

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION GÉNÉRALE	12
1.1.	Problématique	12
1.2.	Objectif de l'étude.....	13
1.3.	Objectifs spécifiques	13
1.4.	Organisation du secteur des boues de vidange au Sénégal.....	14
1.4.1.	Aspects institutionnels	14
1.4.2.	Aspects législatifs et réglementaires	14
2.	REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	15
2.1.	Boues de vidange.....	15
2.1.1.	Définition des boues de vidange	15
2.1.2.	Production de boues fécales.....	15
2.1.3.	Qualité des boues fécales	15
2.1.4.	Typologie des boues fécales	16
2.1.5.	Options de traitement.....	17
2.1.6.	Quelques expériences menées.....	19
2.2.	Techniques de séparation solide-liquide	19
2.2.1.	Principe de la décantation	20
2.2.2.	Objectifs de la séparation solide/liquide	21
2.2.3.	Caractéristiques des suspensions	22
2.2.4.	Différents types de décantation.....	23
2.2.5.	Différents types de décanteurs	24
2.2.6.	Vitesse de décantation.....	29
2.2.7.	Temps de sédimentation	30
2.2.8.	Indice de boue	31
2.2.9.	Digestion anaérobie	31
2.2.10.	Épaississement	32
2.2.11.	Expérience d'Achimota (Ghana)	32
3.	MATÉRIELS ET MÉTHODES	34
3.1.	Matériel	34
3.2.	Description du dispositif expérimental	34
3.2.1.	Bassins de sédimentation épaississement.....	35
3.2.2.	Lits de séchage non plantés.....	37
3.2.3.	Digesteur anaérobie primaire suivi d'un bassin anaérobie secondaire.....	37
3.3.	METHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	38
3.3.1.	Caractérisation des boues de vidange de Dakar	38
3.3.2.	Suivi des performances du décanteur/épaississeur.....	39
3.3.3.	Prélèvement et échantillonnage	41

4.	RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSIONS	42
4.1.	Caractérisation des boues de vidange de Dakar	42
4.1.1.	Tests de sédimentation avec cônes d'Imhof.....	42
4.1.2.	Refus de grille au niveau des boues de vidange.....	46
4.1.3.	Teneurs en sables des boues de vidange	49
4.1.5-	Variabilité de la composition des boues de vidange de Dakar.....	52
4.1.6-	Comparaison des boues de la déposante et de la SETBV	53
4.1.7-	Classification des BV de Dakar parmi les autres boues de quelques régions du monde	55
4.2.	Performances des décanteurs épaisseurs	57
4.2.1.	Influence de la variation de charge	58
4.2.2.	Influence du mode de fractionnement des charges sur la qualité du surnageant.....	65
4.2.3.	Influence du temps de séjour des boues sur la qualité du surnageant	67
4.2.4.	Rendement épuratoire des décanteurs/épaisseurs	71
4.2.5.	Qualité du surnageant des décanteurs	76
4.3.	Caractérisation des boues épaissees	77
4.3.1.	Evaporation au niveau des décanteurs/épaisseurs.....	78
4.3.2.	Pourcentage des boues épaissees	79
4.3.3.	Caractéristiques des boues épaissees	81
4.3.4.	Facteurs influençant l'épaisseissement des boues	84
4.3.5.	Evolution des paramètres dans les boues épaissees	85
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....		88
Conclusion		88
Perspectives		90
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		91
ANNEXES.....		94

Liste des acronymes et abréviations

AIT	Institut Asiatique de Technologie (Bangkok)
ADEME	Agence Départementale pour l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie
BV	Boues de Vidange
CF	Coliformes Fécaux
CREPA	Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faibles coûts
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
D/E	Décanteur/Epaississeur
Eawag	Institut Fédéral Suisse de Recherche sur l'Eau
EDE	Eaux Déchets et Environnement ; ingénieurs conseils
FS	Boues Fécales
FSTP	Station de Traitement de Boues de Vidange
MS	Matières sèches totales
MES	Matières En Suspension
MVS _T	Matières Volatiles Sèches totales
MVSS	Matières Volatiles Sèches en Suspension
NTK	Azote Total Kjeldahl
OMD	Objectif du Millénaire pour le Développement
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONAS	Office Nationale de l'Assainissement du Sénégal
PLT	Programme Eau à Long Terme
Sandec	Département eau et assainissement dans les pays en développement de l'Eawag
SDE	Sénégalaise Des Eaux
SETBV	Station Expérimentale de Traitement de Boues de Vidange
STEP	Station d'Épuration
SONEES	Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal
SONES	Société Nationale des Eaux du Sénégal
UCAD	Université Cheikh Anta Diop de Dakar
WRI	Water Research Institute (Institut de Recherche en Eau) Ghana
WSP	Waste Stabilisation Plant (Traitement par lagunage)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des boues de vidange.....	17
Tableau 2 : résultats de l'expérience de Bangkok.....	19
Tableau 3: Temps de décantation des particules de différentes tailles.....	30
Tableau 4: Test de sédimentation type avec désintégration de la boue sédimentée.....	44
Tableau 5: Caractéristiques moyennes des boues de vidange brutes de Dakar.....	51
Tableau 6: Comparaison des valeurs moyenne de la SETBV et de celles de la déposante... ..	53
Tableau 7 : Comparaison des boues de vidange de Dakar avec celles produits dans diverses régions du Monde	55
Tableau 8 : Vidange complète et évacuation des boues chez les bénéficiaires du camion ...	56
Tableau 9 : Comparaison entre les eaux usées brutes dessablées et décantées au niveau de la STEP de Cambérène avec les surnageants de la SETBV.	77
Tableau 10 : Caractéristiques des boues épaissees	81
Tableau 11 : Comparaison des MS de la déposante de Cambérène et de la SETBV	83
Tableau 12 : Comparaison des boues brutes et des boues épaissees	84

Liste des figures

Figure 1 : options spécifiques de traitement des boues de vidange (BV) dans les pays en voie de développement. (Source EAWAG,)	18
Figure 2 : Schéma d'un bac de décantation	24
Figure 3 : Schéma d'un décanteur à flux horizontal (loi de Hazen)	25
Figure 4 : Vitesses de sédimentation dans une éprouvette verticale et dans une éprouvette inclinée (Techniques de l'ingénieur).	27
Figure 5 : Schéma des lamelles d'un décanteur lamellaire	28
Figure 6 : Schéma de la digestion anaérobiose des déchets et effluents organiques	32
Figure 7 : Disposition des différentes couches dans un décanteur épaisseur (Achimota FSTP, Accra).	33
Figure 8 : Coupe longitudinale schématique du décanteur épaisseur	36
Figure 9 : Les différentes filières de la station expérimentale de Cambérène et son fonctionnement	38
Figure 10 : Courbe des variations moyennes des matières sédimentées en fonction du temps	43
Figure 11 : Courbe d'évolution de la vitesse de sédimentation en fonction du temps	45
Figure 12 : pourcentage massique des différentes classes de déchets.	47
Figure 13 : Composition des ordures ménagères	48
Figure 14 : Variation de la teneur de sable dans les boues brutes	50
Figure 15 : Fréquence de vidange des fosses dans la commune de Sahm-Notaire	57
Figure 16 : Variation des MES en fonction d'une variation de charge journalière sans surverse suivi de 10 jours d'épaisseissement	58
Figure 17 : Variation des MVS en fonction d'une variation de charge journalière sans surverse suivi de 10 jours d'épaisseissement	59
Figure 18 : Variation de la DCO en fonction d'une variation de charge journalière sans surverse après 10 jours d'épaisseissement	60
Figure 19 : Variation des MES en fonction d'une variation de charge journalière sans surverse suivi de 15 jours d'épaisseissement	60

