des teneurs relatives en zinc dans les grains de blé et de maïs de l'essai QualiAgro (rapport entre les teneurs dans les grains récoltés dans un traitement organique et ces teneurs dans les grains du traitement témoin ne recevant aucun apport)



+N : apport d'azote ; DVB : compost de boues ; BIO : compost de biodéchets ; OMR : compost d'ordures ménagères résiduelles ; FUM : fumier de bovins ; TEM : témoin sans apport organique.

Figure 1. Évolution des stocks de carbone dans l'horizon de labour du site QualiAgro

¹ La Directive 91/676/CEE du Conseil concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles

² Se dit d'une plante qui pousse spontanément dans une culture, synonyme de mauvaise herbe. [Définition Larousse]

Toutefois, des teneurs parfois plus élevées ou des dépassements en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP fluoranthène) et en éléments traces métalliques (ETM) - zinc, cuivre, arsenic, plomb peuvent être notés. Ces derniers peuvent être liés à la qualité des intrants (boues mais aussi déchets verts d'origine urbaine), la qualité du matériel (usure des mélangeuses, des cribles), la présence d'indésirables (plastiques) qui peuvent être dus à des mauvais gestes de tri, ou à des taux élevés de refus de criblage. Ces points sont particulièrement surveillés et les lots concernés écartés (cf. fiche n°7 : départ en filière alternative).

Des suivis de qualité des récoltes dans des essais de longue durée montrent des augmentations de rendements avec les composts de boues, mais aucune dégradation de la qualité des grains n'est observée (cf. exemple des teneurs en zinc dans la figure 2).

Points à retenir

- Le compost a des caractéristiques et intérêts agronomiques spécifiques, différents de ceux des boues : en fonction des besoins de ses cultures et de ses parcelles, l'agriculteur peut choisir d'utiliser plutôt l'un que l'autre.
- Le compost, produit solide, stabilisé et hygiénisé, issu d'un processus biologique naturel, bénéficie d'une image plus positive auprès du public et présente moins de risque en termes de nuisances olfactives que l'épandage.
- Le compost permet aux producteurs de boues de les valoriser plus aisément (facilité de stockage, manutention) et sereinement (limitation des volumes, débouchés plus larges, agricoles ou non, moins de retours négatifs ou de plaintes de la population).
- Le compost est un levier essentiel de la valorisation agronomique de la matière organique. Il participe au recyclage des déchets et, donc, au développement de l'économie circulaire.

Bibliographie

ANNABI M., LE BISSONNAIS Y., LE VILLIO-POITRENAUD M., HOUOT S. (2011): « Improvement of soil aggregate stability by repeated applications of organic amendments to a cultivated silty loam soil. » *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144, 1 : 382-389.

CAPOWIEZ Y., RAULT M., MAZZIA C., LHOUTELLIER C., HOUOT S. (2009) : « Étude des effets des apports de produits résiduels organiques sur la macrofaune lombricienne en conditions de grandes cultures ». *Étude et Gestion des Sols*; 3, 4: 175-185.

CHALHOUB M., GARNIER P., COQUET Y., MARY B., LAFOLIE F., HOUOT S. (2013): « Increased nitrogen availability in soil after repeated compost applications: Use of the PASTIS model to separate short and long-term effects. » *Soil Biology and Biochemistry*; 65: 144-157. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.soilbio.2013.05.023>

EDEN M., GERKE H.H., HOUOT S. (2017): « Organic waste recycling in agriculture and related effects on soil water retention and plant available water: a review ». *Agronomy for Sustainable Development*; 37, 2, article n° 11, 21 p. <http://dx.doi.org/doi:10.1007/s13593-017-0419-9>

NOIROT-COSSON P.E., VAUDOUR E., GILLIOT J.M., GABRIELLE B., HOUOT S. (2016): « Modelling the long-term effect of urban waste compost applications on carbon and nitrogen dynamics in temperate cropland ». *Soil Biology and Biochemistry*; 94: 138-153. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.soilbio.2015.11.014>

PELTRE C., CHRISTENSEN B.T., DRAGON S., ICARD C., KÄTTERER T., HOUOT S. (2012): « RothC simulation of carbon accumulation in soil after repeated application of widely different organic amendments. » *Soil Biology and Biochemistry*; 52: 49-60. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.soilbio.2012.03.023>

Le structurant : un co-substrat indispensable au compostage des boues

Cette fiche a pour objectif de donner des éléments de connaissance sur le rôle du structurant au cours du procédé de compostage et d'apporter des informations sur l'origine, l'intérêt et l'effet sur la qualité des composts de boues des principaux structurants utilisés.

Rôles du structurant dans le compostage de boues

Les boues constituent un des sous-produits du traitement des eaux usées. Elles contiennent des matières organiques et minérales en suspension ou dissoutes et sont généralement concentrées en sortie de station de traitement des eaux usées. Leurs caractéristiques peuvent être extrêmement variables d'une station à l'autre, avec cependant les caractéristiques moyennes suivantes : 15 à 30 % de matière

sèche, environ 60 % de matière organique dans la matière sèche et un rapport C/N compris entre 5 et 15 [SERANI et CANCELL, 2009]. Ainsi, les boues représentent un substrat organique riche en azote ce qui entraîne un rapport carbone sur azote (C/N) assez faible. Elles constituent un massif très humide et non poreux, donc non aérable. Le compostage des boues est donc conditionné à la structuration de la masse de boues par mélange à un co-substrat. L'adhésion

Nature du co-substrat structurant	Description	Cas/Fréquence d'utilisation	Contribution aux conditions de compostage		
			Porosité	Apport nutritif	Absorption d'eau
Déchets verts « frais »	Branchages, feuilles, tontes apportées en déchetterie	Généralement utilisé en complément d'un refus de criblage	Bon agent de création de porosité potentiellement	Apport significatif de C biodégradable permettant d'augmenter le C/N des matières biodégradables en présence de branchages et feuilles Apport supplémentaire de N biodégradable si forte proportion de tontes	Capacité d'absorption d'eau bonne à moyenne selon humidité du substrat
Refus de criblage de compost (déchets verts grossiers non complètement dégradé ou structurant récupéré en fin de cycle de compostage)	Partie grossière du compost de déchets verts, supérieure à la maille de criblage du compost (> 10-20 mm), composée principalement de reste de branchages	Très fréquemment mis en œuvre	Très bon agent de création de porosité	Apport de C biodégradable faible : faible augmentation du rapport C/N biodégradable	Capacité d'absorption d'eau bonne à moyenne selon humidité du substrat
Palettes de bois déchiquetées	Palettes de transport réformées et broyées	Dépend de la disponibilité locale Coût potentiel et concurrence possible avec d'autres voies de valorisation	Bon agent de création de porosité	Apport de C biodégradable faible à modéré avec augmentation modérée du rapport C/N biodégradable	Capacité d'absorption d'eau bonne à moyenne selon humidité du substrat
Écorces de pin	Morceaux grossiers issus de l'écorçage des grumes en scierie	Utilisation liée à une disponibilité locale Coût potentiel et concurrence possible avec d'autres voies de valorisation	Création de porosité bonne à moyenne selon la friabilité de l'écorce	Apport significatif de C biodégradable : augmentation importante du rapport C/N biodégradable	Bonne capacité d'absorption d'eau
Copeaux, sciures de bois	Résidus fins de transformation du bois en scierie	Utilisation plutôt observée pour des procédés de compostage semi-continu avec brassage régulier du massif composté (procédés couloir)	Création de porosité moyenne à médiocre	Apport très significatif de C biodégradable et augmentation importante du rapport C/N biodégradable	Forte capacité d'absorption d'eau

Tableau I. Co-substrats structurants usuels en compostage de boues

de la boue sur le co-substrat et l'enchevêtrement des éléments particuliers rendent le mélange poreux. Au-delà du rôle de **structuration physique**, le co-substrat structurant peut remplir des rôles complémentaires qui modifient et améliorent les conditions de biodégradation [ROGEAU et DE GUARDIA, 2001] : **équilibre de l'humidité du milieu** (capacité de rétention d'eau) ; **apport de substrats carbonés biodégradables et de fibres** permettant (i) d'augmenter le rapport carbone/azote afin d'améliorer la biodégradabilité et donc la montée en température hygiénisante (ii) de contribuer à la production de matières humifiées dans les composts finaux. Enfin, le co-substrat structurant peut aussi avoir un effet sur la **limitation d'émissions gazeuses azotées et d'émissions odorantes** [BOTSFORD *et al.*, 1997].

