



23922 RM

Agence de l'eau  
Seine-Normandie

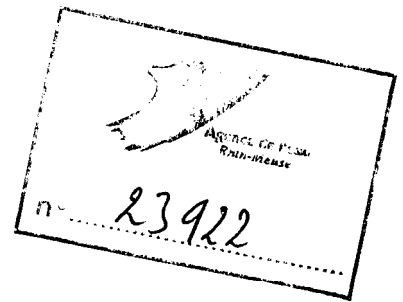


# ESTIMATION DE LA PRODUCTION DES BOUES

Philippe Duchène

**Département Gestion des milieux aquatiques**  
Unité de recherche Qualité et fonctionnement hydrologique  
des systèmes aquatiques  
**Groupement d'Antony**  
BP44  
92163 ANTONY cedex  
Tél. 01.40.96.61.21 - Fax 01.40.96.61.99

**22** décembre 1999



## **PREAMBULE**

La question de l'estimation de la production de boues est d'une importance accrue du fait des réticences, que nous espérons momentanées, sur la réutilisation agricole et des contraintes réglementaires accrues sur les filières alternatives que sont les décharges et l'incinération. De ces contraintes résulte un coût d'évacuation croissant pour les producteurs de boues et l'irruption de celui-ci à une place importante dans le coût global d'exploitation des stations d'épuration. Cette importance économique nouvelle met en lumière les incertitudes affectant la masse de boues à évacuer.

Le présent document se propose donc d'essayer de faire un nouveau point sur cette question. Il traite de manière prioritaire du traitement par boues activées en aération prolongée et présente des ratios plus globaux pour les autres procédés appliqués à des eaux résiduaires urbaines « classiques ». Comme pour tout objet issu d'une source variable – et c'est typiquement le cas du couple boues - eaux usées - il ne saurait être question de définir une doctrine, mais d'essayer d'éclairer la question et de donner à partir de la somme des connaissances acquises par des méthodes fort variées<sup>1</sup> une valeur centrale raisonnable.

---

<sup>1</sup> Incluant les mesures d'efficacité des prétraitements.

## I/ LES METHODES D'APPRECIATION DE LA PRODUCTION DE BOUES

### 1.1. Les modèles

#### 1.1.1. La formule classique « d'Eckenfelder »

La quantité journalière A S de boues produites dans un système de boues activées s'évalue classiquement par la formule suivante, déduite du modèle proposé par ECKENFELDER :

$$A S = a_m L_e - b S_v + S_{\min} + S_{\text{dur}} - S_{\text{eff}} \quad (1)$$

$L_e$  est la masse de  $\text{DBO}_5$  éliminée par jour (kg  $\text{DBO}_5/\text{j}$ )

$S_v$  est la masse de boues organiques (ou volatiles) présentes dans le système (kg de matières volatiles en suspension : MVS)

$S_{\min}$  est la masse de matières minérales en suspension apportées journellement par l'effluent brut.

$S_{\text{dur}}$  est la masse de matières organiques en suspension difficilement biodégradables (cellulose par ex.) apportées journellement par l'effluent brut. On considère que les matières en suspension difficilement biodégradables représentent environ 30 % des matières volatiles en suspension.

$S_{\text{eff}}$  est la masse de boues évacuées avec l'effluent épuré.

a, et b sont des coefficients qui dépendent du type d'effluent et un peu des autres paramètres du traitement. Pour un effluent domestique, on admettait en général les valeurs suivantes :

$a_m = 0,6$  : masse de matière vivante produite à partir d'1 kg de  $\text{DBO}_5$  en aération prolongée,

$b = 0,06$  à  $0,05 \text{ j}^{-1}$  (fraction de la matière vivante détruite par auto-oxydation en une journée).

Les incertitudes afférant à ce type de formule sont élevées. La principale concerne l'auto-oxydation des boues notamment du fait que b ne saurait être constant dans le temps (la minéralisation est forcément asymptotique). L'application des valeurs de b citées ci-dessus conduit à des productions de boues aberrantes dans les systèmes à très faible charge massique. Le calcul brut de A S (équation 1) donnerait en effet des productions de boues négatives en dessous d'une charge massique de  $0,042 \text{ kg } \text{DBO}_5/\text{kg MVS.j}$  !

A cela il faut encore ajouter que les fractions de MES telles  $S_{\text{dur}}$  ne sont elles mêmes évaluées qu'avec une incertitude élevée.