Figure 20 : Variation des MVS en fonction d'une variation de charge journalière sans surverse suivi de 15 jours d'épaississement	60
Figure 21 : Variation de la DCO en fonction d'une variation de charge journalière sans surverse après 15 jours d'épaississement	61
Figure 22 : Variation des MS, MES, et MVS en fonction d'une variation de charge journalière avec surverse.	62
Figure 23 : Variation de la DCO en fonction d'une variation de charge journalière avec surverse.	63
Figure 24 : Evolution des MS en fonction de la charge pendant l'épaississement	64
Figure 25 : Evolution des MES en fonction de la charge pendant l'épaississement	64
Figure 26 : Evolution des MVS en fonction de la charge pendant l'épaississement	64
Figure 27 : Variation des MS en fonction du mode de fractionnement des charges	66
Figure 28 : Variation des DCO en fonction du mode de fractionnement des charges	66
Figure 29 : Variation des MES en fonction du mode de fractionnement des charges	66
Figure 30 : Variation des MVS en fonction du mode de fractionnement des charges	67
Figure 31 : Evolution des MES en fonction de la durée de l'épaississement avec 6 m^3 .	68
Figure 32 : Evolution des MES en fonction de la durée de l'épaississement avec 9 m^3 en 3 apports.	68
Figure 33 : Evolution des MES en fonction de la durée de l'épaississement avec 9 m^3 apport unique.	68
Figure 34 : Evolution des MES, MS et MVS en fonction de la durée de l'épaississement avec $4\text{m}^3/\text{j}$	69
Figure 35 : Evolution des MES, MS et MVS en fonction de la durée de l'épaississement avec $2\text{m}^3/\text{j}$	69
Figure 36 : Evolution de la DCO en fonction de la durée de l'épaississement avec 6 m^3 .	70
Figure 37 : Evolution de la DCO en fonction de la durée de l'épaississement avec 9 m^3 en 3 apports.	70
Figure 38 : Evolution de la DCO en fonction de la durée de l'épaississement avec 9 m^3 apport unique.	70
Figure 39 : Variabilité des boues d'alimentation selon les cycles	71
Figure 40 : Rendement en MES en fonction de la qualité des boues brutes	72
Figure 41 : Rendement de la DCO en fonction de la qualité des boues brutes	72
Figure 42 : Rendement épuratoire avec une alimentation de $9\text{m}^3/\text{j}$ (apport unique) sans surverse.	74
Figure 43 : Rendement épuratoire du décanteur pendant l'alimentation	75
Figure 44 : Rendement pendant l'épaississement après une alimentation avec surverse	76
Figure 45 : Courbe d'évolution du sable selon les cycles à l'entrée et à la sortie du D/E	82
Figure 46 : Courbe d'évolution des MS et MVS _i en fonct° de la durée de l'épaississement	85
Figure 47 : Courbe d'évolution du rapport MVS _i /MS en fonction de la durée de l'épaississement	86
Figure 48 : Courbe d'évolution de la MS et du pourcentage de boues épaissees en fonction de la durée de l'épaississement	86

Liste des photos

Photos 1 : Bassin de stockage et hélices de l'agitateur-----	35
Photo 2 : Illustration du dispositif expérimental -----	35
Photo 3 : Grille du bassin de stockage avant et après un dépotage -----	46
Photo 4 : Déchets solides des boues de vidange -----	47
Photo 5 : Déchets solides accumulés dans le canal de la déposante de Cambérène -----	54
Photo 7: Croûte de flottants de la première cloison-----	79
Photo 8: Boues épaissees au fond du décanteur-----	80

RÉSUMÉ

L'assainissement autonome a généré; 1350 m³ de boues brutes par jour à Dakar en 2005 produits par 75 % de sa population. Cependant les boues de vidange, principaux sous produits de cette forme d'assainissement ne font pas l'objet d'une bonne prise en charge encore moins d'un traitement adéquat.

L'objectif de cette étude est de trouver des critères fiables de dimensionnement d'un décanteur/épaississeur de boues fécales domestiques. D'abord une caractérisation des boues de vidange de Dakar a été effectuée en portant un accent particulier sur leurs teneurs en sable et en déchets solides ainsi que de leurs matières décantables. Ensuite deux bassins de sédimentation ont été soumis à différentes charges, différents modes de fractionnement des volumes et des temps de séjour des boues différents. Les matières en suspension, les matières sèches (MS), les matières volatiles en suspension (MVS) et la demande chimique en oxygène (DCO) du surnageant des bassins ont été suivies pendant l'alimentation et durant l'épaississement. Enfin les volumes des boues épaissies et leurs caractéristiques ont été évalués.

Les investigations ont montré que les boues de vidange de Dakar ont des teneurs en matières sèches de 3,5 g/L dont 45 % de matières volatiles. Les matières en suspension et la DCO sont présentes dans ces boues à des teneurs respectives de 2130 g/L et 3853 mg O₂/L. Ces boues brutes contiennent également 1 kg de sable et 277 g de déchets solides par mètre cube. Cependant, les boues de Dakar se sont révélées moins concentrées que les boues de vidange des autres régions du Monde.

Le suivi du surnageant des décanteurs a montré que l'apport d'une charge unique est plus efficace que des apports multiples ; de même une charge journalière plus petite est plus efficiente qu'une charge plus grande. Le prolongement du temps de séjour des boues n'est bénéfique que pour les boues épaissies. Le pourcentage de ces dernières varie de 0,04 à 0,05% soit 0,04 m³/m³ à 0,05 m³/m³ de boues brutes envoyées dans les décanteurs/épaississeurs. Ce pourcentage diminue en fonction d'une augmentation du temps de séjour pendant que les matières sèches augmentent dans les boues épaissies. Ces boues épaissies sont de 17 à 20 fois plus concentrées que les boues brutes pour les paramètres mesurés.

Le système de traitement est plus efficace pour les MES, les MVS (80 à 90%), la DCO (60 à 80 %) et il est moins efficace pour les MS (50 %). Ce traitement primaire est suffisant pour coupler une déposante à une station classique de traitement d'eau usée municipale. Cependant la détermination de son autonomie et de ses limites demande de plus amples investigations.

Mots clés : *boues de vidange ; décanteur/épaississeur ; sable ; déchets solides dans les boues ; boues épaissies ; assainissement autonome.*

1. INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1. Problématique

L'eau est une ressource rare, partagée par tous mais inégalement répartie; elle est gaspillée par certains alors que la majorité en manque; elle est indispensable à la vie et au développement mais, lorsqu'elle est altérée, elle est l'une des causes essentielles de maladies et de mortalité dans les pays en développement (PNUE, 2003). Pour faire face à ces problèmes, l'assainissement apparaît comme un maillon indispensable à la protection de l'Environnement, à l'amélioration de la Santé publique et surtout à la préservation des eaux de surface et des nappes.

Au Sénégal comme un peu partout dans les pays en développement, le déficit en assainissement collectif (réseau d'égouts, station d'épuration) pousse les populations à se rabattre sur les systèmes d'assainissement autonomes (fosses septiques, latrines, fosses à vidanger, ...). En effet, plus de 70% de la population dakaroise sont encore desservis par l'assainissement individuel. Cet assainissement dit non conventionnel génère à Dakar d'importantes quantités de boues de vidange : en 2001, la quantité de boues soutirée des fosses tournait autour de 158 070 m³, elle est passée en 2005 à 172 445 m³ (Ndiaye, 2007). Ces importantes quantités de boues sont très mal gérées et sont, pour l'essentiel, directement rejetées dans le milieu naturel. Selon une étude du CREPA faite en 2005, à la cité Diouunkhop (Sam-Notaire), 74% des boues sont déversées dans la rue et 7% dans les cours des concessions.

Par ailleurs, pour l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD), le Sénégal s'est fixé un objectif de faciliter l'accès à l'assainissement à près de 544 770 ménages en 2015 dont 63% par l'assainissement autonome (PLT, Sénégal). L'assainissement autonome a par conséquent de beaux jours devant lui.

Il faut par ailleurs, souligner que le déficit d'accès aux infrastructures d'assainissement adéquat engendre de graves situations d'insalubrité qui à terme, compromettent durablement la qualité de l'environnement et la santé des populations. C'est ainsi que chaque année, dans les pays en développement, des maladies liées au manque d'assainissement comme, entre autres, le choléra, la diarrhée et les infections intestinales sont en grande partie responsables de la mortalité infantile. En effet, quatre milliards environ de cas de diarrhée provoquent environ 2,2 millions de décès, la plupart chez des enfants de moins de 5 ans (OMS, 2003).

Dans un tel contexte, la gestion appropriée des boues de vidange, principaux sous-produits de l'assainissement autonome, apparaît comme un maillon important qui malheureusement fait défaut dans les efforts de valorisation intégrée d'assainissement urbain (CCAE, 2004). Cette gestion rationnelle va passer par la mise au point de systèmes performants de collecte et de traitement des boues de vidange centré autour de la réutilisation des sous-produits de traitement. Cette réutilisation devra aider à pallier les difficultés des paysans à trouver des fertilisants et à réduire l'utilisation des engrains chimiques préjudiciables à l'environnement.

Dans cette perspective, le Département Eau et Assainissement dans les pays en Développement (SANDEC) de l'EAWAG qui a un mandat de recherches appliquées dans le domaine des technologies d'assainissement à faible coûts pour les pays en développement s'est engagé, en partenariat avec l'Office National de l'Assainissement du Sénégal en association avec l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar dans un projet dont l'objectif est de développer des options appropriées de gestion des boues de vidange provenant de toilettes individuelles et publiques (latrines, fosses septiques et cabinet à eau) qui ne sont pas raccordées à un réseau d'égouts.

1.2. Objectif de l'étude

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la maîtrise des technologies de traitement des boues de vidange issues de l'assainissement individuel domestique. Il s'agit plus précisément d'une évaluation de l'efficacité de la séparation solide/liquide d'un bassin de décantation/épaississement soumis à différentes charges de boues de vidange et à des modes d'alimentation et des temps d'épaississement variés dans une perspective de mise au point de critères fiables de dimensionnement d'un tel ouvrage.

