



Déshydratation mécanique des boues d'épuration

Etat des lieux des filières en France métropolitaine

Rapport final

Girault Romain (Irstea)
Tosoni Julian (Irstea)
Reverdy Anne-Laure (Irstea)
Richard Marion (Irstea)
Jean-Christophe Baudez (Irstea)

Février 2014

- **AUTEURS**

Romain GIRAULT, Ingénieur de l'Agriculture et de l'Environnement (Irstea), romain.girault@irstea.fr

Julian TOSONI, doctorant (Irstea), julian.tosoni@irstea.fr

Anne-Laure REVERDY, Ingénieur d'étude (Irstea), anne-laure.reverdy@irstea.fr

Marion RICHARD, Ingénieur d'étude (Irstea), marion.richard@irstea.fr

Jean-Christophe BAUDEZ, Ingénieur Divisionnaire de l'Agriculture et de l'Environnement (Irstea), jean-christophe.baudez@irstea.fr

- **CORRESPONDANTS**

Onema : Céline LACOUR, (Onema), celine.lacour@onema.fr



- **RESUME**

L'objectif de l'action F de la programmation 2013-2015 de la convention ONEMA - Irstea est de comprendre comment les propriétés des boues issues du traitement des eaux usées et leur origine impactent leur déshydratabilité mécanique. Premier livrable de cette action, le présent rapport a pour objectif d'effectuer un état des lieux des procédés de déshydratation mécanique mis en œuvre en France métropolitaine et de leurs performances.

En premier lieu, un état des lieux des différents procédés de déshydratation mécanique a été réalisé. Il a pour objectif d'identifier la fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique et de comprendre les facteurs guidant le choix du procédé. Il a pu être identifié que 68% des boues déshydratées le sont à l'aide de centrifugeuses, 23% à l'aide de filtres-presses et 9% à l'aide de filtres à bandes. Néanmoins, ces chiffres nationaux ne reflètent pas les enjeux concernant chacune de ces filières à l'échelle des territoires car une variabilité importante est observée selon les régions. D'autre part, les impacts de la taille de la station et de la voie de valorisation des boues sur le choix de la filière de déshydratation ont été quantifiés.

En second lieu, un état de l'art et un état des lieux des performances des procédés de déshydratation mécanique a été réalisé. Une variabilité importante des siccités obtenues sur les procédés de déshydratation mécanique étudiés a été observée. Ceci est lié à l'impact des paramètres opératoires, à l'impact des propriétés des boues, et à la conduite de l'exploitant qui optimise la filière selon ses contraintes. Les caractéristiques des retours en têtes générés ont également été pré-identifiées. Là aussi, une forte variabilité des performances est observée et les enjeux sont les plus importants pour les filières de déshydratation mécanique des boues digérées.

- **MOTS CLES**

Boues d'épuration, déshydratation, filtre-presse, centrifugation, filtre à bande, France métropolitaine



- **TITLE : MECHANICAL DEWATERING OF RESIDUAL SLUDGE – AN INVENTORY OF THE SITUATION IN METROPOLITAN FRANCE**
- **ABSTRACT**

The objective of this project (supported by Onema in its 2013-2015 programm with Irstea) is the development of references regarding the understanding of the effect of sludge properties and origin on the mechanical dewatering efficiency. The objective of this first report is to make an inventory of the process operated in metropolitan France for mechanical dewatering and a state of the art of their efficiency.

First of all, the inventory of the main processes for mechanical dewatering was processed. The objective was the identification of the frequency of the use of the different mechanical dewatering processes and the identification of the factors which help to determine the choice of the different processes. It was demonstrated that 68% of the dewatered sludge are dewatered by centrifuge tools, 23% by press-filters and 9% by belt filters. Nevertheless, an important variability was identified at a territorial scale. In addition, the impact of the capacity of the wastewater treatment plant and of the dewatered sludge management was considered.

Secondly, a state of the art of the performance of the different mechanical dewatering processes was made. It was completed with a data collection. An important variability of the sludge dryness was observed on the different mechanical dewatering processes. This statement can be explained by the impact of the sludge properties and by the different optimization levels between the wastewater treatment plants. In addition, the characteristics of the recycling liquors were considered. There also, a strong variability of the performances was observed. The recycling of liquors from the dewatering of digested sludge is the most impactful process.

- **KEY WORDS**

Residual sludge, dewatering, press-filter, centrifugation, belt filter, metropolitan France



- **SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE**

La filière boue constitue un élément crucial de la chaîne de traitement mise en œuvre dans les stations d'épuration des eaux usées. Dans la plupart des stations de capacité moyenne à importante, les boues ne peuvent pas faire l'objet d'une valorisation directe et doivent subir un certain nombre de processus de traitement avant d'être valorisées en épandage ou en incinération. Sur cette chaîne de traitement, un des enjeux consiste en la mise en œuvre de procédés permettant de concentrer les boues. Pour cela, dans la majorité des stations concernées par ces enjeux, des procédés de déshydratation mécanique comme les centrifugeuses, les filtres-presses ou les filtres à bandes sont mis en œuvre et conduisent à la production :

- D'une boue déshydratée pouvant ensuite être stockée, post-traitée (stabilisation, séchage...) ou directement valorisée.
- D'une fraction liquide qui rejoint la filière de traitement des eaux et constitue les « retours en tête ».

Les performances des procédés de déshydratation mis en œuvre présentent un enjeu crucial à double titre :

- Impact sur le fonctionnement global de la station et son bilan environnemental : étant donné que les filtrats et concentrats devront être traités par la station, leur composition influence significativement le fonctionnement de la filière de traitement des eaux.
- Impact sur la filière de valorisation des boues ultérieure : en effet, la siccité des boues déshydratées et leur teneur en agents de conditionnement impactent fortement les procédés ou filières permettant la valorisation de ces co-produits à l'échelle des territoires (compostage, valorisation agronomique directe, incinération, ...) ainsi que leur bilan environnemental direct et indirect (tonnages à transporter, ...).

L'objectif global de l'action F de la programmation 2013-2015 de la convention ONEMA - Irstea est de comprendre comment les propriétés des boues et leur origine impactent leur déshydratabilité. D'un point de vue opérationnel, l'action proposée devra aboutir à la construction d'un outil d'aide à la décision pour les opérateurs et les décideurs visant à aider au choix des filières de déshydratation mécanique.

Premier livrable de cette action, le présent rapport a pour objectif d'effectuer un état des lieux des procédés de déshydratation mécaniques mis en œuvre en France métropolitaine et de leurs performances.

Etat des lieux des filières de déshydratation mécanique en France métropolitaine

L'état des lieux des filières de déshydratation mécanique des boues a été réalisé à partir des données du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (Portail d'information sur l'assainissement communal, données de 2012) complétées, pour les stations de plus de 50 000 EH pour lesquelles c'était possible, par des données acquises spécifiquement (rapports de bilans annuels de campagne de valorisation des boues disponibles, sites internet des collectivités et d'enquêtes téléphoniques). Ce travail de collecte a permis de disposer de données sur la filière de déshydratation mécanique pour 42% des boues urbaines produites, ce qui représente plus de 1200 stations en France.

Les principales conclusions de cette étude sont synthétisées ci-après.

► A l'échelle nationale, les procédés par centrifugation prédominent.

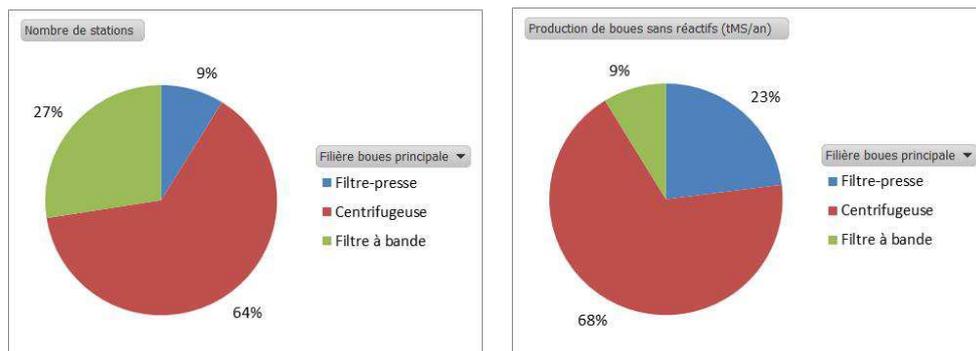
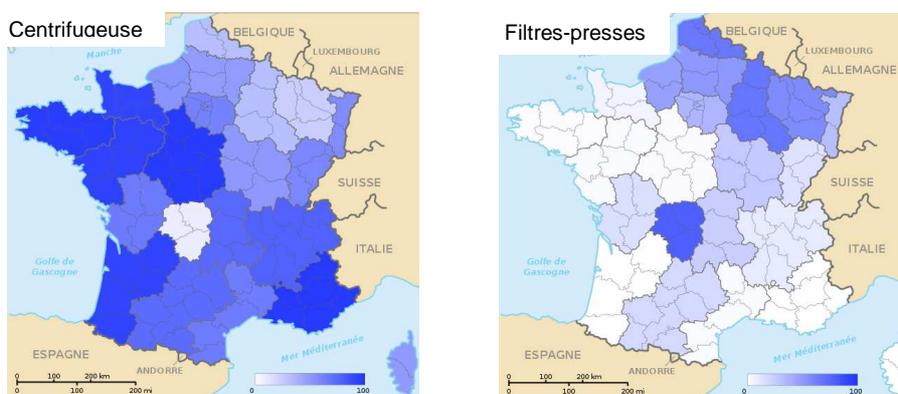


Figure 1 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique (à gauche, en % des stations équipées d'un dispositif de déshydratation mécanique ; à droite, en % de la production de boue déshydratée mécaniquement)

► Les chiffres obtenus à une échelle nationale doivent être relativisés car ils ne reflètent pas les enjeux à l'échelle des territoires.



Cartes réalisées grâce à l'outil en ligne DrawMeAGraph.com (Copyright 2014-2018)

Figure 2 : Fréquence d'utilisation des centrifugeuses et des filtres-presses dans les différentes régions françaises métropolitaines (répartition exprimée en en % de la production de boue déshydratée mécaniquement)

► Le contexte de la station et les contraintes auxquelles elle est soumise en termes de filière de valorisation des boues influence le choix du procédé de déshydratation mécanique même s'il est difficile d'établir des liens directs.

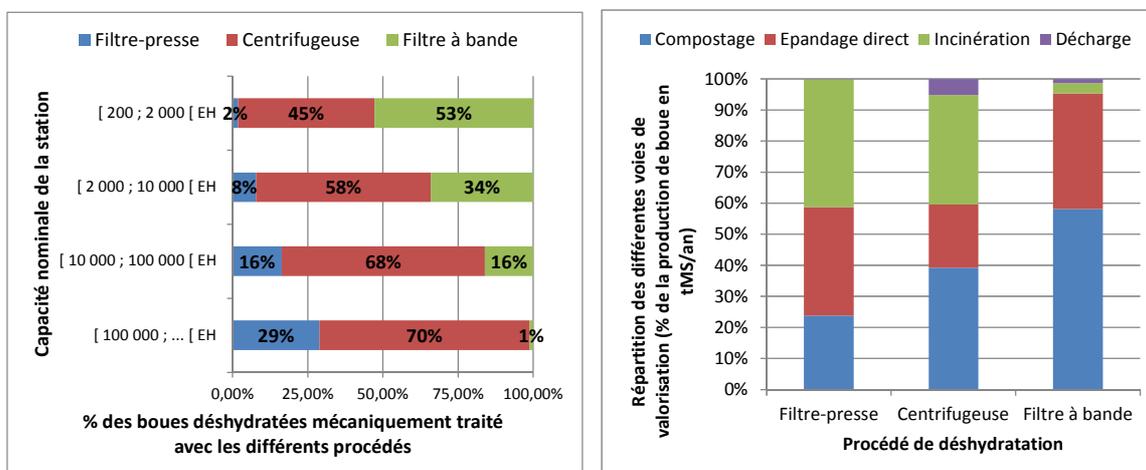


Figure 3 : A gauche : proportion de boues produites traitées avec les différents procédés de déshydratation mécanique en fonction de la taille des stations ; à droite : répartition des différentes voies d'élimination ou de valorisation en fonction des filières de déshydratation mécanique.

Etat des lieux des performances des filières de déshydratation mécanique

Deux aspects des performances des filières de déshydratation mécanique ont fait l'objet d'un état des lieux :

- La siccité de la boue déshydratée pour laquelle l'acquisition de données réelles a été réalisée afin de quantifier les siccités réellement observées sur les filières de déshydratation mécanique.
- La composition des filtrats ou centrats qui constituent des retours en tête pour laquelle une campagne de caractérisation a été réalisée sur trois filières de traitement des boues classiques.

Les principaux résultats de cette étude sont synthétisés ci-après.

- *Des siccités obtenues présentant des variations importantes quels que soient les procédés et les types de boues déshydratées.*

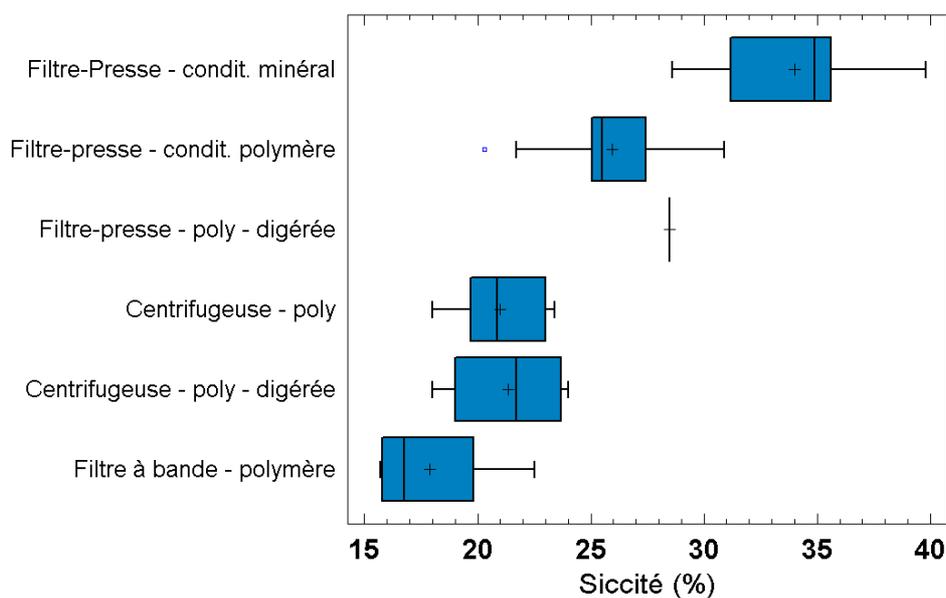


Figure 4 : Performances réelles des procédés de déshydratation mécanique. (Source : Données collectées dans le cadre du projet)

- Des retours en tête impactant de manière très variable le fonctionnement de la filière eau en fonction du procédé mis en œuvre et des boues concernées

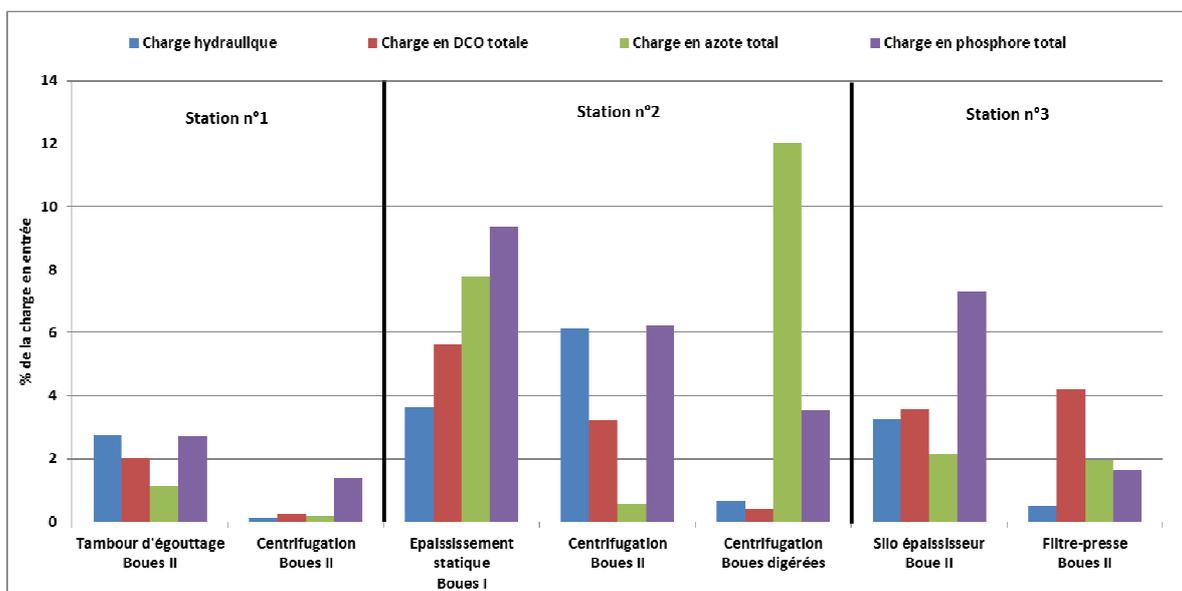


Figure 5: Bilan de la charge représentée par les différents postes de retours en tête de la filière boue (en DCO, azote et phosphore totaux ; moyenne sur 3 prélèvements)

° Pour en savoir plus :

Girault R., Tosoni J., Reverdy A.-L., Richard M., Baudez J.-C.. *Déshydratation mécanique des boues résiduaire. Etat des lieux des filières en France métropolitaine. Rapport intermédiaire. 2013. Action F de la convention Onema-Irstea 2014-2017. 52p.*

Contact : romain.girault@irstea.fr

- **SOMMAIRE**

1. Introduction	10
2. Etat des lieux des filières en France.....	12
2.1. Méthode	12
2.1.1. <i>Origine des données.....</i>	12
2.1.2. <i>Présentation des résultats</i>	13
2.2. Fréquence d'utilisation des différents procédés	13
2.2.1. <i>Echelle nationale.....</i>	13
2.2.2. <i>Echelle régionale</i>	14
2.3. Influence de la taille des installations de traitement	16
2.4. Influence de la filière de valorisation des boues	17
2.5. Evolution des filières de déshydratation mécanique	20
3. Etat des lieux des performances des procédés de déshydratation mécanique	21
3.1. Siccité des boues déshydratées	21
3.1.1. <i>Synthèse bibliographique.....</i>	21
3.1.2. <i>Analyse statistique de données réelles.....</i>	22
3.2. Retours en tête issus de la déshydratation mécanique des boues.....	23
3.2.1. <i>Synthèse bibliographique des impacts des retours en tête.....</i>	23
3.2.1.1. <i>Impact quantitatif des retours en têtes.....</i>	23
3.2.1.2. <i>Impacts qualitatifs</i>	24
3.2.1.3. <i>Bilan de l'analyse bibliographique.....</i>	27
3.2.2. <i>Acquisition de références sur la composition des retours en tête</i>	27
3.2.2.1. <i>Matériel et méthodes</i>	27
a) <i>Choix des stations</i>	27
b) <i>Prélèvements.....</i>	33
c) <i>Analyses</i>	33
3.2.2.2. <i>Résultats, Discussion.....</i>	35
a) <i>Retours en tête de la station n°1</i>	35
> <i>Épaississement des boues biologiques sur tambour d'égouttage.....</i>	35
> <i>Déshydratation des boues biologiques par centrifugation.....</i>	36
b) <i>Retours en tête de la station n°2</i>	37
> <i>Épaississement gravitaire des boues primaires.....</i>	37
> <i>Épaississement par centrifugation des boues biologiques.....</i>	38
> <i>Déshydratation par centrifugation des boues digérées</i>	39
c) <i>Retours en tête de la station de la station n°3</i>	40
> <i>Épaississement par silos épaisseurs.....</i>	40
> <i>Déshydratation des boues biologiques en filtre presse.....</i>	41
d) <i>Fractionnement des charges en carbone et en azote dans les retours en tête</i>	42
> <i>Fractionnement des charges en azote et carbone pour les retours issus de l'épaississement des boues primaires de la station 2</i>	43
> <i>Bilan des analyses de fractionnement des charges en azote et carbone pour les différents postes de retours en tête analysés.....</i>	45
e) <i>Synthèse sur l'analyse de la charge représentée par les retours en têtes issus de la filière boue.....</i>	45
4. Conclusion.....	49
5. Bibliographie	50
6. Table des illustrations	51
7. Remerciements	53

1. Introduction

Les procédés d'épuration mis en œuvre sur les stations de traitement des eaux usées conduisent à la production de différents types de boues (voir Figure 6) :

- Les boues primaires : qui sont issues de la décantation des matières en suspension au sein d'un décanteur
- Les boues secondaires ou biologiques : qui sont issues de la décantation des eaux usées après une épuration biologique en bassin d'aération.
- Les boues physico-chimiques : qui sont issues d'un traitement tertiaire des boues qui vise à améliorer les rendements de la station notamment en ce qui concerne la DCO, le phosphore.

