

Ministère de l'Agriculture et de la Forêt
Fonds National pour le Développement
des Adductions d'Eau

LES SYSTÈMES DE TRAITEMENT DES BOUES DES STATIONS D'ÉPURATION DES PETITES COLLECTIVITÉS



Documentation technique
F N D A E
N° 9

Inventaire N° 12167

LES SYSTÈMES DE TRAITEMENT DES BOUES DES STATIONS D'ÉPURATION DES PETITES COLLECTIVITÉS

Philippe Duchène CEMAGREF groupement d'Antony
14, avenue de Saint-Mandé - 75012 Paris

CEMAGREF - DICOVA
B.P. 22
92162 ANTONY CEDEX



**CENTRE NATIONAL
DU MACHINISME AGRICOLE
DU GÉNIE RURAL
DES EAUX ET DES FORÊTS**

DIRECTION GÉNÉRALE
Parc de Tourvoie 92160 Antony
Tél. : (1) 40 96 61 21
Télex : 204 565 F
Télécopie : (1) 40 96 61 39

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Les systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités – 1990 – Ph. Duchène – 1^{re} édition, ISBN. 2-85362-201-0 – Dépôt légal 4^e trimestre 1990 – Documentation technique FNDAE n° 9 – Photos et dessins : CEMAGREF – Impression AZIMUT – 2 rue Léon Blum – Résidence Le Ponchelet – BP 103 – 62110 HÉNIN-BEAUMONT – Secrétariat de Rédaction : C. Herblot – Secrétariat d'Édition : M. Boudot-Lamotte – Édition et diffusion : CEMAGREF-DICOVA – BP 22 – 92162 ANTONY Cedex – Prix : 85 F

SOMMAIRE

Introduction

1 - Les boues produites par les stations d'épuration

- 1.1. Origine des boues résiduares**
- 1.2. Terminologie**
- 1.3. Quantités de boues produites**
- 1.4. Composition des boues résiduares**
- 1.5. Les divers états physiques des boues**

2 - La destination finale des boues : objectifs et contraintes imposées au traitement

- 2.1. Les objectifs du traitement des boues**
- 2.2. Description des grandes filières de traitement et d'évacuation des boues**
 - 2.2.1. Valorisation agricole des boues liquides**
 - 2.2.2. Valorisation agricole des boues pâteuses ou solides**
 - 2.2.3. Élimination des boues en décharge contrôlée**
 - 2.2.4. Les autres modes de valorisation ou d'élimination**
 - 2.2.5. Incinération**
 - 2.2.6. Compostage**

3 - Les opérations de traitement des boues

- 3.1. Schéma général**
 - 3.1.1. Stabilisation**
 - 3.1.2. Concentration**
 - 3.1.3. Stockage**
 - 3.1.4. Conditionnement des boues**
 - 3.1.5. Déshydratation**
 - 3.1.6. Reprise et épandage**

4 - Les ouvrages et appareils de traitement des boues

- 4.1. Stabilisation**
 - 4.1.1. Digestion anaérobie**
 - 4.1.2. Stabilisation aérobie**
 - 4.1.3. Stabilisation chimique**
- 4.2. Conditionnement**
 - 4.2.1. Conditionnement des boues par polyélectrolyte**
- 4.3. Concentration**

- 4.3.1. Épaississeur**
- 4.3.2. Flottateur**
- 4.3.3. Grille d'égouttage**
- 4.3.4. Tambour d'égouttage**
- 4.4. Séchage à l'état "pâteux"**
 - 4.4.1. Bennes filtrantes**
 - 4.4.2. Sacs filtrants**
 - 4.4.3. Tasster U**
 - 4.4.4. Filtreco**
 - 4.4.5. Filtres à bande de faible capacité**
- 4.5. Séchage à l'état solide**
 - 4.5.1. Lits de séchage**
 - 4.5.2. Flocculation sur lits de séchage**
 - 4.5.3. Modification des lits de séchage**
- 4.6. Stockage des boues liquides**
 - 4.6.1. Silo à boues**
 - 4.6.2. Lagune de stockage**
- 4.7. Stockage des boues déshydratées**
- 4.8. Les unités mobiles de déshydratation**
- 4.9. Les unités centrales de déshydratation**

5 - Description de filières-types de traitement des boues

Cas n° 1 - 500 éq. habitants - Lagunage naturel

Cas n° 2 - 500 éq. habitants - Lit bactérien - Lits de séchage

Cas n° 3 - 1 000 éq. habitants - Boues activées - Valorisation agricole de boues liquides

Cas n° 4 - 1 000 éq. habitants - Boues activées - Lits de séchage

Cas n° 5 - 5 000 éq. habitants - Boues activées - Valorisation agricole de boues liquides très concentrées

Cas n° 6 - 5 000 éq. habitants - Boues activées - Déshydratation mécanique

Annexe I - Recommandations relatives à l'utilisation des boues d'épuration en agriculture

Annexe II - Paramètres analytiques

Annexe III - Règles d'admission des boues en décharge contrôlée

Annexe IV - Lexique

Annexe V - Les missions de mise en valeur agricole des déchets

Annexe VI - Adresses utiles

Introduction

Le nombre de stations d'épuration dont la France dispose tend actuellement vers le maximum nécessaire, en particulier pour les bourgs ruraux dont les capacités avoisinent ou dépassent 1 000 habitants. Ces installations mettent en œuvre, pour leur majorité, des principes et des dimensionnements qui permettent un bon fonctionnement sous réserve que l'effort d'exploitation et les conseils que peuvent recevoir les personnels exploitants soient suffisants.

En dehors, en effet, des stations construites avant les années 1970-1975 pour lesquelles la technicité et l'effort économique moyen encore insuffisants n'autorisaient pas une conception systématiquement garante d'un bon fonctionnement, le parc de stations est conçu pour éliminer de façon satisfaisante la pollution organique, première étape dans la restauration des qualités souhaitables du milieu naturel. Des phases d'équipement complémentaires ont débuté, visant à éliminer certaines matières polluantes spécifiques du milieu récepteur concerné afin de faire progresser de nouveau la qualité de celui-ci. C'est le cas plus particulièrement de l'azote réduit en général, et du phosphore pour les plans d'eau et les cours d'eau lents.

Ce tableau de la situation, brossé de façon optimiste, doit être nuancé puisque l'optimisation du fonctionnement des stations d'épuration n'est pas atteinte et ceci en fonction de trois éléments principaux qui se dégagent des statistiques :

- l'insuffisance du nombre de raccordements sur les réseaux, en particulier dans l'habitat ancien (centre des bourgs, ...)
- des arrivées, dans les réseaux d'eaux usées, d'eaux parasites bien souvent massives en saison défavorable
- l'insuffisance des possibilités d'extraction de boues des systèmes d'épuration à boues activées plus particulièrement.

Ces trois faits qui se situent à l'interface de la station d'épuration avec son environnement extérieur doivent donc faire l'objet d'une attention toute particulière.

L'augmentation du nombre de raccordés aux réseaux est une affaire de politique locale dont tout le monde sait les difficultés. La lutte contre les eaux parasites, souvent économiquement lourde, est engagée depuis quelques années à l'initiative des Agences de Bassin ; les techniques utilisables et les limites économiques en sont maintenant assez bien définies.

La fiabilité de l'élimination des boues est, elle aussi, en progrès avec des variations géographiques importantes. C'est un point clef du bon fonctionnement des stations d'épuration dans la mesure où des pertes de boues, la plupart du temps liées à une masse de boues trop importante maintenue dans le système, font perdre en une fois presque tout le bénéfice pour le milieu récepteur d'un traitement des eaux bien assuré pendant des mois.

Une bonne maîtrise des concentrations de boues conservées en aération prolongée permet de plus de faire transiter au moindre mal des eaux excédentaires dans la station d'épuration.

L'attention portée à la production de boues par les services d'assistance technique départementaux (SATESE) depuis quelques années montre que la proportion de stations perdant au milieu récepteur une part significative des boues produites est très importante. Le critère de masse de boues extraites du système, relativement difficile à mesurer, intègre bien l'ensemble du fonctionnement des installations ; c'est pourquoi les Agences financières de Bassin en font ou vont en faire un des supports d'attribution de leurs subventions au fonctionnement des stations d'épuration.

La **fiabilité** de l'évacuation des boues est régie principalement par leur destination finale. Si le produit ne donne pas satisfaction à l'entité extérieure qui le stocke ou le valorise il est naturel que celle-ci soit amenée à refuser d'accepter plus longtemps les boues résiduelles. Dans cette éventualité, la situation de l'exploitant de la station est toujours catastrophique si des solutions de secours, au demeurant fort onéreuses pour être efficaces par tout temps, n'ont pas été envisagées.

Les contraintes dictées par le type de destinataire des boues (agriculteurs, décharge, ...) sont diverses et ne sont levées que grâce à une conception et un dimensionnement des ouvrages de traitement des boues adaptés.

La filière d'évacuation des boues doit d'abord être **homogène**. Trop souvent conçue "à tout hasard" ou modifiée partiellement, elle doit impérativement permettre sans hiatus les diverses opérations : stabilisation, épaissement, déshydratation éventuelle, stockage, reprise, épandage. Les matériels correspondant à chaque origine de boues, à chaque humidité de produit, à chaque destination finale des boues, existent. Le recours à des solutions intermédiaires est dangereux dans la mesure où, par exemple, le refus par les agriculteurs de boues qui ne leur apportent pas satisfaction fait le plus souvent localement "tache d'huile"...

Il s'agit donc de prévoir dès la conception, ou la modification de la filière d'évacuation des boues, l'ensemble des matériels dont l'investissement est à réaliser.

Le présent ouvrage s'efforce de rassembler, à partir des expériences les plus réussies et du suivi des divers matériels présents sur le marché, les éléments permettant d'établir la liste des contraintes principales pesant sur l'évacuation des boues et les ouvrages susceptibles de donner satisfaction dans chaque cas.