1.3. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de cette étude tournent autour de :

- **La caractérisation des boues de vidange de Dakar :** avec comme souci l'évaluation des paramètres suivants:
 - les teneurs en sable,
 - les quantités de déchets solides ou refus de grille,
 - les matières décantables,
 - les paramètres physicochimiques (pH, azote, phosphore, DCO, ...);
- **L'évaluation des performances d'un décanteur/épaississeur** soumis à :
 - différentes charges,
 - différents modes de fractionnement des charges et,
 - différents temps de séjour des boues.
- **L'évaluation des caractéristiques des boues épaissees** pour lesquelles deux facteurs essentiels vont être suivis : le pourcentage de boues que l'on peut épaisser par rapport au volume de boues brutes envoyé et les caractéristiques des boues épaissees. Le volume du bassin occupé par la boue épaisse et son influence sur la qualité du surnageant est aussi suivi.

1.4. Organisation du secteur des boues de vidange au Sénégal

1.4.1. Aspects institutionnels

Pour assurer le développement du secteur de l'Hydraulique Urbaine et de l'Assainissement, l'Etat du Sénégal a procédé en 1995 à la réforme institutionnelle de ce secteur. Cette réforme a donné naissance à l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS) qui est un organisme chargé du service public de l'assainissement. Il est responsable de la politique de l'assainissement, de la réalisation et de l'entretien des équipements. L'ONAS est aussi chargé de la collecte, du traitement, de la valorisation et de l'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales en zones urbaines et périurbaines.

L'ONAS tire principalement ses ressources de la redevance assainissement collectée par l'exploitant du service public de l'eau potable à savoir la Sénégalaise Des Eaux(SDE) (MBÉGUÉRÉ, 2002). Cependant malgré un vide institutionnel, le secteur des boues de vidange est aujourd'hui pris en charge par l'ONAS par l'intermédiaire de sa direction de l'assainissement autonome. Il a jusqu'ici mis sur place trois déposantes de boues de vidange à Cambérène, Rufisque et dans les Niayes.

La gestion des boues de vidange se fait avec la collaboration de partenaires que sont : l'Etat représenté par l'ONAS, les vidangeurs mécaniques et manuels, les populations locales, les collectivités locales et certaines ONG qui œuvrent dans le secteur en appui aux populations

1.4.2. Aspects législatifs et réglementaires

Dans le souci de protéger l'environnement et la santé des populations, la législation sénégalaise a élaboré un cadre juridique qui réglemente entre autres, l'usage des ressources en eaux du Sénégal ainsi que de leur protection. Le secteur de l'assainissement est régi par différents textes de lois répartis dans trois codes : le code de l'eau, le code l'hygiène et le code de l'environnement. La gestion des eaux usées domestiques occupe une place importante dans ces codes (Mbégué, 2002).

Il ressort de l'étude de ces différents textes de lois que les institutions et les réglementations sont plutôt orientées vers la gestion des eaux usées et de la qualité de l'environnement en général mais ne sont pas spécifiquement tournés à la gestion des boues de vidange.

2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. Boues de vidange

2.1.1. Définition des boues de vidange

Les boues fécales sont définies comme des boues de consistance variable qui s'accumulent dans les fosses septiques, dans les latrines à fosse ou latrines traditionnelles et dans les toilettes publiques. Elles sont composées essentiellement de différentes matières fécales solides flottantes ou sédimentées ainsi que d'autres matières non fécales (Strauss et al, 1998).

2.1.2. Production de boues fécales

D'après des investigations menées au Ghana, la production journalière des boues de vidange s'élève à environ 0,20 litre/habitant pour les latrines à fosse, à 1 litre/habitant pour les fosses septiques et à 2 litres/habitant pour les toilettes publiques non raccordées au réseau d'égout (Koné, 2003).

La production journalière de boues de vidange à Dakar s'élèverait à 0,75 litre/jour. Ainsi, la production annuelle a été évaluée, en 2005, à 1350 m³/jour produits par 75% d'une population estimée à près de 2,4 millions de personnes (Tounkara, 2007).

2.1.3. Qualité des boues fécales

Contrairement aux boues de station d'épuration d'eaux usées municipales, les caractéristiques des boues fécales sont très variables selon les localités. Elles diffèrent de ménage à ménage; des quartiers périphériques à ceux du centre-ville, et de ville en ville (Strauss et al, 2003). Plusieurs facteurs sont à l'origine de la variation de la qualité des boues fécales dont les plus importants sont :

- la durée de stockage,
- le mélange à de la graisse ou à des déchets organiques de cuisine,
- l'ajout d'eau pour vider les latrines à fosse (ou le plus souvent l'eau grise),
- la température pendant le stockage,
- la performance des fosses septiques,
- la technologie de vidange des fosses (Strauss et al, 1998).

Les concentrations en DBO, en DCO et en azote total dans les eaux usées domestiques varient respectivement de 110 à 350 mg/litre, 250 à 800 mg/litre et 20 à 70 mg/litre (Metcalf & Eddy, 2003). L'ammonium et les polluants organiques ont des concentrations qui sont 10 à 100 fois plus élevées dans les boues fécales que dans les eaux usées municipales. Par conséquent, les boues de vidange sont très différentes des eaux usées urbaines, comme le prouvent aussi les paramètres suivants :

- le rapport de la DCO des boues fécales et celle des eaux usées urbaines se situe entre 20 et 150,
- les boues fécales sont moins biodégradables que les eaux usées municipales: le rapport DCO/DBO varie de 5 à 10,
- seul 5 à 20% de la DBO est conservés dans les solides en suspension (Strauss et al.1999).

Dans de nombreuses régions d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine, les helminthiases, notamment les infections de nématodes (Ascaris, Trichuris, Ankylostoma, Strongyloïdes, etc.) sont très répandues. Les œufs d'Ascaris sont particulièrement persistants dans l'environnement. L'essentiel des œufs d'helminthes contenus dans les matières fécales ou dans les eaux usées finit dans les boues générées au cours du traitement. Par conséquent, dans de nombreux endroits, les œufs de nématodes sont les indicateurs de choix pour déterminer la qualité hygiénique que les boues doivent avoir pour être utilisées comme amendement de sol et d engrais. La concentration des œufs d'helminthes dans les boues est largement tributaire de la prévalence et de l'intensité de l'infection dans la population auprès de laquelle les boues ou les eaux usées sont collectées. Lorsque l'utilisation de boues en agriculture est une pratique courante, le traitement doit viser à réduire les œufs d'helminthes et leur viabilité ; aussi, le temps de stockage des boues doit être suffisamment long pour atteindre la réduction souhaitée (Martinet al).

2.1.4. Typologie des boues fécales

Les boues fécales sont classées en deux types :

- ✖ Type A: cette boue est dite de haute consistance ; ce sont les boues des toilettes publiques ou des seaux d'aisance. Elles sont fraîches et ne sont habituellement stockées que de quelques jours à plusieurs semaines. Les concentrations sont très élevées et vont respectivement de 20000-50000 mg/L et de 2000-5000 mg/L respectivement pour la DCO et l'azote ammoniacal.
- ✖ Type B: cette boue est de faible consistance et elle est généralement stockée plusieurs années dans des fosses septiques. Elle est beaucoup moins chargée que le type A ; la DCO et l'azote ammoniacal dépassent rarement 10000 mg/L et 1000 mg/L, respectivement (Strauss et al, 1997).

Tableau1 : Classification des boues de vidange

(Source EAWAG, 2006)

	Type "A" forte concentration	Type "B" faible concentration	Eaux d'égout
Exemple	Boues de toilettes publiques et de latrine	Fosse septique	Eaux d'égout tropicales
Caractérisation	Boues fécales fraîches fortement concentrées la plupart du temps stockées pendant des jours ou quelques semaines seulement	Boues fécales de faible concentration habituellement stockées plusieurs années et plus stabilisées que celles du type "A"	
DCO mg/l	20, - 50,000	< 15,000	500 - 2,500
DCO/DBO		5 : 1 10 : 1	2 : 1
NH4-N mg/l	2, - 5,000	< 1,000	30 - 70
MS mg/l	≥ 3.5 %	< 3 %	< 1 %
MES mg/l	≥ 30,000	≡ 7,000	200 - 700
Œufs d'helm N°.1	20, - 60,000	≡ 4,000	300 - 2,000

Les boues fécales du Sénégal peuvent être généralement classées dans la catégorie des boues de faible consistance. (Tounkara, 2007) En effet :

- ✗ les fosses septiques sont largement utilisés bien que ne répondant pas souvent aux exigences techniques,
- ✗ les toilettes publiques ne sont pas fréquentes,
- ✗ les boues issues des latrines sont minéralisées et solidifiées après deux années d'isolement.