Principales sources de matériaux structurants utilisés pour composter les boues

Les matériaux que l'on peut retrouver usuellement comme structurant sur les sites de compostage de boues sont présentés dans le *tableau I* (liste non exhaustive).

D'autres matériaux structurants ont été testés par les opérateurs ou étudiés dans la littérature. On peut notamment citer des essais de compostage avec un structurant synthétique élaboré à base de paille et de méthylène diphényle diisocyanate. Selon CHUANG *et al.* [2015], ce structurant est recyclé à plus de 90% à l'issue du cycle de compostage. Ces structurants synthétiques ne sont pas utilisés en routine et peu de données sont accessibles sur leurs impacts.

Quels effets du structurant sur la qualité finale du compost de boues ?

Outre son effet sur l'aération du massif de boues en compostage qui améliore la biodégradation et donc la stabilisation de la matière organique, mais aussi l'hygiénisation et le séchage dus à la montée en température, l'apport de structurant peut impacter la qualité du compost final.

Humification

Au-delà de l'apport potentiel de matière biodégradable complémentaire, et ainsi de l'augmentation du rapport C/N biodégradable du mélange, l'intérêt de l'utilisation d'un matériau structurant qui soit aussi un co-substrat réside dans l'apport de substances fibreuses qui contribuent significativement à l'humification des composts et donc à leur valeur agronomique.

Impact du structurant sur les teneurs en contaminants

La qualification de co-substrat implique qu'une part du matériau structurant va être dégradée au cours du compostage et/ou transformée et conservée dans le compost final. Même si ce n'est pas l'objectif recherché, cette contribution du matériau structurant à la production du compost peut conduire mathématiquement à une diminution des teneurs des éléments indésirables initialement présents dans la boue et non dégradés au cours du procédé de compostage comme les éléments trace métalliques et certains polluants organiques (*Tableau I*, *fiche n°2 – chiffres clés*).

Fonctionnement du simulateur

Le simulateur est une simple feuille Excel composée de trois principaux « pavés » interactifs :

- 1/ quantités et qualités des trois constituants du mélange initial : boues, structurant frais, structurant recyclé permettant de caractériser le **mélange initial (quantité, qualité)** ;
- 2/ hypothèses de pertes process en eau et en matière organique durant le compostage permettant de caractériser le **mélange final = compost brut (quantité, qualité)** ;
- 3/ hypothèses de criblage du compost brut (taux de passant et taux de refus respectifs en matière brute et en matière sèche) permettant de caractériser le **refus = structurant recyclé (quantité, qualité) et le compost final (quantité, qualité)**.

Pour chaque nouvelle hypothèse de travail considérée (qualité boue et déchets verts à saisir), la quantité de déchets verts apportée est modifiée manuellement de sorte à approcher pour le mélange initial un teneur en matière sèche voisine de 40%, puis les qualités/quantités respectives du refus obtenu (3^e pavé) et du refus recyclé en tête de process (1^{er} pavé) sont ajustées par itérations successives de sorte à obtenir un nouveau jeu de données homogènes et de simuler la qualité et la quantité de compost final produit à partir de l'hypothèse de travail considérée.

Qu'en est-il réellement ?

Nous proposons d'illustrer cette fiche par un exemple pratique de co-compostage de boues mené avec des déchets verts en considérant différents teneurs en matière sèche des boues (15 à 30%) et en prenant en compte le retour en tête de compostage des refus de criblage. Notre objectif est de préciser pour chaque cas envisagé à la fois la consommation « nette » de déchets verts (quantité de déchets verts consommée par tonne de boue traitée), la production effective de compost (tonne par tonne de boue traitée) et sa qualité : teneurs en matière sèche (MS), matière volatile (MV), en cuivre (Cu) et en cadmium (Cd).

Les principales hypothèses de travail retenues pour les matières entrantes et pour le process de compostage sont les suivantes :

- boues urbaines à 75% de MV et contenant 337 mg/kg de MS de Cu et 1,4 mg/kg de MS de Cd ;
- déchets verts frais = déchets verts broyés à 50% de MS et 60% de MV et contenant au maximum 25 mg/kgMS de Cu et 0,3 mg/Kg MS de Cd ;
- mélange initial à 40% de MS et Process de compostage entraînant environ 40% de perte totale de masse du mélange initial dont 80% d'eau et 20% de MS ;
- criblage final relativement grossier produisant environ 65% de compost et 35% de refus recyclés en tête de process en totalité ;
- refus de criblage = fraction grossière des déchets verts récupérée lors du criblage et recyclée en tête de process :

elle est mélangée avec les déchets verts frais et les boues à traiter de sorte à diminuer la consommation de déchets verts et à augmenter la porosité du mélange initial.

Les fourchettes de résultats obtenus pour des boues titrant 15 à 30% de MS sont données dans le *tableau II* et ont été établies avec l'aide d'un simulateur prenant en compte les hypothèses énoncées précédemment (*voir encadré*).

Selon le taux de matière sèche des boues considéré, les besoins bruts et nets en structurant de type déchets verts varient du simple au double et respectivement de 100 à 200% et de 60 à 140% de la masse de boue traitée et en moyenne la quantité de déchets verts à mobiliser pour le compostage des boues est d'une tonne pour une tonne de boue. Pour des boues titrant de 15 à 30% de MS, la consommation de structurant sec diminue de 66 à 54% du total apporté dans le mélange initial et les teneurs en Cu et en Cd du compost produit augmentent respectivement de 27 à 54% et de 43 à 64% des teneurs initiales de la boue traitée.

Par ailleurs, si on fait varier le taux de MS des déchets verts

frais, et si on l'abaisse à 45% au lieu de 50%, les besoins bruts et nets en structurant de type déchets verts augmentent et se situent respectivement, pour des boues variant de 15 à 30% de MS, dans les fourchettes 130-300% et 80-210% de la masse de boue traitée.

Ces simulations grossières minorent les teneurs réelles en ETM du compost produit par rapport à la réalité car le simulateur utilisé considère que les matières volatiles donc les matières minérales (MM) sont partagées de la même façon entre le compost produit et les refus, alors qu'en réalité la fraction grossière est généralement plus riche en MV et moins riche en MM que la fraction fine formant le compost. Quoiqu'il en soit, elles montrent la grande variabilité des consommations de déchets verts pouvant être utilisés sur les plateformes de compostage de boues et nécessités par le process selon la qualité des boues et selon la saison et qu'il s'avère délicat d'encadrer de façon rigoureuse les ratios d'utilisation des déchets verts par tonne de boue traitée.