Les boues produites par les stations d'épuration

1

1.1. Origine des boues résiduaire

L'épuration des eaux résiduaire repose sur le principe de la séparation des éléments susceptibles de polluer le milieu naturel de l'eau véhiculant les déchets

Les eaux résiduaire contiennent des déchets grossiers séparables sous l'action des forces de gravité lorsqu'on les laisse séjourner dans un bassin calme. Ces phénomènes de décantation (éventuellement son inverse la flottation) donnent naissance à des résidus dont certains (sables grossiers, graisses) sont évacués séparément et dont la majorité sont une composante inerte (parce que minérale) des boues.

Les polluants plus dispersés dans l'eau ne peuvent suivre ce schéma simple. Les techniques d'épuration permettent de transformer ces matières en un nouveau produit séparable de l'eau, là encore, par voie de décantation. Plus précisément la charge polluante à traiter est transformée en bactéries agglomérées par les produits d'excrétion de leur métabolisme.

L'activité épuratrice augmente naturellement la concentration des boues dans les ouvrages de traitement. Les divers systèmes biologiques nécessitent de maintenir artificiellement (boues activées) ou naturellement (cultures fixées, lits bactériens, etc.) la masse de boues dans le système en deçà d'une valeur de consigne. Il doit donc être procédé au soutirage des **boues en excès**.

Dans certains systèmes tels que le lagunage naturel, les algues microscopiques qui fournissent l'oxygène nécessaire aux bactéries aérobies viennent à leur mort contribuer aux dépôts du fond des lagunes (leur substance est alors réutilisée par d'autres bactéries anaérobies de ces dépôts).

1.2. Terminologie

Plusieurs types de boues doivent être différenciés en fonction de leur origine, dans la

mesure où leur traitement doit être conçu différemment.

Les **boues primaires** sont les dépôts récupérés par simple décantation des eaux usées. Elles sont à la fois riches en matières minérales (microsables, terre, ...) et contiennent des matières organiques susceptibles d'évolutions. Elles présentent des concentrations élevées. Elles sont obtenues, par exemple, dans les décanteurs-digesteurs équipant certaines petites collectivités.

Les boues **physico-chimiques**, variante des boues primaires, sont obtenues par adjonction de réactifs (sels de Fer, d'Aluminium ...) visant à coaguler la fraction colloïdale des matières contenues dans les eaux usées. Présentant des concentrations assez élevées, elles nécessitent une stabilisation et posent des problèmes spécifiques de destination finale du fait des ajouts de réactifs, et plus particulièrement de sels métalliques.

Les **boues secondaires** sont les boues issues du traitement biologique, que ce soit en culture libre (boues activées) ou en cultures fixées (lits bactériens, disques biologiques, ...). Elles sont donc constituées essentiellement de corps bactériens et de leurs sécrétions. Très organiques, elles présentent, à la sortie du système d'épuration des eaux, des concentrations médiocres (10-30 g/l selon les procédés).

Les **boues mixtes** : telle est l'appellation du mélange de **boues secondaires** avec les **boues primaires**. Les **boues mixtes** sont celles qui sont issues de la quasi totalité des filières de traitement complètes. Sur les stations de quelque importance (quelques dizaines de milliers d'éq. hab au moins), il est permis d'envisager des traitements séparés des deux types de boues.

Les **boues d'aération prolongée** sont une variante des boues mixtes. Dans ce procédé, comme d'ailleurs en lagunage naturel et en lagunage aéré, le traitement n'inclut pas d'étape de décantation primaire. L'ensemble des

déchets est donc soumis à l'aération et les boues obtenues, particulièrement peu concentrées, sont suffisamment minéralisées pour ne pas produire de nuisance ultérieure.

1.3. Quantités de boues produites

Dans les communes rurales, principalement envisagées ici, l'habitude est de dimensionner les stations d'épuration sur la base de l'"équivalent-habitant" rejetant théoriquement 50 g DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours à 20 °C) par jour.

La production de boues des systèmes biologiques est depuis longtemps modélisée essentiellement en fonction de la composition des eaux brutes et du degré d'intensification du processus bactérien d'épuration (niveau de charge organique alimentant les bactéries).

Nous nous bornerons ici à indiquer des résultats globaux et le sens des variations.

En réseau séparatif, lorsque seules les eaux usées domestiques arrivent à la station, la production de boues journalières moyenne des stations d'épuration biologiques est de

30 à 40 g M.E.S.¹/éq. habitant/j.

Dans le système le plus fréquent, l'aération prolongée, une valeur de 35 à 40 g est à retenir.

Lorsque le réseau est unitaire, ces valeurs sont à majorer de 10 à 30 % (en fonction des particularités locales et du taux de raccordement des usagers).

Deux cas de figure révèlent des productions de boues plus élevées :

— Les stations physico-chimiques où il faut au moins ajouter les réactions incorporées aux

valeurs ci-dessus énoncées. Dans le cas d'adjonction de chaux, la production peut atteindre 180 g/éq. hab/j..

— Lorsqu'une déphosphatation est en fonctionnement, la production de boues est majorée de façon non significative (déphosphatation biologique) ou d'environ 12 % (coprécipitation chimique).

Si on se réfère à l'habitant rural raccordé au réseau, la charge correspondante - assez stable depuis une vingtaine d'années - est de l'ordre de

30 g de M.E.S./habitant/jour.

Il convient, bien sûr, d'apporter à cette valeur les correctifs applicables à la valeur théorique se rapportant à l'équivalent-habitant.

Compte tenu de leur concentration les valeurs suivantes peuvent être données pour les boues liquides des systèmes d'épuration les plus fréquents :

Boues activées en aération prolongée : 400 l/hab. raccordé/an

lagunage naturel : 100-150 l/hab. rac./an

1.4. Composition des boues résiduares

La composition des boues résiduares est fonction de nombreux paramètres, notamment de la composition des eaux usées, du caractère du réseau d'assainissement et du type de traitement des eaux et des boues.

Après épaissement, une **boue liquide d'aération prolongée** a la composition pondérale moyenne suivante :

<i>BOUES RÉSIDUAIRES</i>	
<i>PHASE LIQUIDE 95 à 98 %</i>	<i>PHASE SOLIDE 2 à 5 %</i>
<ul style="list-style-type: none"> – eau : 950 g/l – sels dissous : 1 à 2 g/l 	<ul style="list-style-type: none"> – matières minérales : 30 à 40 % poids sec – matières organiques : 60 à 70 % poids sec
<ul style="list-style-type: none"> <i>Matières grasses</i> : 4 à 8 % <i>Azote (N)</i> : 4 à 7 % <i>Phosphore (P)</i> : 2 % <i>Potassium (K)</i> : 0,25 % <i>Métaux lourds</i> : 0,15 % 	<ul style="list-style-type: none"> <i>de la matière sèche</i>

Tableau 1 : Composition des boues d'aération prolongée.

1. Cf. annexe n° 2.

Pour les procédés les plus communs en petites et moyennes collectivités, les variations de concentration des boues liquides en fonction du

procédé d'épuration peuvent être résumées comme suit :

PROCÉDÉ	Matière sèche	% Matière organique
Boues activées en aération prolongée	20 à 50 g/l	60 à 70 %
Lit bactérien	40 à 70 g/l	50 à 60 %
Lagunage aéré	40 à 60 g/l	60 à 70 %
Lagunage naturel	50 à 100 g/l	30 à 60 %
Décanteur digesteur	70 g/l	40 à 60 %

Tableau 2 : Caractéristiques principales des boues de diverses stations d'épuration.

Pour chacun des procédés les principaux facteurs de variation sont :

— **réseau unitaire** : augmente la teneur en matière minérale de la phase solide de 5 à 10 % par rapport à un réseau séparatif.

— **déphosphatation** : augmente la teneur en phosphore de la phase solide jusqu'à 8 - 10 % (mais que l'on retrouvera en grande partie redissous dans la phase liquide des boues).

La composition des boues guide leur utilisation ultérieure : sans activité artisanale ou industrielle (traitements de surface ...) implantée sur le réseau, les boues présentent des teneurs en éléments indésirables qui permettent sans risque la valorisation agricole (cf. norme AFNOR NFU. 44041 (juillet 1985) et recommandations des Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement (circulaire du 7 juillet 1986) en annexe° 1).

La présence de germes tests de contamination fécale et éventuellement d'œufs de parasites interdisent par ailleurs l'épandage direct sur les légumes, ou la remise en pâture des prés amendés en boues avant un délai suffisant (cf. annexe 1).

Lorsque les teneurs en métaux dépassent les seuils fixés dans la norme AFNOR NFU 44041, il convient de prendre des précautions supplémentaires limitant la dose épandue à l'hectare ou de choisir une évacuation non agricole (décharge, incinération, ...).

1.5. Les divers états physiques des boues

Nous n'avons pour l'instant évoqué que les boues faiblement concentrées se présentant sous une forme liquide. Une forme plus sèche, évitant des transports d'eau coûteux, peut leur être préférée pour une valorisation agricole.

Cette élimination d'eau (la "déshydratation des boues") est nécessaire pour des destinations finales telles la mise en décharge ou l'incinération (en commun avec les ordures ménagères par exemple).

Selon la siccité obtenue (exprimée à partir de l'extrait sec - annexe n° 3), on distinguera les états physiques suivants :

Siccité	État	
0 à 10 %	liquide	
12 à 25 %	pâteux	14 à 17% : pelletable ² > 18% : gerbable ³
> 25 % > 35 %	solide	s. avec retrait ⁴ s. sans retrait

Tableau 3 : Les états physiques des boues.

(2) pelletable : dont la reprise est possible à l'aide d'une fourche à cailloux.

(3) gerbable : stockable en tas dont les pentes de talus sont de 45°.

(4) avec retrait : dont la dessiccation ultérieure sur un support produit des fentes de retrait.

Les limites indiquées ici ne sont pas strictes: le type de matériel de déshydratation, la présence plus ou moins grande de fibres (poils d'animaux, par exemple) font varier les correspon-

dances siccité-état physique. De plus, entre ces états (liquide, pâteux, solide) une certaine réversibilité est possible : des phénomènes de thixotropie peuvent être observés dans certains cas.