2.1.5. Options de traitement

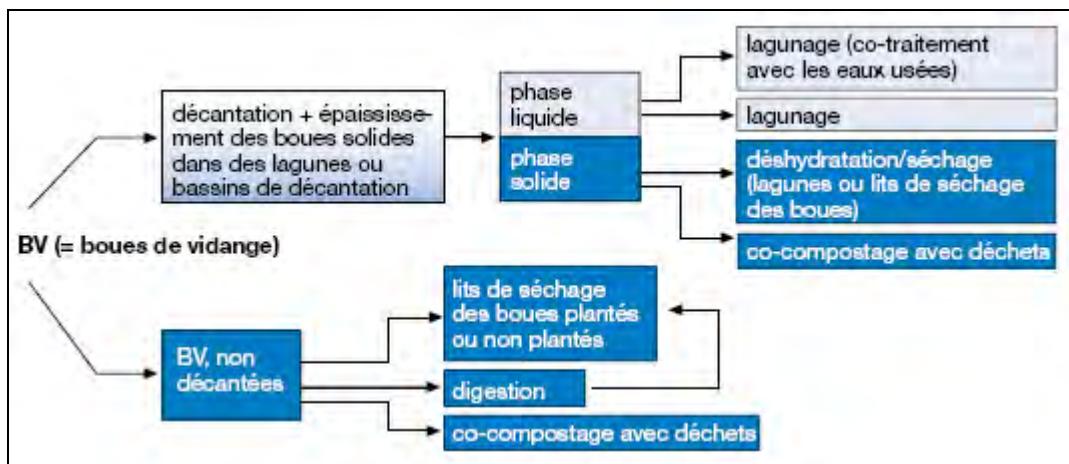
Differentes technologies sont utilisées pour le traitement des boues de vidange de systèmes d'assainissement individuel. Elles tournent autour de la sédimentation/épaississement, de la digestion anaérobie et de la déshydratation par lits de séchage.

- ✖ la sédimentation/épaississement : les boues brutes sont prétraitées dans un réservoir de sédimentation qui sépare les particules solides de la phase liquide. Les particules sédimentent et constituent la boue épaisse. Cette dernière est envoyée aux lits de séchage. Les solides sédimentés représentent 15 à 20 % du volume de boues brutes soit un rapport de 0,15 à 0,20 m³/m³ de boues fécales envoyées dans des bassins de sédimentation/ épaississement exploités à des cycles de plusieurs semaines (Strauss et al, 1998) ;
- ✖ la digestion anaérobie est principalement utilisée pour les boues non stabilisées qui sont difficiles à sédimerter (par exemple boues fraîches provenant des toilettes publiques en général);
- ✖ la déshydratation se fait sur des lits de séchage nus ou plantés. Les lits de séchage des boues, non plantés, visent à séparer et à réduire la charge polluante dans la percolation ; les solides sont séchés et peuvent également être compostés ou éliminés (Cofie et al, 2006). Les lits plantés sont généralement utilisés pour séparer les solides et les liquides et pour réduire la concentration des éléments nutritifs dans le percolât avec l'avantage d'accepter de hautes charges de matières solides en suspension.

Ces options de traitement produisent toutes des surnageants concentrés qui ont besoin d'être traités par d'autres systèmes qui sont :

- le bassin de stabilisation : cas de l'Argentine,
- le co-traitement avec les eaux usées domestiques : exemple de la déposante de Cambérène au Sénégal,
- le traitement sur culture fixée : système de biofilms; filtre intermittent de sable, lits bactériens etc. (Tounkara, 2007).

Figure 1 : Options spécifiques de traitement des boues de vidange (BV) dans les pays en voie de développement. (Bulletin Eawag, 2000)



Ces options de traitement de boues de vidange ont été expérimentées dans quelques endroits à travers le monde.

2.1.6. Quelques expériences menées

* **Bangkok:** Zones humides et étangs de stabilisation des boues de vidange

Des lits plantés de roseaux ont été étudiés à l'Institut Asiatique de Technologie (AIT) comme options pour le traitement des boues de vidange. La stabilisation et la déshydratation des boues sont combinées en un seul processus de traitement. Le procédé est basé sur les zones humides et nécessite une gestion soigneuse du niveau d'eau par un percolage. Le percolât résultant d'une charge de matières solides de $250 \text{ kg/m}^2/\text{an}$ doit faire l'objet d'un traitement ultérieur. (Strauss et al. 1998).

Les rendements de ce système de traitement sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 2 : résultats de l'expérience de Bangkok

(Source Strauss et al, 2000)

	Boues de fosse septique	Percolât	Rendement (%)
MS (mg/L)	10- 20 000	700	> 90
DCO totale (mg/L)	14 000	1 500	95
DCO filtrée (mg/L)	470	200	57
N _t (mg/L)	1 200	150	90

* **Argentine:** Co-traitement des eaux usées avec les boues fécales

L'expérience menée en Argentine a consisté au traitement d'un mélange de boues d'égout et de fosses septiques sur un étang de stabilisation. Il est composé de 2 unités de stockage de boues fécales fonctionnant en parallèles ; et de 2 lagunes en série. Le système a été alimenté à un taux constant de 20% de mélange (Ingallinella et al, 2000).

2.2. Techniques de séparation solide-liquide

Il existe différentes techniques de séparation solide/liquide dont des techniques thermiques et mécaniques. Ces dernières peuvent être divisées en trois grandes familles :

- La décantation

C'est un procédé permettant de séparer :

- soit une phase de matières en suspension dans un liquide de masse volumique moindre,
- soit deux phases liquides non miscibles de densités différentes.

Dans les deux cas l'action consiste à laisser reposer les phases en contact et à attendre un temps suffisant pour qu'elles se séparent sous l'action de la pesanteur. C'est une action simple mais longue ne nécessitant que peu de matériel, donc peu coûteuse, mais peu sélective. Elle ne met en jeu qu'une force extérieure constante, la pesanteur, et ne nécessite que d'éviter toute agitation ou toute action de mélange une fois que la séparation est faite. (Blazy, 2007).

- La centrifugation

Dans cette technique également appelée décantation (ou sédimentation) centrifuge, la séparation des phases est due à la différence de densité des constituants soumis au champ centrifuge. La décantation centrifuge obéit à des lois analogues à celles de la décantation statique, appelée aussi décantation gravitaire. Cependant, le champ de la pesanteur est remplacé par un champ de forces beaucoup plus intenses, ce qui permet de réduire la durée de la séparation, le volume des appareils, et d'augmenter le rendement de l'opération. . (Techniques de l'ingénieur, 2007)

- La filtration

La filtration est un procédé permettant de séparer une phase continue (liquide ou gazeuse) et une phase dispersée (solide ou liquide) initialement mélangées. La séparation se fait en faisant passer le mélange au travers d'un milieu filtrant, milieu poreux adapté aux caractéristiques de la suspension à filtrer sous l'action d'une force de pression fournissant à la suspension l'énergie nécessaire qui lui permet de traverser le milieu poreux. Elle suppose donc de définir le média filtrant adapté, ainsi que ses conditions de mise en œuvre, c'est-à-dire le filtre et son environnement.

Pratiquement l'application de la filtration aux méthodes analytiques ne concerne que les suspensions (solides dispersés dans un liquide) ou les fumées (solides dispersés dans un gaz) qui font appel au même milieu de filtration. (techniques de l'ingénieur, 2007)

2.2.1. Principe de la décantation

La décantation est une opération unitaire, parmi les techniques de séparation liquide-solide basées sur le phénomène de sédimentation, qui consiste à séparer d'un liquide les particules en suspension en utilisant les forces gravitaires (Techniques de l'ingénieur, 2007) :

Lors de la décantation, les particules, dont la densité est supérieure à l'eau, vont avoir tendance à s'accumuler au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur. Les particules seront éliminées du fond du bassin périodiquement et l'eau clarifiée se situant à la surface peut être évacuée.

On distingue deux types de particules décantables :

- les particules grenues qui se sédimentent indépendamment les unes des autres, avec une vitesse de chute constante,
- les particules plus ou moins floculées qui résultent d'une agglomération naturelle ou provoquée des matières colloïdales en suspension.

Lorsque la concentration de la matière est faible, le floc dispersé décante seul mais sa vitesse de chute augmente au fur et à mesure que ses dimensions se développent par suite d'une rencontre avec des particules plus fines, c'est la décantation diffuse.

Pour des concentrations élevées, l'abondance des flocons crée une décantation d'ensemble freinée, caractérisée par une interface nettement marquée entre la masse boueuse et le liquide surnageant : c'est la décantation à piston (Degremont ; 1978) :

Dans les tests de décantation avec cônes d'Imhof, la séparation de 4 phases avait été constatée notamment la phase séparant la couche de boues et la zone de décantation claire qui le surplombe. Les boues de vidange de Dakar rentrent alors dans la catégorie d'une décantation à piston.