Teneur en MS des boues	Unité	15%	20%	25%	30%
Ratio massique de mélange déchets verts frais avec les boues	%	140	110	70	60
Ratio massique global de mélange structurant avec les boues	%	203	165	114	102
Taux de consommation sur brut du structurant utilisé	%	69	67	61	59
Taux de consommation sur sec du structurant utilisé	%	66	63	58	54
Quantité de compost produite en tonne par tonne de boue	t	1,22	1,07	0,86	0,81
Teneur en matière sèche du compost produit	%	51	51	50	54
Teneur en matière organique du compost produit	%	25	26	27	30
Teneur en cuivre du compost produit	mg/kg MS	91	118	162	183
Teneur en cadmium du compost produit	mg/kg MS	0,6	0,6	0,8	0,9

Pour rappel : Boues à 75% de matières volatiles, 337 mg/Kg MS de cuivre et 1,4 mg/Kg MS de cadmium.

Déchets Verts frais à 50% de matière sèche, 60% de Matières volatiles, 25 mg/Kg MS de cuivre et 0,3 mg/Kg MS de cadmium.

Tableau II. Chiffres clés du compostage de boues et de déchets verts selon la teneur en matière sèche des boues

Points à retenir

- Le compostage de boues sans co-substrat structurant n'est physiquement pas réalisable.
- Le rôle de structuration physique (porosité/absorption d'eau) influence la biodégradation via l'amélioration de l'apport d'oxygène permettant ainsi une montée en température assurant l'hygiénisation.
- Le co-substrat (apport nutritif) permet d'apporter du carbone biodégradable aux boues et d'améliorer la biodégradation, mais aussi des fibres pour améliorer l'humification.
- L'impact du structurant sur la qualité du compost final dépendra de sa qualité intrinsèque (teneur en matière sèche, profil granulométrique, biodégradabilité et teneur en éléments polluants), de la teneur en matière sèche initiale des boues traitées et de la maille de criblage utilisée en fin de compostage.

Bibliographie

BOTSFORD C. W., HUANG E., MAGEE R. (1997): *Control of odor from composting sources*. Proceedings of the Air & Waste Management Association's Annual Meeting & Exhibition: 14.
 CHUANG M., JI-HONG Z., HONG-ZHONG Z., MING-BAO W., CHANG-MING Y. (2015): « Effect of a New Bulking Agent on Sewage Sludge Composting. » *Nature Environment & Pollution Technology*; Vol. 14 Issue 1 : p133-136.

ROGEAU D., DE GUARDIA A. (2001) : Analyse de la contribution des co-substrats "structurants" au traitement des boues par compostage, Cemagref - Ademe - SITA - Université de Provence : 88 p.
 SERANI A., CANSELL F. (2009) : Caractérisation des déchets. MOLETTA R. Les traitements des déchets, Paris, Tec&Doc Lavoisier : 3-24.

Transparence et traçabilité des boues de station d'épuration : environnement réglementaire et normatif

La traçabilité est au cœur de l'environnement réglementaire relatif à la valorisation agronomique des boues. La présente fiche confronte les dispositions de transparence et de traçabilité associées à la valorisation agronomique des boues brutes et des boues compostées. Les boues et composts de boues conformes ont le statut de déchet au titre de la réglementation déchet, disposition précisée dans l'article 95 de la loi EGAlim¹ d'octobre 2018, ce qui implique une responsabilité de la part du producteur de déchets et une obligation d'en assurer la gestion jusqu'à élimination ou valorisation finale.



Andains de composts de Boues

Les matières fertilisantes et supports de cultures (MFSC) soumis à plan d'épandage

Le code de l'environnement² rend obligatoire la réalisation d'un plan d'épandage pour l'utilisation des boues sur les sols agricoles, à l'exception des boues conformes à une norme rendue d'application obligatoire ou disposant d'une autorisation de mise sur le marché (AMM)³. L'Arrêté du 08/01/98, modifié le 03/06/98, fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles, vient préciser les modalités de mise en œuvre du plan d'épandage et de la surveillance.

Une fois établi entre le maître d'ouvrage de la station et l'exploitant agricole, les plans d'épandage sont soumis à déclaration ou autorisation préfectorale, et leur pérennité est conditionnée par une traçabilité des boues (et des sols) et un suivi agronomique. En réponse à une demande citoyenne, le préfet se doit de rendre public le bilan agronomique des épandages.

¹ Loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous

² Articles R. 211-26 à R. 211-46 du code de l'environnement (c. envir.)

³ Article R. 211-27 c. envir.

Dispositifs de traçabilité dans l'arrêté du 8 janvier 1998

Les modalités de surveillance sont définies en Section III (articles 13 à 19) de l'arrêté et dans les annexes I à IV.

- Les analyses portent sur : les concentrations éléments trace métalliques (ETM) dans les sols et dans les boues, composés traces organiques (CTO), flux cumulés en matière sèche (30t/ha maximum sur dix ans), le flux cumulé maximum en ETM et CTO apporté par les boues, la caractérisation de la valeur agronomique des boues et des sols.

Les fréquences d'analyses des boues.

- Art. 3 : réalisation d'un programme prévisionnel d'épandage (pour les stations de capacité supérieure à 120kg de DBO₅);
- Art. 4 : remise du bilan agronomique au préfet avant le programme prévisionnel de la campagne suivante ;
- Art. 13 : les résultats d'analyses doivent être fournis avant épandage ;
- Art. 15 : les sols sont également analysés en amont de l'épandage (lors de l'étude préalable ou sa mise à jour) et, au minimum, tous les dix ans sur les parcelles dites de référence (un à définir par exploitation agricole, par tranche de 20 ha mis à disposition), des vérifications peuvent être demandée en cas de doute sur l'aptitude des parcelles (pH par exemple) ;
- Art. 16 : les procédés et dispositifs de traitement des boues font l'objet durant leur exploitation d'une surveillance afin de s'assurer du maintien de la qualité des boues produites ;
- Art. 17 : un registre doit être tenu et une synthèse annuelle doit être transmise au service chargé de la police de l'eau et aux utilisateurs de boues ;
- Art. 18 : le préfet s'assure de la validité des données fournies : un dispositif de suivi par un organisme indépendant choisi en accord avec la chambre d'agriculture peut alors être mis en place ;
- Art. 19 : les contrôles préfectoraux peuvent porter sur tous l'ensemble des paramètres mentionnés.

L'arrêté du 21 juillet 2015 impose, en plus, deux analyses complètes (paramètres agronomiques, ETM et CTO) /an pour les boues brutes, pour les stations d'une capacité nominale de traitement supérieure ou égale à 120 kg/j de DBO₅, quelle que soit la destination des boues (y compris incinération). Pour les boues destinées à l'épandage, la fréquence d'analyse reste celle de l'arrêté du 8 janvier 1998.

Mise sur le marché pour les MFSC normalisées ou autorisées

La réglementation relative à la mise sur le marché des engrais ou des amendements traditionnels, qu'ils soient organiques ou minéraux, composés en tout ou partie de boues, définit les règles d'innocuité, d'intérêt agronomique et de constance de la composition de la matière produite au travers :

- d'une **autorisation de mise sur le marché** ;
- ou d'une **norme rendue d'application obligatoire**, telle que la norme NFU44-095 ou matières d'intérêt agronomique issue du traitement des eaux (Miate) et la NFU44-295 (*Matière fertilisante ayant des caractéristiques mixtes – Amendement organique-engrais – Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux ayant une teneur en P_2O_5 supérieure ou égale à 3%*).

Ces deux voies réglementaires de mise sur le marché et de valorisation agronomique des MFSC, plus exigeantes en termes d'impact environnemental et sanitaire, exemptent de plan épandage et relèvent des dispositions qui leur sont définies.