Les boues mixtes correspondent à un mélange de boues primaires et de boues biologiques.

Les boues produites sont envoyées dans la « filière boue » de la station, où l'objectif est notamment de diminuer leur teneur en eau afin de réduire leur volume. Pour cela, les boues peuvent subir un épaissement, une déshydratation ou encore un séchage. L'objectif de la filière boue peut être aussi, selon l'usage de la boue et la taille de la station, de diminuer leur fermentescibilité.

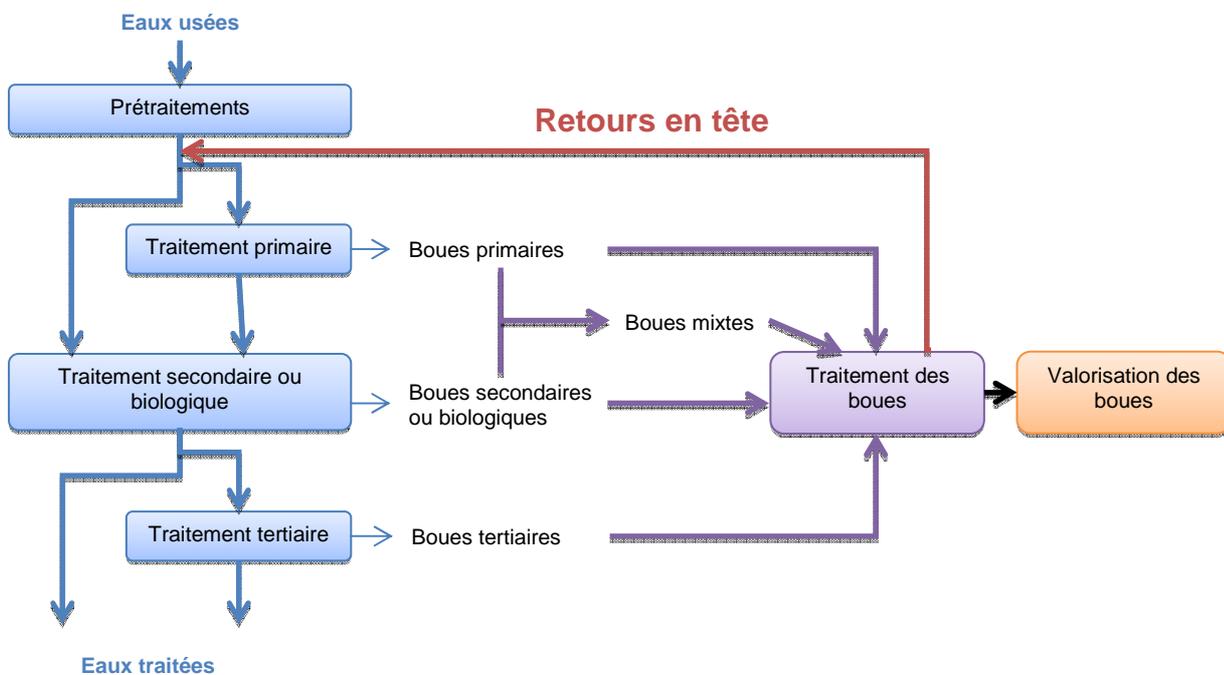


Figure 6 : Représentation schématique d'une station d'épuration et du circuit des retours en tête issus de la filière boues.

La filière boue constitue un élément crucial de la chaîne de traitement mise en œuvre dans les stations de traitement des eaux usées. Dans la plupart des stations de capacité moyenne à importante, les boues ne peuvent pas faire l'objet d'une valorisation directe et doivent subir un certain nombre de processus de traitement avant d'être valorisées en épandage ou en incinération. Sur cette chaîne de traitement, un des enjeux consiste en la mise en œuvre de procédés permettant de concentrer les boues. Pour cela, dans la majorité des stations concernées par ces enjeux, des procédés de déshydratation mécanique comme les centrifugeuses, les filtres-presses ou les filtres à bandes sont mis en œuvre et conduisent à la production :

- D'une boue déshydratée pouvant ensuite être stockée, post-traitée (stabilisation, séchage...) ou directement valorisée.
- D'une fraction liquide qui rejoint la filière de traitement des eaux et constitue les « retours en tête » (centrats ou filtrats).

Les performances des procédés mis en œuvre présentent un enjeu crucial pour :

- Le fonctionnement global de la station et son bilan environnemental : étant donné que les filtrats et centrats devront être traités par la station, leur composition influence significativement le fonctionnement de la filière de traitement des eaux.
- La filière de valorisation des boues ultérieure : en effet, la siccité des boues déshydratées et leur teneur en agents de conditionnement impactent fortement les procédés ou filières permettant la valorisation de ces co-produits à l'échelle des territoires (compostage, valorisation agronomique directe, incinération, ...) ainsi que leur bilan environnemental direct et indirect (tonnages à transporter, ...).

Les performances des procédés de déshydratation sont fonction à la fois des paramètres de fonctionnement de l'outil utilisé et des propriétés de la boue déshydratée. A l'heure actuelle, il est difficile d'expliquer pourquoi certaines boues se déshydratent mieux que d'autres et de relier ces phénomènes aux processus mis en œuvre lors de la déshydratation mécanique. Dans une certaine mesure, le poste de déshydratation fonctionne comme une boîte noire à partir de laquelle il est difficile de prédire les performances d'un outil de déshydratation appliqué à une boue particulière et d'anticiper des dysfonctionnements. En effet, même si des références existent sur les performances moyennes des différentes filières de déshydratation pour les boues résiduaires « courantes » comme les boues biologiques ou mixtes brutes, celles-ci proviennent surtout de connaissances empiriques, sans réels fondements scientifiques. De surcroît, sur les boues ayant subi des transformations (digestion anaérobie, stockage, ...) ou issues de filières eaux en développement (filières à âge de boue élevé comme les BRM, ...), les données empiriques sont trop peu nombreuses pour être extrapolables.

L'objectif de l'action F de la programmation 2013-2015 de la convention ONEMA - Irstea est donc de comprendre comment les propriétés des boues et leur origine impactent leur déshydratabilité. D'un point de vue opérationnel, l'action proposée devra aboutir à la construction d'un outil d'aide à la décision pour les opérateurs et les décideurs visant à aider au choix des filières de déshydratation mécanique.

Premier livrable de cette action, le présent rapport a pour objectif d'effectuer un état des lieux des procédés de déshydratation mécaniques mis en œuvre en France métropolitaine et de leurs performances. Ces données pourront ensuite notamment être mobilisées dans le cadre de l'action 48 de la programmation 2013-2015 de la convention ONEMA – IRSTEA (Analyses du cycle de vie des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées) tant en terme de définition de scénarios que de fourniture de données.

Ainsi, dans un premier temps, sur la base d'une étude statistique, un état des lieux des procédés de déshydratation mécanique mis en œuvre en France métropolitaine sera réalisé. Pour ce faire, les facteurs pouvant impacter le choix du procédé de déshydratation seront analysés. Dans un second temps, un état de l'art des performances de principaux procédés de déshydratation mécanique mis en œuvre en terme de siccité de la phase solide et de charge à traiter contenue dans les retours en tête sera également effectué et confronté à un état des lieux basé sur des données de terrain collectées ou acquises dans le cadre de cette action financée par l'Onema.

2. Etat des lieux des filières en France

L'objectif de ce chapitre est d'effectuer un état des lieux des différentes filières de déshydratation mécanique mises en œuvre dans les stations d'épuration en France. S'il présente des chiffres globaux sur les filières de déshydratation mécanique à une échelle nationale, il a également vocation à identifier les liens entre le choix de la filière de déshydratation mécanique et les contraintes associées à la station et aux filières de valorisation des boues. A ce jour, aucune donnée bibliographique de ce type n'a pu être identifiée à une échelle nationale.

2.1. Méthode

2.1.1. Origine des données

Les résultats statistiques qui sont présentés ont été obtenus à partir des données du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (Portail d'information sur l'assainissement communal). Ces données datent de 2012 et rassemblent des données sur la filière de traitement et de valorisation des boues pour 19 743 stations de traitement des eaux usées urbaines.

Néanmoins, ces données n'ont pas pu être utilisées directement. En effet, le type de filière boue est renseigné selon des règles de classement différentes selon les stations :

- Certaines mentionnent leur filière de déshydratation mécanique
- Certaines mentionnent leur filière de stabilisation (chaulage, digestion anaérobie, ...)
- Certaines mentionnent leur filière de valorisation (incinération, ...)
- Certaines mentionnent un autre procédé de leur filière boues (séchage, oxydation en voie humide, ...)
- Certaines stations ne mentionnent aucune information sur leur filière boues.

Ainsi, cette source de donnée ne permet d'identifier le procédé de déshydratation mécanique utilisé qu'uniquement pour 29% de la production de boues nationale, qui représente 6% des stations d'épuration. Pour les autres stations, soit elles ne disposent pas de poste de déshydratation mécanique, soit ce dernier n'a pas été renseigné.

De même, si on s'intéresse uniquement aux stations présentant une capacité de traitement supérieure à 100 000 équivalents-habitants (EH), la base de données permet de disposer d'informations sur la filière de déshydratation mécanique pour seulement 22% de la production de boues, qui représentent 38% des stations. Or, ces stations sont systématiquement équipées de dispositifs de déshydratation mécanique.

Il n'est donc pas possible de dégager des tendances représentatives à partir de ces données brutes. Ainsi, pour toutes les stations de plus de 50 000 EH, les données issues de la base du Ministère en charge de l'Ecologie ont été complétées à l'aide de données sur la filière de déshydratation disponibles dans les rapports de bilans annuels de campagne de valorisation des boues, de données disponibles sur les sites internet des collectivités et d'enquêtes téléphoniques.

Ce travail de collecte a permis de disposer de données sur la filière de déshydratation mécanique pour 42% des boues urbaines produites, ce qui représente plus de 1200 stations en France. A titre indicatif, pour les stations de plus de 100 000 EH, la base complétée permet de disposer de données sur 53% de la production de boues représentant 55% des stations.

Enfin, l'analyse suivante ne prend pas en compte les technologies apparaissant récemment sur le marché des procédés de déshydratation (presses à boues, ...) pour lesquelles aucune donnée n'est disponible.

2.1.2. Présentation des résultats

Afin de produire des résultats plus faciles à interpréter, les données sont présentées sous forme de ratio par rapport à différentes bases :

- Le nombre de stations concernées
- La capacité de traitement nominale concernée (en EH)
- La production de boues concernée (en t_{MS}/an sans réactifs)

D'autre part, les ratios présentés ont tous été calculés par rapport aux stations sur lesquelles des données sont disponibles sur la filière de déshydratation mécanique.

2.2. Fréquence d'utilisation des différents procédés

La fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique a été investiguée à une échelle nationale. Pour relativiser ces chiffres et les comprendre, des résultats ont également été produits à une échelle régionale.

2.2.1. Echelle nationale

La fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique des boues est présentée sur les figures 6 et 7.

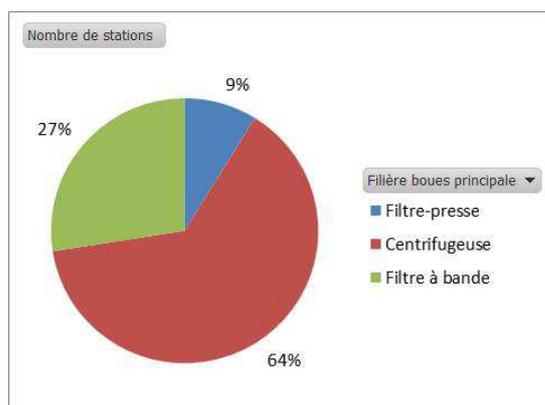


Figure 7 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique (% des stations équipées d'un dispositif de déshydratation mécanique)

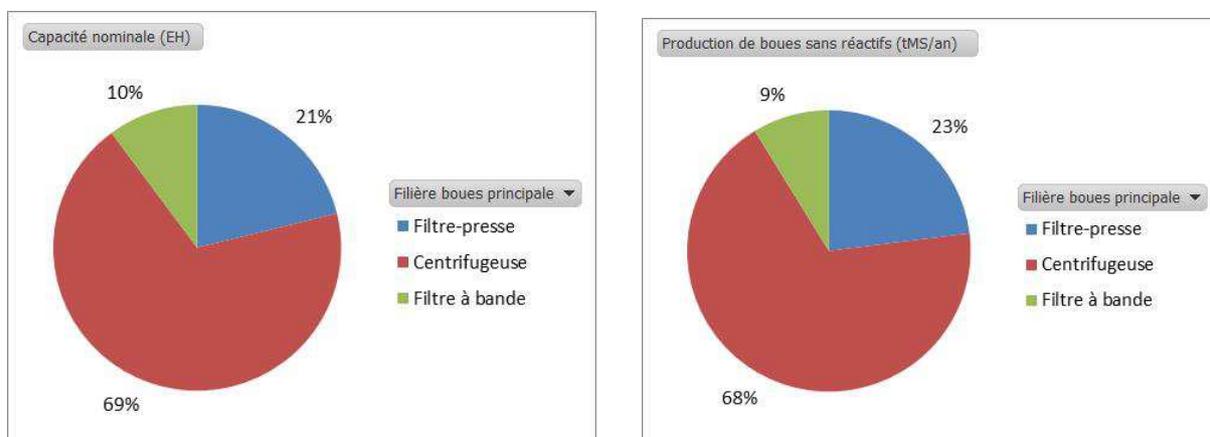


Figure 8 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique (A gauche, en % de la capacité de traitement nominale équipée d'un dispositif de déshydratation mécanique ; à droite, en % de la production de boue déshydratée mécaniquement)

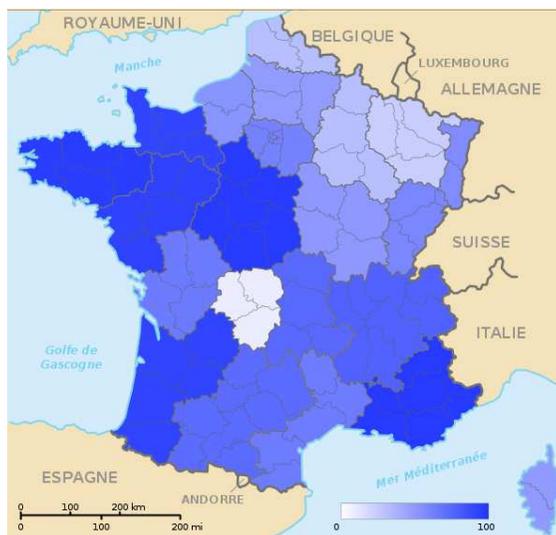
Le procédé de déshydratation mécanique le plus courant est la centrifugation (64% des stations équipées de dispositif de déshydratation). Viennent ensuite les filtres à bande (27% de stations et les filtres-presses (9% des stations). Les résultats ramenés à la capacité de traitement nominale et à la production de boues sont très proches. Si la majorité des boues déshydratées en France l'ont été par centrifugation (68% des boues déshydratées), la position des filtres-presses et des filtres à bandes est inversées (23% et 9% des boues déshydratées respectivement).

2.2.2. Echelle régionale

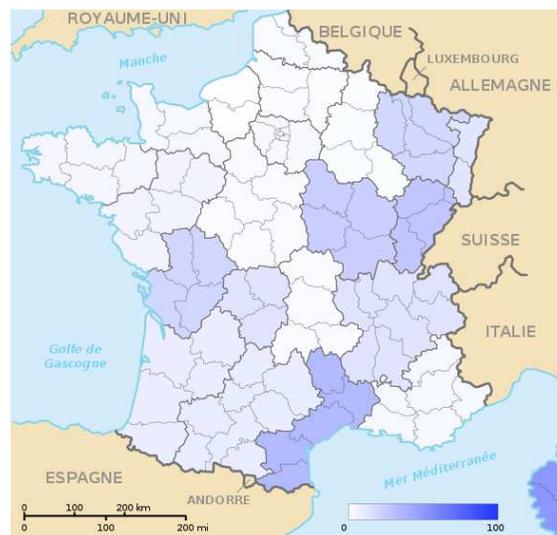
La même analyse a été effectuée à une échelle régionale. Les résultats sont présentés sur la Figure 9 et le Tableau 1.

On observe que les chiffres obtenus à une échelle nationale ne sont pas transposables à une échelle régionale. En effet, si les centrifugeuses dominent largement le marché sur les territoires des agences Loire-Bretagne, Adour-Garonne et Rhône-Méditerranée-Corse (plus de 80% des boues déshydratées mécaniquement sur ces agences), il n'en est pas de même pour les agences Rhin-Meuse, Artois-Picardie et Seine-Normandie où les filtres-presses peuvent être utilisés pour entre 36 et 69% des boues déshydratées. Une forte variabilité est également observée pour les filtres à bandes qui, s'ils sont utilisés pour seulement 1% des boues déshydratées sur l'agence Artois-Picardie, sont utilisés pour plus de 14% des boues déshydratées dans les agences Rhin-Meuse et Rhône-Méditerranée-Corse.

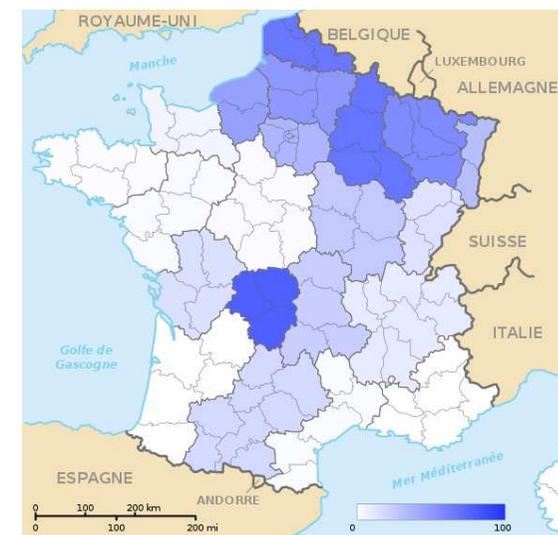
Au vu de cette forte disparité régionale, les données présentées à une échelle nationale doivent donc être relativisées. En effet, si un procédé peut être présenté comme minoritaire à une échelle nationale, son optimisation peut néanmoins constituer un enjeu significatif à l'échelle des territoires.