Pourtant c'est à partir d'une telle formule que l'on voit encore la production de boues souvent calculée dans les dossiers de réponse aux appels d'offres – même si quelques tours de magie permettent d'arriver à un résultat plausible à partir d'un calcul s'engageant pour aboutir à un résultat aberrant.

L'un des moyens employés pour appliquer quand même la formule d'Eckenfelder à de faibles charges massiques est d'admettre que la minéralisation lorsqu'elle est complète ne permet pas à  $a, L_e - bS_v$  d'être inférieur à  $0,25 a_m L_e$  [CTGREF, 1973].<sup>2</sup>

Ainsi modifiée, l'équation (1) aboutit à évaluer entre 35 et 40 g de MES la production de boues journalières d'un équivalent habitant (50 g DBO, 60 g MES) soit 0,75 kg MES/kg DBO éliminée à la charge nominale de l'aération prolongée.

En résumé

- Le calcul de la production de boues à partir de l'équation d'Eckenfelder donne des valeurs trop faibles, trop fortement décroissantes lorsque la charge massique diminue. Il a donc été modifié pour que son application se rapproche de la réalité.
- Les professionnels utilisent généralement des ratios un peu différents des résultats que ce calcul fournit (notamment 0,8 ou 0,9, voire 1 kg MES/kg DBO éliminée à la charge massique de l'aération prolongée).

#### 1.1.2. Les formules simplifiées par l'usage par exemple : $A S = a, L_e - b S_v$

Elles présentent les mêmes défauts que les formules complètes d'Eckenfelder en plus de ceux liés à la simplification.

Les utilisateurs sont amenés là encore à « tricher » avec les résultats, de manière plus ou moins habile, pour obtenir un résultat crédible.

#### 1.1.3. La formule binôme

Le modèle binôme tente de décrire la production de boues synthétisées lors de la transformation de la matière organique en incluant la contribution des matières en suspension de l'influent (prétraité voire décanté primaire).

Elle peut s'écrire de manière générique

$$\Delta S = k (\alpha \text{ DBO} + \beta \text{ MES}) \quad (2)$$

- $A S$  est la production de boues (par exemple journalière)
- DBO et MES sont les flux (par exemple journaliers) à traiter
- $a, \beta$  (dont la somme peut, par simplicité, être égale à 1) et  $k$  sont les paramètres d'ajustement tenant compte des particularités des influents et du traitement.

---

<sup>2</sup> L'équation (1) est par contre généralement considérée comme satisfaisante pour les moyennes et fortes charges.

En pratique, en boues activées une approximation robuste est donnée par  $a = \beta = 0,5$  et la formule simplifiée peut s'écrire :

$$\Delta S = k (DBO + MES) / 2$$

## 1.2 - Les mesures

### 1.2.1. Rappel : Quelques résultats de mesures "rapides" (Cemagref SATESE 1991)

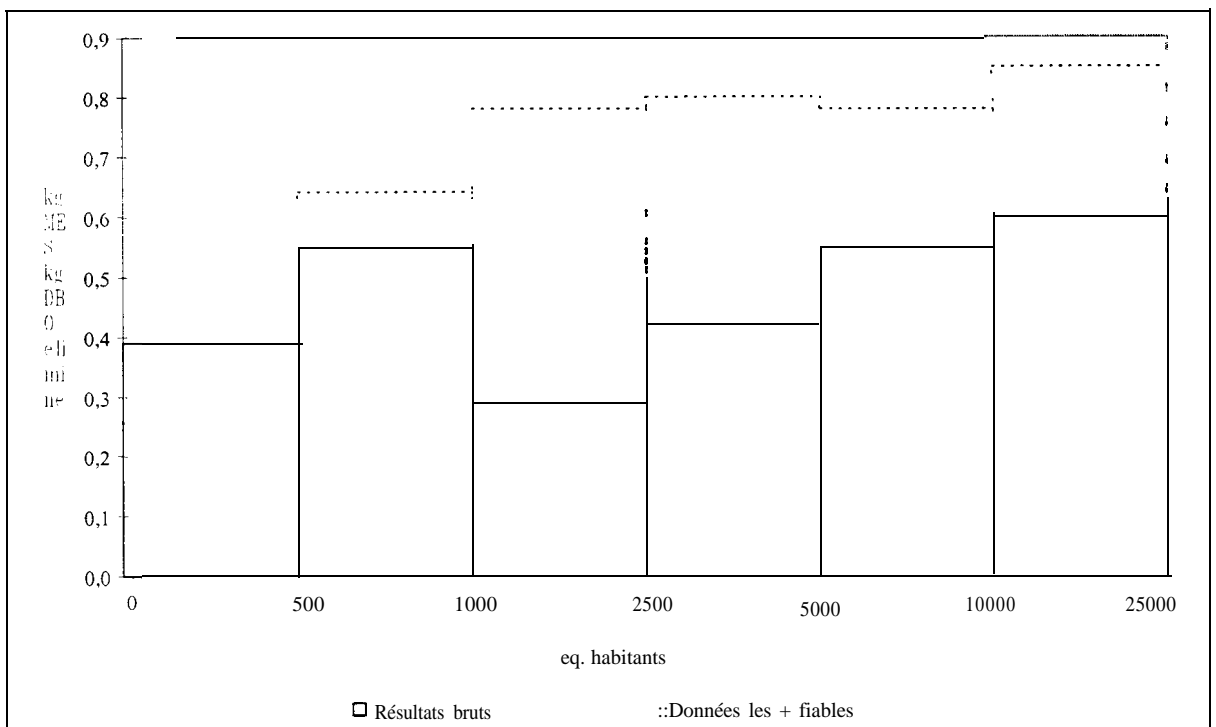
Les estimations des quantités de boues produites peuvent être réalisées de nombreuses manières. Les incertitudes liées à l'estimation des volumes, des concentrations, étant en général élevées, une enquête test ne portant que sur des stations recevant des effluents domestiques, en réseau séparatif et ne perdant pas de boues, a été conduite il y a une dizaine d'années.