Points à retenir

Deux dispositifs de traçabilité conditionnent la valorisation agronomique de ces matières :

- le plan d'épandage (l'arrêté du 8 janvier 1998) ;
- les prescriptions définies dans les AMM ou normes rendues d'application obligatoires.

Des dispositifs supplémentaires peuvent être mis en place localement pour aller plus loin (exemple : dans le département de la Moselle).

Suite à l'entrée en vigueur de loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, ces dispositions réglementaires sont amenées à évoluer d'ici le 1^{er} juillet 2021.

Dispositifs de traçabilité dans la norme NFU44-095

Le process de compostage est défini tel que ci-dessous :

- procédure d'acceptation préalable de tout nouveau gi-sement entrant sur un site de compostage ;
- analyses régulières des matières réceptionnées sur le site de compostage afin de s'assurer de leur innocuité avant mélange : les boues avant mélanges doivent être conformes aux boues épandues via plan d'épandage ;
- enregistrement des différentes matières premières réceptionnées ;
- process de fabrication : celui-ci assure l'obtention d'une matière hygiénisée (montée en température permettant l'abattement des pathogènes), stabilisée et de granulométrie désirée. ;
- analyse du lot : conformité du lot aux critères de la norme :
 - a. en termes d'innocuité : concentration en éléments traces métalliques et composés traces organiques (polychlorobiphényles (PCB) et hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)), en inertes (plastiques, verre et métaux) et en micro-organismes d'intérêts sanitaires (agents indicateurs de traitement et agents pathogènes) ;
 - b. en termes d'intérêts agronomiques tels que définis dans la norme NFU44-095.
- étiquetage du compost et mise sur le marché si conformité avec fiche de marquage ;
- recommandations auprès des agriculteurs pour l'épandage des matières (matériel d'épandage, prescriptions (quelles quantités sur quelle surface, en quelle période et à quelle fréquence...)).

Traçabilité : origine, échantillonnage, identification des matières premières, analyse des produits finis, suivi et contrôle des produits commercialisables jusqu'à l'utilisateur final.

Les transferts dans l'environnement des contaminants contenus dans les boues et composts

Cette fiche a pour objectif de donner des éléments de connaissance sur les flux de contaminants potentiels liés à la valorisation agronomique des boues d'épuration urbaine et composts issus de ces boues. Ces éléments proviennent de différentes études dont l'Expertise scientifique collective INRA-CNRS-IRSTEA (EsCo MAFOR) [HOUOT *et al.*, 2016] sur les effets de la valorisation agronomique de matières fertilisantes d'origine résiduaire présentée en 2014, et des résultats d'observations et mesures faites dans le réseau de sites de longue durée (SOERE-PRO) étudiant ces mêmes effets. Plusieurs sites de ce réseau incluent des épandages de boues d'épuration et/ou compost de boues d'épuration, notamment à Colmar (PRO'spective) et en Île-de-France (QualiAgro). L'ensemble de ces résultats sont disponibles sur le site ValorPRO¹.

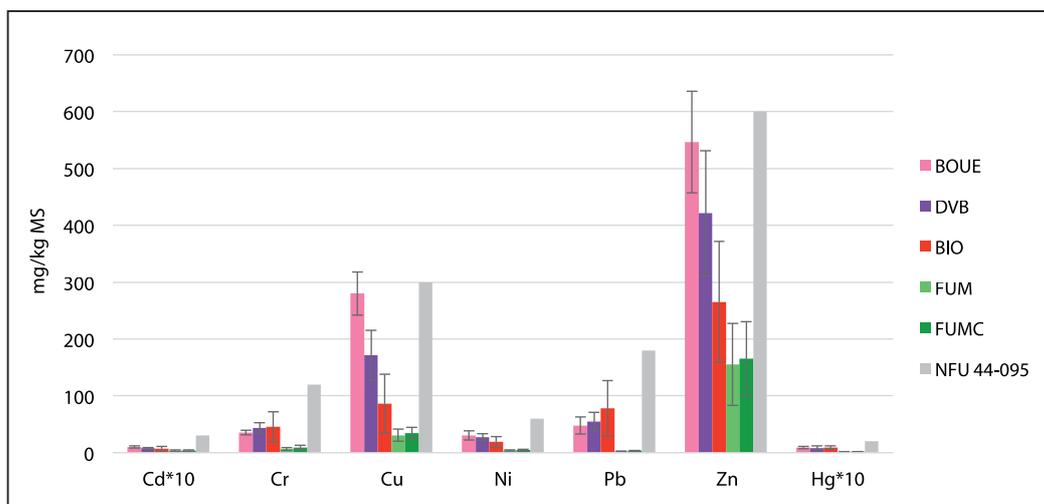
Contaminants chimiques

Les boues d'épuration sont susceptibles de contenir des contaminants chimiques comme des éléments traces métalliques (ETM) ou des composés traces organiques (CTO), qui sont présents dans les rejets industriels, artisanaux et domestiques qui rejoignent les réseaux d'assainissement. Des efforts importants ont été déployés au cours des vingt dernières années afin de réduire la dispersion de ces substances dans l'environnement. Il en a résulté une diminution significative des concentrations en substances indésirables des boues [AGENCE DE L'EAU RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE, 2016].

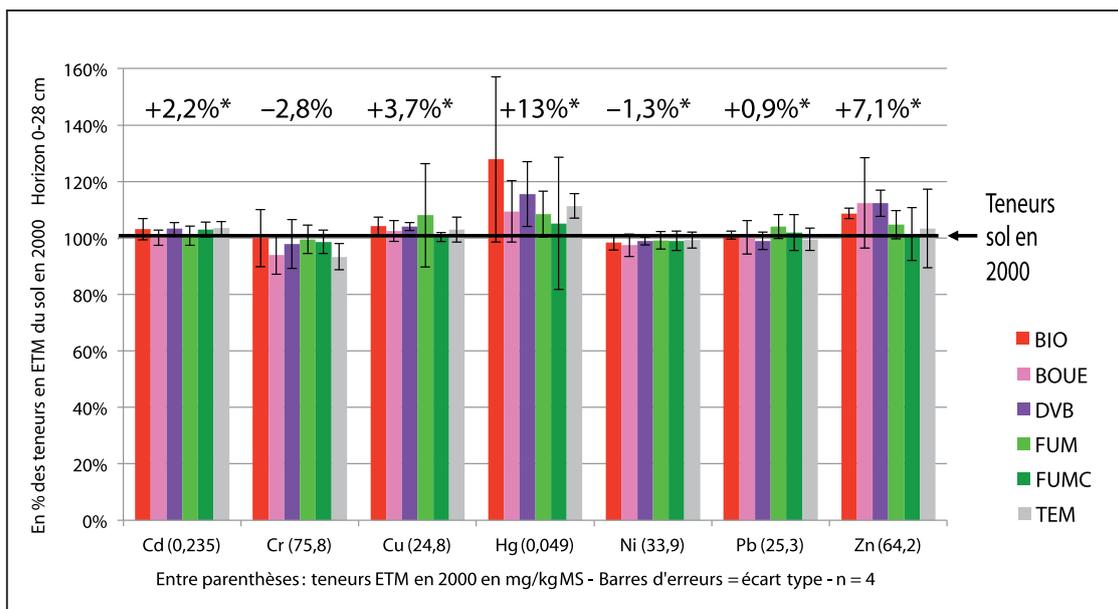
Dans le site PRO'spective, cinq types de produits résiduaires organiques (PRO) sont épandus (*figures 1 et 2*) depuis une vingtaine d'années à des doses agronomiques

classiques, et sont comparés à des traitements témoin ne recevant que des engrais minéraux. Les PRO épandus ont des teneurs en ETM largement conformes aux réglementations en vigueur (Arrêté de 1998 et norme NFU44-095 ou NFU44-051), les teneurs des boues étant même inférieures aux seuils de la norme NFU 44-095 (*figure 1*). Les teneurs en ETM des composts sont inférieures à celles des boues en raison des mélanges initiaux avec des déchets verts. Cependant les flux d'apport au sol sont du même ordre de grandeur pour ces deux traitements en raison des doses plus faibles de boue apportées en comparaison avec les composts. **Après 12 ans d'essai et six apports, aucune différence significative de teneur en ETM n'est observée entre les différents traitements ni dans les sols (*figure 2*), ni dans les cultures récoltées.** En cas d'apport de fortes doses comme dans le site QualiAgro, des augmentations d'ETM peuvent être observées pour le cuivre et le zinc [MICHAUD *et al.*, 2020].