La destination finale des boues : objectifs et contraintes imposées au traitement

2

2.1. Les objectifs du traitement des boues

Les boues résiduelles en excès sont, au moment de leur extraction du système d'épuration des eaux, un produit :

— **peu concentré** donc occupant un grand volume,

— **fermentescible** du fait de la forte teneur en matières organiques,

— qu'il est **nécessaire d'extraire régulièrement** de la plupart des types de stations d'épuration.

Ces trois caractéristiques sont, de fait, défavorables à une utilisation ultérieure pourtant inéluctable.

Le **traitement des boues** est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier ces caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance.

Le traitement des boues comporte en conséquence les opérations suivantes :

<i>Opération</i>	<i>But</i>
<i>Stabilisation</i>	<i>Limiter les évolutions ultérieures s'accompagnant de nuisances</i>
<i>Concentration</i>	<i>Éliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter son transport</i>
<i>Stockage</i>	<i>Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur</i>
<i>Homogénéisation</i>	<i>Donner au destinataire final un produit connu et relativement constant</i>
<i>Reprise</i>	<i>Permettre l'utilisation finale</i>
<i>Conditionnement</i>	<i>Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquides</i>
<i>Déshydratation</i>	<i>Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux</i>

Tableau 4 : Les opérations du traitement des boues.

Ces opérations, qui sont explicitées au chapitre III, n'apparaissent pas toujours de manière différenciée. En effet, la conception même de nombreux procédés d'épuration a été déterminée notamment par des critères se rapportant à la qualité des boues. Ainsi peut-il en être de la concentration (lagunage naturel - lagunage aéré - décanteur-digesteur) et de la stabilisation (lagunages, boues activées en aération prolongée).

Par ailleurs, stockage, homogénéisation et reprise seront dans la plupart des cas des opérations nettement plus contraignantes en vue

d'une utilisation agricole que dans le cas d'une mise en décharge.

2.2. Description des grandes filières de traitement et d'évacuation des boues

Chaque mode d'évacuation des boues produites par les stations d'épuration impose à leurs exploitants des contraintes différentes avec une hiérarchie spécifique de ces dernières. Les modes d'évacuation principaux sont

bien connus, notamment grâce à la pratique des conseillers agricoles spéciaux mis en place avec l'aide de l'ANRED¹, depuis une dizaine d'années dans une trentaine de départements.

2.2.1. Valorisation agricole des boues liquides

C'est d'après les études économiques tant françaises qu'étrangères la filière d'évacuation la moins onéreuse. Elle présente de plus l'intérêt de valoriser les composants de la boue qui intéressent l'agriculture, en particulier l'azote, le phosphore et les matières organiques. Un éventuel apport de chaux pour la stabilisation ou le conditionnement des boues peut être apprécié dans certaines régions agricoles.

Cette solution doit être envisagée dès lors que les boues ne contiennent pas d'éléments indésirables (cf. annexe° 1) et que les terrains agricoles disponibles sont proches : on a l'habitude de considérer comme favorable un rayon de deux à trois kilomètres². La plupart des peti-

tes collectivités se trouvent dans une telle situation et il est donc logique que cette filière soit la plus employée.

L'agriculteur a besoin de boues stabilisées, concentrées et homogènes, et ne peut procéder à l'épandage que dans les périodes autorisées par l'état du sol, des cultures et éventuellement de son calendrier de travaux.

La contrainte principale est donc un **volume de stockage** qui, selon les régions, doit contenir la production de 4 à 8 mois de boues. Il est dès lors évident que l'intérêt d'obtenir une concentration élevée est partagé par les responsables des stations d'épuration afin de limiter le volume des ouvrages de stockage. A titre d'exemple, pour un temps de stockage nécessaire de 8 mois, fréquent dans le nord de la France, le volume mis en œuvre doit être deux fois plus important que celui du bassin d'aération d'une station en aération prolongée si l'on ne peut pas espérer dépasser une concentration de boues épaissies de 25 g/l ! (fig. 1).

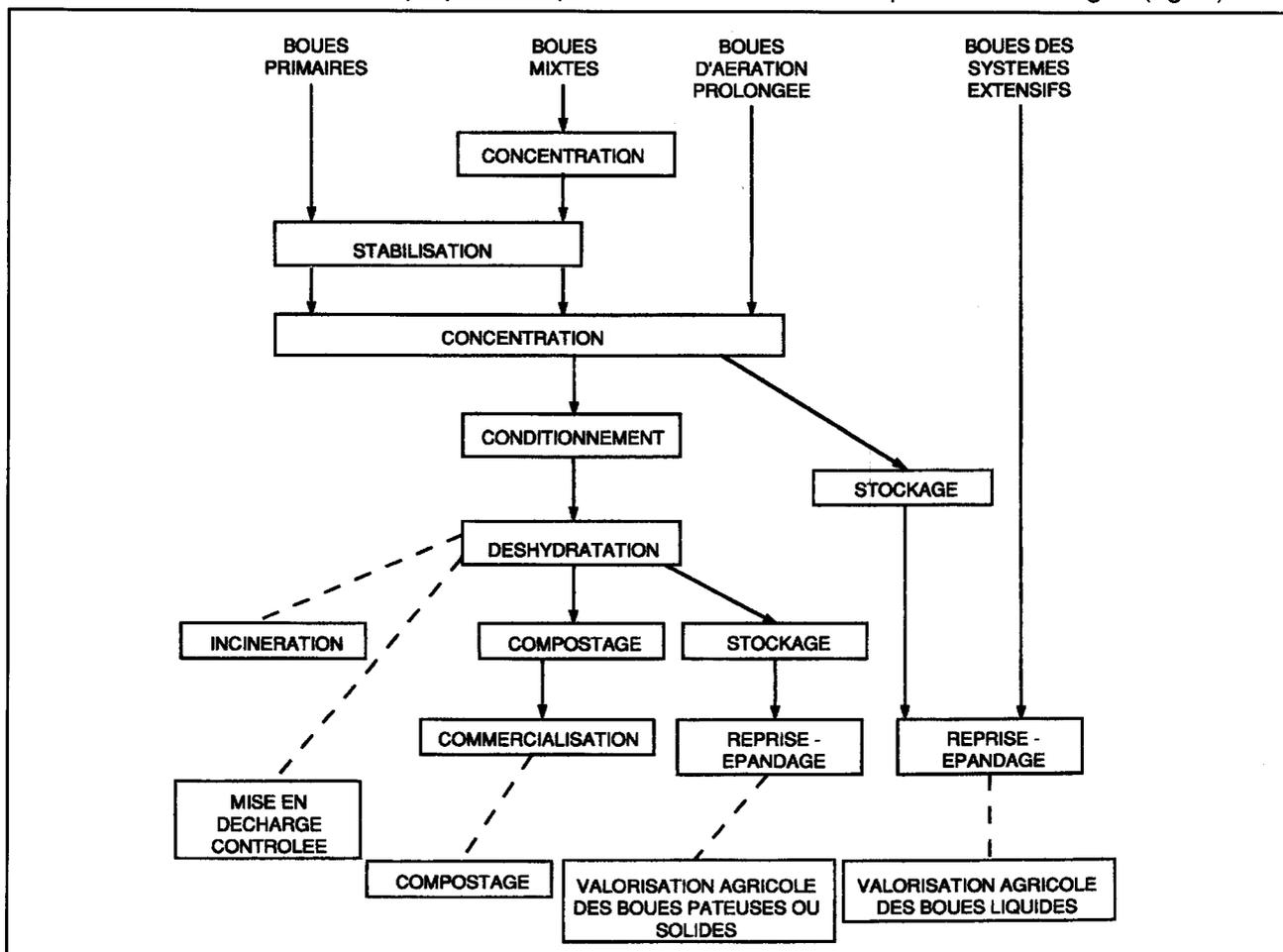


Figure 1 : Schéma général des traitements des boues.

1. ANRED : Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets.
2. avec les moyens usuels de transport : tonne à lisier, camion-citerne. Sur des collectivités plus importantes d'autres moyens de transport peuvent être envisagés - réseaux de transport, wagon, péniche permettant d'accroître considérablement ce rayon utile (pour l'anecdote, à CHICAGO, le transport par péniches permet de fournir des boues à des agriculteurs situés à plus de 1 000 km !).

Dans les systèmes d'épuration des eaux qui assurent d'eux-mêmes le stockage des boues en excès (lagunages, décanteurs-digesteurs), le problème est un peu différent : les opérations d'évacuation doivent parfois permettre d'éliminer d'énormes quantités de boues produites en plusieurs années, comme en lagunage naturel, et nécessitent une planification soignée avec les exploitants agricoles concernés.

2.2.2. Valorisation agricole des boues pâteuses ou solides

Lorsque les terres agricoles disponibles pour l'épandage de boues sont plus lointaines que dans le cas précédent, lorsque les risques de présence d'éléments indésirables pour l'agriculture (métaux lourds, ...) sont élevés ou par habitude régionale apparemment subjective, il est choisi de procéder à une déshydratation des boues (cf. chapitres III et IV).

Les contraintes fixées pour la destination agricole sont identiques à celles du cas des boues liquides mais leur traduction au niveau de la station d'épuration les place dans une hiérarchie différente.

Le stockage de volumes très réduits par la séparation d'une majorité de l'eau interstitielle se pratique de préférence sur une aire située au milieu des terres destinataires ultimes.

Les problèmes essentiels, en dehors du travail requis par les opérations de déshydratation, sont liés à la reprise et à l'épandage des boues déshydratées. Les agriculteurs soucieux de bonne maîtrise technique souhaitent que la répartition des boues sur la parcelle soit la meilleure possible. Il est donc nécessaire que l'épandeur utilisé disperse les boues de façon homogène tant à l'échelle de son trajet qu'à celle de la culture.