L'ensemble des résultats reçus (132 stations de 20 départements différents) montre des productions mesurées variant de 0,1 à 1,3 kg MES/kg DBO éliminée pour des boues activées en aération prolongée.

Ces résultats démontrent l'ampleur des incertitudes liées au problème posé.

Certaines réponses concernent sans doute des stations perdant des boues ou au contraire traitant une charge inférieure à celle estimée (by pass ...).

Certaines méthodes d'appréhension de la production (concentration en silo non brassé x volume annuel évacué, par exemple) peuvent conduire à des erreurs importantes.



Production moyennes mesurées ou estimées par les SATESES, pour des boues activées en aération prolongée (132 stations) (Cemagref - Sateses 1991)

Sur les résultats bruts, les valeurs sont assez comparables aux productions déclarées. Par contre, les données les plus fiables, correspondant à des réponses complètes au questionnaire envoyé, sont proches en moyenne des valeurs théoriques les plus couramment citées (0,8 kg MES/kg DBO éliminées en effluent domestique). Les variations (de 0,1 à 1,3 kg MES/kg DBO éliminé) autour de ces moyennes restent toutefois de très fortes amplitudes.

Une analyse de la production de boues en fonction du taux de charge de la station n'a révélé aucune corrélation (!).

### 1.2.2. Les conditions pour obtenir des mesures suffisamment précises

Les incertitudes précédentes ont conduit le groupe de travail Cemagref-Sateses de 1991 à réaliser des mesures précises suivant un protocole minimisant les sources d'erreur : mesure de l'accroissement de la masse de boues dans l'ensemble des bassins sur une période de quelques jours à quelques semaines par exemple.

Les résultats donnent une valeur moyenne de 0,81 kg MES/kg DBO éliminée (extrêmes 0,64 et 0,96).

Cette valeur moyenne, conforme à la « théorie », est confirmée par de nombreuses valeurs déjà établies par le Cemagref soit par des mesures de longues durées (PICHON 1973, SINTES 1983), soit par une vérification de l'accroissement du taux de boues du bassin d'aération sur une période allant de un à quelques jours.

Certains résultats intermédiaires avaient présenté des variations entre 0,4 et 1,3 révélant toutes les difficultés d'effectuer des mesures suffisamment précises sur de courtes durées (1 jour).

Toute mesure doit, s'accompagner de précautions importantes ayant trait à la représentativité du prélèvement, à l'estimation des volumes, et à la qualité des analyses. L'annexe 2 du document Cemagref-Sateses de 1991 souligne les points principaux à prendre en compte pour diminuer les incertitudes des divers types de mesures susceptibles de fournir des résultats fiables.

### 1.2.3. Les valeurs annuelles annoncées

C'est bien sûr une source appréciable de données même si un certain nombre d'observations tendent à prouver que ces valeurs sont elles aussi affectées d'incertitudes pouvant ne pas être négligeables.