¹ ValOr PRO, site web de l'Observatoire de recherche Produits résiduaires organiques. <https://www6.inra.fr/valor-pro/>



BOUE : Boue d'épuration urbaine ; DVB : cette même boue compostée ; BIO : un compost de biodéchets ; FUM : un fumier de bovins et FUMC : ce même fumier composté ; TEM : témoin sans apport organique ; MS : matière sèche. Les variations marquées d'un astérisque sont significatives.
Figure 1. Teneurs moyennes en éléments traces métalliques (ETM) dans les produits résiduaires organiques (PRO) épandus sur le site PRO'spective à Colmar (traitements, voir *figure 2*)



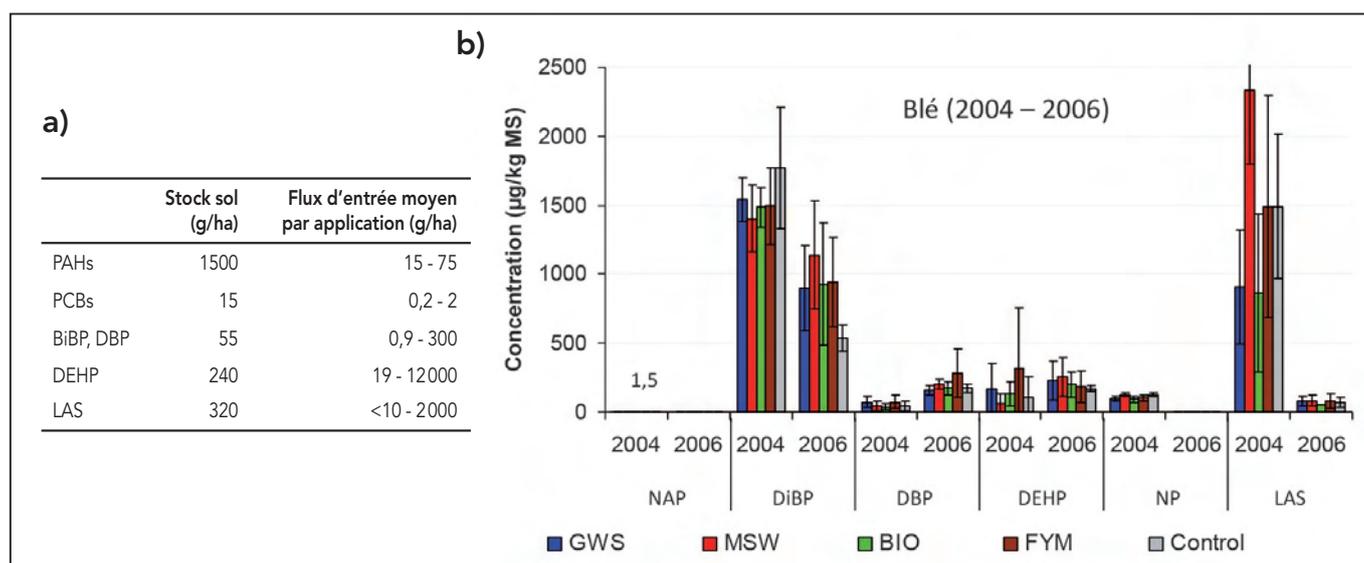
Se reporter à la figure 1 pour la signification des abréviations. Les variations marquées d'un astérisque sont significatives.

Figure 2. Effet de 15 ans d'apports de produit résiduaire organique (PRO) sur les teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans les sols du site PRO'spective à Colmar (exprimées en % des teneurs initiales dans les sols)

Contrairement aux ETM, les CTO se dissipent progressivement dans les sols. Actuellement, des seuils de teneurs pour sept polychlorobiphényles (PCB) et trois hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont inclus dans la réglementation pour les boues et les composts de boues. Ainsi les concentrations moyennes en PCB et HAP réglementées des boues et composts de boue épandus dans les sites du SOERE PRO sont en moyenne environ dix fois inférieures aux maxima autorisés. Il existe une très grande diversité de CTO et il a été envisagé d'inclure d'autres CTO dans la réglementation pour l'épandage des boues. Des campagnes

de recherche de phtalates, et alkylbenzene sulfonate (LAS) ont été réalisées en 2004 et 2006 dans les PRO, les sols et les récoltes du site QualiAgro, où sont épandues depuis 20 ans des composts de boues, de biodéchets et d'ordures ménagères résiduelles en comparaison avec des traitements recevant des fumiers ou aucun amendement. Malgré des flux parfois importants de CTO, aucune différence de teneurs n'a été observée ni dans les sols, ni dans les récoltes (figure 3 a et b).

Plus récemment, des travaux de recherche se sont développés sur les résidus pharmaceutiques. Des mesures



BIO : compost de biodéchets ; Control : traitement témoin sans apport ; DiBP, DBP, DEHP : phtalates ; FYM : fumier de bovins ; GWS : compost de boue ; HAP : somme de 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques ; LAS : Linear alkylbenzene sulfonates ; MS : matière sèche ; MSW : compost d'ordures ménagères résiduelles ; NAP : naphtalène ; NP : nonylphénol ; PCB : somme de 7 polychlorobiphényles.

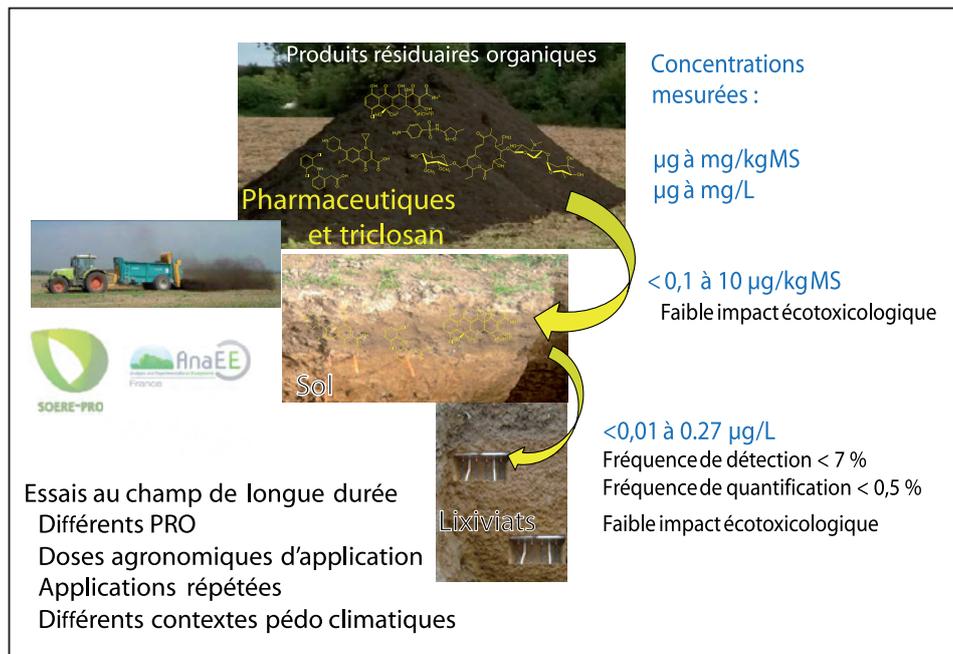
Figure 3. a) Stocks et flux par apport en différents types de composés traces organiques (CTO) dans les sols de QualiAgro, calcul fait pour l'ensemble des produits résiduaire organiques (PRO) et traitements ; b) teneurs en CTO dans les grains de blé récoltés dans les différents traitements du site QualiAgro