Avec des boues solides obtenues sur des lits de séchage, l'épandeur à fumier traditionnel produit du travail satisfaisant. Il n'en est pas de même pour les boues pâteuses qui nécessitent l'emploi d'épandeurs spéciaux, déjà existants ou en cours de mise au point :

<i>Tonnes à vis sans fin</i>	<i>siccité 8 à 15 %</i>
<i>Épandeurs étanches avec divers dispositifs d'épandage : latéral à turbine avant; latéral à chaînes; arrière à turbine (axe vertical)</i>	<i>siccité 12 à 22 %</i>

La mise à disposition des agriculteurs du type d'épandeur adapté à la texture du produit

obtenu s'avère être un point essentiel de la durabilité de l'utilisation agricole des boues déshydratées.

2.2.3. Élimination des boues en décharge contrôlée

Des teneurs trop élevées en métaux lourds, des contre-expériences induites par un manque de sérieux apporté à des tentatives de valorisation agricole, l'absence de surfaces agricoles appropriées, conduisent à envisager un mode d'élimination des boues autre qu'agricole. Parmi ces destinations de remplacement, la mise en décharge est la solution la plus fréquente.

La capacité globale limitée des décharges sur le territoire français, le suivi de plus en plus attentif apporté à la gestion de ces décharges et à leur impact sur le milieu naturel conduisent les exploitants, en harmonie avec la réglementation en vigueur³, à être de plus en plus exigeants concernant la qualité des produits qu'ils acceptent. De ce point de vue, la siccité est le facteur primordial pour des boues d'origine majoritairement domestiques. Actuellement, en moyenne, la plupart des décharges acceptent des boues d'une siccité supérieure à 14 - 15 %. Dans certains cas, et nul ne doute que ce phénomène s'amplifie dans un avenir proche, des siccités supérieures à 20 voire 25 % sont strictement exigées. Il s'agit là, comme nous le verrons au chapitre IV, d'une clause difficile à respecter pour des unités de traitement de taille limitée sans recourir au séchage des boues sur lits.

Du point de vue de l'exploitant de la station d'épuration, l'avantage qui se dégage nettement de ce mode d'évacuation est l'absence de stockage nécessaire et de sa gestion en contrepartie, jugée souvent prohibitive, des coûts de fonctionnement de la déshydratation, du transport et des droits de dépôts en décharge.

2.2.4. Les autres modes de valorisation ou d'élimination

Deux autres filières d'évacuation des boues en excès des stations d'épuration connaissent un nombre de réalisations, suffisant pour être mentionnées ici :

2.2.5. Incinération

L'incinération des boues dans une installation spécifique est réservée à des stations d'épuration de taille importante. Ces installations fonctionnent d'ailleurs d'autant plus facile-

3. cf. annexe n° 3.

ment que des additifs (sciure, etc.) peuvent alimenter les fours d'incinération avec les boues, même bien déshydratées.

Par contre, la proximité d'une usine d'incinération d'ordures ménagères peut rendre ce débouché intéressant pour de petites unités.

La siccité à laquelle il faut livrer les boues à l'usine d'incinération est fonction de plusieurs paramètres techniques et économiques. La distance séparant le lieu de production de boues de celui de l'incinération conduit à une humidité économiquement maximum. Une proportion de boues croissante entrant dans le mélange à incinérer implique l'obtention de siccités de boues elles aussi croissantes.

Ainsi un incinérateur situé dans un bourg et recevant les ordures ménagères d'un périmètre de collecte important peut-il accepter aisément des boues se situant entre l'état liquide bien concentré et l'état pâteux. A l'opposé, si, en masse, les boues représentent le tiers du combustible d'un four d'incinération, leur siccité ne saurait être inférieure à 20 - 25 %.

2.2.6. Compostage

Les boues d'épuration, comme de nombreux autres déchets organiques, peuvent constituer

un matériau de base permettant l'élaboration de compost. Cette solution de valorisation n'est, en pratique, envisageable que si l'on dispose localement d'un produit complémentaire à siccité plus élevée qui puisse être mélangé aux boues. Ces produits de complément - dont on peut d'ailleurs se poser la question de savoir si ce ne sont pas les produits de base du mélange ! - sont le plus fréquemment des ordures ménagères, des écorces, de la sciure, ...

Dans le cas des stations de petites collectivités, si les problèmes techniques ne sont pas difficiles à résoudre, la commercialisation du compost, nécessaire pour équilibrer le surcoût lié à sa production, constitue un frein au développement de cette technique. Dans une région donnée, le marché du compost étant limité, les composts de diverses origines, déjà commercialement implantés, sont de redoutables concurrents. L'établissement de filières de mise en marché semble trop lourd pour de petites collectivités. Le regroupement de collectivités productrices sous une marque unique semble prometteur (mais toujours difficile à établir) pour un nombre limité de sites par région.

3.1. Schéma général

3.1.1. Stabilisation

Les boues d'épuration, suspension dans l'eau de matières en grande proportion organiques, sont instables dans la mesure où des fermentations s'y développent. Ces fermentations se manifestent vis-à-vis du milieu extérieur par la mise en solution d'éléments - tels les sels ammoniacaux - préjudiciables à la qualité des eaux et par le dégazage - méthane, hydrogène sulfuré ... - d'éléments sources de nuisances olfactives. En dehors, sans doute, d'une incinération intervenant rapidement après la production, les destinations finales des boues interdisent l'usage de telles boues instables.

La stabilisation des boues vise à réduire le taux de matières organiques de manière à empêcher ou du moins à limiter les fermentations. Les matières organiques sont transformées en matières minérales sous l'action de bactéries, de façon similaire à la transformation des éléments de la charge polluante utilisée dans le principe même du traitement de l'eau. Sur des boues secondaires ou mixtes, on vise en général une réduction des matières organiques au niveau de 60 % des matières sèches totales.

Selon les procédés, les modes de stabilisation sont différenciés :

— en boues activées en aération prolongée : les boues produites séjournent suffisamment longtemps en aération pour que leur minéralisation soit suffisante.

— en lagunage naturel, en lagunage aéré ainsi que dans les systèmes lagune - culture fixée - lagune : les boues stockées au fond des bassins y **séjournent 1 an ou plus** ce qui permet à une minéralisation anaérobie suffisante de s'effectuer (compte tenu des conditions d'environnement de ce stockage).

Dans les autres procédés, des ouvrages spécifiques doivent être implantés :

- Digesteurs anaérobies
- Stabilisateur aéré

— Dispositifs permettant l'adjonction de chaux, ...
qui sont décrits au chapitre IV.

3.1.2. Concentration

Pouvant se situer à plusieurs niveaux dans le schéma de traitement des boues, la concentration, encore appelée **épaississement**, présente de nombreux avantages :

— augmentation du temps de séjour dans les ouvrages de **stabilisation** et, en conséquence, amélioration de celle-ci,

— diminution des quantités de réactifs employés pour la **déshydratation** ; amélioration corrélative de la productivité et de la siccité sur les machines de déshydratation,

— diminution des capacités de **stockage** dans des proportions très importantes ce qui se répercute de façon significative sur les coûts d'investissement,

— diminution des frais de **transport** des boues liquides.

Le principe mis en jeu consiste à séparer par gravité une partie de l'eau interstitielle et à évacuer la phase liquide ainsi obtenue. En prenant l'exemple des boues activées en aération prolongée, les concentrations typiques suivantes sont observées :

• **Bassin d'aération** : l'exploitant doit garder une concentration de boues de 4 à 6 g/l dans le bassin d'aération.

• **Extraction** : après arrêt une nuit de la recirculation des boues vers le bassin d'aération, les boues sont extraites du fond du décanteur secondaire avec une concentration de 12 à 15 g/l.

• **Épaississement** : un séjour de quelques heures (24 heures semble un optimum) permet de porter la concentration des boues en excès à 30 g/l. La phase d'épaississement permet donc d'enlever 50 % de l'eau interstitielle des boues.

• Ultérieurement, pendant le **stockage**, il n'est pas exclu d'extraire encore de l'eau pour aboutir à une concentration de l'ordre de 40 g/l.

L'opération de concentration concerne essentiellement les systèmes d'épuration à boues activées. En effet, pour les lagunages, les concentrations obtenues en fond de bassin sont déjà élevées. De même, en cultures fixées on profite le plus souvent des ouvrages de décantation primaire et de digestion anaérobie pour obtenir des concentrations de boues mixtes élevées. Toutefois, dans des stations relativement importantes, il est de plus en plus fréquemment envisagé de procéder à un épaissement séparé des boues secondaires afin de ne pas perdre le bénéfice de la très bonne concentration des boues primaires.

3.1.3. Stockage

Son rôle est essentiel vis-à-vis du bon fonctionnement de la station d'épuration puisqu'il doit assurer la souplesse entre les extractions en continu des boues en excès de la station d'épuration et les exportations discontinues vers l'utilisation finale des boues.

Dans certains cas (lagunage naturel, lagunage aéré, lagune - culture fixée - lagune), la fonction de stockage est couplée à la fonction de stabilisation dans les vastes ouvrages de traitement des eaux eux-mêmes. Ailleurs (décan-teurs-digesteurs, lits bactériens, ...), la capacité de stockage de l'ordre de 6 mois peut être limitée vis-à-vis des possibilités du débouché agricole et nécessite une gestion appropriée (choix des périodes d'extraction). Dans les autres cas, la fonction de stockage doit être assurée dans des ouvrages spécifiques dont nous avons déjà eu l'occasion de souligner l'importance particulière dans le cas de réutilisation agricole de boues liquides. Le développement de ces capacités de stockage, soit par augmentation de leur volume, soit par augmentation des concentrations des boues stockées, est en voie de réalisation à des niveaux assez différenciés sur le territoire national. Les prochaines années doivent être consacrées à rationaliser, là où cela est encore embryonnaire, les rapports entre agriculteurs et responsables de stations d'épuration, ce qui doit être marqué au plan des investissements par des efforts au niveau des capacités de stockage des boues.

3.1.4. Conditionnement des boues

L'épaissement naturel des boues est limité par des phénomènes physiques. Des forces électriques de répulsion entre particules de boues empêchent leur rapprochement et, en conséquence, ne permettent pas l'évacuation

d'une fraction - importante - de l'eau interstitielle.