2.2.2. Objectifs de la séparation solide/liquide

Les objectifs recherchés par les techniques de séparation solide/liquide peuvent être :

- soit une simple clarification, c'est à dire l'obtention d'un liquide complètement (ou quasi complètement) débarrassé de particules solides (ou liquides non miscibles) ; deux techniques sont utilisées la décantation statique et la décantation accélérée ;
- soit un épaissement ou une déshydratation, c'est à dire l'obtention d'une boue contenant la totalité des solides avec le minimum possible de liquide ;
- soit simultanément clarification et épaissement à la fois (ADEME, 2006).

Dans cette étude on vise ce dernier objectif c'est-à-dire l'obtention d'une boue épaisse et d'un surnageant débarrassé de la grande majorité de ses matières en suspension.

Si la décantation est efficace pour les MS, MES, MVS et DCO, elle ne l'est pas pour l'ammonium avec une élimination de seulement de l'ordre de 5 % (Strauss, 1998). L'élimination de l'azote dans les bassins de décantation est négligeable en raison de l'absence de nitrification dans le cadre de conditions anaérobies complètes. Dans les étangs, l'azote est principalement enlevé dans la forme organique par la formation d'une nouvelle biomasse qui, plus tard, s'installe et s'accumule dans les sédiments. Des pertes supplémentaires de l'ammoniac se produisent par volatilisation et la montée du pH au-dessus de 8 permet la formation de NH₃. (Heinss et al, 1998).

Selon ces arguments l'évolution de l'azote dans les bassins ne va pas être prise en compte dans cette présente étude.

2.2.3. Caractéristiques des suspensions

Les particules peuvent sédimerter selon des régimes différents du fait que le comportement de chaque particule est influencé à la fois par la dilution de la suspension et par les interactions entre les particules. On distingue les cas suivants (Dahlstrom et Fitch, 1985) :

- ✖ la sédimentation individuelle : elle est réalisée pour des dilutions importantes. Dans ce cas, chaque particule est suffisamment éloignée de sa voisine, et la vitesse individuelle de sédimentation décroît au fur et à mesure que la dilution de la suspension augmente ;
- ✖ la sédimentation des flocs : elle résulte de la collision des particules, elle est réalisée avec ou sans addition d'un agent floculant à la suspension diluée. On assiste alors à une clarification progressive et il n'y a pas d'interface nette entre le liquide surnageant et les particules en cours de sédimentation ;
- ✖ la sédimentation globale : elle résulte de la sédimentation d'une suspension concentrée au point que chaque particule ou floc soit en contact avec des entités adjacentes. On obtient alors une structure plastique et il se produit une sédimentation d'ensemble présentant une interface nette entre le liquide surnageant et la masse boueuse qui décante en piston ;
- ✖ la sédimentation en compression : elle prend le relais du régime précédent quand la structure de la pulpe devient suffisamment compacte pour développer une force de compression. La subsidence de chaque couche est ralentie par le comportement mécanique des couches sous-jacentes, chaque couche étant soumise à une compression qui entraîne l'expulsion du liquide et favorise ainsi l'augmentation de la concentration en solide ;
- ✖ la sédimentation hétérogène : elle correspond à un régime particulier où des perturbations interviennent dans la séparation des phases lors de la sédimentation en compression. Certaines pulpes présentent des mouvements locaux intermittents de liquide, ou de suspension diluée, de bas en haut. Ce phénomène peut se traduire à l'interface "liquide clair - pulpe" par le dégagement de bulles. Parfois, il prend naissance dès le régime de sédimentation globale. Le résultat final est un épaissement plus rapide de la pulpe.

La nature exacte des mécanismes mis en jeu est mal connue. Il faut noter que la transition entre les différents régimes se fait de manière continue et le classement qui vient d'être proposé constitue une simplification pour mieux les caractériser. (Techniques de l'ingénieur, 2007).

La sédimentation des boues de vidange ne correspond pas spécifiquement à l'un des types de sédimentation cités plus haut. Cependant elle présente quelques similitudes avec certains d'entre eux. Les particules peuvent être parfaitement visibles et éloignées si l'échantillon est de faible concentration comme dans la sédimentation individuelle. Dans ces cas le pourcentage de boues sédimentées est inférieur à la valeur moyenne de $0,04\text{m}^3/\text{m}^3$ de boues brutes et l'observation de l'interface surnageant-boues sédimentées est facilitée dès le début du test. Tandis que des fois cet interface reste invisible pendant 30 minutes de test. La solution est homogène avec de grosses particules. Cela ressemble à une sédimentation en flocs. Le dégagement de bulles vers la surface est visible avec les cônes Imhof et est très abondant dans les bassins de décantation mais une structure plastique n'a jamais été observée.

En définitive, la sédimentation des boues de vidange est de tendance individuelle ou à flocs selon la concentration qui reste constamment variable mais aussi de la dilution qui reste faible, de l'ordre de 0,3 %.

2.2.4. Différents types de décantation

Il existe différents types de décantation: la décantation statique, la décantation lamellaire, la décantation à contact de boues et la décantation à floc lesté.

La décantation statique :

Les particules sont considérées indépendantes et tombent à leur propre vitesse. L'écoulement doit être laminaire sans turbulences, ni courants. Le principe est que les particules atteignent le fond du décanteur avant de sortir.

La décantation lamellaire :

Des lamelles inclinées sont disposées dans le décanteur afin d'avoir de faibles surfaces admettant de plus forts débits.

La décantation à contact de boues aussi appelée en compression de boue :

La décantation-flocculation est améliorée si la concentration en particules augmente. L'eau flokulée et les boues déjà formées sont mises en contact.

La décantation à floc lesté :

Le lestage du floc par du microsable permet d'augmenter la densité des particules et par conséquent la sédimentation des particules (*Lenntech, Traitement de l'eau et de l'air*).

Les tests de décantation n'ont pas fait l'objet d'ajout de flocculant ou de microsable pour l'amélioration des performances. Pour les alimentations sans surverse il n'y a pas

d'écoulement donc pas de turbulences. Les alimentations avec surverse ont un débit d'alimentation de 250 litres/mn et un débit de sortie de 33 litres /mn seulement, les turbulences sont faibles dans les bassins donc la décantation est de type statique.

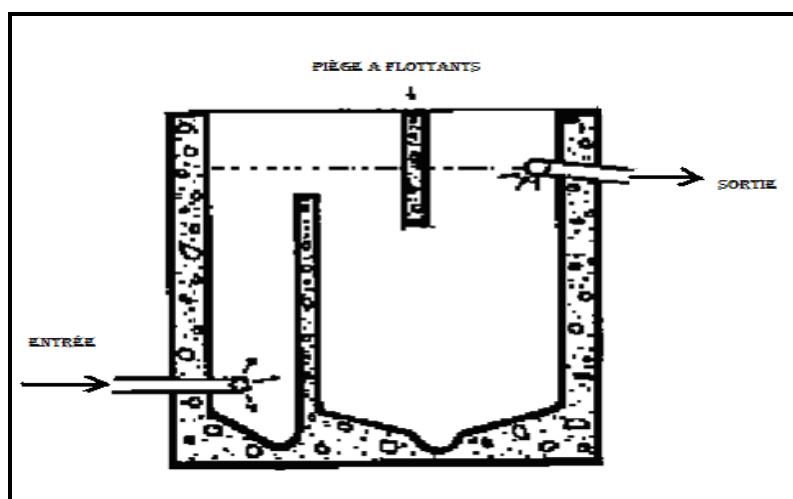
2.2.5. Différents types de décanteurs

Différents types de décanteur sont utilisés pour la séparation solide/liquide. Parmi ces équipements le bac de décantation est le plus simple. La compréhension de son fonctionnement va aider à appréhender celui des autres beaucoup plus compliqués.

✗ Bac de décantation

C'est avant tout un bac sur lequel l'arrivée et la sortie de l'eau sont positionnées à l'opposé l'un de l'autre pour éviter les courants d'eau préférentiels qui peuvent nuire à la décantation de la totalité du débit entrant. Le décanteur est également un piège à sédiments flottants. L'arrivée et le départ sont donc placés en hauteur et en décalage avec une protection pour éviter que les "flottants" s'introduisent dans le tuyau de départ (système de sous-verse). La vidange est largement dimensionnée de manière à créer un fort courant d'eau dans l'ouvrage quand elle est ouverte. Ce courant verse dans un puisard vers lequel convergent les pentes du fond du bac. L'élimination des sédiments piégés est ainsi facilitée. En assainissement, des bacs de décantation sont installés en tête de station d'épuration pour assurer le dessablage des eaux usées. Il s'agit d'ouvrages permettant l'élimination du sable. Ce sont des petits bassins de forme allongée dans lesquels l'eau transite à une vitesse faible de l'ordre de la vitesse de sédimentation des particules (Gallard, 1998).

Figure 2 : Schéma d'un bac de décantation (source Gallard, 1998)



✖ Décanteur à flux horizontaux

Dans ces bassins, la condition pour qu'une particule soit retenue est qu'elle ait juste le temps d'atteindre le fond avant le débordement ou la sortie de l'ouvrage.