La mesure doit bien sûr répondre aux précautions déjà exprimées plus haut. De plus, il est impératif que le flux de boues soit mesuré en aval du traitement des boues sous peine d'augmenter la production de boues d'un facteur inverse au taux de capture (qui peut être parfois de 95 % . . mais parfois aussi catastrophique).

L'incertitude sur la siccité est souvent acceptable (10-15 %), par contre celle qui affecte le volume est souvent non négligeable (bennes estimées pleines alors qu'elles ne le sont qu'à 80 %, débitmètres en ligne non calés, etc.. .

Enfin, sans vouloir faire de procès d'intention il est bon de rappeler que l'introduction de la production de boues dans les critères d'attribution des moyens financiers à la collectivité pousse au moins certains exploitants à une évaluation de la production à la hausse.

Le nombre de stations d'épurations moyennes et grosses ayant fait l'objet d'un fort accroissement de la production de boues parfaitement corrélé avec l'adoption de ce critère dans une grille financièrement opérationnelle est encore dans le souvenir des responsables des Agences de l'Eau.. .

## **II – Résultats opérationnels**

### **2.1. En boues activées**

Pour nous, les valeurs globales suivantes, sont fondées sur des données mesurées par temps sec sur des effluents domestiques, dont [MES brutes]  $\approx 0,9$ [DBO brute]), pas trop dilués (incidence des MES partant avec l'effluent épuré) et, avec vérification du stock de boues (bassin d'aération, décanteur secondaire) etc. On peut alors avancer les ratios théoriques suivant pour le temps sec :

- aération prolongée (c, = 0,07 kg DBO/kg MVS.j) A S = 0,8 DBO éliminée
- moyenne charge sans stabilisation (c, = 0,35 kg DBO/kg MVS.j) A S = 1,05 DBO éliminée
- moyenne charge - stabilisation aérobie (15 jours -12°C) A S = 0,95 à 1 DBO éliminée
- moyenne charge - stabilisation anaérobie (> 15 jours - 35 °C) A S = 0,8 DBO éliminée

Ces valeurs sont à corriger pour prendre en compte les flux moyens de MES et de DBO traités sur longue période. Les valeurs annoncées de MES et de DBO et leur rapport ont ici une importance non négligeable.

Les appels d'offres tablent le plus souvent sur des charges en MES supérieures, de l'ordre de 20 %, aux charges brutes de DBO. Dans le cas des réseaux unitaires, les épisodes pluvieux apportent effectivement des charges en MES bien supérieures aux charges de DBO.

En moyenne annuelle pour un réseau d'assainissement unitaire, la DBO peut ainsi être augmentée de 10 % tandis que les MES s'accroissent de 30 à 40 %. Pour reprendre l'exemple global ci-dessus en aération prolongée, la valeur apparente devient 0,9 kg de boues produites / kg DBO éliminée.

Refaisons l'approche par la formule binôme simplifiée :

Par temps sec, il vient par exemple, pour 1000 kg DBO et 900 kg de MES jours

$$k = 800 / [(1000 + 900)/(1000+900)/2] = 0,84$$

Et en production journalière moyenne annuelle

$$\begin{aligned} A S &= 0,84 [1000 \times 1,1 + 900 \times 1,35] / 2 &&= 0,84 \times 1157,5 \\ &&&= 972 \text{ kg de boues} \end{aligned}$$

D'où le rapport  $972 / 1100 = 0,88$  arrondi plus haut à 0,9, dont la formule simple liant la production de boues à la seule DBO traitée.

Résumons nous : pour la formule binôme, les valeurs suivantes de k sont proposées pour les boues activées en aération prolongée :

**Réseau séparatif : k = 0,84**

Dans le but de calculer une valeur par défaut de la production de boues en aération prolongée pour un réseau unitaire (ce qui est d'autant plus utile que les flux réels de temps de pluie sont éminemment variables et durablement inconnus), on peut utiliser une valeur virtuelle de k de la formule binôme sur la base des charges de temps sec : ce serait le simple résultat de :

$0,84 \times 972/800$  soit

**Réseau unitaire : k = 1,02 (sur la base des charges de temps sec)**

**Remarque importante.** Ces deux types d'approximations démontrent *la sensibilité de ces calculs de production de boues aux matières en suspension. A cet égard, il convient de noter qu'il n'est guère possible de prendre en compte les MES des effluents bruts et pour la même raison certains ratios de sources étrangères, par exemple allemandes. En effet, la pratique française des boues activées en aération prolongée incorpore heureusement un dégraisseur qui présente la particularité de fonctionner à des charges superficielles moyennes (c'est-à-dire, des vitesses ascensionnelles moyennes très faibles) les transformant en décanteurs primaires rapides. Cette tendance est accrue par le dimensionnement sur des pointes de débit de temps de pluie très élevées par rapport au débit moyen de temps sec.*