Les procédés employés pour vaincre cette stabilité des suspensions de boues, les techniques de conditionnement, sont d'ordres physiques et chimiques et interviennent in fine par l'augmentation de la taille et de la densité des particules après modifications des propriétés électriques, chimiques et structurelles de celles-ci.

Le **conditionnement chimique** est réalisé à l'aide de produits tels que des sels métalliques, notamment le chlorure ferrique, le chlorosulfate ferrique (= "clairtan"), le sulfate d'alumine, qui servent à coaguler les particules. Une adjonction massive de chaux (de 25 à 40 % du poids de matière sèche des boues à déshydrater) constitue le lest permettant d'appliquer des pressions très importantes en vue de l'extraction de l'eau. Ce type de conditionnement, d'une pratique délicate et exigeant un appareillage important, n'existe que rarement sur de petites stations d'épuration. On lui préfère, dans ce cas, le **conditionnement à l'aide de "polyélectrolytes"** (polymères de synthèse dont la molécule de base est souvent l'acrylamide) pour les raisons suivantes :

- emploi plus aisé (préparation, dosage, ...)
- forte efficacité spécifique bien adaptée aux appareils de déshydratation envisageables sur cette taille d'installation,
- innocuité vis-à-vis d'une utilisation agricole ultérieure.

Pour le conditionnement des boues, le polyélectrolyte cationique doit être choisi en fonction de son adaptation à la qualité des boues à traiter. Une modification des propriétés physiques de la boue, suite à un changement de régime de fonctionnement de la station, doit conduire à choisir un nouveau polymère sous peine de voir la consommation en réactifs croître dans des proportions parfois prohibitives. Ces polymères, autrefois vendus uniquement sous forme de poudre, sont aussi distribués, actuellement, sous forme de solutions concentrées¹ plus faciles à mettre en œuvre sur des dispositifs qui en consomment de faibles quantités.

D'autres modes de conditionnement existent, qui sont réservés à des cas exceptionnels. Ainsi pourra-t-on avoir recours au **conditionnement thermique**, normalement trop onéreux sauf sur des stations de taille importante, dès lors qu'un séchage thermique ultérieur est à la charge de l'exploitant. D'autre part, le conditionnement - déshydratation - par le **froid**, au stade expérimental au Canada, ne semble envi-

1. Le coût de la matière active étant augmenté de l'ordre de 50 % sous cette présentation.

sageable qu'en de rares points du territoire français et sans doute encore lorsque les autres moyens de traitement sont eux-mêmes indisponibles du fait ... du gel.

3.1.5. Déshydratation

La déshydratation des boues fait appel à de multiples procédés qui utilisent toutefois un nombre réduit de principes pour éliminer l'eau des boues en excès.

— l'égouttage

Les boues conditionnées ou non, placées sur un support poreux approprié (sable, toile filtrante de maille 500 μ ...) perdent une grande partie de leur eau interstitielle dans cette phase de ressuyage. Schématiquement, à l'issue de cette phase et si des phénomènes de précouche filtrante ne se sont pas établis, il ne reste que l'eau liée.

— l'évaporation

Mise à contribution de façon intense uniquement dans les lits de séchage, l'évaporation naturelle permet d'atteindre des siccités élevées et des boues à l'état solide (sans retrait). L'intensité de l'évaporation dépend malheureusement des facteurs climatiques, hydrométrie, température, intensité du vent ; son action est lente et ne peut concerner que des épaisseurs de boues limitées ce qui rend son usage consommateur d'espace et - conséquence indirecte - de main-d'œuvre pour la reprise.

— la pression

Une séparation rapide de l'eau restant après un égouttage sommaire des boues nécessite

leur mise en pression. Les caractéristiques intrinsèques de la boue ne permettent pas d'exercer sur elle des pressions, même relativement limitées, sans modification de leur structure par **conditionnement**.

Les pressions employées, de préférence progressivement pour atteindre une meilleure efficacité, vont, selon les appareils utilisés, de 0,1 à 8 - 9 bars. Les siccités obtenues varient, sur les installations bien conduites, dans le même sens que la pression exercée.

— le cisaillement

Sous l'effet de la pression, l'ordonnement des particules solides tend à retenir prisonnière au centre des couches de boues compactées une partie de l'eau. Le cisaillement, en déstabilisant cette structure, permet l'évacuation partielle de cette eau.

Les applications de ces principes sont développées au chapitre IV.

3.1.6. Reprise et épandage

La reprise des boues, si elle n'est pas mécanisée, est consommatrice de main-d'œuvre et donc une opération onéreuse. Le chargement doit se faire autant qu'il est possible dans la benne ou le véhicule qui assurera le transport et le déversement ou l'épandage à la destination finale.

En fonction de l'état physique des boues, on peut dresser le tableau suivant :

ÉTAT PHYSIQUE	MATÉRIEL DE REPRISE	TRANSPORT ET ÉPANDAGE
ÉTAT LIQUIDE	Pompe, aspiration	tonne à lisier camion citerne
PÂTEUX	Tapis transporteur en sortie de machine de déshydratation Chargeuse	tonne à vis épandeurs étanches spéciaux
SOLIDE	Tapis transporteur en sortie de machine Petite chargeuse Fourche à cailloux	épandeur à fumier (agriculture) benne (vers stockage agricole ou décharge)

Tableau 5 : Matériels de reprise et d'épandage.

Certains procédés de déshydratation sont pénalisés par les ruptures de charge nécessaires entre production de boues déshydratées et utilisation finale. C'est le cas en particulier des lits de séchage et des bennes filtrantes (cf. Chapitre IV).

Les ouvrages et appareils de traitement des boues

4

Les résultats qui figurent dans ce chapitre sont issus des données acquises sur le terrain par le CEMAGREF dans des conditions réelles de fonctionnement. Ils correspondent donc à ce que l'on peut attendre, en routine, des divers dispositifs évoqués. Selon les appareils, les différences entre ces résultats et les valeurs annoncées par les constructeurs sont variables, parfois importantes. La qualité des boues influence les performances des appareils. En première approche, l'indice de boues qui sert habituellement à apprécier la décantabilité des boues permet d'approcher la "déshydratabilité" de boues d'aération prolongée ayant séjourné brièvement dans un épaisseur. Les performances évoquées concernent des boues d'aération prolongée de médiocre décantabilité (indices de l'ordre de 200 ml/g) ce qui est susceptible d'être le cas sur toute station d'épuration en aération prolongée.

Pour donner un exemple extrême des variations de performances liées à la qualité des boues, figurent au paragraphe concernant les tambours d'égouttage les résultats acquis avec des boues d'origines différentes alimentant des appareils identiques.

D'autre part, afin d'alléger le texte, nous avons utilisé une partie du vocabulaire spécifique dont nous précisons la signification en annexe n° 3.

N.B. La plupart des résultats ont été acquis en 1987 et la rédaction assurée cette même année. La liste technique de déshydratation et de concentration évoquées est influencée par ces dates. Les délais ayant présidé à la publication sont fortuits et indépendants de la volonté des diverses parties prenantes.

4.1. Stabilisation

4.1.1. Digestion anaérobie

Principe

La stabilisation par voie anaérobie, appelée digestion, est une fermentation bactérienne réalisée dans une cuve appelée digesteur. Les bactéries dégradent la matière organique en deux phases successives. Dans la première phase, dite acide, les enzymes produits par les bactéries permettent la production d'acides volatils ($C_x H_y COOH$), de gaz carbonique, d'hydrogène sulfuré. La phase "méthanique" intervient ensuite réduisant les molécules organiques principalement au stade de gaz méthane CH_4 et ramenant le pH à la neutralité. Les réactions anaérobies présentent plusieurs caractéristiques utiles à connaître pour la gestion d'un digesteur.

— Très lentes à température ambiante, elles sont fortement influencées par la température.

Température	33-37°	20°	15°	10°
Temps nécessaires à la digestion de boues urbaines	25 j.	45 j.	60 j.	120 j.

— Elles peuvent être déstabilisées par les chocs d'alimentation : l'introduction de trop grandes quantités de boues à traiter peut faire virer le digesteur en phase acide à la fois du fait de la surcharge organique et des chocs thermiques (la phase méthanique est moins stable que la phase acide). Le retour à la phase méthanique est alors lent et parfois délicat (on peut l'activer par introduction de chaux ou, mieux, de soude).

— La phase méthanique peut être bloquée par un certain nombre de toxiques dont certains métaux lourds.

Conception

Dans les stations d'épuration de petites collectivités, la principale application de la digestion anaérobie est la digestion non chauffée ni brassée sous forme de fosse double étage appelée, du nom de son inventeur, fosse IMHOFF (fig. 2). Son usage est limité par la taille du génie civil (problème de hauteur totale de l'ouvrage) à des installations de capacité au plus égales à quelques centaines d'habitations.

Les boues passent, sous l'effet de leur propre poids, du fond du décanteur vers le compartiment de digestion par la lumière. Un volume d'eau égal est déplacé vers le décanteur primaire par cette même fente.

Le volume de surnageant du digesteur est ainsi très limité, ce qui facilite le traitement biologique ultérieur. Les chocs thermiques ne sont pas à craindre compte tenu des entrées d'eau très faibles dans le digesteur.

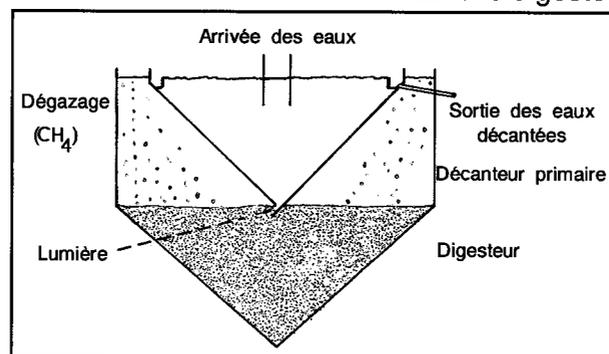


Figure 2 : Fosse IMHOFF.

Dimensionnement

- Volume de digestion : 150 l/éq. habitant
Ce volume peut être ramené à 120 l/é. h dans les zones où le climat hivernal est le plus clément (littoral méditerranéen, ...).