Un décanteur horizontal est caractérisé par :

- le débit traversier Q , ou débit de surverse,
- sa surface S ,
- sa hauteur entre le plan d'eau libre et le radier h .

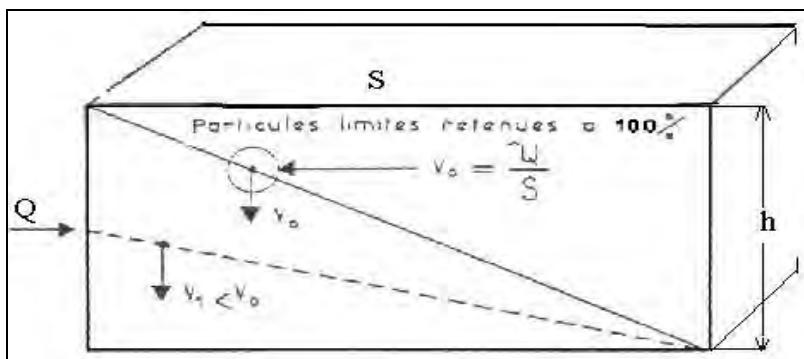
Le temps de rétention dans l'ouvrage sera $t = \frac{S \times h}{Q}$

Une particule en suspension arrivant en surface à l'entrée du décanteur chute avec une vitesse constante V_0 . La décantation est terminée lorsque la particule s'est déposée sur le radier, la durée de chute est égale à $\frac{h}{V}$.

La possibilité pour que les particules puissent atteindre le fond de l'ouvrage est évidemment envisageable seulement si $t > \frac{h}{V}$, ou encore $V_0 > \frac{Q}{S}$.

Le terme $\frac{Q}{S}$ est appelée vitesse de Hazen, il s'exprime souvent en mètre cube heure par mètre carré ($m^3/h/m^2$) ou mètre par heure (m/h),

Figure 3 : Schéma d'un décanteur à flux horizontal (loi de Hazen)



Théoriquement, l'efficacité d'un décanteur horizontal ne dépend que de sa vitesse de Hazen et non de sa hauteur ou de son temps de rétention. Par ailleurs, les particules

contenues dans l'eau floculée entrant dans le décanteur présentent toute une gamme de dimensions. Pendant leur parcours dans l'ouvrage, les plus petites peuvent s'agglutiner entre elles, c'est le phénomène de coalescence. Leur taille, et donc la vitesse de sédimentation augmentent avec le temps. La trajectoire devient de ce fait curviligne et l'efficacité de la décantation dépend donc aussi du temps de rétention. Pour optimiser le rendement du décanteur, on le fait souvent précédé d'un compartiment de tranquillisation dans lequel une sensible diminution de la vitesse de transfert permet la décantation des particules les plus grosses et la coalescence des flocons les plus fins.

L'eau décantée est reprise à la partie aval par des déversoirs longitudinaux; la purge des boues est assurée par des tuyaux perforés ou un racleur en fonctionnement continu.

✖ Décanteurs à flux verticaux

Dans ce type d'ouvrage, l'eau suit un trajet vertical. La vitesse de chute des particules est contrariée par une force résultante de la composition de la force de frottement et de la vitesse ascensionnelle de l'eau.

Tous les décanteurs verticaux font appel au voile de boue du fait de cet équilibre des vitesses et ce, quelle que soit la technique utilisée avec ou sans flocculateur ou recirculation des boues.

Le rôle du voile de boue est essentiel ; il joue également le rôle de filtre pour les flocons de faible dimension.

Ce sont des ouvrages de forme conique ou pyramidale pour permettre un contrôle plus aisément du voile de boues.

✖ Décanteurs à lits de boues pulses

Dans ces ouvrages, on fait appel uniquement à un brassage hydraulique, l'eau étant envoyée dans le fond du décanteur par à-coups ou pulsations (d'où le nom de l'appareil).

L'admission de l'eau brute additionnée du floculant se fait dans une cloche centrale qui se vide automatiquement à intervalles réguliers et réglables.

Le système de remplissage et de vidange est commandé par une mise sous vide de la cloche suivie d'une remise à l'atmosphère.

Le lit de boue est donc soumis à des mouvements alternatifs, vers le bas pendant la chasse et vers le haut pendant le remplissage, ce qui favorise sa cohésion.

On profite du mouvement ascensionnel du lit de boues pour en éliminer une partie par surverse dans des pièges disposés à la périphérie. Lorsque ces pièges sont pleins, ils sont purgés automatiquement.

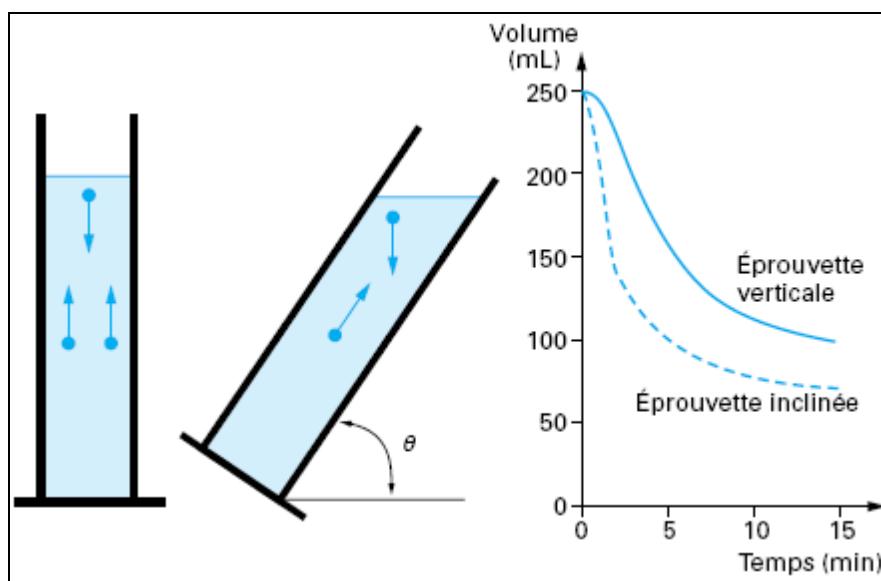
✖ Décanteurs à circulation de boues

Ces décanteurs comportent une zone centrale de réaction entourée d'une zone de décantation. Ces deux zones communiquent par le haut et par le bas. Une turbine située à la partie supérieure de la zone de réaction fait circuler l'eau vers la zone de décantation. Les boues qui se déposent dans cette dernière reviennent par circulation induite dans la zone centrale. L'enrichissement en boue qui en résulte permet une flocculation rapide et la formation d'un précipité dense.

✖ Décanteurs améliorés - décanteurs à lamelles

L'amélioration des décanteurs horizontaux passe par une évacuation plus rapide du dépôt de boues. Pour cela, il suffit que la surface sur laquelle le floc se dépose soit inclinée pour que ce dernier puisse glisser vers le bas au fur et à mesure.

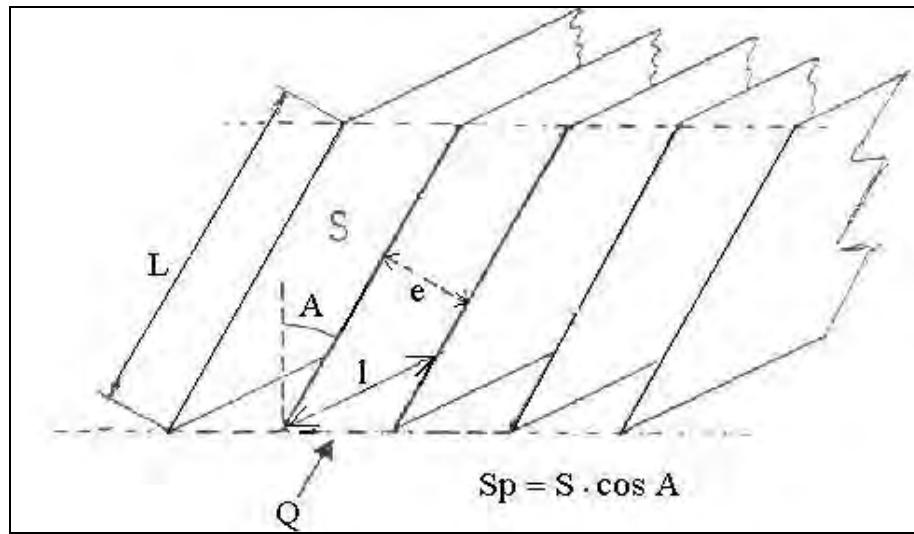
Figure 4 : Vitesses de sédimentation dans une éprouvette verticale et dans une éprouvette inclinée
(Techniques de l'ingénieur, 2007)



Si on observe la fin de la décantation sur ces courbes, on constate qu'un volume de boue de 125 ml atteint en 6 mn le fond dans l'éprouvette verticale, et en 2 mn 30 dans l'éprouvette inclinée. Ce dispositif permet à la fois de combiner l'effet du lit de boues et l'effet de décantation lamellaire. On obtient ainsi des vitesses de décantation très élevées, pouvant aller, selon la qualité des eaux et la nature des matières en suspension à retenir, jusqu'à près de 20m/h.