*Une fraction non négligeable (de l'ordre de 20 % des MES des eaux brutes) ne rejoint ainsi pas les boues. Au contraire, en Allemagne par exemple, qui sert parfois de référence, les filières comportent le plus souvent un dessableur à forte vitesse ascensionnelle et le dégraissage est assuré par un décanteur primaire, les MES qui y sont retenues rejoignent alors les boues.*

*Ces considérations poussent à ne pas prendre en compte dans la production de boues l'ensemble des MES, notamment les MES minérales dont la contribution à la masse totale est loin d'être négligeable (combien de grains de floes pour 1 micrograin de sable...). Les prévisions de production de boues élevées ne prennent pas en compte cette ségrégation des destinations au niveau des prétraitements.*

Les exemples précédents nous ont permis de cerner les limites de production des boues exprimées par kg DBO en effluents urbains classiques entre 0,8 (réseau séparatif) et 0,9 (réseau unitaire). Deux facteurs pourront venir moduler ces ratios pour les boues activées en aération prolongée. Il s'agit essentiellement du % de réseau unitaire, curseur entre les deux valeurs ou les valeurs de k proposées ci-dessus et les résultats de mesures d'auto-contrôle... (certaines agglomérations présentent par temps sec des concentrations de MES égales voire supérieures à celles de la DBO.



Etant convaincus qu'en boues activées le modèle binôme simplifié  $A S = k (DBO + MES) / 2$  peut-être une base de raisonnement et de discussion, plus fertile que des ratios globaux (qui ont pourtant l'avantage de montrer leur aspect simplificateur par rapport à des mesures dont les incertitudes, comme nous l'avons vu plus haut, ne sont pas négligeables, nous proposons dans le tableau ci-dessous quelques valeurs de k pour différentes stations en boues activées (sur la base des valeurs de temps sec du début du chapitre II).

	k
Aération prolongée	0,84
Moyenne charge sans stabilisation*	1,10
Moyenne charge sans « stabilisation » aérobie*	1,03
Moyenne charge avec « stabilisation » anaérobie*	0,84

\* y compris boues primaires

Les valeurs ainsi trouvées, en utilisant les charges en DBO et en MES appropriées, doivent naturellement être modifiées en fonction des additifs utilisés, notamment les sels métalliques de déphosphatation et les ajouts de chaux pour stabilisation des boues à déshydrater ou à stocker.

Les ajouts de chaux sont en général **connus**. Pour un stockage à long terme, la tendance est à l'usage de doses massives et des facteurs de 1,3 voire plus sur la production massique de boues seront monnaie courante. Sur cette même production, l'ajout de sels métalliques peut augmenter la masse de 1,1 à 1,3 fois selon qu'il y a couplage de déphosphatation biologique ou non.

## **2.2. Autres procédés**

A titre de comparaison, une revue des productions de boues est présentée dans le tableau ci-dessous, qui mentionne aussi les caractéristiques des fréquences d'extraction et de mode de stockage qui ont une influence nette sur le coût global de gestion de ces sous-produits.

**PRODUCTION DE BOUES  
POUR DES EFFLUENTS ASSIMILABLES A DOMESTIQUES**

Procédés	Kg MES/Kg DBO éliminée	Intervalles entre deux extractions des traitements	Stockage
Epandage souterrain	0,3	3 ans (individuel) 1 an ("autonome")	Fosse septique
Epandage superficiel en tranchées	0		Sur place
Filtres plantés de roseaux	$\epsilon$	5 - 10 ans	Sur place
Lagunage naturel	0,7 (?)	5 - 10 ans	Sur place
Infiltration/sable	0,4 + $\epsilon$	6 mois + 1/mois	Digesteur ou fosse septique + surface
Lits bactériens Disques biologiques	0,8	6 mois	Digesteur
Boues activées aération prolongée	0,8 - 0,9	1 semaine	Silo ou aires
Boues activées moyen - faible charge	1	1 jour, $\pm$ permanent	aires à boues
Biofiltres (biol)	0,8-0,9	1 jour	aires à boues