faites dans le SOERE PRO sur une quinzaine de molécules pharmaceutiques (antibiotiques, antidépresseurs, anti épileptiques) montrent un très faible impact sur les teneurs dans les sols et encore plus faibles sur les eaux du sol ; les mesures permettent de calculer un risque écotoxicologique faible dans les sols et les eaux (figure 4). La figure 5 montre un exemple de l'effet du compostage sur les teneurs de

quatre antibiotiques dans l'essai PRO'spective à Colmar, soit une forte diminution, liée, en partie, au mélange avec les déchets verts avant compostage.

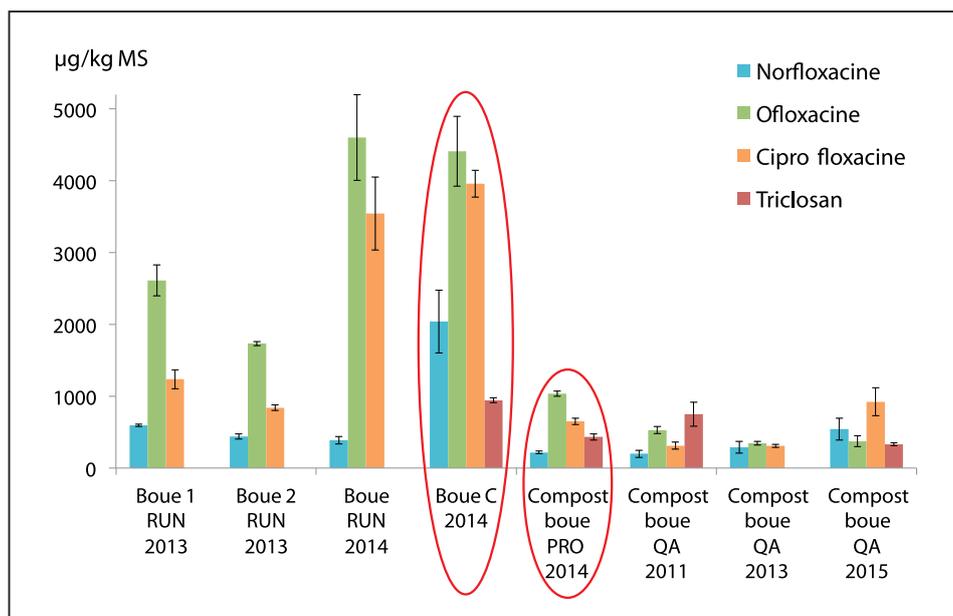
Contaminants biologiques

De par leur nature même, et comme pour les déjections animales utilisées pour fertiliser et amender les sols, les boues d'épuration contiennent une grande variété d'agents



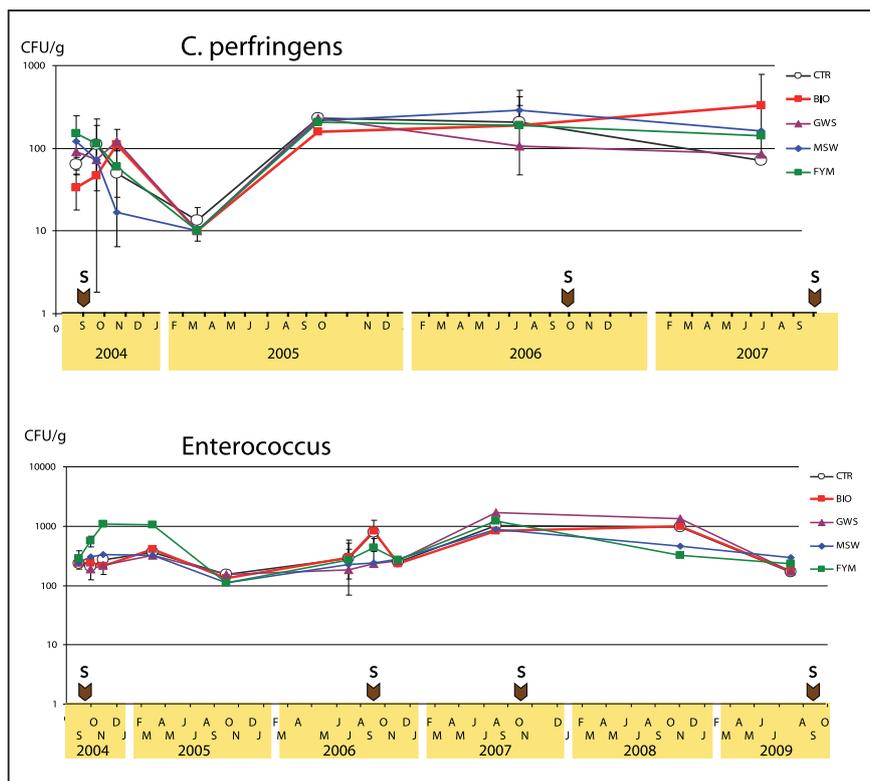
MS : matière sèche.

Figure 4. Représentation schématique des résultats de plusieurs campagnes de recherche de résidus pharmaceutiques dans les produits résiduaux organiques (PRO), sols et eaux de plusieurs sites du SOERE PRO et montrant la forte diminution des teneurs retrouvées dans les sols et les eaux par rapport aux PRO



MS : matière sèche.

Figure 5. Focus sur les teneurs en antibiotiques (norfloxacine NOR, ofloxacine OFL, ciprofloxacine CIP et triclosan TRI) dans les boues et composts de boues épandus sur les sites du SOERE PRO [BOURDAT-DESCHAMPS et al., 2017]. Les produits résiduaux organiques (PRO) épandus à Colmar sont cerclés de rouge



CTR : traitement témoin sans apport organique, BIO : compost de biodéchets, GWS : compost de boues, MSW : compost d'ordures ménagères résiduelles, FYM : fumier de bovins.

Figure 6. Évolution des populations de *Clostridium perfringens* et *Enterococcus* dans les sols du site QualiAgro entre 2004 et 2007 [BROCHIER *et al.*, 2012]

pathogènes. Un suivi dans les sols, pendant quatre ans sur le site QualiAgro, concernant les germes retenus dans la norme NFU 44-095, a montré qu'il n'y avait aucune différence entre les traitements recevant les différents types d'amendements ou ne recevant pas d'apport (figure 6).

Des travaux en cours sur d'autres pathogènes pour l'homme et la prévalence de gènes de résistance aux antibiotiques dans les sols montrent l'absence d'augmentation des populations de pathogènes dans les sols et des augmentations transitoires des teneurs en gènes de résistance immédiatement après les épandages.