- Charge volumique inférieure à 0,4 kg de matières organiques/m³/j.

- Surface du décanteur primaire déterminée par :

$$S \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q_p}{1,5 \text{ m/h}}$$

Q_p = débit de pointe admis en m³/h.

Exploitation

La digestion en fosse IMHOFF ne nécessite qu'une exploitation très limitée. Une croûte peut se former en surface : le "chapeau" de digestion. Il convient de briser cette croûte de manière à ce que les gaz produits puissent

s'échapper afin de ne pas risquer de ruptures des ouvrages. Les évacuations de boues sont espacées puisqu'il est possible de n'extraire les boues que 2 fois/an.

Efficacité

Les boues sont minéralisées : le taux de matières organiques chute fréquemment de l'ordre de 15 à 20 %, la réduction de la masse

totale de boues étant du même ordre. La stabilité des boues n'évite pas quelques odeurs au moment de leur extraction.

Avantages - Inconvénients

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<i>Efficacité de la stabilisation Exploitation réduite Souplesse sur les dates d'extraction des boues Coût d'exploitation très faible (pas d'énergie consommée)</i>	<i>Coût d'investissement élevé du génie civil Ouvrage hors sol de façon importante (problème d'esthétique)</i>

Autres applications de la digestion anaérobie

— **Dans les stations d'épuration plus importantes**, le digesteur peut être séparé. Une certaine isolation du milieu extérieur améliore l'efficacité. Les digesteurs chauffés existant dans les grandes agglomérations sont actuellement difficilement envisageables dans les petites collectivités du fait de leur coût d'investissement élevé.

— **Dans les systèmes extensifs**, les boues séjournant au fond des lagunes sont soumises aux mêmes processus anaérobies et délivrent des boues suffisamment minéralisées (sauf dans la zone d'entrée, dans les lagunages naturels).

Principe

Placées dans un bassin d'aération séparé, appelé bassin de stabilisation, les boues subissent une réduction de leur taux de matières volatiles du fait de l'activité des bactéries aérobies. On parle (un peu abusivement) d'"autooxydation bactérienne". La minéralisa-

tion de la matière organique aboutit au stade ultime à la formation de gaz carbonique (CO_2) et d'eau. La durée nécessaire à la stabilisation aérobie varie en fonction de la température (10 j à 20 °C - 15 j à 10-12 °C).

Conception

Les bassins de stabilisation aérobie sont peu fréquents en petites stations d'épuration. Ils se rencontrent essentiellement pour stabiliser des boues secondaires de boues activées en moyenne charge, système qui a été aboli de ce créneau de taille pour la complexité de sa maintenance et son efficacité relativement limitée.

L'aération est assurée soit par des aérateurs de surface, soit par insufflation d'air (fig 3).

Les besoins de brassage, compte tenu d'une concentration de boues dont il est souhaitable

qu'elle soit élevée, sont importants. Une séparation des fonctions de brassage et d'aération, peu pratiquée jusqu'alors, devrait s'avérer économique.

Une augmentation de l'efficacité passe par l'allongement du temps de séjour dans le bassin. Celui-ci s'obtient en augmentant la concentration des boues : après arrêt de l'ordre de 2 heures de l'aération, le surnageant, clair, est renvoyé en tête de station. Cette opération, essentielle, peut être automatisée.

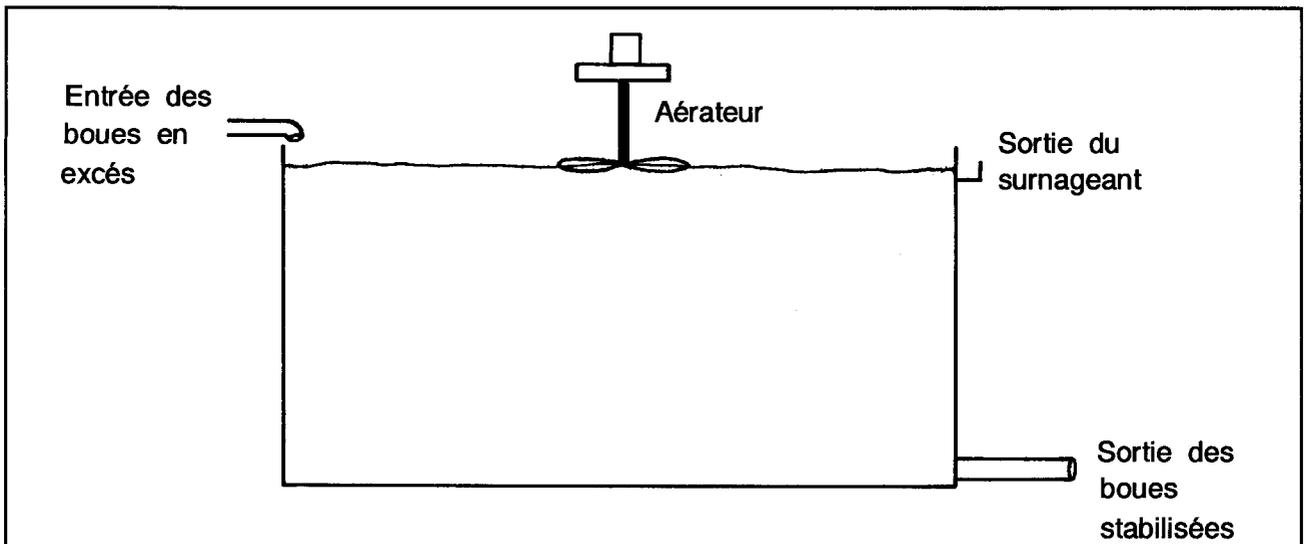


Figure 3 : Bassin de stabilisation.

Dimensionnement

- temps de séjour des boues : 15 - 20 jours
- volume : 40 l/éq. habitant
- puissance d'aération de surface proche de 40 W/m³

Exploitation

Alimenté quotidiennement le bassin de stabilisation doit être soutiré avec une périodicité de quelques jours à pleine charge.

Le réglage de la fourniture d'oxygène devrait être fonction de la concentration des boues présentes dans le bassin.

L'aération doit être suffisante pour ne pas limiter l'oxydation de la matière organique. Des

concentrations positives de l'ordre de 2 mg/l d'oxygène dissous dans l'eau sont en général un optimum à atteindre.

Les retours de surnageant vers le bassin d'aération lors de l'alimentation doivent être correctement ménagés en vue d'augmenter la concentration des boues.

Efficacité

L'efficacité de la stabilisation aérobie s'est souvent révélée douteuse. Une part de ces médiocres résultats incombe à une exploitation non optimisée. Ces bassins peu alimentés en calories par les apports d'eau voient leur température baisser très rapidement en période hivernale (fréquemment jusqu'au gel). De ce

point de vue, l'utilisation de système à insufflation d'air présente un avantage certain (l'air surpressé réchauffe les eaux). Dans les cas où ils ont été utilisés pour stabiliser des boues primaires ou mixtes les bassins de stabilisation aérobie ne se sont pas avérés efficaces.

Avantages - Inconvénients

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<i>Coût d'investissement réduit par rapport à la digestion anaérobie</i>	<i>Efficacité pas toujours obtenue Coût d'exploitation élevé (consommation électrique importante) Exploitation délicate</i>

Autres applications

Dans le procédé des boues activées en aération prolongée, la stabilisation des boues est réalisée dans le bassin d'aération des eaux du fait du temps de séjour des boues ("âge des boues") important dans l'ouvrage. La part de la

consommation électrique correspondante est élevée (50 % de la consommation totale de la station environ) mais la stabilisation obtenue ne requiert pas d'attention particulière.

Principe

L'évolution, préjudiciable du fait des nuisances qui l'accompagnent, des boues non stabilisées s'effectue sous l'influence d'activités bactériennes. L'idée de bloquer cette activité bactérienne vient alors naturellement. Parmi les nombreux produits susceptibles d'inhiber le développement bactérien, la chaux est celui qui

s'impose économiquement. La stabilisation à la chaux intervient sur les boues épaissies ou sur les boues déshydratées. Si l'on atteint un pH supérieur à 11 il y a même désinfection des boues¹. Ces pH élevés inhibent ou tuent les bactéries et donc en particulier les bactéries pathogènes qui y subsistent.

Conception

Un mélange intime de la chaux et des boues doit être assuré de manière à ce que la stabilisation concerne l'ensemble de la masse des boues. En phase liquide, les boues épaissies sont mélangées à un lait de chaux. L'adjonction de ce réactif réalise un conditionnement améliorant une éventuelle déshydratation ultérieure.

Sur des boues déshydratées, la chaux pulvérulente est mélangée aux boues dans un malaxeur à vis (utilisation de chaux éteinte ou, plus efficace mais peut-être plus dangereuse, de chaux vive) (fig. 4 et 5).