Centrifugeuses



Filtres à bande



Filtres-presses

Cartes réalisées grâce à l'outil en ligne DrawMeAGraph.com (Copyright 2014-2018)

Figure 9 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique dans les différentes régions françaises métropolitaines (répartition exprimée en % de la production de boue déshydratée mécaniquement)

Procédés	Adour Garonne	Artois Picardie	Loire Bretagne	Rhin Meuse	Rhône-Méditerranée Corse	Seine Normandie	Total général
Filtre-presse	5%	69%	16%	42%	4%	36%	23%
Centrifugeuse	83%	30%	79%	44%	82%	61%	68%
Filtre à bande	12%	1%	5%	14%	14%	3%	9%

Tableau 1 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique sur les régions des différentes agences de l'eau de France métropolitaine (répartition exprimée en % de la production de boue déshydratée mécaniquement)

2.3. Influence de la taille des installations de traitement

Les différents procédés de déshydratation mécanique ne possèdent pas les mêmes avantages et inconvénients selon les tailles des stations. Afin d'identifier comment ceci impacte les choix de procédés, les fréquences d'utilisation des filtres-presses, des filtres à bande et des centrifugeuses ont été analysées en fonction des capacités de traitement des stations. Pour classer les stations selon leur taille, les seuils des tranches d'obligations réglementaires ont été considérés. Les résultats sont présentés sur la Figure 10 en termes de fréquence d'utilisation des différents outils et sur la Figure 11 en termes de proportion de boues traitées.

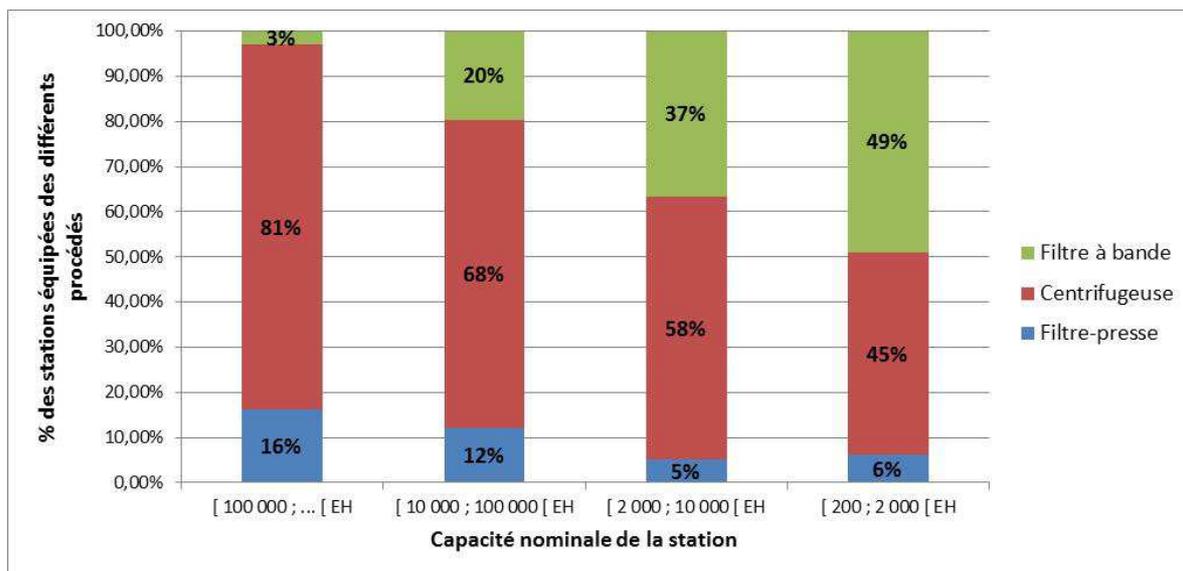


Figure 10: Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique en fonction de la taille des stations.

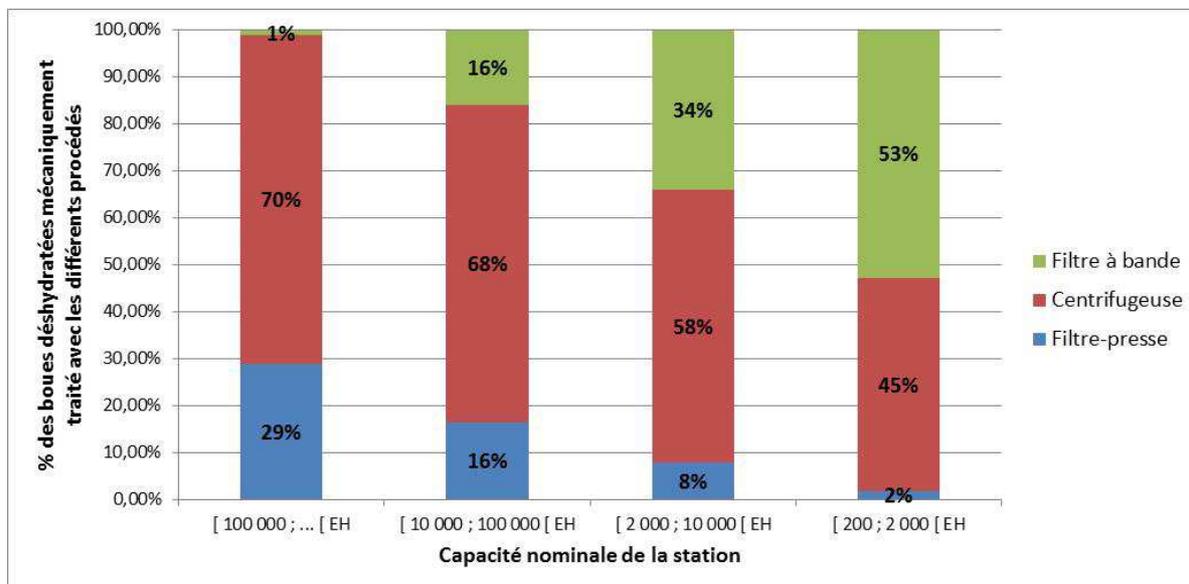


Figure 11 : Proportion de boues produites traitées avec les différents procédés de déshydratation mécanique en fonction de la taille des stations.

On constate une forte influence de la taille de la station sur le procédé de déshydratation mécanique choisi. Ainsi, pour les stations de capacité inférieure à 2000 EH, les filtres à bandes et les centrifugeuses se partagent dans des proportions équivalentes la quasi intégralité du marché. En revanche, quand la taille de la station augmente, les filtres à bandes sont de moins en moins utilisés au profit des centrifugeuses et des filtres-presses. Ces derniers, s'ils sont très peu utilisés pour les stations

de petite capacité (dans ce cas, les filtres-presses utilisés sont en majorité des dispositifs mobiles intervenant de manière ponctuelle sur la station), concernent près d'1/3 de la production de boue des stations de grande capacité (supérieure à 100 000EH).

Cette répartition des différents outils de déshydratation s'explique principalement par quatre facteurs :

- Le fait que les stations de capacité importante se tournent préférentiellement vers des procédés privilégiant la performance en terme de siccité et de réduction de la production de boues volumique (filtres-presses, centrifugeuses) du fait d'enjeux liés à des volume de boues produits importants et à des contraintes de stockage et de transport souvent fortement impactantes.
- Les capacités d'investissement des collectivités au regard des coûts des différents procédés.
- Les besoins de technicité en termes d'exploitation qui orientent les petites collectivités vers des outils rustiques.
- Les obligation de stabilisation des boues pour les stations de taille importante qui renforce l'intérêts des filtres-presses avec un conditionnement minéral (chlorure ferrique et chaux) qui présente l'avantage de coupler déshydratation et stabilisation quand les boues sont orientées.

Ces résultats, et notamment le poids relatif des données concernant les stations de moins de 2000 EH et de celles concernant les stations de plus de 100 000 EH, doivent être relativisés au regard du poids de ces classes de station dans la production de boues déshydratées à une échelle nationale. En effet, comme le montre la Figure 12, les stations de moins de 2000 EH équipées d'un dispositif de déshydratation ne représentent que 3% des stations déshydratant leurs boues (et une production de boues négligeable à une échelle nationale). En revanche, les stations de plus de 100 000EH représentent 58% des boues déshydratées mécaniquement.

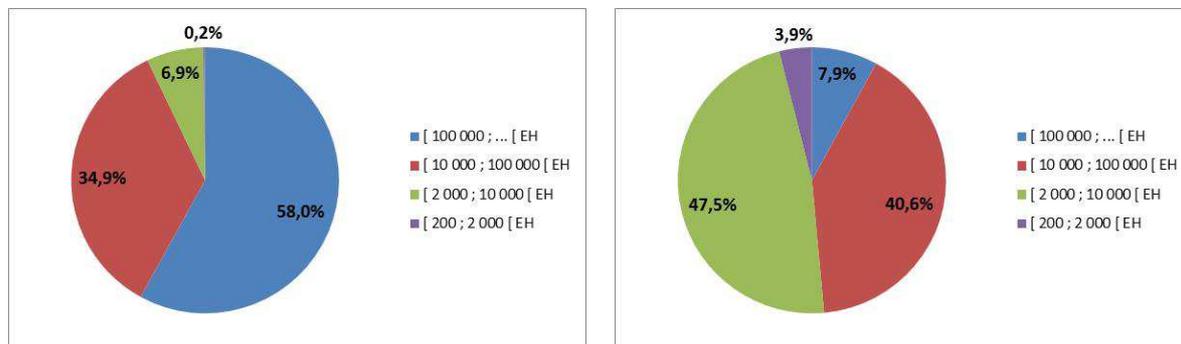


Figure 12: Répartition de la proportion que représentent les différentes classes de station dans la production de boues déshydratées (A gauche: en % de la production de boues déshydratées en tMS/an ; à droite : en % des stations équipées de dispositifs de déshydratation mécanique)

2.4. Influence de la filière de valorisation des boues

Dans le choix d'une filière de déshydratation mécanique, la nature de la voie de valorisation existante ou envisagée est souvent déterminante en cas de construction ou de réhabilitation. De la même manière, une filière de déshydratation existante peut conditionner la faisabilité des différentes voies de valorisation. Ainsi, en premier lieu, la Figure 13 présente la répartition nationale des différentes voies de valorisation ou d'élimination pour les boues déshydratées mécaniquement. On constate que, si la mise en décharge est largement minoritaire, les filières de compostage, d'épandage direct et d'incinération concernent des proportions quasi équivalentes de la production de boues déshydratées.

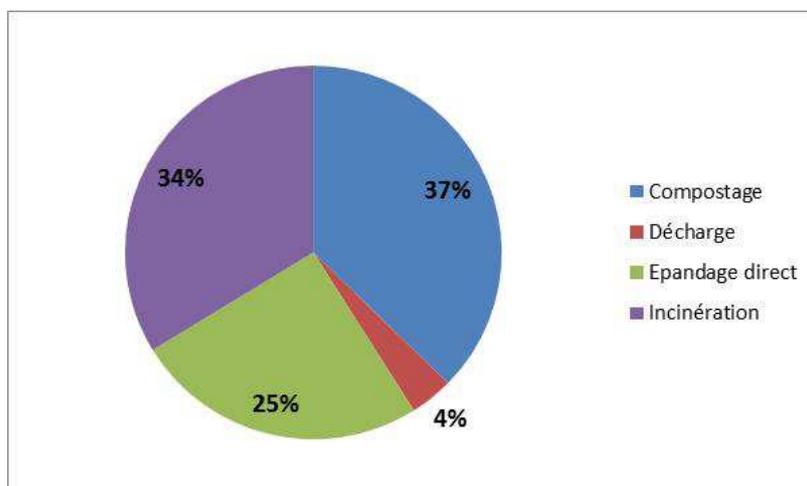


Figure 13 : Voies de valorisation ou d'élimination des boues déshydratées mécaniquement en France (en % de la production de boues déshydratées).

En second lieu, la Figure 14 présente la répartition des différentes voies de valorisation/élimination en fonction des procédés de déshydratation utilisés. Les résultats obtenus pour les différents procédés sont très différents :

- Les boues déshydratées en filtre à bande sont très peu incinérées du fait de leur faible siccité. En revanche, elles sont majoritairement orientées vers les filières de compostage et d'épandage direct qui sont moins exigeantes en termes de teneur en matière sèche.
- Environ 40% des boues déshydratées en filtre-presse et centrifugeuse sont incinérées. Sur les 60% restant, les boues centrifugées sont préférentiellement orientées vers des plateformes de compostage à l'inverse des boues issues des filtres-presses qui sont préférentiellement orientées vers des filières d'épandage direct. Ceci s'explique sans doutes par le fait qu'une proportion importante des boues issues de filtres-presses ont subi un conditionnement minéral (chlorure ferrique + chaux) et sont donc, d'une part, déjà stabilisée et d'autre part, inadaptées au procédé de compostage.

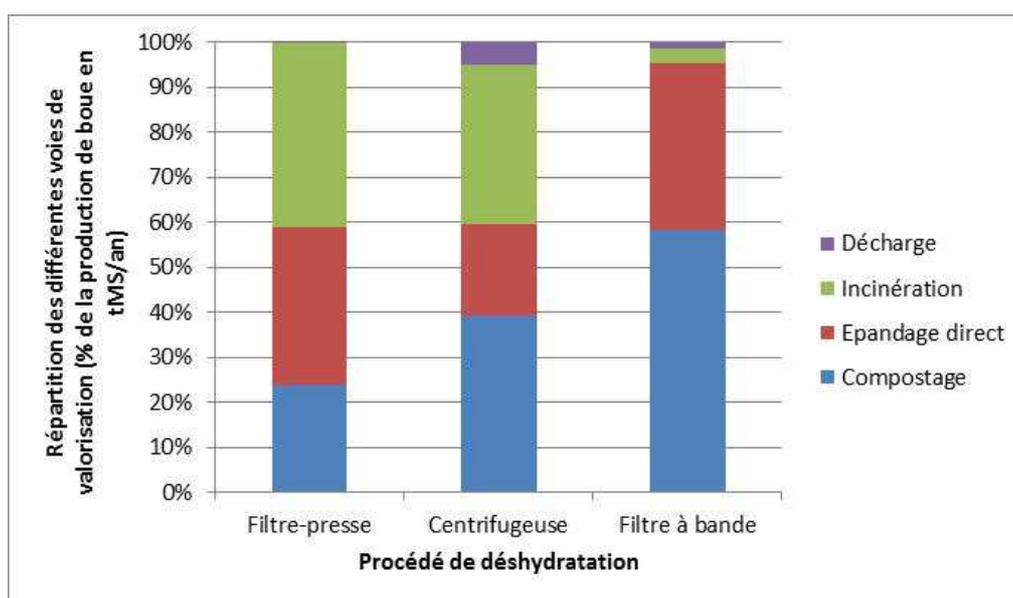


Figure 14: Répartition des différentes voies d'élimination ou de valorisation en fonction des filières de déshydratation mécanique.

L'influence des voies de valorisation et d'élimination sur le choix du procédé de déshydratation, qui sont étroitement liées aux contraintes territoriales, peut également expliquer en partie les disparités régionales en termes de choix des filières de déshydratation.



Compostage



Epandage



Incinération

Cartes réalisées grâce à l'outil en ligne DrawMeAGraph.com (Copyright 2014-2018)

Figure 15 : Répartition des différentes voies de valorisation des boues déshydratées (% de la production de boues déshydratées)

Il semble que la présence significative des filières de déshydratation par filtre à bandes (en Languedoc Roussillon par exemple) soit associée à une dominance des filières de valorisation par compostage. D'autre part, la proportion de boues déshydratées en filtre-presse semble liée à la proportion de boues valorisées en incinération ou en épandage direct. Cependant, ces résultats montrent également que s'il y a une influence, il n'y a pas de lien direct entre les filières de valorisation et les filières de déshydratation mécanique.

2.5. Evolution des filières de déshydratation mécanique

Afin d'apprécier les évolutions en cours en terme de filières de déshydratation mécanique en France, la répartition des différentes filières de déshydratation a été évaluée en fonction de la tranche d'âge des stations. Les résultats sont présentés sur la Figure 16. Si ces données peuvent permettre d'apprécier des tendances, elles doivent être relativisées du fait qu'elles ne prennent pas en compte les réhabilitations de la filières boues qui constituent sans doute une part très importante des installations de filières de déshydratation en France. D'autre part, les données pour les stations construites il y a moins de 5 ans ne sont pas présentées. En effet, la base de données exploitable ne présente que 14 stations appartenant à cette tranche d'âge (13 avec centrifugeuse, 1 avec filtre à bande), ce qui ne peut pas être considéré comme représentatif.

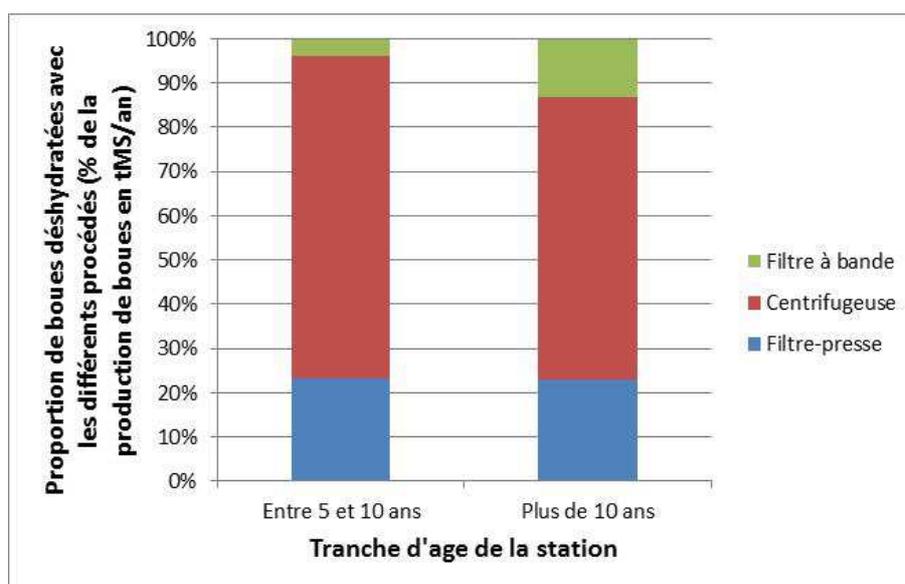


Figure 16 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique en fonction de la tranche d'âge de la station (en % de la production de boues déshydratées mécaniquement)

Au cours des deux dernières décennies, il semble que la principale évolution soit liée à une diminution des parts de marché des filtres à bandes au profit des centrifugeuses. La proportion de filtres-presses semble elle assez stable.

3. Etat des lieux des performances des procédés de déshydratation mécanique

Deux volets des performances des procédés de déshydratation mécanique sont considérés : la siccité de la boue déshydratée et la charge représentée par les retours en tête. Ces données ont notamment vocation à être valorisées dans le cadre d'une analyse des impacts environnementaux de la filière boue des stations.

3.1. Siccité des boues déshydratées

La siccité des boues déshydratées sera abordée au travers :

- ▶ d'une synthèse des données issues de la bibliographie
- ▶ d'une analyse statistique des données issues de stations de France métropolitaine.

3.1.1. Synthèse bibliographique

Les données issues de la bibliographie concernant les siccités obtenues pour les boues d'épuration urbaines sont présentées Figure 17.