Impact écotoxicologique et évaluation des risques sanitaires

Les résultats obtenus dans les dispositifs expérimentaux de long terme permettent de mieux comprendre le comportement des substances indésirables contenues dans les boues d'épuration et d'évaluer leurs effets. Des augmentations des concentrations en certains ETM (Cu, Zn) peuvent être observées en cas d'apports de fortes doses mais restent en dessous de celles générant un potentiel impact écotoxicologique [MICHAUD *et al.*, 2020] confirmant les résultats de [BÖRJESSON *et al.*, 2014] sur des essais de longue durée en Suède. CHARLTON *et al.* (2016) montrent une diminution de 10% environ de la biomasse microbienne des sols pour des teneurs en Zn et Cu, respectivement quatre et dix fois plus élevées que celles mesurées dans les sites

du SOERE-PRO après 20 ans d'apport. L'évaluation des risques sanitaires (ERS) menée par le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et l'Institut national de l'environnement et des risques (Ineris) a conclu que, dans le cadre des scénarii et hypothèses retenues, le risque lié à la valorisation agronomique des boues et composts de boues est nettement inférieur aux valeurs de référence qui fixent le niveau de risque acceptable [GAY et GALVAI, 2014].

Points à retenir

- Les réglementations en vigueur permettent la valorisation agronomique de boues et composts de boues limitant les impacts sur les teneurs dans les sols en contaminants visés. **Dans les conditions d'apports agronomiques, aucun effet sur les teneurs dans les récoltes n'est observé.**
- Très peu de **composés traces organiques** sont actuellement réglementés. Les recherches en cours sur un panel plus larges de contaminants, **en particulier sur les résidus pharmaceutiques montrent des impacts faibles sur les teneurs dans les sols et les eaux.** Il faut toutefois réfléchir à élargir la réglementation en vigueur à d'autres molécules en se basant sur des typologies de comportement de contaminants.
- **Des travaux sont en cours** pour répondre aux questions restant **sur les pathogènes et la dissémination de gènes de résistance liés à la valorisation agronomique.**

Bibliographie

AGENCE DE L'EAU RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE (2016) : *Qualité des boues recyclées des stations d'épuration urbaines bassins Rhône Méditerranée et Corse. Synthèse de l'évolution de 2000 à 2014*. 4 p.

BÖRJESSON G., KIRCHMANN H., KÄTTERER T. (2014) : « Four Swedish long-term field experiments with sewage sludge reveal a limited effect on soil microbes and on metal uptake by crops ». *Journal of Soils and Sediments* ; 14(1) : 164-77.

BOURDAT-DESCHAMPS M., FERHI S., BERNET N., FEDER F., CROUZET O., PATUREAU D., MONTENACH D., MOUS-SARD G.D., MERCIER V., BENOIT P., HOUOT S. (2017) : « Fate and impacts of pharmaceuticals and personal care products after repeated applications of organic waste products in long-term field experiments ». *Science of the Total Environment* ; 607-608 : 271-280. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.scitotenv.2017.06.240>

BROCHIER V., GOURLAND P., KALLASSY M., POITRENAUD M., HOUOT S. (2012) : « Occurrence of pathogens in soils and plants in a long-term field study regularly amended with different composts and manure ». *Agriculture, Ecosystems and Environment* ; 160 (1) : 91-8 (no. sp. Recycling of organic residues to agriculture). <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.agee.2011.05.021>

CHARLTON A., SAKRABANI R., TYRREL S., RIVAS CASADO M., MCGRATH S.P., CROOKS B., COOPER P., CAMPBELL C.D. (2016) : « Long-term impact of sewage sludge application

on soil microbial biomass: An evaluation using meta-analysis ». *Environmental Pollution* ; 219 : 1021-35.

GAY G., DALVAI J. (2014) : *Substances « émergentes » dans les boues et composts de boues de stations d'épuration d'eaux usées collectives – caractérisation et évaluation des risques sanitaires*. Étude réalisée pour le compte de l'Ademe, le Syprea-Fnade, la FP2E, le Siaap, (Contrat N°1006C0122) Ineris - DRC-14-115758-08437A. Rapport final. 294 p.

HOUOT S., PONS M.N., PRADEL M., TIBI A., eds (2016) : *Recyclage de déchets organiques en agriculture : effets agronomiques et environnementaux de leur épandage*. Versailles : Éditions Quæ, collection Matière à débattre et décider, 200 p. <http://www.quae.com/fr/r4930-recyclage-de-dechets-organiques-en-agriculture.html>

JOURNÉE TECHNIQUE PRO'SPECTIVE (2018) : *Recyclage agricole des produits résiduels organiques, résultats issus d'expérimentations longue durée sur l'étude de l'innocuité des épandages de PRO et le devenir des contaminants*. 15 février 2018 – Chambre d'Agriculture d'Alsace. <https://colloque.inra.fr/soere-prospective2018>

MICHAUD A., CAMBIER P., SAPPIN-DIDIER V., DELTREIL V., MERCIER V., RAMPON J.N., HOUOT S. (2019) : « Mass balance and long-term soil accumulation of trace elements in arable crop systems amended with urban composts or cattle manure during 17 years ». *Environmental Science and Pollution Research*. DOI : 10.1007/s11356-019-07166-8

Les filières alternatives au compostage de boues d'épuration

Si les possibilités de valorisation agronomique des boues *via* une étape de compostage venaient à se réduire, les territoires concernés devraient soit revenir à une valorisation agricole directe des boues, soit s'orienter vers d'autres solutions de valorisation ou d'élimination. Cette fiche présente donc les solutions qui resteraient à disposition des exploitants pour traiter les boues urbaines générées par les stations d'épuration dans l'hypothèse où les boues qui ne seraient plus compostées ne pourraient pas être épandues directement sur les territoires concernés.

Les filières de traitement des boues

Le schéma ci-après illustre la très grande diversité des filières de gestion des boues en France et sa complexité [CABINET MERLIN, 2018].

On retiendra comme principales solutions alternatives à la valorisation agronomique à court terme : l'incinération spécifique, la co-incinération en unité d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) ou en cimenterie et dans une moindre mesure, l'oxydation en voie humide (OVH).

Les filières alternatives à la valorisation agronomique

L'incinération spécifique

L'incinération spécifique des boues en four à lit de sable fluidisé est une solution mise en place en France principalement pour des stations d'épuration urbaines de taille supérieure à 200 000 équivalents habitants (EH). Actuellement 24 références en France sur 19 sites traitent près de 205 000tMS/an au total. Cette technique présente les spécificités suivantes :

- déshydratation des boues afin d'atteindre l'auto-thermicité¹ ;
- traitement des fumées et cendre/résidus de combustion à valoriser ou éliminer. Possibilité de couvrir en totalité ou partiellement les besoins thermiques de la station d'épuration.

¹Auto-thermicité : L'auto-thermicité des boues est la quantité de chaleur qu'elles produisent lors de leur combustion.