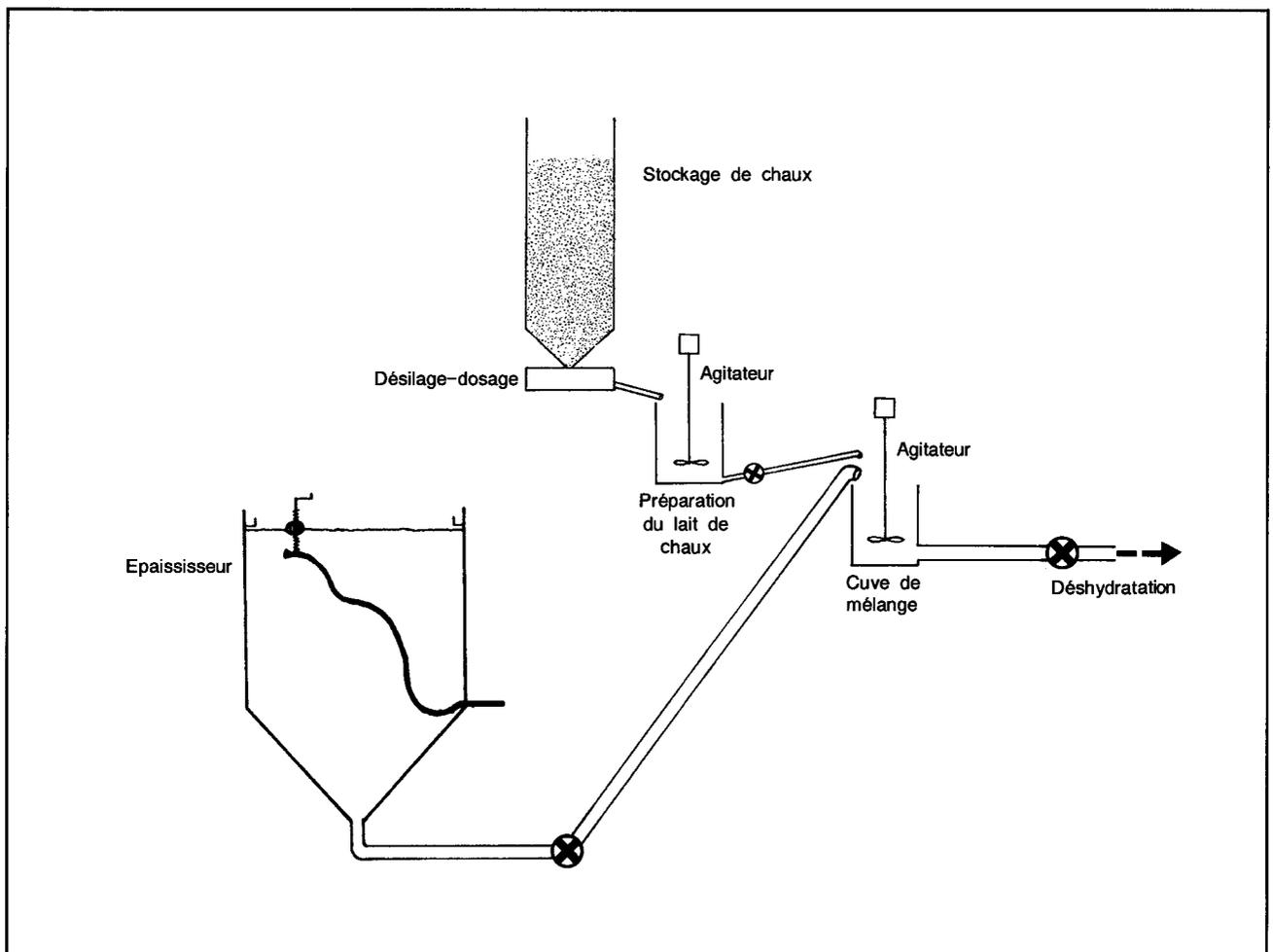


Figure 4 : Stabilisation à la chaux des boues liquides.

1. Cette désinfection est recherchée dans quelques pays étrangers, notamment la Suisse, et obtenue par ce procédé ou plus fréquemment par pasteurisation ou irradiation des boues.

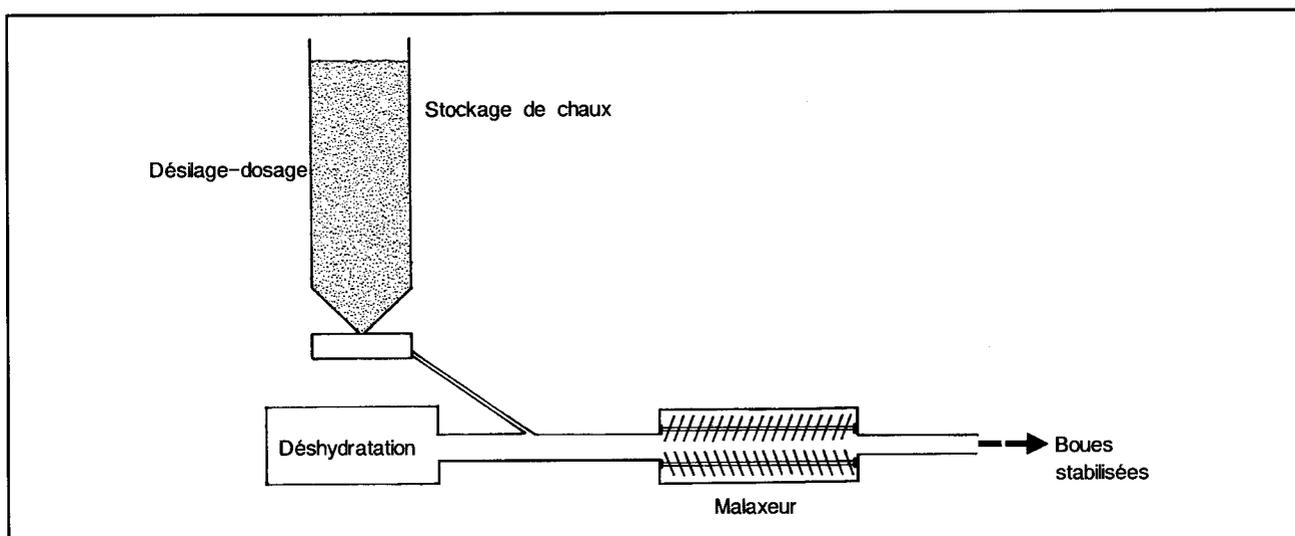


Figure 5 : Stabilisation à la chaux de boues solides.

Dimensionnement

- Dose de chaux à utiliser : 200-250 g CaO/kg MS
- Volume de stockage de chaux vive (pour 6 mois) 550 l/1 000 hab. raccordés
 - Préparation du lait de chaux 1,5 m³/1 000 habitants raccordés

Sur boues liquides – Agitateur puissance installée 1 kW dans un bac de 1 m³

Sur boues déshydratées – Malaxeur : puissance installée de l'ordre de 2 kW.

Exploitation

Relativement peu importante en temps de travail nécessaire, l'exploitation d'une stabilisation à la chaux possède des contraintes spécifiques qu'il faut souligner :

— les postes de désilage et de dosage de chaux demandent une surveillance et un entretien assez importants : les prises en masse de la chaux obligent à des démontages pénibles

d'autant plus fréquents que l'installation ne bénéficie pas des dispositifs techniques les plus fiables mis au point relativement récemment. Le dosage de la chaux nécessite un contrôle régulier (y compris en lait de chaux).

— L'utilisation d'un produit dangereux doit être faite avec les précautions d'usage (port de lunettes et de gants, ventilation des locaux, ...).

Efficacité

La stabilisation à la chaux est un **blocage réversible** des fermentations. Elle est particulièrement adaptée à une évacuation rapide des boues vers leur utilisation finale : un stockage

prolongé permet, par un retour à des conditions de pH proches de la neutralité, une recolonisation bactérienne et une reprise des fermentations.

Avantages - Inconvénients

Avantages	Inconvénients
<p><i>Technique peu consommatrice d'espace</i></p> <p><i>Amélioration de la facilité de déshydratation des boues</i></p> <p><i>Valeur éventuelle de la chaux pour les agriculteurs</i></p>	<p><i>Blocage temporaire des fermentations</i></p> <p><i>Utilisation de produits dangereux</i></p> <p><i>Difficultés de stockage</i></p> <p><i>Production de boue augmentée</i></p> <p><i>Technique peu adaptée à des stations d'épuration de petites collectivités</i></p>

4.2. Conditionnement

4.2.1. Conditionnement des boues par polyélectrolyte

Principe

Polymères de synthèse porteurs de charges électriques positives, les polyélectrolytes cationiques déstabilisent les charges des particules des boues et permettent par leurs longues molécules une floculation en grains de taille importante présentant une stabilité accrue.

L'efficacité des polymères est accrue lorsqu'il est introduit en solution diluée dans les boues à conditionner. Une solution mère à 3 ou 4 g/l doit donc être préparée, une dilution complémentaire étant souhaitable (diluteur en ligne).

Le conditionnement, nécessaire pour la déshydratation sous pression, peut aussi être utilisé pour améliorer l'épaississement des boues et pour augmenter la vitesse de resuyage sur des lits de séchage.

Le poste de conditionnement est donc quasi systématique dès lors que la filière d'évacuation n'aboutit pas à la valorisation agricole de boues liquides.

Conception

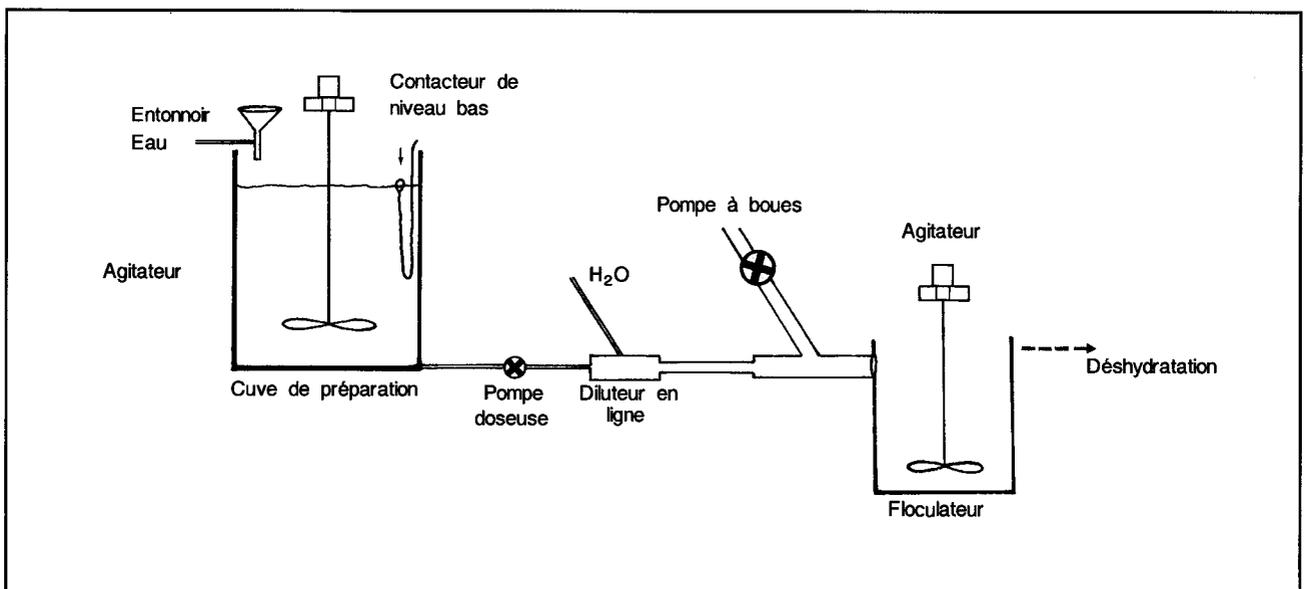


Figure 6 : Conditionnement des boues.