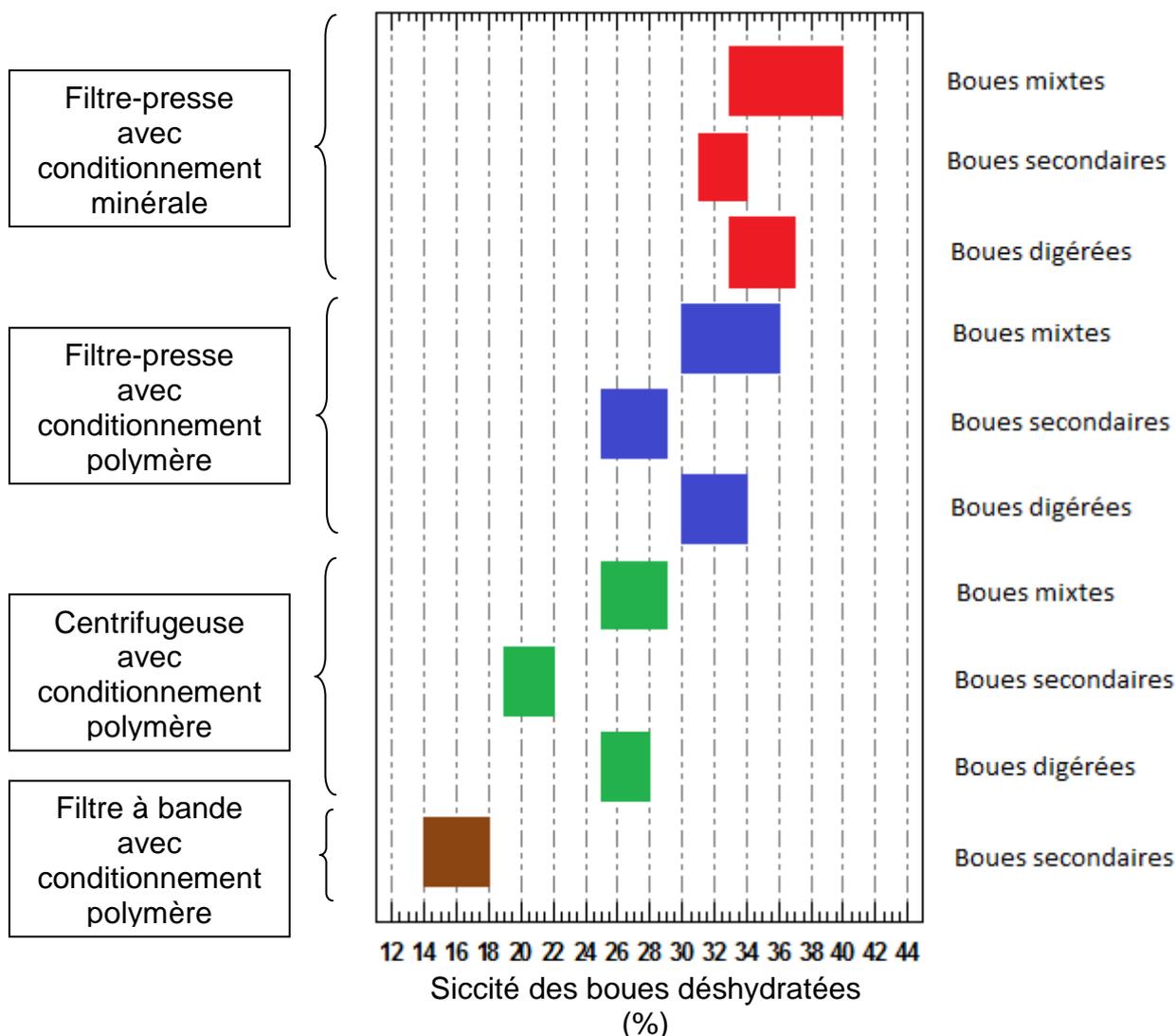


Figure 17 : Synthèse bibliographique des siccités obtenues avec les différents procédés de déshydratation mécanique. (Sources : Mémento technique de l'eau et données des équipementiers)

On observe des performances croissantes en termes de siccité entre les filières par filtre à bande, par centrifugation et par filtre-presse. Une variabilité importante est observée en fonction du type de boue (mixte, secondaire ou digérée) et du type de conditionnement.

3.1.2. Analyse statistique de données réelles

Des données de performance ont été collectées afin de confronter les données bibliographiques aux données observées. Les résultats de cette analyse sont présentés sur la Figure 18.

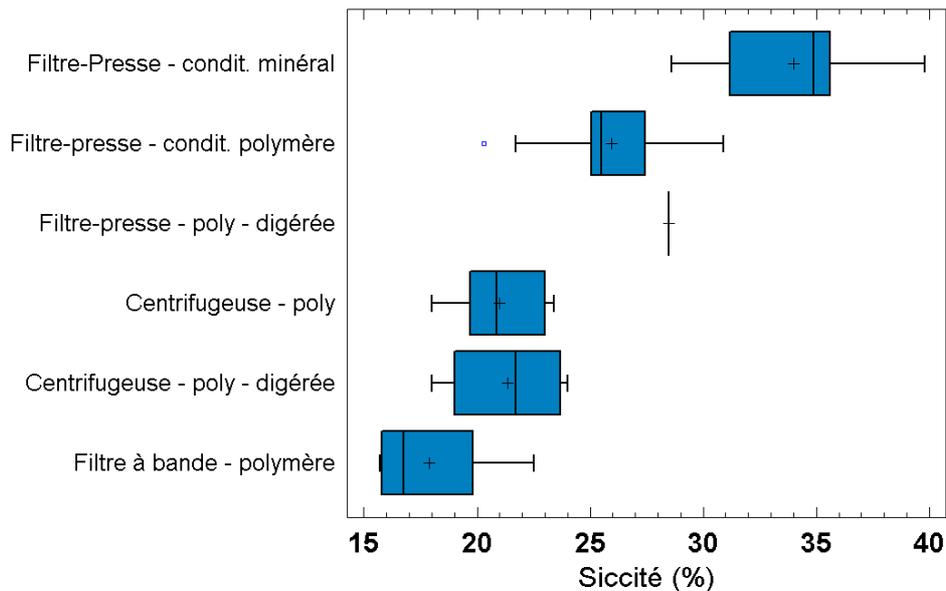


Figure 18 : Performances réelles des procédés de déshydratation mécanique.

En ce qui concerne les performances des filtres-presses fonctionnant avec un conditionnement minéral, on observe que les $\frac{3}{4}$ des boues présentent une siccité plutôt dans la gamme basse de celle mentionnée Figure 17. En ce qui concerne les performances des filtres-presses fonctionnant avec un conditionnement « chlorure ferrique + polymère », les valeurs de siccité observées sont proches de celles issues de la bibliographie en considérant que la plupart des stations équipées d'un filtre-pressé et pratiquant un conditionnement polymère pour lesquelles nous ne disposons de données produisent des boues secondaires uniquement. En ce qui concerne les performances des filtres-presses sur les boues digérées avec un conditionnement « chlorure ferrique + polymère », seulement une donnée est disponible et présente une siccité moindre que celle annoncée à partir de données bibliographiques.

En ce qui concerne les performances des centrifugeuses, les siccités observées sur le terrain sont proches de celles issues de la bibliographie (la plupart des données provenant de stations ne produisant que des boues secondaires). En revanche, pour ce qui est des boues digérées, les performances observées (les $\frac{3}{4}$ des valeurs sont comprises entre 19 et 24% de siccité) sont inférieures à celles issues de la bibliographie (entre 25 et 28% de siccité).

En ce qui concerne les performances des filtres à bande, les performances obtenues sont supérieures de quelques points de siccité aux moyennes issues de la bibliographie.

Ainsi, sauf pour les boues digérées où les données bibliographiques conduisent à une surestimation des siccités réelles obtenues sur les stations, les données issues de la bibliographie sont assez proches des données observées sur le terrain. Les différences observées sur les boues digérées peuvent être liées aux contraintes associées au vieillissement des digesteurs qui en diminue l'efficacité (décantation de sables diminuant le volume utile du digesteur) et aux difficultés associées à l'étape de floculation qui est plus sensible sur ce type de boue.

3.2. Retours en tête issus de la déshydratation mécanique des boues

Outre les enjeux en termes de dimensionnement, le développement de références sur la composition des retours en tête et la charge à traiter qu'ils représentent est crucial pour le développement des outils d'évaluation environnementale de la filière de traitement et de la « filière boues » en particulier. En effet, les retours en tête constituent une interface entre la « filière eau » et la « filière boue » qui peut induire des impacts environnementaux indirects.

3.2.1. Synthèse bibliographique des impacts des retours en tête

Les impacts des retours en tête du traitement des boues sur la filière de traitement des eaux usées sont de nature quantitative ou qualitative.

La caractérisation des impacts quantitatifs peut être réalisée de façon assez précise alors que celle des impacts qualitatifs est beaucoup plus complexe à mettre en évidence car elle nécessite de combiner de multiples paramètres qui auront chacun des conséquences particulières (Grulois, Bousseau et al. 1993)

3.2.1.1. *Impact quantitatif des retours en têtes*

Dans la littérature, les évaluations quantitatives des retours en tête d'un certain nombre de procédés de traitement des boues sont référencées. Ces retours en tête sont exprimés par rapport au flux de l'effluent brut (voir Tableau 2).

Tableau 2 : Impacts quantitatifs des retours en tête de certains procédés de traitements des boues sur la station de traitement des eaux usées

	EPAISSISSEMENT GRAVITAIRE	FILTRE A BANDES	DIGESTION ANAEROBIE
	(Sadowsky A.G. 2002)	(Sadowsky A.G. 2002)	(Couturier C., Berger S. et al. 2001)
Débit (% débit EB)	nc	nc	6 à 10%
DBO ₅ (% DBO ₅ EB)	8 à 10%	10%	5 à 30%
MES (% MES EB)	4 à 6%	20%	2 à 17%
NTK (% NTK EB)	10%	5%	15 à 25%
N-NH ₄ ([NTK] EB) g/L	0,8	nc	nc
Pt (% Pt EB)	0	2%	1 à 10%

EB = Effluents bruts

nc = Non communiqué

D'autres impacts quantitatifs ont été évalués sur 3 systèmes de traitement des boues (Tableau 3).

Tableau 3 : Impacts quantitatifs des retours en tête de 3 systèmes de traitement des boues sur la station de traitement des eaux usées

(GRULOIS, BOUSSEAU ET AL. 1993)	EPAISSISSEMENT SEPRE DIGESTION FILTRE PRESSE	EPAISSISSEMENT SEPRE DIGESTION FILTRE A BANDES	EPAISSISSEMENT MIXTE DIGESTION FILTRE A BANDES
Débit (%)	6	10	9
DBO ₅ (%)	5	17	30
MES (%)	2	14	17
NTK (%)	15	17	25
Pt (%)	1	4	10

On peut noter que les données de référence concernant la composition des retours en têtes sont, d'une part, assez rares, et d'autre part, quasiment systématiquement agrégées. Ainsi, les chiffres concernant les charges à traiter représentées par les retours en tête correspondent en général à la somme de tous les retours en tête issus de la filière boues. Cette échelle de données est insuffisante pour que ces dernières puissent être utilisées dans les outils d'analyse environnementale pour lesquels des données procédé par procédé sont nécessaires.

3.2.1.2. *Impacts qualitatifs*

La bibliographie est relativement pauvre en ce qui concerne les impacts qualitatifs des retours en tête sur la station de traitement des eaux usées. Quelques impacts ont cependant été identifiés :

- Si la station n'a pas été dimensionnée de façon correcte, les retours en tête peuvent conduire à des surcharges au niveau de la filière eau.
- Si les taux de capture sont mauvais et que la station n'a pas été dimensionnée en conséquence, une surcharge en boues dans le clarificateur peut également entraîner une diminution de la vitesse de décantation des boues dans le clarificateur et donc un départ de boues dans les effluents rejetés au milieu naturel.
- Les retours en tête des surnageants d'épaississeurs peuvent contribuer au développement de bactéries filamenteuses (GIS-BIOSTEP 2005).
- La déshydratation par unités mobiles des boues liquides stockées sur la station génère des retours en tête très souvent chargés en ammoniacal et en sulfures notamment du fait de l'hydrolyse subit par les boues lors de leur stockage (GIS-BIOSTEP 2005).
- Les retours en tête des centrifugeuses amènent une surcharge plus ou moins importante dans la ligne de traitement des eaux, selon la qualité de la déshydratation. Cette surcharge se traduira par un accroissement du débit de boues et de la consommation d'oxygène dans les bassins d'aération (et donc des surcoûts d'exploitation vis-à-vis de l'électricité et des réactifs) (Audibert J. 1998). Ce constat peut être extrapolé à la plupart des procédés de déshydratation mécanique et d'épaississement.
- Après la déshydratation du digestat de méthanisation, les retours en tête sont plus chargés en azote ammoniacal et en phosphore. Cette augmentation peut être contraignante dans le cas de stations situées en zones sensibles pour l'azote et le phosphore. En revanche sur une station d'épuration assurant le traitement du phosphore par voie physico-chimique, ce problème n'est plus rencontré car la quasi-totalité du phosphore est précipité de façon stable dans les boues (Couturier C. et al. 2001).

Le problème de l'évaluation qualitative réside dans le fait que dès qu'un dysfonctionnement apparaîtra dans la station, les retours en tête constitueront un moyen privilégié de transmettre ce dysfonctionnement, de l'entretenir et de l'amplifier.

La Figure 19 représente un scénario de « station à la dérive » pour lequel le dysfonctionnement total final est intimement lié à l'existence des retours en tête. L'évolution se fait en trois étapes et le passage d'une étape de propagation de dysfonctionnement à la suivante nécessite la boucle des retours en tête. A chaque étape une hiérarchie d'apparition des phénomènes est donnée par une numérotation. Les dégradations sont inscrites en colonne par rapport à chacun des ouvrages, avec des indices « plus » ou « moins » relatifs à l'importance des phénomènes (Grulois et al. 1993).

Ainsi au cours de l'étape 1, les dysfonctionnements observés sur le procédé de déshydratation ou d'épaississement vont entraîner des retours en tête importants. Ces dysfonctionnements peuvent être liés à un défaut de dimensionnement sur les procédés, aux propriétés de la boue produite ou à une inadéquation entre les propriétés de la boue produite et le procédé mis en œuvre. Les retours en tête générés au cours de l'étape 1 font passer le système dans l'étape 2 qui va également créer des retours importants. Le système passera alors dans l'étape 3 et aboutira à un départ de boues.

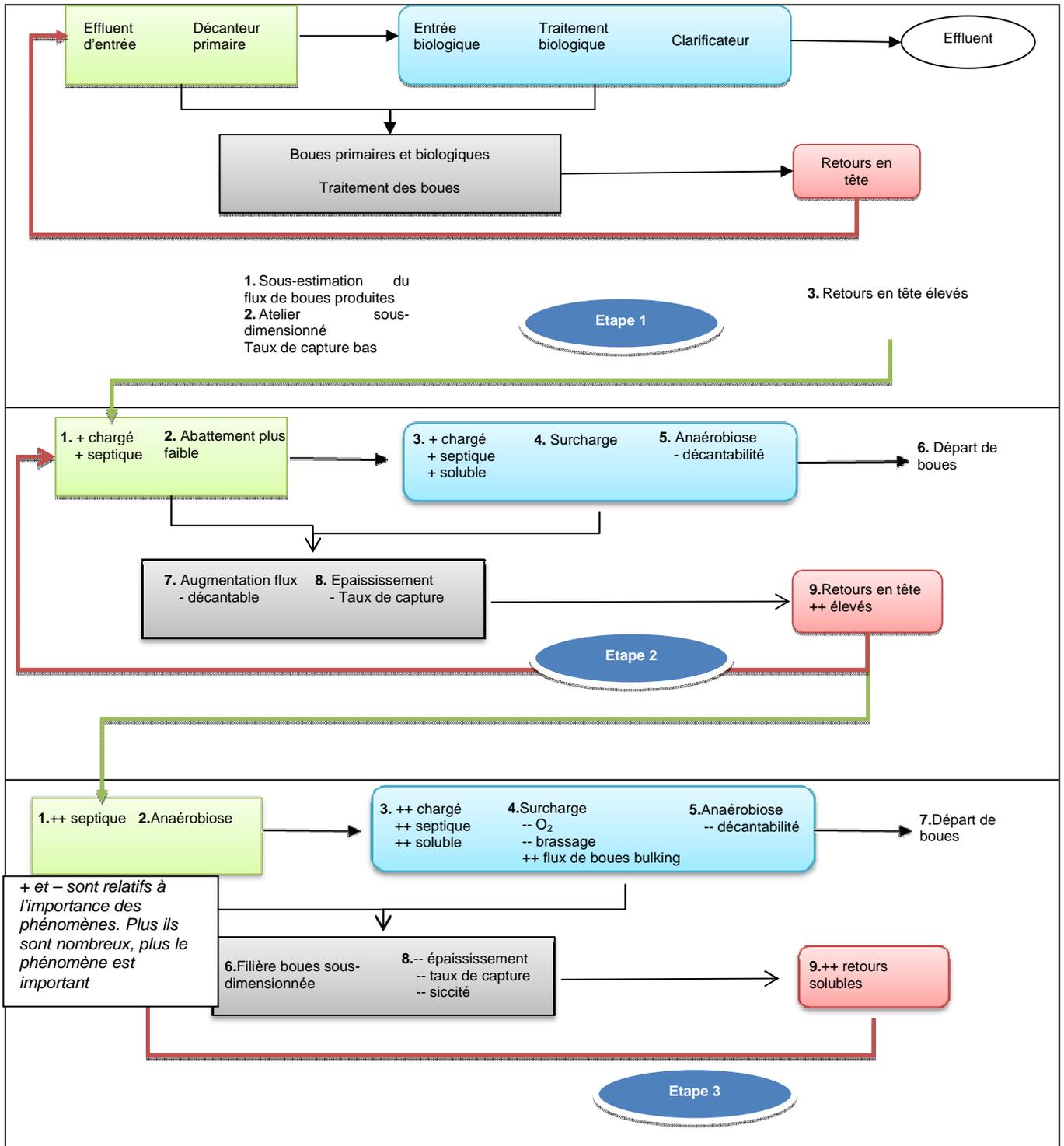


Figure 19 : Scénarios de dysfonctionnements dus aux retours en tête (Grulois et al. 1993)

Cependant, chaque procédé possède ses propres impacts vis-à-vis des performances de la station. Comme il a été dit précédemment, l'évaluation qualitative des impacts des retours en tête est difficile, celle-ci doit être adaptée au cas par cas, en gardant à l'idée que chaque filière de traitement des boues est spécifique d'une installation, et donc que l'impact d'un procédé de traitement des boues va agir en même temps que l'impact d'un autre procédé de traitement des boues, ce qui fait toute la complexité de la problématique.

3.2.1.3. *Bilan de l'analyse bibliographique*

En conclusion, il apparaît que les retours en tête peuvent générer une part non négligeable de la charge à traiter pour les stations de traitement des eaux usées. Cette charge supplémentaire peut être à l'origine de dysfonctionnements ou amplifier des dysfonctionnements existants. Or, sur cet aspect, il existe assez peu de données quantitatives procédé par procédé (notamment en raison de la complexité liée à la prise en compte des interactions entre procédés).

Du fait de son influence sur le fonctionnement de la station et, potentiellement, de son bilan environnemental, il est nécessaire d'implémenter l'interface entre la filière eau et la filière boue dans les outils d'évaluation environnementale tels que développés dans l'action Irstea portant sur l'analyse du cycle de vie des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées. Cependant, les données disponibles dans la bibliographie sont trop agrégées et ne permettent pas de produire des données à l'échelle des procédés qui est nécessaire pour les outils d'évaluation environnementale.

3.2.2. Acquisition de références sur la composition des retours en tête

Ce travail a été mené en collaboration avec l'action financée par l'Onema portant sur l'analyse environnementale des filières boues des stations de traitement des eaux usées (Action n° 48 de la convention Onema-Irstea 2013-2015 : Analyses du cycle de vie des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées).

Le but de ce travail est double :

- ▶ Quantifier et analyser l'impact des retours en tête de station sur différentes stations présentant des filières de traitement des boues différentes,
- ▶ Créer des données portant sur les retours en tête afin de pouvoir les intégrer dans un futur outil portant sur l'analyse du cycle de vie des filières de traitement et de valorisation des boues.

A ce stade, au vu des lacunes bibliographiques à ce sujet, ce travail n'a pas vocation à fournir des données moyennes sur les charges représentées par les retours en tête issus des différents procédés d'extraction d'eau présents sur la filière boues. Il a néanmoins l'ambition d'identifier l'ordre de grandeur que représentent les retours en têtes issus des différents procédés afin que ces derniers puissent être utilisés dans le cadre de l'étude de la sensibilité du bilan environnemental de la filière boue aux performances des procédés en terme de retour en tête. Les procédés avec les contributions les plus significatives pourront par la suite faire l'objet de campagnes de caractérisation plus fines.