Cela explique la réalisation de modules lamellaires insérés dans un décanteur, dont la surface S ($L \times l$) de chaque lamelle devient une surface de décantation, l'angle d'inclinaison étant un des éléments importants de ce système. L'espace constitué entre chaque lamelle représente un décanteur modulaire dont le pouvoir de coupure est caractérisé par le rapport du débit transité (Q) à la surface projetée (Sp) de la lamelle.

Figure 5 : Schéma des lamelles d'un décanteur lamellaire



Les paramètres les plus importants sont les suivants :

- angle d'inclinaison (A) des plaques pour assurer l'écoulement des boues sous l'effet de la gravité,
- vitesse de Hazen réelle (Q/Sp),
- écartement (e) des plaques ou diamètre des tubes pour favoriser l'établissement d'un régime laminaire,
- longueur (L) des plaques,
- vitesse dans la zone d'alimentation en flocs.

Les types de décanteur n'ont pas tous été présentés et en plus des combinaisons entre décanteurs restent possibles. En plus des ouvrages classiques, on trouve d'autres adaptés à des types de suspensions particulières.

Le décanteur de la station expérimentale de traitement de boues de vidange de Cambérène est un décanteur à flux horizontaux. Cependant il possède quelques particularités visant à améliorer les performances de la décantation :

- Une série de 5 cloisons partant de la surface et plongeant vers le radier de 71 cm permet de maintenir l'écume dans les deux premiers compartiments du

bassin permettant ainsi d'obtenir un surnageant dépourvu d'écume à la sortie du bassin vers les digesteurs secondaires.

- ✖ Le radier du bassin a une pente de 20 % ce qui fait qu'il est peu profond à la sortie (59 cm), cela permet de diminuer le temps de chute des particules qui ensuite glissent vers l'entrée plus profonde (196 cm).
- ✖ L'entrée du bassin est munie d'une rampe et d'une cloison permettant l'amortissement des perturbations hydrauliques.

Ces légères améliorations constituent les différences entre le décanteur de la station expérimentale et le décanteur de type Achimota utilisé au Ghana. Ils ne sont mécanisés que lors de l'alimentation en boues brutes, au pompage du surnageant et au soutirage des boues épaissies. Les décanteurs ne sont pas munis de système de raclage de fond ou de surface qui équipent souvent les décanteurs classiques.

2.2.6. Vitesse de décantation

La théorie de la sédimentation de solides fins dans un liquide, qui obéit à la loi de Stokes, montre que la vitesse de chute d'une particule est proportionnelle à la différence des masses volumiques entre la particule et le liquide et au carré de la dimension de la particule. En conséquence, tout phénomène susceptible d'augmenter le diamètre des particules favorise la sédimentation de façon très significative, de sorte que la floculation est devenue une partie intrinsèque de la sédimentation. La plupart des matériaux en suspension dans un liquide sont naturellement flocculés et, de ce fait, peuvent être concentrés par sédimentation, bien que celle-ci soit parfois très lente.

Dans un fluide, un solide en mouvement libre est soumis à trois forces :

- son poids, fonction de sa masse volumique (ρ_s), de son volume et de l'accélération gravitaire (g) ;
- la poussée d'Archimète, fonction de la masse volumique du fluide (ρ_f), du volume du solide et de l'accélération (g) ;
- les forces de frottement, fonction du carré de la vitesse relative du solide par rapport au fluide, du maître-couple (surface de la projection, égale à $\pi d^2/4$ pour une sphère de diamètre d) et du coefficient de traînée du solide dans le fluide (C_x), qui varie en fonction de la forme et du nombre de Reynolds (Re) de la particule. Après un certain temps de chute accélérée, une particule atteint une vitesse limite de chute (U_{lim}). Dans le cas d'une particule sphérique de diamètre d , cette vitesse est donnée par la relation suivante :

$$U_{lim} = \sqrt{\frac{4d}{3C_x} \left(\frac{\rho_s}{\rho_f} - 1 \right) g}$$

Le nombre de Reynolds de la particule s'exprime par la relation :

$$Re = \frac{U_{lim} \rho_f d}{\eta_f}$$

Avec η_f la viscosité dynamique du fluide (Techniques de l'ingénieur).

2.2.7. Temps de sédimentation

Les données contenues dans le tableau 2 permettent de dire que le temps de décantation d'une particule est étroitement lié à son diamètre. En effet, sa décantation est d'autant plus rapide que son diamètre est grand. Cependant, certaines particules prennent beaucoup de temps pour sédimerter, temps qu'on ne sera en mesure d'attendre. C'est le cas des particules colloïdales qui sont caractérisées par deux points essentiels : d'une part, elles ont un diamètre très faible (de 1 nm à 1 μm) et d'autre part, elles ont la particularité d'être chargées électronégativement, engendrant des forces de répulsions intercolloïdales. Ces deux points confèrent aux colloïdes une vitesse de sédimentation extrêmement faible que l'on peut même considérer comme nulle dans le cadre du traitement de l'eau (Wikipedia, 2008). De ce fait les décanteurs auront toujours un surnageant contenant encore des particules en suspension.

Tableau 3 : Temps de décantation des particules de différentes tailles

(Source mémento techniques de l'eau, Degrémont, 1978, 8^{ième} édition)

Diamètre de la particule (mm)	Types de particules	Temps de décantation pour 1 m (ordre de grandeur)
1	Sable	10 secondes
0,1	Sable fin	2 minutes
0,01	Argile	2 heures
0,001	Bactérie	8 jours
0,0001	Particules colloïdales	2 ans
0,00001	Particules colloïdales	20 ans

2.2.8. Indice de boue

L'indice de boue représente le volume occupé par un gramme de boue après trente minutes de décantation statique dans une éprouvette d'un litre à paroi transparente graduée. Noté IB, exprimé en ml/g de MES, il est défini par la formule suivante :

$$\text{Indice de Boue (IB)} = \frac{\text{Volume de boues Décantées en 30 minutes(ml/L)}}{\text{concentration Matières En Suspension (g/L)}}$$

Cette formule du calcul de l'indice de boue est valide à condition que le volume décanté en 30 minutes soit compris entre 100 ml et 300 ml. Il permet d'apprécier l'aptitude de la boue à la décantation, de suivre son aptitude à décanter lors d'un traitement spécifique et de prévenir d'éventuelles pertes de boues liées au dépassement des capacités hydrauliques. Selon Graveleau les subdivisions suivantes présentent les différentes situations pour l'aptitude à la décantation d'une boue.

- **IB < 100 ml/g de MES:** condition idéale de décantation, indicateur d'un bon taux de minéralisation de la boue (MVS<65%).
- **100 < IB < 150 ml/g de MES:** condition acceptable pour des installations fonctionnant dans le domaine de la faible charge massique (aération prolongée).
- **IB > 150 ml/g de MES:** difficultés de décantation possibles, liées au développement de bactéries filamentueuses. (Graveleau ; 2005)

Avec les tests de sédimentation effectués, les volumes de boues décantées ont exceptionnellement dépassé 100 ml/L de boue brute (18 % des tests). Le volume moyen de boues décantées dans ces tests est de 136 ml/L et la concentration en MES est de 2,7 g/L.

Cela donne un indice de boue(IB) de 50 ml/g inférieur à 100 ml/g ce qui indique selon les considérations citées plus haut qu'il s'agit de conditions idéales de décantation.

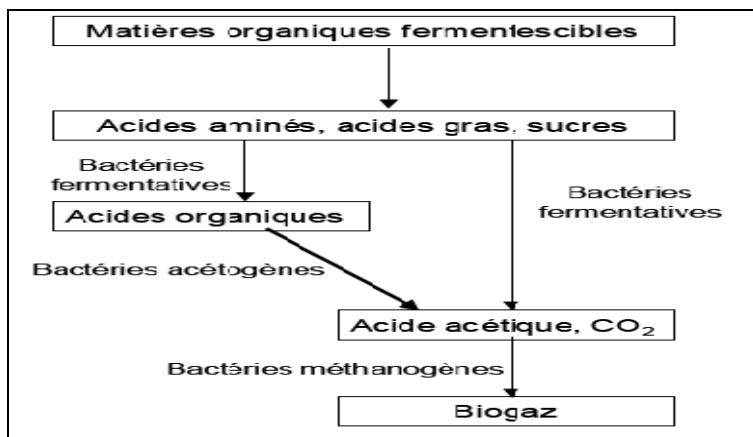
2.2.9. Digestion anaérobie

La digestion anaérobie des déchets organiques et des effluents organiques industriels est un processus biologique de décomposition de la matière organique présente, qui se déroule en absence d'oxygène et qui conduit à la formation de biogaz, mélange de méthane CH₄ (50 à 75%) et de gaz carbonique CO₂ (25 à 50%). Des communautés microbiennes complexes sont responsables de cette décomposition.