Conditionnement des boues

Sur des installations relativement importantes on installe deux cuves de préparation afin de gagner en souplesse d'exploitation et, en particulier, d'éviter les arrêts de machines de déshydratation liés à la préparation du polyélectrolyte. Cette préparation est assez longue et il est souhaitable, comme c'est le cas pour des produits de texture proche - les colles à papier,

par exemple - , de le laisser se dissoudre quelques heures afin d'éviter le gaspillage par grumeaux (fig. 6).

La pompe doseuse doit être réglable et fiable. Le floculateur n'est pas indispensable et peut être remplacé par un cheminement en serpentin de la conduite où transite le mélange boues-polyélectrolyte.

Dimensionnement

Chaque cuve de préparation doit contenir la solution de polyélectrolyte nécessaire pour une journée de travail (une demi-journée si deux cuves sont installées comme c'est souhaitable sur les stations de taille importante). En effet, le polyélectrolyte ne conserve ses qualités que

quelques jours et la déshydratation des boues n'intervient le plus souvent sur de petites installations qu'une ou deux fois par semaine, au moins en situation de sous-charge.

En pratique, on aura le plus souvent :

- Volume de la cuve de préparation : 1 à 1,5 m³

- Agitateur de la cuve de préparation
— puissance installée (p.i.) : 0,15 à 0,37 kW
- Pompe doseuse p.i. : 0,2 kW
- Dilution supplémentaire réglable par vanne manuelle contrôlée par rotamètre.

- Floculation
— volume : quelques dizaines de litres
— puissance installée de l'agitateur lent : 0,2 kW

Exploitation - Efficacité

Elle consiste essentiellement à peser la quantité de polyélectrolyte mise en solution, à réaliser la dilution à quelques grammes/litre (remplissage de la cuve) par un entonnoir assurant l'entraînement du polyélectrolyte et l'agitation jusqu'à homogénéité parfaite. Le temps consacré à cette opération peut être estimé à une demi-heure par cuve de préparation. Le

réglage de la pompe doseuse doit conduire à un taux de traitement de 3 à 4 g de polyélectrolyte (matière active) par kg de manière sèche des boues. Si une telle dose n'est pas suffisante pour assurer un conditionnement approprié au système de déshydratation il convient de rechercher un polymère mieux adapté aux qualités des boues à traiter.

Avantages - Inconvénients

Rappelons que le conditionnement des boues est nécessaire dès lors que l'on veut les soumettre à une pression pour les déshydrater.

Avantages	Inconvénients
<i>Le plus simple des conditionnements et le moins onéreux</i>	<i>Sensibilité de l'efficacité du polymère aux variations des caractéristiques intrinsèques des boues</i>

Autres applications

— **Cas du conditionnement sur lit de séchage.** Le conditionnement grossier utile pour aider le ressuyage des boues sur lit de séchage peut être obtenu, avec des doses raisonnables de réactif (de l'ordre de 4 g/kg matière sèche), avec une mise en œuvre beaucoup plus rustique que celle décrite ci-dessus (fig. 7). On peut, en effet, se contenter de distribuer à l'aide d'un robinet le contenu d'un récipient contenant, en solution légèrement diluée, la dose correspondant au remplissage du lit de

séchage. Eventuellement les polymères liquides du commerce peuvent être utilisés directement ou peu dilués manuellement.

— **D'autres conditionnements** peuvent être envisagés. En pratique, sur des installations de petite taille, on ne rencontre que l'adjonction de chaux en vue de la stabilisation des boues qui permet alors d'utiliser, au niveau de la déshydratation, des doses de polyélectrolytes plus réduites.

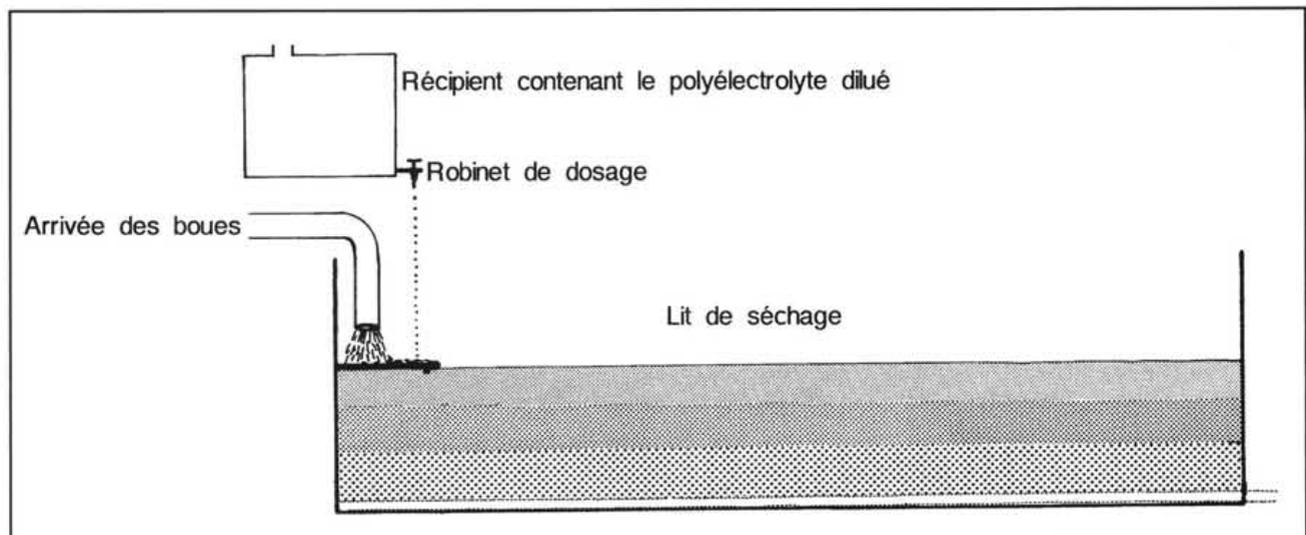


Figure 7 : Conditionnement rustique (lit de séchage).

4.3. Concentration

4.3.1. Épaisseur

Principe

L'épaisseur est un ouvrage calme dans lequel un temps de repos des boues de quelques heures permet la séparation d'une phase liquide, le surnageant. C'est donc uniquement sous l'action des forces de gravité que la séparation des deux phases se produit suivant les principes appliqués au stade du traitement des eaux dans les décanteurs.

Les critères de dimensionnement admis varient selon l'origine des boues :

	Charge spécifique moyenne kg m ² /j	Charge superficielle moyenne m ³ /m ² /j
Boues primaires	125	1
Boues secondaires	45	0,5
Boues mixtes fraîches	90	1
Boues digérées	80	1

Dans le cas d'alimentation discontinue, le ratio de charge superficielle ne constitue pas une contrainte compte tenu des temps de repos avant extraction du surnageant.

N.B.

L'épaississement des boues a souvent été regroupé avec le stockage, d'où l'usage regrettable de la notion de silo-concentrateur. La médiocrité des diverses fonctions dans ces ouvrages mixtes : évacuation du surnageant difficile, présence de boues flottantes, retour en tête d'eaux chargées et surtout favorisant des disfonctionnements biologiques du fait de leur septicité et des recensements en microorganismes indésirables pour le traitement des eaux, évolution anaérobie des boues préjudi-

ciales à leur déshydratation ultérieure, fait préférer l'usage d'un **épaisseur** en vue de la concentration des boues et d'un **silo de stockage** d'où l'on peut éventuellement soutirer des eaux surnageantes.

Dans les petites installations, l'épaisseur statique est généralement utilisé (fig 8). Le système de reprise des eaux doit permettre d'évacuer de l'eau placée éventuellement sous une couche de boues flottantes.

Dimensionnement : (boues activées en aération prolongée)

Le volume doit permettre de recevoir **une purge** de boues, c'est-à-dire l'évacuation du volume correspondant à l'abaissement d'environ un gramme/litre de la concentration du bassin d'aération

D'où : — volume de l'ouvrage : 15 à 20 l/éq. hab.

— hauteur de la partie droite : 2 à 3 m

— pente des parois au fond : ≥ 45 degrés.

Exploitation

L'absence d'appareillage mécanique rend l'exploitation des épaisseurs particulièrement simple. L'évacuation des eaux doit toutefois recevoir l'attention de l'exploitant afin d'être aussi efficace que possible.

Dans le cas de valorisation agricole de boues sous forme liquide, la tendance qui s'instaure est de simplifier l'exploitation en automatisant les extractions de boues. L'épaisseur travaille alors en surverse. Il est fréquent dans ce cas de connaître quelques difficultés : une couche de boues concentrées en surface est alors renvoyée en tête de station. Si la prise de boues

est réglable, il convient de surveiller la pertinence du réglage et d'équiper la conduite d'évacuation d'une vanne automatique.

Dans le cas (malheureusement trop fréquent) où un silo est utilisé de cette manière, les problèmes identiques sont plus importants du fait de la charge polluante retournant au traitement des eaux. Par contre, comme nous le verrons plus loin, l'installation d'un agitateur peut permettre une gestion évitant les retours de boues concentrées à la place d'eaux surnageantes.

Efficacité

L'efficacité d'un épaisseur dépend beaucoup de la qualité de la boue qui l'alimente. Avec des boues d'aération prolongée, les concentrations obtenues s'étagent entre 20 et

25 g/l pour les boues présentant des décantabilités faibles (Indice de boue > 250 ml/g), entre 40 et 50 g/l pour les boues les plus minérales (dont l'indice est inférieur à 80 - 100 ml/g). A