3.2.2.1. *Matériel et méthodes*

a) Choix des stations

Dans le cadre de ce travail, 3 stations de traitement des eaux usées ont été choisies. Cet échantillon présente des filières de traitement des boues différentes et mobilisant un maximum de procédés différents.

➤ Station de traitement des eaux usées n°1

Cette station présente une capacité nominale de 108 000 EH. Ses caractéristiques de débit et de charges journaliers reçus sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Caractéristiques de la station de traitement des eaux usées n°1

Capacité nominale		108 000 EH
Débit journalier		24 238 m ³ /j
Charges journalières moyennes	DBO₅	3450 kgO ₂ /j
	DCO	8412 kg O ₂ /j
	MES	4224 kg/j
	NGL	897 kgN/j
	Pt	101 kgP/j

Une fois évacuées de la filière eau, les boues sont épaissies par des tambours d'égouttage avant d'être envoyées en déshydratation via la centrifugation (Figure 20 et Figure 21). Les retours en tête s'élèvent à :

- 669 m³/j (dont 107 m³/j d'eaux de lavage) pour l'épaississement,
- 32 m³/j pour la déshydratation.

En termes de charges hydrauliques, les retours de l'épaississement représentent 2,8% du débit rentrant dans la station et ceux de la déshydratation, 0,13%, soit au total, 2,93% du débit moyen journalier entrant sur la station de traitement des eaux usées.

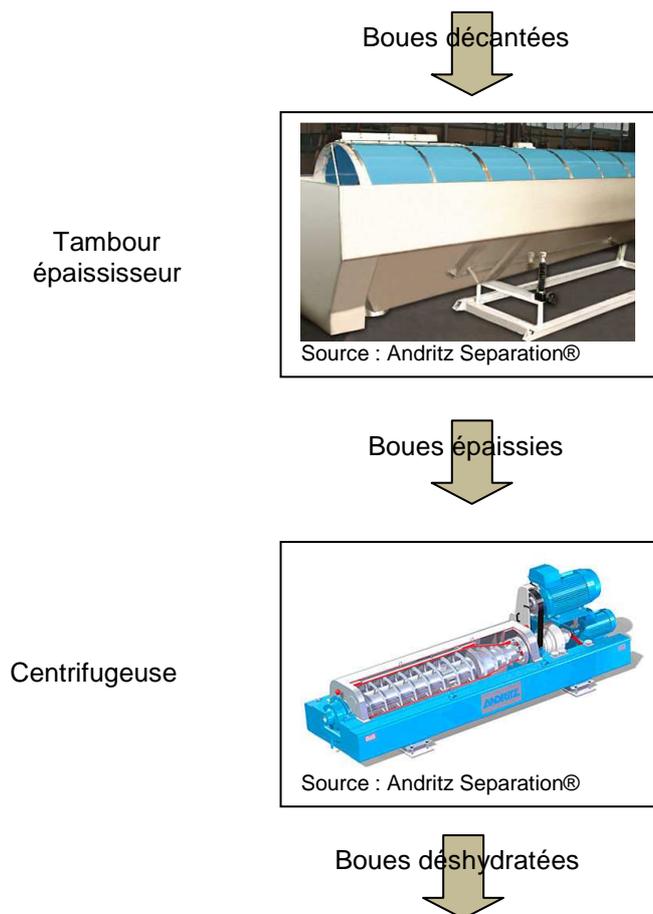


Figure 20: Représentation schématique de la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°1.

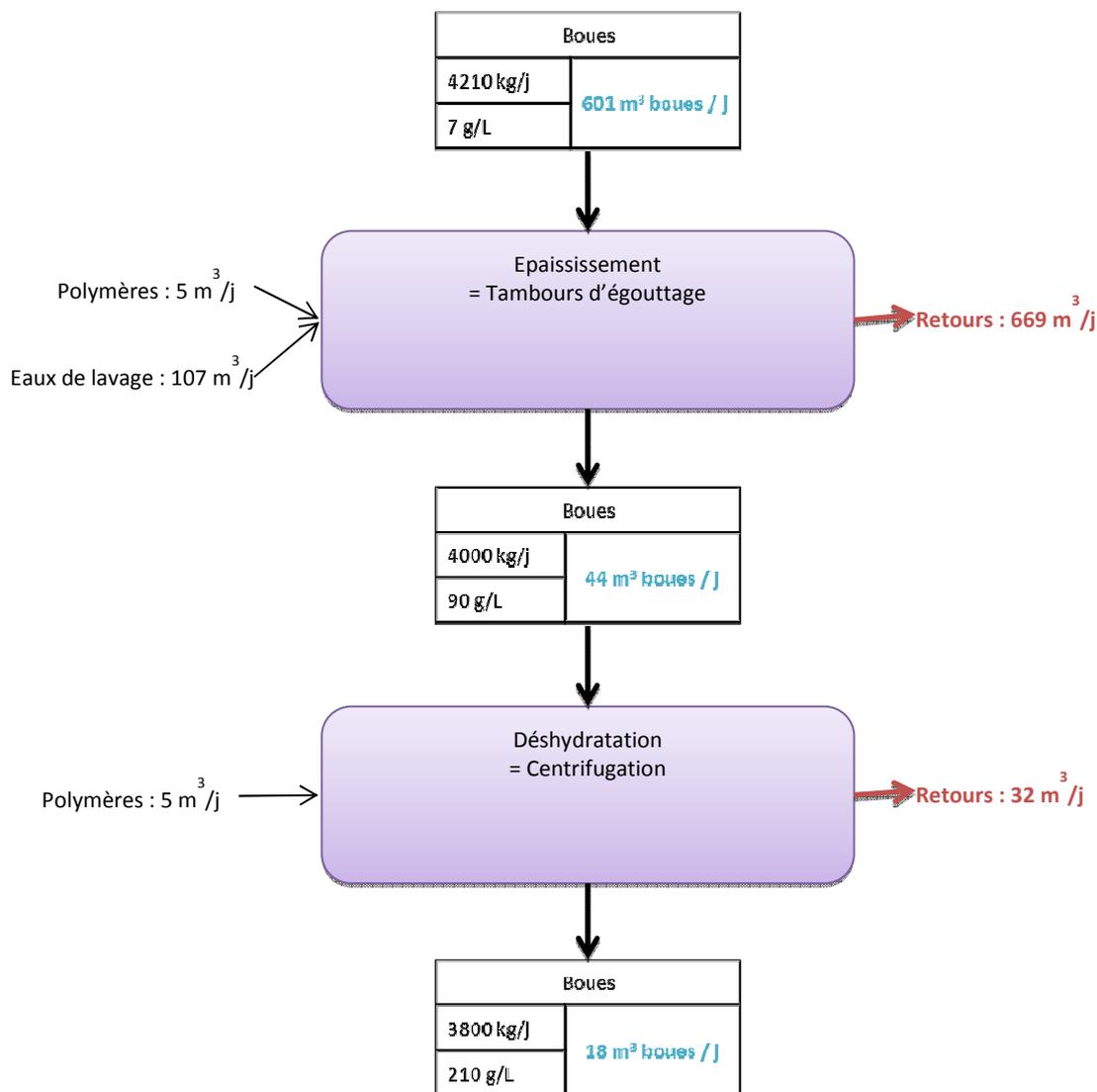


Figure 21 : Flux relevés sur la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°1.

➤ Station de traitement des eaux usées n°2

La station de traitement des eaux usées n°2 peut traiter environ 32 500 m³ d'eaux usées par jour représentant une capacité nominale de 300 000 EH. Les charges moyennes qu'elle reçoit sont présentées dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Caractéristiques de la station de traitement des eaux usées n°2

Capacité nominale		300 000 EH
Débit journalier		32 643 m ³ /j
Charges journalières moyennes	DBO₅	7200 kgO ₂ /j
	DCO	16 100 kg O ₂ /j
	MES	7 000 kg/j
	NTK	1 000 kgN/j
	Pt	207 kgP/j

Comme le montre la Figure 23, la filière eau est à l'origine de la production de deux types de boues : les boues primaires et les boues biologiques. Les boues primaires sont issues d'un procédé de dessablage, dégraissage, décantation. La phase de décantation permet

d'éliminer une part importante des matières en suspension et de la pollution carbonée présentes dans les eaux résiduaires. Une fois les eaux usées prétraitées, elles sont envoyées dans les étapes de traitement biologique conduisant à la production de boues biologiques. Les boues primaires sont alors envoyées dans un épaisseur hersé produisant environ 1180 m³/j de retours en tête soit 3,6% du débit moyen entrant. Les boues biologiques sont épaissies via des centrifugeuses à l'origine de la production de 441 m³/j de centrats (1,3% du débit journalier moyen entrant).

Les boues sont ensuite envoyées dans une phase de digestion anaérobie mésophile avant d'être déshydratées (produisant 107 m³/j de retours en tête ou 0,3% du débit journalier moyen d'eaux usées) puis séchées (voir Figure 22 et Figure 23).

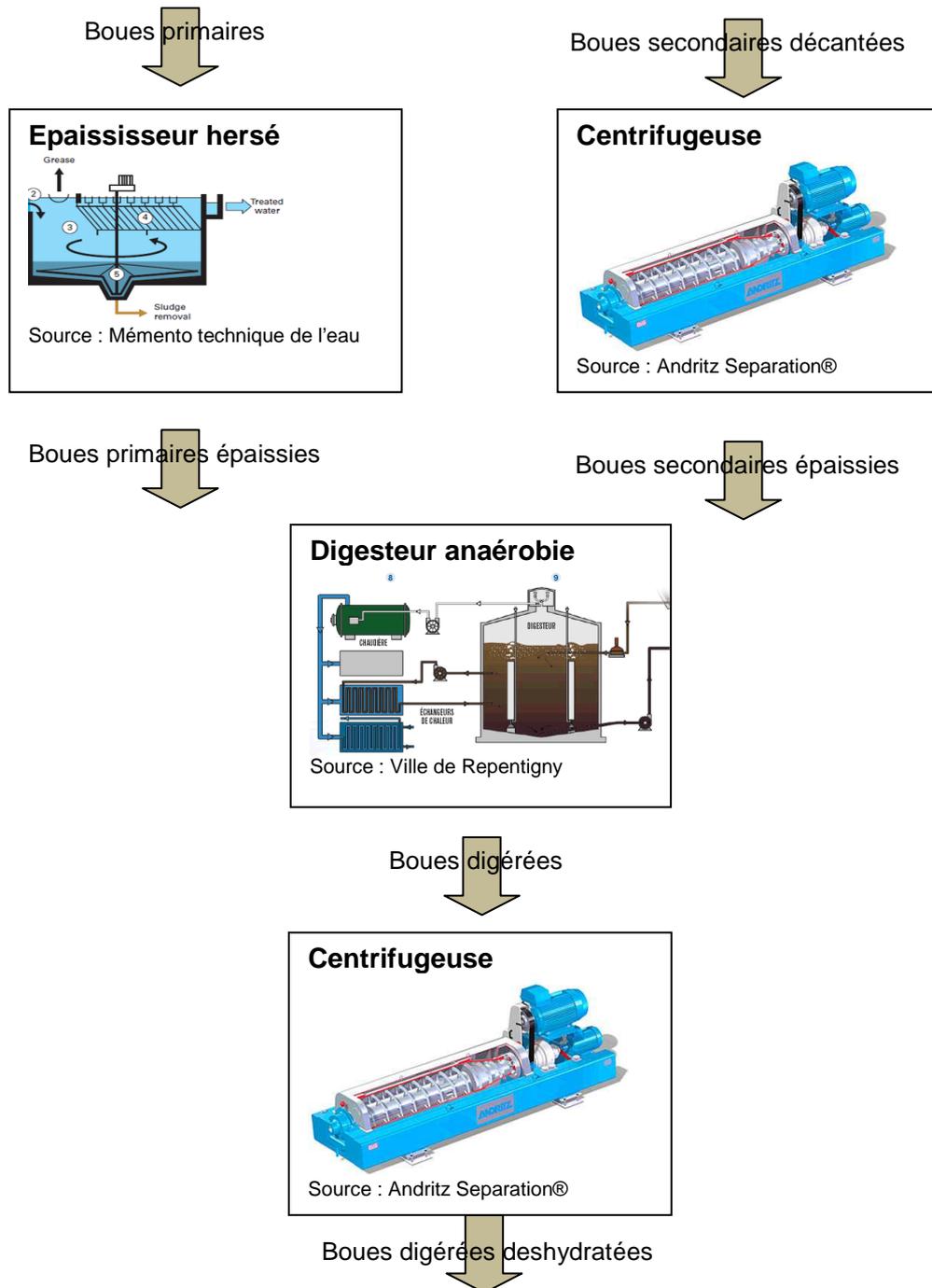


Figure 22: Représentation schématique de la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°2.

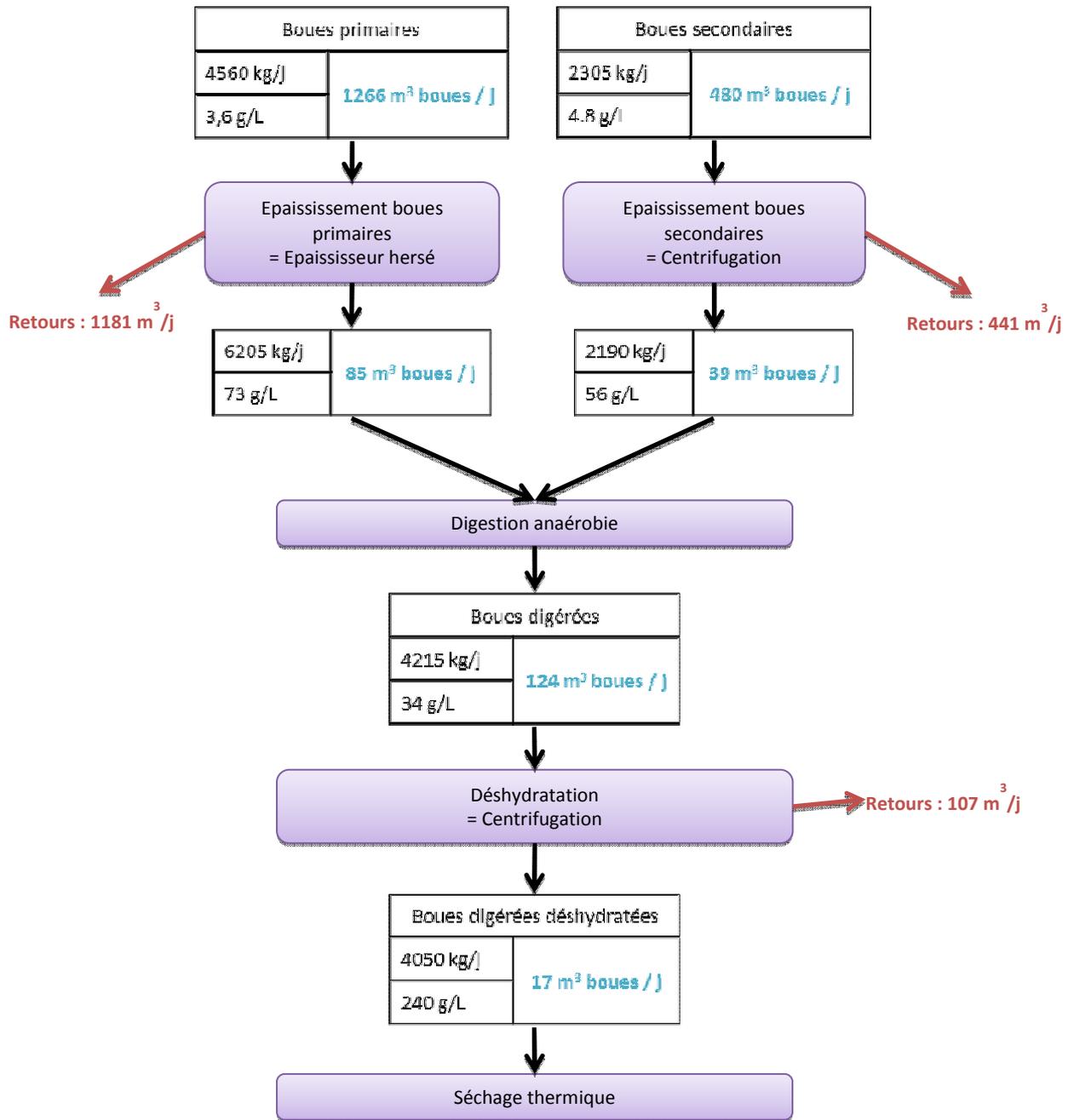


Figure 23 : Flux relevés sur la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°2.

Au total, en termes de charge hydraulique, les retours en tête représentent 5,2% du débit nominal d'eaux usées entrant dans la station.

➤ Station de traitement des eaux usées n°3

La station de traitement n°3 possède une capacité nominale de 55 000 EH. Ses caractéristiques sont présentées dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristiques de la station de traitement des eaux usées de la station n°3

Capacité nominale		55 000 EH
Débit journalier moyen		15 600 m ³ /j
Charges journalières moyennes	DBO₅	1 709 kgO ₂ /j
	DCO	5 982 kgO ₂ /j
	MES	nc
	NGL	530 kgN/j
	Pt	70 kgP/j

Les boues, une fois évacuées de la filière eau, sont épaissies via un silo épaississeur produisant environ 509 m³/j de retours en tête, soit 3,3% du débit nominal entrant dans la station (Figure 24, Figure 25). Puis elles sont déshydratées par filtre presse responsable de la production de 80m³/j de retours en tête (0,5% du débit journalier). Le débit des retours en tête correspond alors à 3,8% du débit moyen journalier d'eaux usées qui entrent dans la station.

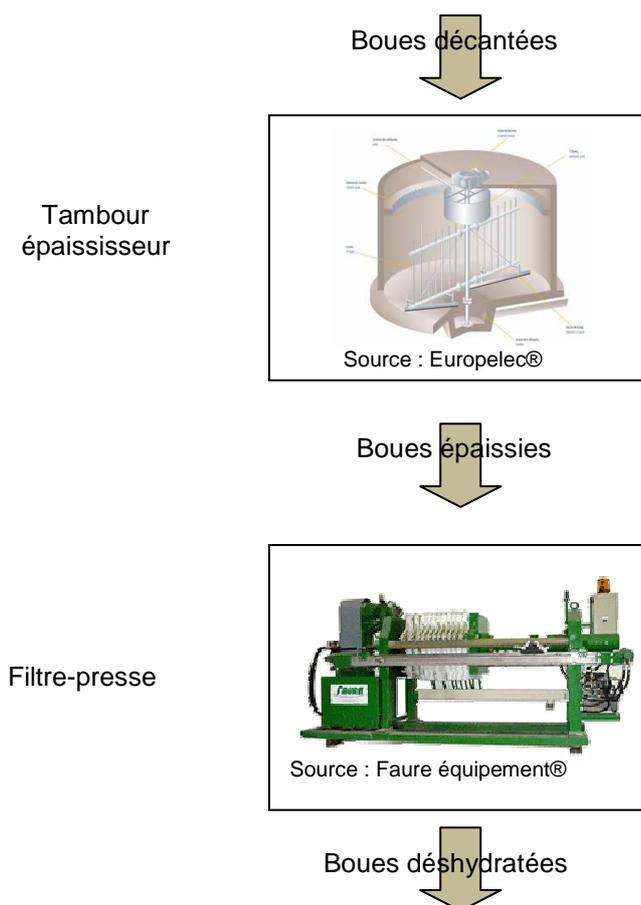


Figure 24: Représentation schématique de la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°2.