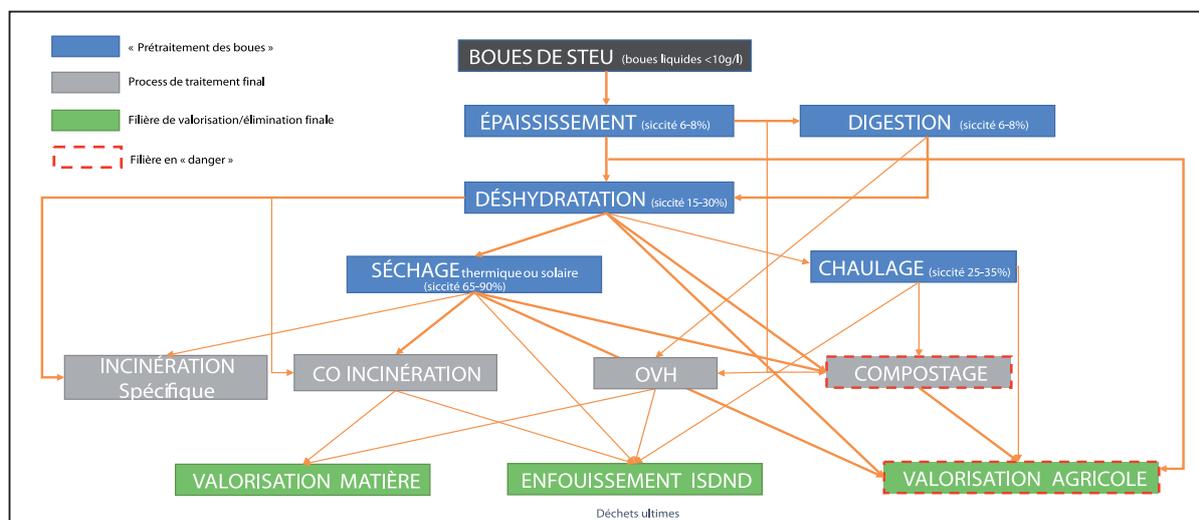
On peut citer l'exemple des stations d'épuration de Grenoble et Strasbourg, où le chauffage de la digestion est assuré par la chaleur des fours, ce qui permet d'augmenter le potentiel d'injection de biométhane au réseau.

La chaleur peut également être utilisée pour le séchage des boues avant évacuation, comme c'est le cas à Valentigney.

La co-incinération avec les ordures ménagères

La co-incinération en UIOM dépend de la siccité des boues et de la technologie du four d'ordures ménagères. La proportion de boues est le plus souvent limitée à 10% en masse par rapport aux ordures ménagères (OM) sur boues déshydratées afin de ne pas dégrader la qualité des mâchefers sur le taux d'imbrûlés et de pouvoir les valoriser en technique routière. Cette solution représente actuellement 1% du flux de déchets entrants du parc des incinérateurs français, et moins de 8% des unités du parc la pratique.

- La siccité à retenir : 15-30% (déshydratation seule) ou 60-65% (déshydratation et séchage partiel).
- La pérennité de la co-incinération de boues sera conditionnée à la capacité d'incinération disponible.
- Les boues peuvent être une source d'incompatibilité des mâchefers utilisés en techniques routières en raison du taux d'imbrûlés.



ISDND : installation de stockage de déchets non dangereux ; OVH : oxydation par voie humide ; STEU : station de traitement des eaux usées.

Figure 1. La gestion des boues en France, un panel de solutions

La co-incinération en cimenterie

La co-incinération en cimenterie permet aux boues de participer à l'apport de combustible dans la fabrication du clinker (composant du ciment), et à sa production en remplacement de matières minérales. Les contraintes sur la qualité du produit fini (ciment) et les objectifs de conformité environnementale des cimenteries impliquent des critères d'acceptabilité des boues très exigeants (ratio d'alimentation en boue < 2,5%) ; par ailleurs les boues sont en concurrence avec d'autres types de déchets.

- La siccité à retenir : 90%. Un séchage énergétiquement lourd est généralement nécessaire sur la station d'épuration.
- Maillage géographique des 32 cimenteries dissocié du besoin « assainissement » et des zones démographiques.

L'oxydation par voie humide (OVH)

L'oxydation par voie humide consiste à chauffer à haute température (250 à 300 °C) et sous haute pression (70-150 bars) des boues généralement épaissies à 40-70 g/L en présence d'un gaz oxydant (air ou oxygène). Elle permet de réduire de 75 à 90% la part organique des boues finales [CHAUZY et al., 2015] pour former un technosable dont il faut rechercher des exutoires de valorisation. Cette solution est mise en place à partir de 80 000 EH (Epernay) avec quatre références en France.

- Les réactions d'oxydation sont exothermiques et l'énergie ainsi produite permet le chauffage des boues, rendant le procédé auto-thermique.
- Le fonctionnement en boues liquides est incompatible au regard des contraintes de transport qui en découlent.

Il existe d'autres filières qui peuvent être citées comme solutions de substitution au compostage bien qu'encore au

stade de développement ou limitées réglementairement : co-incinération des boues en centrales thermiques, carbonisation hydrothermale, gazéification...

Le *tableau I* présente une synthèse des filières alternatives à la valorisation agronomique à court terme et du nombre d'unités à créer en cas d'arrêt des filières de compostage sans possibilité de les substituer par un épandage direct. L'interdiction du compostage de boue conduirait à doubler la capacité de four d'incinération spécifique existante. L'analyse macro présentée ci-dessus sur le nombre de fours à créer représente un scénario minimaliste car elle n'intègre pas les contraintes du territoire qui amèneraient inévitablement à construire davantage de fours spécifiques. De plus, les territoires ruraux et « péri-urbains » génèrent des gisements de boues diffus et de faible tonnage. Leur incinération impliquerait d'une part une gestion complémentaire des cendres et des résidus d'épuration des fumées, ainsi que nécessairement du transport et donc des contraintes environnementales qui se rajouteraient aux contraintes d'acceptabilité pour la population locale.

La capacité de co-incinération avec les OM sera quant à elle vraisemblablement mobilisée pour les huit millions de tonnes de déchets qui ne doivent plus être envoyées en installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) à l'horizon 2025 (objectifs de réduction de 50% 2025/2030) et ne pourra donc pas constituer la solution majoritaire pour les boues. Enfin, la co-incinération en cimenterie au-delà des contraintes d'implantation géographique qu'elle représente, n'est pas pérenne pour les collectivités compte-tenu de la concurrence avec les autres matières et des exigences de maîtrise de qualité de plus en plus fortes sur le produit fini par les cimentiers.

	Classes station épuration	Nb unités (2017)	Capacité restante	Contraintes	Nb unités à créer
Incinération dédiée	>200 000 EH	24	0 t – fours à créer	Tonnage minimal requis	27**
Co-Incinération	10 000 EH (déshydratation)	126	0 t – selon évolution DAE	Proximité de l'UIOM* et vide de four	Peu envisageable
Cimenterie	> 100 000 EH (séchage)	32	Capacité non adaptable aux besoins spécifiques d'un territoire	Composition des boues	Peu envisageable
OVH	> 80 000 EH	4	0 t	Transport de boues épaissies	–

DAE : déchets d'activité économiques ; EH : équivalent-habitant ; OVH : oxydation par voie humide.

*UIOM : unité d'incinération d'ordures ménagères.

**Hypothèses d'un design four spécifique de 2 t MS/h (pour un fonctionnement moyen à 1,7 t MS/h) et 8 000 h de fonctionnement/an.

Tableau I. Synthèse des filières alternatives au compostage de boues d'épuration

Bibliographie

CABINET MERLIN (2018) : *Note Technico-économique sur les solutions alternatives au retour au sol des digestats*. Étude interne pour GRDF.

CHAUZY J., GABRIEL I., CHIN V., POUSSADE Y., LI E., BERNARD J.F. (2015): *Sustainable biosolids management: a review of best available technologies for sludge stabilisation and volume reduction*.

Points à retenir

- La gestion des boues ne peut pas se résumer à une seule solution mais à un panel de solutions alternatives adaptées aux spécificités territoriales dont la valorisation agricole est pour l'instant l'exutoire majoritaire.
- Toute évolution des schémas de filière génère des conséquences financières (construction de nouveaux fours...), sociétales (acceptabilité des trafics de camions...) et environnementales (gestion des émissions atmosphériques...).



99^e CONGRÈS



Eaux-Déchets et Santé

Programme
sur astee.org

9>11 juin 2020 - LYON

GRAND LYON
la métropole



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes

VEOLIA



INSCRIPTIONS OUVERTES