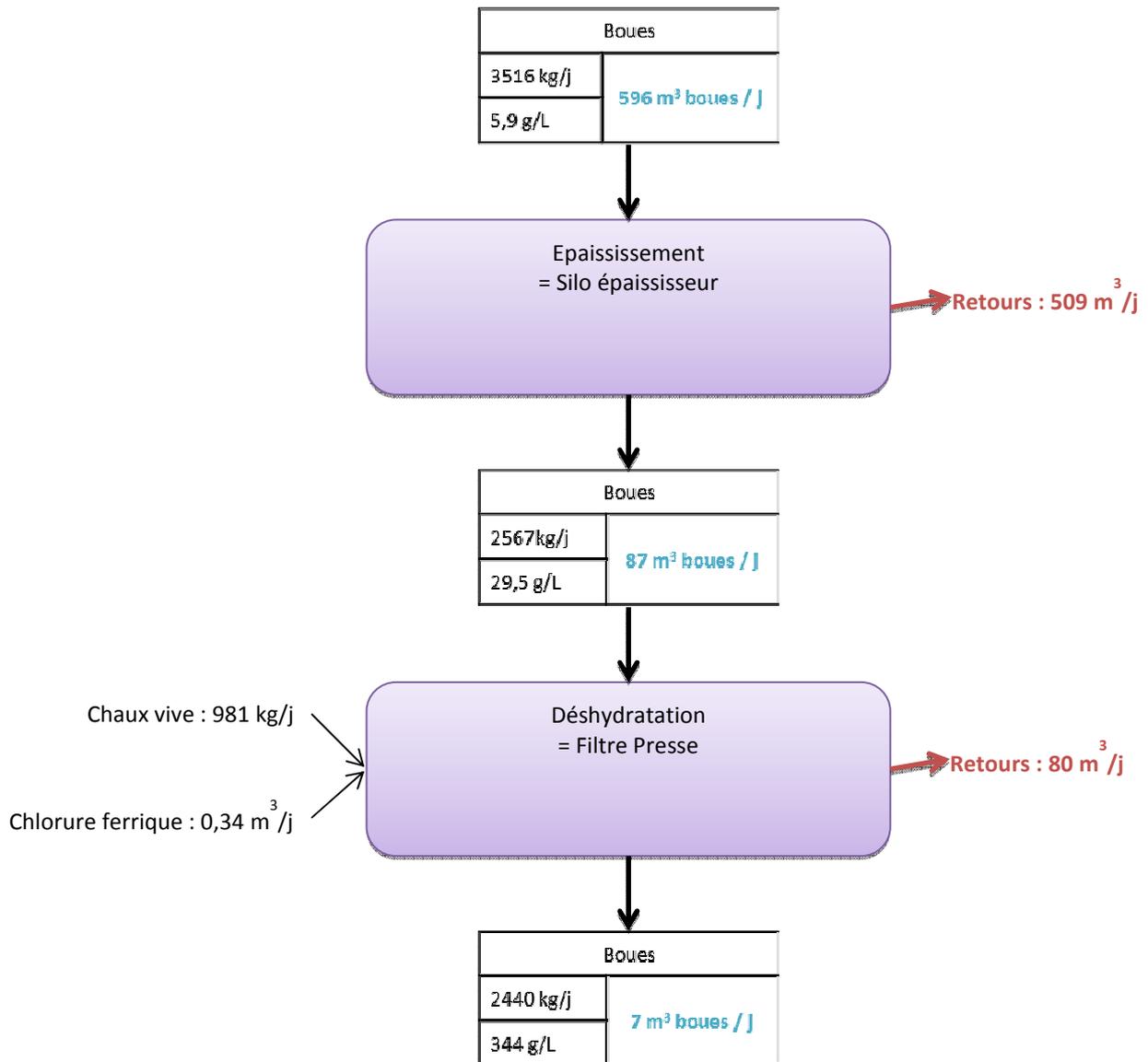


Figure 25 : Flux relevés sur la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°3.

b) Prélèvements

Trois campagnes de prélèvements des retours en tête ont été réalisées sur chacune des stations au niveau de chaque étape d'épaississement et de déshydratation. Sur la station n°3, étant donné le caractère discontinu du fonctionnement du filtre presse, un échantillon a été prélevé toutes les 10 minutes pendant les 2 heures de pressée. En utilisant des mesures complémentaires effectuées sur les débits de filtrat également mesurés sur le terrain, il a alors été possible de reconstituer un échantillon moyen sur la pressée.

c) Analyses

Pour chaque échantillon prélevé (Tableau 7), un triplicat a été analysé pour les paramètres suivants :

- **DCO** (*Demande Chimique en Oxygène*): permet d'évaluer la charge polluante oxydable contenue dans des eaux.
- **NTK** (*Azote Total Kjeldahl*): représente la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique. L'azote sous forme oxydée (nitrates et nitrites) n'est pas mesuré dans cette analyse.

- **N-NH₄⁺** (*Azote ammoniacal*) : représente l'azote sous forme ammoniacale présent dans les eaux.
- **PT** (*Phosphore Total*) : représente le phosphore présent sous forme organique et inorganique dans les eaux.
- **P-PO₄** (*Phosphore des orthophosphates*) : représente le phosphore présent dans les orthophosphates.
- **DCO et N réfractaires** (*voir plus bas*).

Ces analyses ont été effectuées grâce à des kits d'analyses.

Tableau 7 : Rappel des échantillons et des analyses effectuées pour chacun d'entre eux

Nom de l'échantillon	DCO	NTK	N-NH ₄ ⁺	PT	P-PO ₄	DCO et N réfractaires
Retours épaissement Station 1	x	x	x	x	x	
Retours déshydratation Station 1	x	x	x	x	x	x
Retours épaissement boues primaires Station 2	x	x	x	x	x	x
Retours épaissement boues biologiques Station 2	x	x	x	x	x	
Retours déshydratation Station 2	x	x	x	x	x	x
Retours épaissement Station 3	x	x	x	x	x	x
Retours déshydratation Station 3	x	x	x	x	x	x

Nota Bene : Cas particulier de la DCO et du NTK réfractaires

Cette analyse permet d'identifier la partie réfractaire (non biodégradable) contenue dans la DCO et dans le NTK. Ce test consiste à aérer les retours en tête, dans des réacteurs préalablement ensemencés avec des boues activées, de manière continue et non limitante pendant au moins 21 jours. Cette durée permet d'atteindre la dégradation maximale de la DCO et de l'azote. La part restante de DCO et de NTK représente alors la fraction non dégradables par les bactéries.

En parallèle du suivi de la DCO et du NTK, un suivi du N-NH₄⁺ est réalisé. Sa concentration doit être inférieure à 2 mg/L au bout des 21 jours afin de confirmer que les conditions expérimentales ont permis la mise en œuvre de la nitrification.

Des analyses ont été réalisées régulièrement (t₀, t₉, t₁₉, t₂₁ jours) afin de suivre la dégradation biologique du produit dans le temps.

Du fait des fortes contraintes expérimentales associées à ce protocole, l'analyse de la DCO et du NTK réfractaires n'a pas pu être réalisée sur tous les échantillons. Ainsi, les retours en tête provenant de procédés d'épaulement dynamique des boues biologiques (stations 1 et 2) n'ont pas été analysés. Le choix s'est porté sur ces échantillons car, d'une part, les analyses physico-chimiques ont montré qu'ils présentaient des teneurs en DCO totale et NTK faibles et, d'autre part, la charge retournant en tête de ces procédés d'épaulements dynamiques peut être assimilée à de la recirculation des boues.

a) Retours en tête de la station n°1

➤ Épaississement des boues biologiques sur tambour d'égouttage

Les résultats des analyses sont présentés dans le Tableau 8. Les données obtenues sont exprimées en % de la charge reçue par la station d'épuration (charge journalière moyenne).

Des variations importantes de la concentration en DCO sont constatées entre les trois prélèvements. Le prélèvement 1 présente des valeurs 10 à 20 fois plus importantes que les deux autres prélèvements. De même, les valeurs obtenues pour le prélèvement 1 pour les 5 paramètres analysés sont toujours plus élevées que les prélèvements 2 et 3. Ainsi, ces deux derniers présentent des concentrations similaires avec toutefois quelques variations pour la DCO et le phosphore total.

De manière générale, la contribution de chaque paramètre par rapport à la charge entrante totale dans la station est faible : la charge recirculée en tête de station est en moyenne inférieure à 1% de la charge totale entrante ce qui est négligeable. Certaines exceptions sont toutefois observées pour certains paramètres du prélèvement 1 : azote NTK (1,5 %), PT (7,2 %), P-PO₄ (1,8 %).

L'azote ammoniacal (N-NH₄⁺) ne représente pas plus de 6% de l'azote total dans les retours en tête des 3 prélèvements, ce qui est justifié puisque les boues égouttées sont directement issues du traitement biologique. De plus, cet azote ammoniacal représente moins de 0,1% du flux de N-NH₄⁺ total entrant dans la station ce qui signifie que la faible part d'azote ammoniacal qui retournera en tête de station n'aura pas d'incidence significative sur le fonctionnement de la filière eau.

Les orthophosphates représentent une part importante du phosphore total : 25%, 47% et 107% (valeur supérieure à 100% du fait des incertitudes de mesure) pour les prélèvements 1, 2 et 3 respectivement.

Tableau 8 : Analyse des paramètres chimiques de l'épaississement de la station n°1.

		Concentration (mg/L)		Charge (kg/j)		% charge entrante	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
DCO	<i>Prélèvement 1</i>	657,46	64,10	439,84	42,88	5,23	0,51
	<i>Prélèvement 2</i>	37,15	3,33	24,85	2,23	0,30	0,03
	<i>Prélèvement 3</i>	64,46	12,70	43,13	8,50	0,51	0,10
NTK	<i>Prélèvement 1</i>	19,76	3,35	13,22	2,24	1,47	0,25
	<i>Prélèvement 2</i>	13,03	6,37	8,72	4,26	0,97	0,47
	<i>Prélèvement 3</i>	12,83	-	8,58	-	0,96	-
N-NH₄⁺	<i>Prélèvement 1</i>	1,17	0,24	0,79	0,16	0,09	0,02
	<i>Prélèvement 2</i>	0,13	0,23	0,09	0,16	0,01	0,02
	<i>Prélèvement 3</i>	0,10	0,06	0,07	0,04	0,01	0,00
PT	<i>Prélèvement 1</i>	10,93	0,39	7,31	0,26	7,24	0,26
	<i>Prélèvement 2</i>	0,99	0,56	0,66	0,37	0,65	0,37
	<i>Prélèvement 3</i>	0,42	0,12	0,28	0,08	0,28	0,08
P-PO₄	<i>Prélèvement 1</i>	2,75	0,09	1,84	0,06	1,82	0,06
	<i>Prélèvement 2</i>	0,47	0,04	0,32	0,03	0,31	0,03
	<i>Prélèvement 3</i>	0,45	0,01	0,30	0,01	0,30	0,01

➤ Déshydratation des boues biologiques par centrifugation

Les résultats des analyses sont présentés dans le Tableau 9.

De grandes variations sont observées entre les concentrations de chaque prélèvement pour les cinq paramètres analysés. Le prélèvement 2 est le plus chargé des trois prélèvements. Malgré ces variations importantes, les concentrations de chaque élément analysé retournant en tête de station sont toujours négligeables par rapport à la charge entrante totale : inférieure à 1% pour la plupart des cas, à l'exception du prélèvement 2 pour les paramètres Phosphore total (3,0 %) et Orthophosphates P-PO₄ (1,7 %).

Tableau 9 : Analyse des paramètres chimiques de la déshydratation par centrifugation de la station n°1.

		Concentration (mg/L)		Charge (kg/j)		% charge entrante	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
DCO	Prélèvement 1	456,85	0,10	15,08	0,00	0,18	0,00
	Prélèvement 2	1151,87	12,62	38,01	0,42	0,45	0,00
	Prélèvement 3	365,65	11,22	12,07	0,37	0,14	0,00
NTK	Prélèvement 1	23,99	2,55	0,79	0,08	0,09	0,01
	Prélèvement 2	83,55	6,72	2,76	0,22	0,31	0,02
	Prélèvement 3	26,47	3,35	0,87	0,11	0,10	0,01
N-NH ₄ ⁺	Prélèvement 1	3,40	0,31	0,11	0,01	0,01	0,00
	Prélèvement 2	17,04	0,61	0,56	0,02	0,06	0,00
	Prélèvement 3	6,90	0,29	0,23	0,01	0,03	0,00
PT	Prélèvement 1	13,49	0,37	0,45	0,01	0,44	0,01
	Prélèvement 2	90,19	1,57	2,99	0,07	2,96	0,06
	Prélèvement 3	23,15	0,68	0,76	0,02	0,76	0,02
P-PO ₄	Prélèvement 1	10,46	0,08	0,35	0,00	0,34	0,00
	Prélèvement 2	52,31	0,83	1,73	0,03	1,71	0,03
	Prélèvement 3	25,94	0,89	0,86	0,03	0,85	0,03

Bilan de la station n°1 :

De manière générale, l'épaississement par tambour d'égouttage (et plus généralement, par égouttage dynamique) des boues biologiques de la station n°1 génère des retours en tête faiblement concentrés et qui ont un impact négligeable sur le fonctionnement de la station de traitement des eaux usées, par rapport aux charges entrantes.

L'ensemble des charges provenant de la centrifugation des boues biologiques de la station n°1 sont inférieures à 1% des charges entrantes. Ces concentrats ont donc un impact négligeable sur le fonctionnement de la STEP. Seule une analyse (2nd prélèvement du PT) donne une charge plus importante (3%), mais celle-ci reste faible.

b) Retours en tête de la station n°2

➤ Epaississement gravitaire des boues primaires

Les résultats des analyses sont présentés dans le Tableau 10.

Les concentrations de chaque paramètre analysé varient très peu d'un prélèvement à un autre.

Toutefois, les différents paramètres représentent une charge importante par rapport aux charges entrantes. La DCO contenue dans les retours en tête correspond à plus de 5% de la charge en DCO entrante dans la station. Pour l'azote NTK cette charge s'élève en moyenne à plus de 7% de la charge en azote NTK entrant dans la station. Le N-NH₄⁺ représente quant à lui la charge la moins importante qui avoisine les 4,5% de l'azote NTK entrant. Les paramètres phosphorés représentent plus de 8% de la charge entrante en PT et la quasi-totalité du PT est constitué par le P-PO₄.

Les charges importantes en DCO, azote et phosphore quantifiées dans les retours en tête sont essentiellement dues au fait que cette étape est située avant le traitement biologique et à la forte fermentescibilité des boues primaires qui s'hydrolysent dans l'épaississeur.

Tableau 10 : Analyse des paramètres chimiques de l'épaississement des boues primaires de la station n°2.

		Concentration (mg/L)		Charge (kg/j)		% charge entrante	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
DCO	Prélèvement 1	878,77	5,05	1037,83	5,96	6,45	0,04
	Prélèvement 2	858,51	5,83	1013,90	6,88	6,30	0,04
	Prélèvement 3	557,33	61,47	658,21	72,59	4,09	0,45
NTK	Prélèvement 1	72,97	4,38	86,18	5,18	8,62	0,52
	Prélèvement 2	48,09	5,46	56,80	6,45	5,68	0,65
	Prélèvement 3	76,43	1,15	90,26	1,36	9,03	0,14
N-NH ₄ ⁺	Prélèvement 1	47,79	3,12	56,44	3,69	5,64	0,37
	Prélèvement 2	27,79	1,57	32,82	1,85	3,28	0,18
	Prélèvement 3	38,43	3,05	45,38	3,60	4,54	0,36
PT	Prélèvement 1	18,40	1,08	21,73	1,28	10,50	0,62
	Prélèvement 2	15,71	0,39	18,55	0,47	8,96	0,22
	Prélèvement 3	15,13	0,88	17,87	1,04	8,63	0,50
P-PO ₄	Prélèvement 1	14,19	0,05	16,76	0,05	8,09	0,03
	Prélèvement 2	14,40	0,35	17,01	0,42	8,22	0,20
	Prélèvement 3	12,98	0,80	15,33	0,94	7,40	0,46

➤ Epaississement par centrifugation des boues biologiques

Les résultats des analyses sont compilés dans le Tableau 11.

Les concentrations en DCO et phosphore total sont beaucoup plus importantes dans le prélèvement 1 par rapport aux deux autres prélèvements : 20 à 40 fois plus élevées pour la DCO et jusqu'à 15 fois plus élevées pour le phosphore total. De ce fait, les charges en DCO et en phosphore total retournées en tête de station ne sont pas négligeables par rapport à la charge totale entrante : les retours en tête en DCO représentent 9% de la charge entrante, et plus de 16% de la charge entrante pour le phosphore total. Les retours en tête des prélèvements 2 et 3 sont moins chargés : la DCO recirculée représente moins de 1% de la charge entrante, et moins de 1,5% pour de la charge en phosphore total de la station.

Malgré une légère variation entre les différentes concentrations en NTK mesurées pour les trois prélèvements, la charge en NTK qui retourne en tête est négligeable par rapport à la charge entrante puisqu'elle est inférieure à 1%.

L'azote ammoniacal n'a pas été détecté lors de l'analyse du prélèvement 2. Aux vues des analyses du prélèvement 1 et 2, l'azote ammoniacal semble être en très faible quantité dans les retours en tête de station. Contrairement aux analyses précédentes, il s'agit ici de boues secondaires, ce qui veut dire que les eaux séparées de la boue par la centrifugation sont des eaux ayant subi un traitement biologique. Ainsi, il est normal d'obtenir des concentrations en azote ammoniacal beaucoup plus faibles dans les retours en tête de station après centrifugation des boues secondaires.

Tableau 11 : Analyse des paramètres chimiques de l'épaississement des boues biologiques de la station n°2

		Concentration (mg/L)		Charge (kg/j)		% charge entrante	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
DCO	Prélèvement 1	3248,33	30,24	1432,52	13,33	8,90	0,08
	Prélèvement 2	174,98	40,75	77,16	17,97	0,48	0,11
	Prélèvement 3	86,55	7,64	38,17	3,37	0,24	0,02
NTK	Prélèvement 1	9,88	0,61	4,36	0,27	0,44	0,03
	Prélèvement 2	7,24	2,24	3,19	0,99	0,32	0,10
	Prélèvement 3	21,38	1,12	9,43	0,49	0,94	0,05
N-NH ₄ ⁺	Prélèvement 1	2,84	1,35	1,25	0,60	0,13	0,06
	Prélèvement 2	nd	-	-	-	-	-
	Prélèvement 3	Résultats invalidés					
PT	Prélèvement 1	76,00	2,73	33,51	1,20	16,19	0,58
	Prélèvement 2	6,40	0,27	2,82	0,12	1,36	0,06
	Prélèvement 3	5,04	0,74	2,22	0,33	1,07	0,16
P-PO ₄	Prélèvement 1	13,49	0,03	5,95	0,01	2,87	0,01
	Prélèvement 2	5,14	0,03	2,27	0,01	1,10	0,01
	Prélèvement 3	2,66	0,03	1,17	0,01	0,57	0,01

➤ Déshydratation par centrifugation des boues digérées

Les résultats des analyses sont compilés dans le Tableau 12.

Peu de variations significatives sont observées entre les différents prélèvements pour chaque paramètre. La charge en DCO qui retourne en tête de station est négligeable par rapport à la charge totale entrante, puisqu'elle représente moins de 0.5% de la charge totale. En revanche, ce n'est pas le cas de l'azote et du phosphore. En effet, les concentrations mesurées en azote à la sortie de la déshydratation des boues digérées sont relativement élevées par rapport aux résultats obtenus pour l'ensemble des analyses présentées dans ce rapport. L'azote NTK qui retourne en tête de station représente jusqu'à 14% de la charge totale entrante. La charge en phosphore représente 2 à 6% de la charge totale entrante. De plus, plus de 90% du phosphore total est sous forme d'orthophosphates.

Ces résultats confirment les propos de l'étude (Couturier C. et al. 2001) qui évoque des retours en tête plus chargés en azote et en phosphore après déshydratation des digestats issus de digestion anaérobie.

Tableau 12 : Analyse des paramètres chimiques de la déshydratation de la station n°2

		Concentration (mg/L)		Charge (kg/j)		% charge entrante	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
DCO	Prélèvement 1	563,71	37,37	60,32	4,00	0,37	0,02
	Prélèvement 2	600,20	52,71	64,22	5,64	0,40	0,04
	Prélèvement 3	655,20	17,89	70,11	1,91	0,44	0,01
NTK	Prélèvement 1	1275,03	97,19	136,43	10,40	13,64	1,04
	Prélèvement 2	954,94	119,03	102,18	12,74	10,22	1,27
	Prélèvement 3	1142,30	73,35	122,23	7,85	12,22	0,78
N-NH ₄ ⁺	Prélèvement 1	1250,20	57,56	133,77	6,16	13,38	0,62
	Prélèvement 2	882,32	70,19	94,41	7,51	9,44	0,75
	Prélèvement 3	437,75	10,87	46,84	1,16	4,68	0,12
PT	Prélèvement 1	40,12	0,82	4,29	0,09	2,07	0,04
	Prélèvement 2	87,62	0,43	9,38	0,05	4,53	0,02
	Prélèvement 3	78,79	5,13	8,43	0,55	4,07	0,27
P-PO ₄	Prélèvement 1	39,06	1,50	4,18	0,16	2,02	0,08
	Prélèvement 2	104,00	2,96	11,13	0,32	5,38	0,15
	Prélèvement 3	72,23	2,20	7,73	0,24	3,73	0,11

Bilan sur la station n°2 :

Les retours en tête issus de l'épaississement statique des boues primaires de la station n°2 sont fortement concentrés en azote, phosphore et DCO. Il en résulte donc des charges importantes qui seront ramenées dans les bassins d'aération.

En revanche, il semblerait que les retours de l'épaississement des boues biologiques par centrifugation soient faiblement concentrés. Ainsi, ces retours constituent une faible charge par rapport aux eaux usées qui entrent dans la station. Seuls deux analyses ont fourni des charges importantes : la DCO et le phosphore total au cours du 1^{er} prélèvement (charge de 8,9% et 16,2%).

Les retours en tête de station sont plus chargés en sortie d'épaississement des boues primaires qu'en sortie d'épaississement des boues secondaires. Comme il a été expliqué précédemment, les boues primaires sont issues d'une étape de traitement où l'eau n'a pas encore subi de traitements secondaires visant à éliminer l'azote et le phosphore. Toutefois, de tous les retours en tête analysés pour cette station, les plus chargés sont ceux issus de la déshydratation des digestats après digestion anaérobie (à l'exception de la DCO).

c) Retours en tête de la station de la station n°3

➤ Epaississement par silos épaisseurs des boues biologiques

Les résultats des analyses sont résumés dans le Tableau 13.

Il existe une grande différence de concentration entre le prélèvement 1 et 3 pour la DCO (87 mgO₂/L de DCO pour le prélèvement 1 et 752 mgO₂/L de DCO pour le prélèvement 3). Ainsi la charge en DCO recirculée en tête de station est négligeable par rapport à la charge totale entrante pour le prélèvement 1, ce qui est en revanche moins le cas pour le prélèvement 3 puisqu'elle représente plus

de 6% de la charge totale. La même tendance se dessine pour l'azote NTK. La charge en azote NTK représente moins de 1% de la charge totale entrante pour le prélèvement 1 tandis qu'elle passe à plus de 3% pour le prélèvement 3. L'azote ammoniacal représente une faible part de l'azote NTK (20% et 13%). L'azote ammoniacal qui retourne en tête de filière eau est en revanche négligeable par rapport à la charge entrante (inférieure à 0.5%). Le phosphore total, constitué à plus de 60% d'orthophosphates, représente une charge non négligeable par rapport à la charge entrante : 6,2% pour le prélèvement 1 et 8,4% pour le prélèvement 3.

Tableau 13 : Analyse des paramètres chimiques de l'épauississement de la station n°3

		Concentration (mg/L)		Charge (kg/j)		% charge entrante	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
DCO	Prélèvement 1	86,98	59,74	44,27	30,41	0,74	0,51
	Prélèvement 2	Prélèvement invalidé					
	Prélèvement 3	752,61	71,16	383,08	36,22	6,40	0,61
NTK	Prélèvement 1	8,12	0,42	4,13	0,21	0,78	0,04
	Prélèvement 2	Prélèvement invalidé					
	Prélèvement 3	36,03	1,67	18,34	0,85	3,46	0,16
N-NH ₄ ⁺	Prélèvement 1	1,61	0,49	0,82	0,25	0,15	0,05
	Prélèvement 2	Prélèvement invalidé					
	Prélèvement 3	4,83	0,30	2,46	0,15	0,46	0,03
PT	Prélèvement 1	8,51	0,09	4,33	0,04	6,19	0,06
	Prélèvement 2	Prélèvement invalidé					
	Prélèvement 3	11,53	0,13	5,87	0,07	8,39	0,09
P-PO ₄	Prélèvement 1	7,84	0,10	3,99	0,05	5,70	0,07
	Prélèvement 2	Prélèvement invalidé					
	Prélèvement 3	7,58	0,05	3,86	0,03	5,51	0,04

➤ Déshydratation des boues biologiques en filtre presse

Les résultats des analyses sont présentés dans le Tableau 14.

Des variations importantes sont observées entre les trois prélèvements pour la DCO et l'azote NTK. En revanche, les résultats d'analyses sont similaires pour les paramètres azote ammoniacal, phosphore total et orthophosphates. L'azote ammoniacal représente 20 à 30% de l'azote NTK et les orthophosphates représentent 1 à 4% du phosphore total. Il semblerait donc que les matières dissoutes soient en faible concentration dans les filtrats et que ces derniers présentent une charge composée en majorité de matières particulaires. Il apparaît que la charge liée aux matières dissoutes (N-NH₄⁺ et P-PO₄³⁻) est négligeable par rapport à la charge entrante totale (inférieure à 0.8%) tandis que cette charge est plus importante dans le cas de matières particulaires (de 1,3 à 8,0%).

Tableau 14 : Analyse des paramètres chimiques de la déshydratation de la station n°3.

		Concentration (mg/L)		Charge (kg/j)		% charge entrante	
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
DCO	Prélèvement 1	2685,10	1302,14	214,81	104,17	2,73	1,29
	Prélèvement 2	1639,57	358,58	131,17	28,69	2,19	0,48
	Prélèvement 3	5720,80	49,53	457,66	3,96	7,65	0,07
NTK	Prélèvement 1	86,34	3,85	6,91	0,31	1,30	0,06
	Prélèvement 2	146,79	2,38	11,74	0,19	2,22	0,04
	Prélèvement 3	158,72	3,97	12,70	0,32	2,40	0,06
N-NH ₄ ⁺	Prélèvement 1	24,81	2,73	1,99	0,22	0,37	0,04
	Prélèvement 2	33,61	1,97	2,69	0,16	0,51	0,03
	Prélèvement 3	29,05	1,44	2,32	0,12	0,44	0,02
PT	Prélèvement 1	14,56	0,25	1,16	0,02	1,66	0,03
	Prélèvement 2	13,26	1,26	1,06	0,10	1,52	0,14
	Prélèvement 3	14,99	0,70	1,20	0,06	1,71	0,08
P-PO ₄	Prélèvement 1	0,12	0,07	0,01	0,01	0,17	0,09
	Prélèvement 2	0,37	0,03	0,03	0,00	0,53	0,04
	Prélèvement 3	0,54	0,26	0,04	0,02	0,77	0,38

Bilan sur la station n°3 :

De grandes variations sont observées sur la composition des différents prélèvements. Le prélèvement 1 présente des charges négligeables pour l'ensemble des paramètres (inférieur à 0,8% de la charge entrante) à l'exception du phosphore total et des orthophosphates (6,2% et 5,7% de la charge totale pour le phosphore total et les orthophosphates respectivement). Les retours en tête analysés pour le prélèvement 3 sont tous plus chargés que le prélèvement 1 et constitue une charge non négligeable en DCO et phosphore.

Les retours en tête issus du filtre-presse sont plus chargés que ceux issus du silo épaisseur pour la DCO, l'azote NTK, l'azote ammoniacal et le phosphore total. Cela peut être lié, au même titre que la centrifugation, au processus de déshydratation. Toutefois la charge en DCO, azote et phosphore issue des retours en tête du filtre-presse reste très faible au regard de la charge entrante de la station et peut donc être considérée comme négligeable. En ce qui concerne le phosphore, ces résultats sont qualitativement différents de ceux obtenus sur le procédé d'épaississement statique en amont (charge en phosphore total dans les retours en tête représentant plus de 6% de la charge entrante sur la station). Ceci est essentiellement lié au conditionnement des boues mettant en œuvre du chlorure ferrique qui précipite les orthophosphates qui peuvent alors être capturés avec les boues dans le filtre-presse.

d) Fractionnement des charges en DCO et en azote dans les retours en tête

Les précédents résultats analytiques ont permis d'identifier les charges en azote et carbone que peuvent représenter les différents postes de retours en tête issus de la filière boue. Cependant, chacune de ces charges peut être divisée en deux fractions :

- La fraction « réfractaire » (carbone et azote non biodégradables) : il s'agit d'une fraction qui peut essentiellement être assimilée à de la recirculation de boues et qui par son caractère non biodégradable, ne représentera pas, ou peu, de charge à traiter lors du traitement de l'eau. En revanche, si ces retours en têtes ne représentent pas de charge à traiter proprement dit, ils peuvent potentiellement dégrader le rendement

de la station si une portion de ces éléments n'est pas décantable.

- La fraction « biodégradable » : il s'agit de la fraction représentant une réelle charge à traiter de par son caractère biodégradable. Elle est constituée de carbone et d'azote biodégradable contenus dans les retours en tête. Cette fraction est celle qui pourra le plus impacter le fonctionnement de la station de traitement des eaux usées.

Ainsi, afin d'apprécier la fraction des charges en azote et carbone représentées par les retours en tête qui impactent le fonctionnement de la filière eau, des analyses de carbone et d'azote réfractaire ont été effectuées.

Les résultats seront d'abord présentés de manière détaillée pour un échantillon (les retours en tête issus de l'épaississement gravitaire des boues primaires de la station 2) puis de manière synthétique pour l'ensemble des échantillons analysés.

- Fractionnement des charges en azote et carbone pour les retours issus de l'épaississement des boues primaires de la station 2

En premier lieu, les résultats d'analyses doivent être validés à l'aide du suivi de l'évolution de la concentration en azote ammoniacal (NH_4^+) au cours du temps. Celle-ci doit tendre vers 0 pour assurer que la nitrification a bien eu lieu. Ainsi, l'expérimentation est considérée comme valide si la concentration en NH_4^+ est inférieure à 2 mg/L au bout de 21 jours. Le suivi de la concentration en NH_4^+ pour l'échantillon concerné est présenté sur la Figure 26.

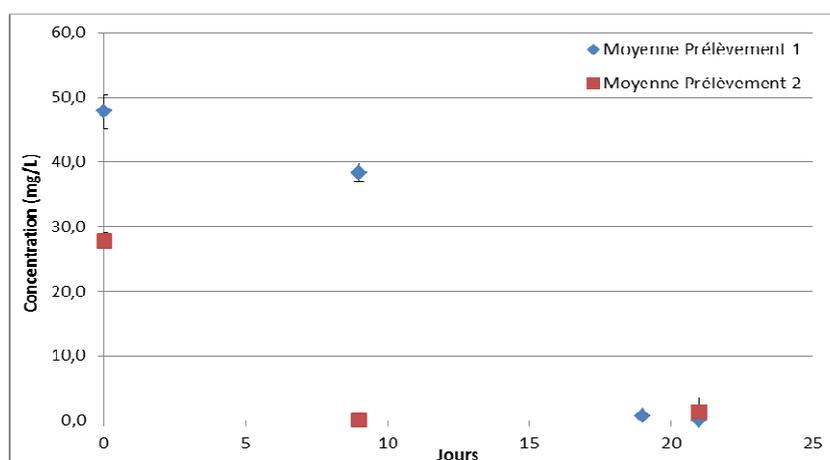


Figure 26 : Evolution du N-NH4+ des retours en tête issus de l'épaississement des boues primaires de la station n°2 au cours du temps

Dans ce cas, les concentrations en NH_4^+ sont inférieures à 2 mg/L et les expérimentations sont donc considérées comme valides.

Les évolutions des concentrations en DCO dans les réacteurs sont présentées sur la Figure 27.

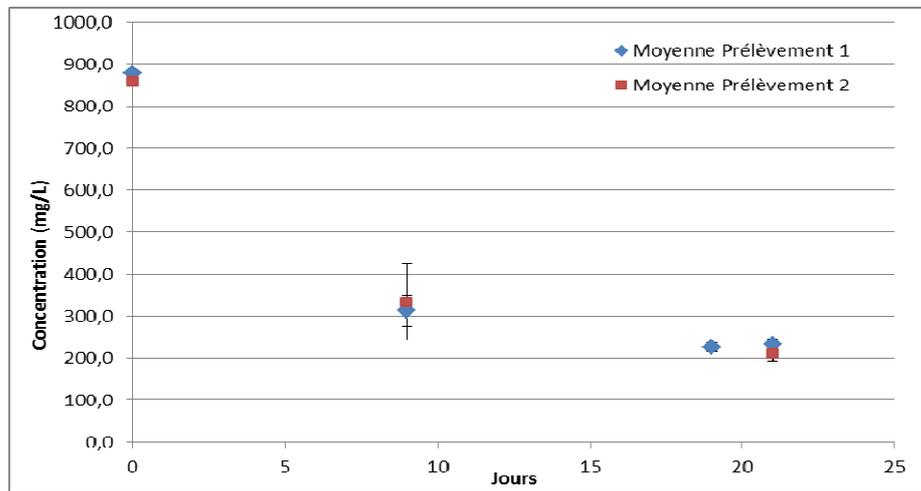


Figure 27 : Evolution de la DCO des retours en tête de l'épauississement primaire de la station n°2 au cours du temps

Dans les deux cas, la concentration en DCO se stabilise à environ 220 mg /L. Toute la DCO encore présente au bout de 21 jours correspond à de la DCO non biodégradable. Par différence avec la DCO finale de l'essai témoin, on peut déterminer la concentration en DCO réfractaire dans les retours en tête concernés et, par suite, la DCO biodégradable dans ces mêmes retours.

Ainsi, dans ce cas, la DCO réfractaire représente 23% de la DCO totale présente dans les retours en tête. On peut donc en conclure que 77% de la charge en DCO présente dans ces retours impactera directement le fonctionnement de la filière eau en termes de charge à traiter.

L'évolution des concentrations en azote NTK dans les réacteurs sont présentée en Figure 28.

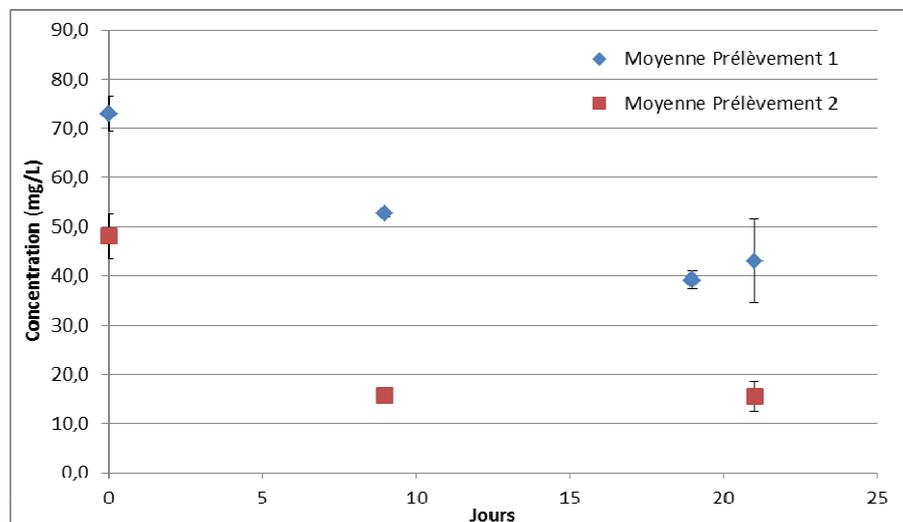


Figure 28 : Evolution du NTK des retours en tête de l'épauississement primaire de la station n°2 au cours du temps

La concentration en azote NTK dans les retours en tête de l'épauississement des boues primaires de la station n°2 varie entre les deux prélèvements (73 mg/L à l'état initial pour le prélèvement 1 et presque 50 mg/L pour le second prélèvement). Cependant la même tendance est observée : la concentration diminue jusqu'à un palier situé à environ 40 mg/L pour prélèvement 1 et 15 mg/L pour le prélèvement 2. Ainsi pour les deux prélèvements, près de 30mg/L d'azote NTK ont été dégradés. Le reste constitue de l'azote NTK réfractaire non dégradé par les bactéries.

Ainsi, respectivement pour les prélèvements 1 et 2, 69 et 46% de l'azote NTK total

présent dans les retours en tête peut être considéré comme biodégradable et peut donc impacter directement le fonctionnement de la filière eau.

- Bilan des analyses de fractionnement des charges en azote et carbone pour les différents postes de retours en tête analysés.

Une synthèse des résultats obtenus en termes de fractionnement des charges en azote et DCO pour les différents postes de retours en tête sont donnés dans le Tableau 15.

Tableau 15 : Résultats des analyses de DCO et NTK biodégradable pour les différents postes de retours en tête analysés.

Nom de l'échantillon	DCO Biodégradable (% de la DCO totale)		NTK Biodégradable (% du NTK total)	
	P1	P2	P1	P2
Station 1 : déshydratation par centrifugation	80	50	55	40
Station 2 : épaissement statique des boues primaires	67	68	69	46
Station 2 : déshydratation des boues digérées par centrifugation	Env. 0	Env. 0	79	69
Station 3 : silo épaisseur	Env. 100	-	Env. 100	-
Station 3 : déshydratation par filtre-presse	84	-	20	-

On peut noter que les résultats obtenus présentent une importante variabilité tant en terme d'azote que de DCO biodégradables. D'autre part, on n'observe pas de réelle corrélation entre les résultats des analyses de DCO et d'azote NTK biodégradable notamment du fait de la concentration en azote ammoniacal qui peut influencer significativement la part d'azote NTK biodégradable au-delà de la biodégradabilité de la matière organique.

- e) Synthèse sur l'analyse de la charge représentée par les retours en têtes issus de la filière boue

Les principales conclusions portant sur cette analyse sont présentées dans le *Tableau 16* ainsi que dans les *Figure 29* et *Figure 30*. Les données obtenues sont exprimées en % de la charge reçu par la station d'épuration (charge journalière moyenne).

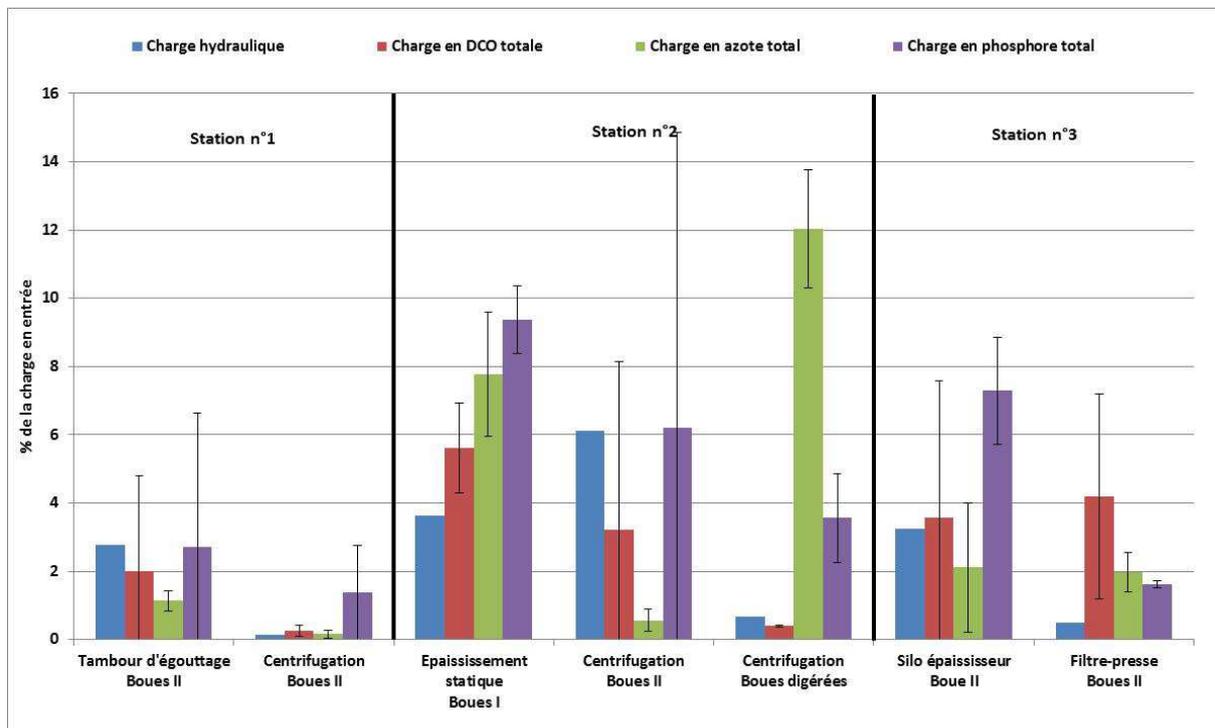


Figure 29: Bilan de la charge représentée par les différents postes de retours en tête de la filière boue (en DCO, azote et phosphore totaux)

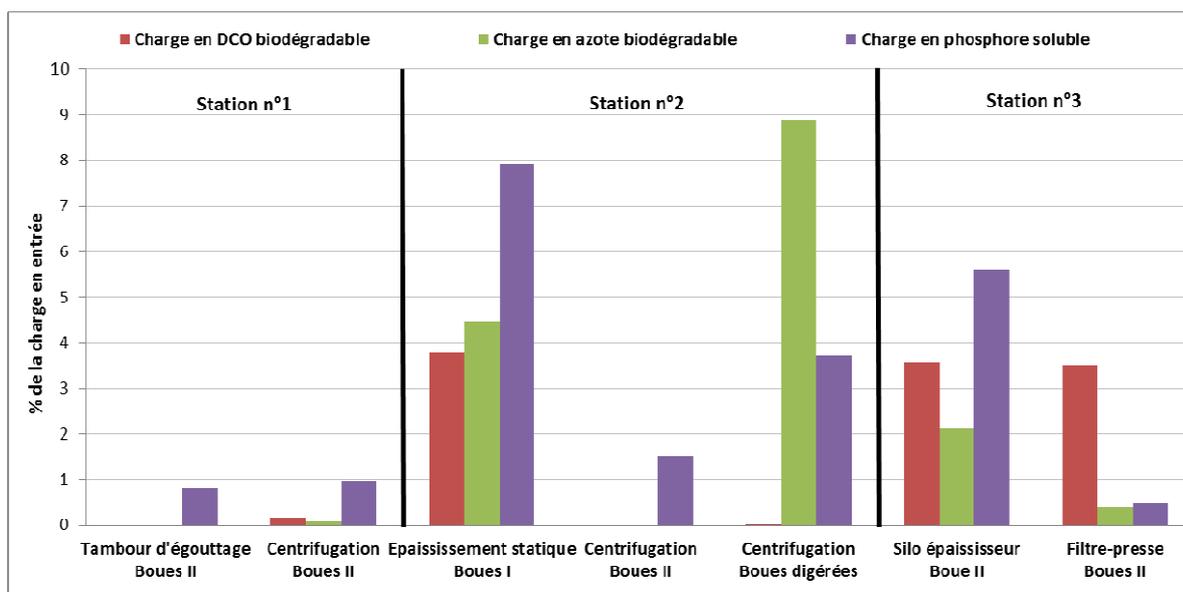


Figure 30 : Bilan de la charge représentée par les différents postes de retours en tête de la filière boue (en DCO biodégradable, azote biodégradable et phosphore dissout)

Tableau 16: Synthèse des résultats des analyses réalisées dans le cadre de la caractérisation des retours en tête issus de la filière boue.

N° Stat.	Etape de traitement	Principales conclusions
1	Epaississement des boues biologiques par tambour d'égouttage	Les charges moyennes calculées pour l'ensemble des paramètres n'excèdent pas 3% des charges entrantes dans la station (Figure 29). Toutefois, il faut garder à l'esprit que le 1 ^{er} prélèvement présentait des charges particulièrement élevées, ce qui amplifie la moyenne des charges. Globalement, les retours en tête issus du tambour d'égouttage peuvent être considérés comme négligeables.
1	Déshydratation des boues biologiques par centrifugation	Bien que les concentrations détectées dans les retours en tête issus de la centrifugation soient bien plus élevées que dans ceux issus du tambour d'égouttage, les charges des retours en tête de centrifugation représentent moins de 1% des charges entrantes dans la station. La déshydratation de boues biologiques par centrifugation a donc un impact négligeable sur le fonctionnement de la filière eau de la station même si l'ensemble des éléments analysés sont en grande partie sous formes biodégradables.
2	Epaississement gravitaire des boues primaires	Les charges calculées sont importantes pour chaque paramètre analysé, elles représentent en moyenne : - 6% de la DCO entrante, - 8% de l'azote NTK entrant, - 9% du PT entrant, De plus, une grande partie de la matière se trouve sous forme biodégradable ou dissoute, ce qui aura un impact d'autant plus important sur le fonctionnement de la station.
2	Epaississement des boues biologiques par centrifugation	Excepté pour la DCO et le phosphore total qui représentent une charge significative par rapport à la charge totale entrante concernant le prélèvement 1, toutes les autres charges calculées sont négligeables par rapport à la charge entrante. Les retours en tête issus de la centrifugation des boues biologiques n'auront pas une grande incidence sur la filière eau.
2	Déshydratation par centrifugation de boues mixtes digérées	La part de DCO contenue dans les retours en tête est négligeable. Cependant, environ 100% de cette DCO est de la DCO réfractaire. La charge en azote représente 12% de la charge d'azote NTK entrante et la quasi-totalité de l'azote est présent sous forme ammoniacale ce qui se traduira par une charge importante en azote à traiter. Le PT représente 3% de la charge en PT qui entre dans la station, et la quasi-totalité du phosphore est sous forme de P-PO ₄ .
3	Epaississement gravitaire des boues biologiques	Les charges calculées en phosphore total représentent plus de 7% de la charge totale de P en entrée de station, ce qui n'est pas négligeable d'autant plus que la quasi-totalité du phosphore est sous forme soluble (orthophosphates). La DCO et l'azote NTK sont également sous forme biodégradable en grande majorité, mais étant donné qu'ils représentent des charges peu importantes, ces éléments ne devraient pas être à l'origine d'un dysfonctionnement au sein de la station.
3	Déshydratation par filtre presse des boues biologiques	L'ensemble des paramètres représentent des charges inférieures à 4% par rapport aux charges entrantes. Ainsi, la déshydratation par filtre presse des boues biologiques a un impact négligeable sur le fonctionnement de la filière eau de la station. La DCO et le NTK réfractaires représentent respectivement 17 et 81% de la DCO et du NTK totaux contenus dans ces retours.

Quels que soient les postes de retours analysés, la charge hydraulique représentée par ces derniers est inférieure à 5% de la charge hydraulique totale. Il est néanmoins intéressant de noter que les charges hydrauliques que représentent les postes d'épaississement sont significativement supérieures (entre 2 et 4% de la charge hydraulique en entrée de station) à celles que représentent les postes de déshydratation (inférieure à 1%).

En ce qui concerne les charges en DCO biodégradable représentées par les retours en tête, on observe que quels que soient les postes étudiés, elles sont toujours inférieures à 4% de la charge en DCO en entrée. La charge la plus significative est générée au niveau de l'épaississement gravitaire des boues primaires, alors que la charge en DCO biodégradable générée par les autres procédés d'épaississement et de déshydratation est très faible.

En ce qui concerne la charge en azote biodégradable représentée par les retours en tête, on observe qu'elle représente près de 10% de la charge en azote en entrée pour le poste de déshydratation des boues digérées étudié. De plus, elle atteint plus de 4% de la charge en entrée pour l'épaississement gravitaire des boues primaires. En revanche, pour les autres postes étudiés, la charge en azote biodégradable générée peut être considérée comme négligeable.

Concernant la charge en phosphore soluble représentée par les retours en tête, on observe qu'elle est significative pour les procédés d'épaississement gravitaire des boues primaires et secondaires (respectivement 8 et 6% de la charge en phosphore total en entrée de station). Pour l'épaississement gravitaire des boues primaire, il s'agit probablement essentiellement de phosphore sous forme soluble dans les boues primaires épaissies qui ne peut être capté par décantation. En ce qui concerne l'épaississement des boues secondaires, il s'agit principalement de phosphore biologiquement accumulé qui est re-solubilisé lors de l'épaississement gravitaire qui a lieu en anaérobiose. On peut donc supposer que la charge en phosphore à traiter générée sera étroitement liée au pourcentage de phosphore biologiquement accumulé dans la station.

Ces résultats alimenteront l'outil d'analyse environnemental de la filière boues développé dans le cadre de l'action portant sur l'analyse du cycle de vie des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées (Action 48 de la Convention Onema-Irstea 2013-2015). Une analyse de la sensibilité du bilan environnemental de la filière boue de la station à ces données sera réalisée. Les résultats engendreront potentiellement des besoins de caractérisation plus précis qui seront réalisés sur les postes impactant le plus significativement les résultats de l'analyse environnementale.

4. Conclusion

L'état des lieux sur les filières de déshydratation mécanique réalisé dans le cadre de ce projet a démontré qu'il n'est pas, à proprement parlé, possible de définir un procédé dominant à l'échelle de la France métropolitaine. En effet, si 68% des boues (en matière sèche) déshydratées mécaniquement le sont à l'aide de centrifugeuses, on observe une forte influence du contexte et des contraintes de la station de traitement des eaux usées (capacité de traitement, voie de valorisation des boues, ...) sur les choix effectués en termes de déshydratation mécanique. De plus, une forte variabilité est observée sur les fréquences d'utilisation des différents procédés à une échelle régionale. Ainsi, ce n'est pas parce qu'un procédé peut être considéré comme minoritaire à l'échelle nationale, qu'il ne constitue pas un enjeu crucial pour la valorisation des boues à une échelle territoriale.

En ce qui concerne les performances des procédés de déshydratation mécanique, une forte variabilité est observée sur les siccités constatées pour un même procédé. Ceci peut s'expliquer :

- D'une part, par l'impact des paramètres opératoires et des propriétés des boues sur les performances des procédés de déshydratation mécanique.
- D'autre part, par le fait qu'à l'échelle des stations, les exploitants optimisent leur procédé de déshydratation aussi en fonction du coût de fonctionnement et des contraintes auxquelles ils sont soumis pour la valorisation des boues déshydratées. Le point d'équilibre entre ces deux critères de décision est différent d'une station à l'autre et peut également expliquer les variations de performance observées pour les différents procédés.

Concernant les performances des procédés de déshydratation en termes de composition des retours en tête, là aussi, si très peu de données sont disponibles, celles acquises dans le cadre de ce projet démontrent une forte variabilité en fonction des procédés. De plus, ce critère de performance prend une importance particulière dans le cas de la déshydratation mécanique des boues digérées pour laquelle les retours en tête peuvent impacter significativement la filière de traitement des eaux.

Dans la suite de ce projet, afin d'identifier l'influence des paramètres de performance des procédés de déshydratation mécanique sur le bilan environnemental de la filière boue, les données acquises seront utilisées dans le cadre de l'analyse environnementale de différents scénarios de traitement des boues. De plus, pour aller plus loin et identifier l'impact des performances de cette étape de traitement (et de leurs variations) sur le bilan environnemental de la filière boue, une analyse de la sensibilité du bilan environnemental de la filière aux performances du procédé de déshydratation est nécessaire. Ces travaux seront réalisés en collaboration avec l'action 48 de la convention Onema-Irstea 2014-2017.

D'autre part, afin de mieux comprendre les variations de performances observées sur les procédés de déshydratation mécanique et d'identifier leur facteurs de contrôle, une analyse de l'impact des paramètres opératoires et des propriétés des boues sera réalisée dans la suite de l'action sur le cas particulier des filtres-presses.

5. Bibliographie

Audibert J. (1998). "La logique floue optimise la centrifugation des boues." InterSections Novembre 1998: 31-34.

Bilan de la filière d'élimination des boues de traitement des eaux usées du Bas-Rhin en 2012. Conseil Général du Bas-Rhin. 16p.

Couturier C., Berger S. and Meffren I. (2001). La digestion anaérobie des boues urbaines, Etat des lieux, Etat de l'art, Solagro: 34.

GIS-BIOSTEP (2005). Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions. FNDAE n°33 Document technique: 124.

Grulois, P., A. Bousseau, E. Blin and C. Fayoux (1993). "Evaluation of the impact of return flows on the operation of a wastewater treatment plant." Water Science and Technology 28(1): 273-281.

Mémento technique de l'eau. Degrément-Suez. Dixième édition. 1718p.

Pronost J., Pronost R., Deplat L., Malrieu J. and B. J.-M. (2002). Stations d'épuration : Dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation. FNDAE n°22 bis - Document technique: 86.

Sadowsky A.G. (2002). Méthode de calcul d'une filière de traitement - "Boues activées - Très faible charge - Nitrification et dénitrification - Traitement du phosphore", ENGEES: 103

6. Table des illustrations

Figures :

Figure 1 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique (à gauche, en % des stations équipées d'un dispositif de déshydratation mécanique ; à droite, en % de la production de boue déshydratée mécaniquement).....	6
Figure 2 : Fréquence d'utilisation des centrifugeuses et des filtres-presses dans les différentes régions françaises métropolitaines (répartition exprimée en en % de la production de boue déshydratée mécaniquement).....	6
Figure 3 : A gauche : proportion de boues produites traitées avec les différents procédés de déshydratation mécanique en fonction de la taille des stations ; à droite : répartition des différentes voies d'élimination ou de valorisation en fonction des filières de déshydratation mécanique.	6
Figure 4 : Performances réelles des procédés de déshydratation mécanique. (Source : Données collectées dans le cadre du projet).....	7
Figure 5: Bilan de la charge représentée par les différents postes de retours en tête de la filière boue (en DCO, azote et phosphore totaux ; moyenne sur 3 prélèvements).....	8
Figure 6 : Représentation schématique d'une station d'épuration et du circuit des retours en tête issus de la filière boues.	10
Figure 7 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique (% des stations équipées d'un dispositif de déshydratation mécanique).....	13
Figure 8 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique (A gauche, en % de la capacité de traitement nominale équipée d'un dispositif de déshydratation mécanique ; à droite, en % de la production de boue déshydratée mécaniquement).....	13
Figure 9 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique dans les différentes régions françaises métropolitaines (répartition exprimée en % de la production de boue déshydratée mécaniquement).....	15
Figure 10: Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique en fonction de la taille des stations.	16
Figure 11 : Proportion de boues produites traitées avec les différents procédés de déshydratation mécanique en fonction de la taille des stations.....	16
Figure 12: Répartition de la proportion que représentent les différentes classes de station dans la production de boues déshydratées (A gauche: en % de la production de boues déshydratées en tMS/an ; à droite : en % des stations équipées de dispositifs de déshydratation mécanique)	17
Figure 13 : Voies de valorisation ou d'élimination des boues déshydratées mécaniquement en France (en % de la production de boues déshydratées).....	18
Figure 14: Répartition des différentes voies d'élimination ou de valorisation en fonction des filières de déshydratation mécanique.	18
Figure 15 : Répartition des différentes voies de valorisation des boues déshydratées (% de la production de boues déshydratées).....	19
Figure 16 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique en fonction de la tranche d'âge de la station (en % de la production de boues déshydratées mécaniquement)....	20
Figure 17 : Synthèse bibliographique des siccités obtenues avec les différents procédés de déshydratation mécanique. (Sources : Mémento technique de l'eau et données des équipementiers).....	21
Figure 18 : Performances réelles des procédés de déshydratation mécanique.	22
Figure 19 : Scénarios de dysfonctionnements dus aux retours en tête (Grulois et al. 1993)	26
Figure 20: Représentation schématique de la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°1.	28
Figure 21 : Flux relevés sur la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°1.	29
Figure 22: Représentation schématique de la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°2.	30
Figure 23 : Flux relevés sur la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°2.	31
Figure 24: Représentation schématique de la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°2.	32
Figure 25 : Flux relevés sur la filière boues de la station de traitement des eaux usées n°3.	33
Figure 26 : Evolution du N-NH4+ des retours en tête issus de l'épaississement des boues primaires de la station n°2 au cours du temps	43
Figure 27 : Evolution de la DCO des retours en tête de l'épaississement primaire de la station n°2 au cours du temps	44

Figure 28 : Evolution du NTK des retours en tête de l'épaississement primaire de la station n°2 au cours du temps	44
Figure 29: Bilan de la charge représentée par les différents postes de retours en tête de la filière boue (en DCO, azote et phosphore totaux)	46
Figure 30 : Bilan de la charge représentée par les différents postes de retours en tête de la filière boue (en DCO biodégradable, azote biodégradable et phosphore dissout)	46

Tableaux :

Tableau 1 : Fréquence d'utilisation des différents procédés de déshydratation mécanique sur les régions des différentes agences de l'eau de France métropolitaine (répartition exprimée en % de la production de boue déshydratée mécaniquement)	15
Tableau 2 : Impacts quantitatifs des retours en tête de certains procédés de traitements des boues sur la station de traitement des eaux usées	23
Tableau 3 : Impacts quantitatifs des retours en tête de 3 systèmes de traitement des boues sur la station de traitement des eaux usées	24
Tableau 4 : Caractéristiques de la station de traitement des eaux usées n°1	28
Tableau 5 : Caractéristiques de la station de traitement des eaux usées n°2	29
Tableau 6 : Caractéristiques de la station de traitement des eaux usées de la station n°3	32
Tableau 7 : Rappel des échantillons et des analyses effectuées pour chacun d'entre eux	34
Tableau 8 : Analyse des paramètres chimiques de l'épaississement de la station n°1	36
Tableau 9 : Analyse des paramètres chimiques de la déshydratation par centrifugation de la station n°1.	37
Tableau 10 : Analyse des paramètres chimiques de l'épaississement des boues primaires de la station n°2	38
Tableau 11 : Analyse des paramètres chimiques de l'épaississement des boues biologiques de la station n°2	39
Tableau 12 : Analyse des paramètres chimiques de la déshydratation de la station n°2	40
Tableau 13 : Analyse des paramètres chimiques de l'épaississement de la station n°3	41
Tableau 14 : Analyse des paramètres chimiques de la déshydratation de la station n°3	42
Tableau 15 : Résultats des analyses de DCO et NTK biodégradable pour les différents postes de retours en tête analysés.	45
Tableau 16: Synthèse des résultats des analyses réalisées dans le cadre de la caractérisation des retours en tête issus de la filière boue	47

7. Remerciements

Les auteurs remercient tous les agents d'exploitation et les collectivités des stations d'épuration des eaux usées qui ont accepté de fournir des données et des échantillons pour mener à bien ce projet.

Irstea

1, rue Pierre Gilles de Gennes

CS 10030

92761 Antony

01 40 96 61 21

www.irstea.fr

Onema

Hall C – Le Nadar

5, square Félix Nadar

94300 Vincennes

01 45 14 36 00

www.onema.fr