La méthanisation qui est la deuxième phase de la digestion anaérobie règle la vitesse globale car les bactéries méthaniques sont très sensibles aux conditions du réacteur et sont les plus lentes à se reproduire. Le temps de séjour varie fortement en fonction de la température de 15 à 25 jours à 35°C jusqu'à 100 jours voire plus à 10°C. (Neveux ; 2006)

Figure 6 : Schéma de la digestion anaérobie des déchets et effluents organiques

(Source : Université Catholique de Louvain, 2003)



2.2.10. Épaississement

L'épaississement a pour but d'extraire l'eau de la boue afin d'en réduire son volume. La matière qui en résulte est toujours liquide. L'épaississement des boues, et la réduction du volume qui s'en suit, vise principalement à diminuer le coût capital et les coûts d'opération relatifs à leurs traitements ultérieurs. Par exemple, en épaisissant les boues pour leur donner une concentration passant de 1 à 2%, on diminue le volume de moitié. Par ailleurs une augmentation de la concentration à 5% diminue le volume à un cinquième de son volume initial (Traitement biologique des boues Diverses applications anonyme 2 pages).

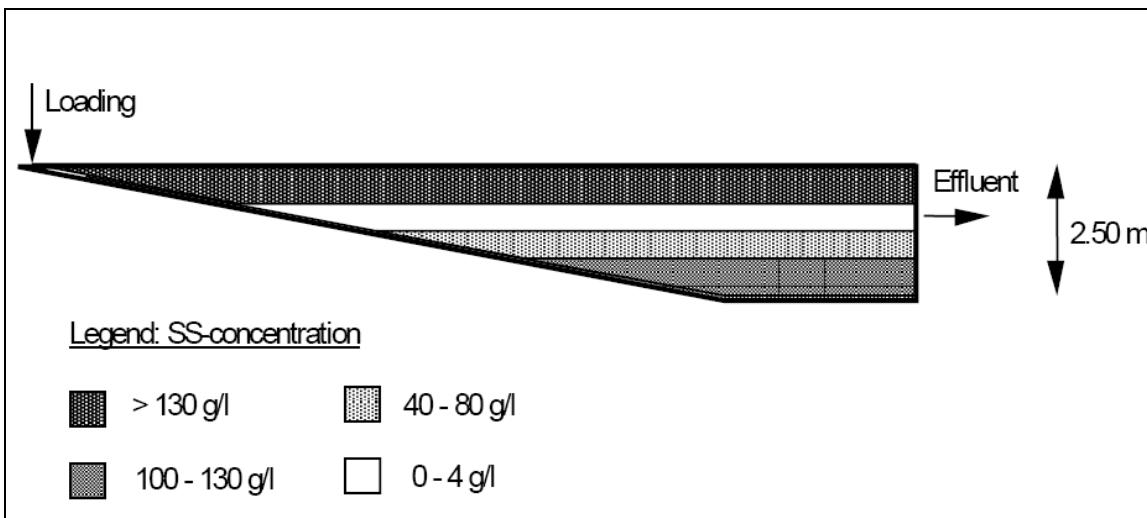
2.2.11. Expérience d'Achimota (Ghana)

Le décanteur de type Achimota est le seul trouvé dans la littérature qui ressemble à celui utilisé dans cette présente étude. Cependant, le design est différent de même que les boues brutes ayant servi à l'alimentation.

Ces bassins sont conçus pour fonctionner en alternance. La configuration est choisie pour maximiser la décantation de la fraction solide des boues lors du passage dans les bassins.

Le bassin en exploitation est alimenté en continu jusqu'à ce que la charge maximale (déterminée par la quantité de boues accumulée) soit atteinte. Durant l'exploitation, une écume de boues se forme à la surface du bassin. La fraction liquide s'écoule entre l'écume et les boues sédimentées (Figure 1). L'effluent débarrassé du maximum de solide s'écoule dans les bassins suivants. Une fois la charge maximale en boues atteint, le bassin exploité est mis au repos. Cette période de repos correspond à la période dite d'épaississement des boues.

Figure 7 : Disposition des différentes couches dans un décanteur épaisseur (Achimota FSTP, Accra)



Après épaisseissement, la partie liquide coincée entre l'écume et les boues décantées est d'abord évacuée (par pompage) avant que les boues ne soient retirées.

Un cycle complet sur une unité de décantation-épaisseissement comprend donc une période d'alimentation jusqu'à la charge maximale suivie d'une période de repos.

Ce système peut être exploité sans apport d'énergie électrique. Des pelles et des brouettes sont nécessaires pour la vidange des boues épaissees dans les bassins (EDE, 2006).

Deux bassins de sédimentation/épaisseissement fonctionnant en alternance et non mécanisés ont été mis en service à Accra au Ghana par le Département de la Gestion des Déchets en 1989 pour traiter des boues septiques et des boues de toilettes publiques à des ratios de mélange d'environ 3:1. Les bassins ont été intensivement suivis par (WRI) du Ghana et le SANDEC entre 1994 et 1997 (Heinss et al. 1998). Le développement de 4 zones distinctes a été observé lors du chargement des boues ; en partant du bas vers le haut on distingue : une zone d'épaisseissement de concentration allant jusqu'à 140 g MS/litre soit (14%), une autre zone le surplombant de 60 g MS/L, suivi d'une zone d'eau claire avec 3 à 4 g MS/litre, et enfin une couche d'écume contenant jusqu'à 200 g MS/litre. Le taux d'accumulation des solides sédimentés a été de $0,16 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de boues brutes. L'abattement des MES allait de 60 à 70%. Les moyennes de la concentration des MES et de la DCO contenues dans le réservoir d'effluents sont élevées et respectivement égales à 3000 mg/L et 1000 mg /L (Koné D, 2004).

3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1. Matériel

Les matières de vidange sont les boues qui proviennent des installations individuelles d'assainissement (fosses septiques, puits d'infiltration, cabinet d'aisance, latrines traditionnelles ...). Elles peuvent aussi provenir des réseaux d'égouts de l'assainissement collectif ou des installations industrielles comme les stations services et des industries agroalimentaires.

Il s'agit dans cette étude de boues de vidange fécales provenant des ménages. Elles sont souvent de couleur noire, ocre, marron. Elles dégagent une forte odeur et présente aussi des matières non fécales comme les sables et des déchets solides ménagers. Elles sont très riches en matières organiques.

L'alimentation de la station expérimentale s'est faite exclusivement avec des boues fécales provenant des camions vidangeurs qui arrivent à la déposante de Cambérène. La prise des camions se fait au hasard et ils ne sont soumis qu'à une seule contrainte : provenir impérativement des ménages.

3.2. Description du dispositif expérimental

La station expérimentale de traitement de boues de vidange (SETBV) est installée au sein de la station d'épuration des eaux usées à côté de la déposante de boues de Cambérène. Elle reçoit des boues brutes provenant des systèmes d'assainissement autonomes de Dakar amenées par des camions de vidange.

La station pilote est constituée par 3 filières d'expérimentation alimentées par un bassin de stockage (BS). Ce bassin est aussi appelé dispositif de réception ; il est de forme rectangulaire. Il est long de 396 cm, large de 248 cm et profond de 195 cm. Le BS est muni de 2 pompes immergées et placées aux deux angles séparées par la longueur. Sur la longueur opposée sont installées deux grilles pour éviter le passage des matières grossières. Il dispose aussi d'un agitateur muni d'hélices hélicoïdales qui permettent l'homogénéisation du contenu du bassin. Les pompes et l'agitateur sont commandés à partir d'une cabine de contrôle manuel.

Photo 1 : Bassin de stockage et hélices de l'agitateur



3.2.1. Bassins de sédimentation épaississement

Cette filière qui fait l'objet de cette présente étude est constituée de deux décanteurs/épaississeurs (D/E) primaires fonctionnant en parallèle suivis de deux bassins anaérobies. Les D/E sont alimentés à partir du bassin de stockage par une pompe immergée. La conduite d'alimentation se divise en deux à l'entrée et deux vannes permettent d'alimenter indépendamment les bassins. Les surnageants des deux D/E se retrouvent à la sortie dans un même regard par surverse et de manière gravitaire s'acheminent vers le premier bassin anaéробie qui une fois rempli verse par l'intermédiaire d'un T vers le deuxième bassin anaéробie. Ce dernier envoie son superflu vers un des compartiments du bassin de récupération.

L'étude sera uniquement consacrée à la portion de cette filière qui va de l'entrée du D/E à sa sortie, le suivi du surnageant au-delà ne sera pas pris en charge. Il s'agit donc d'évaluer les performances des bassins de décantation alimentés par le bassin de stockage.

Photo 2 : Illustration du dispositif expérimental

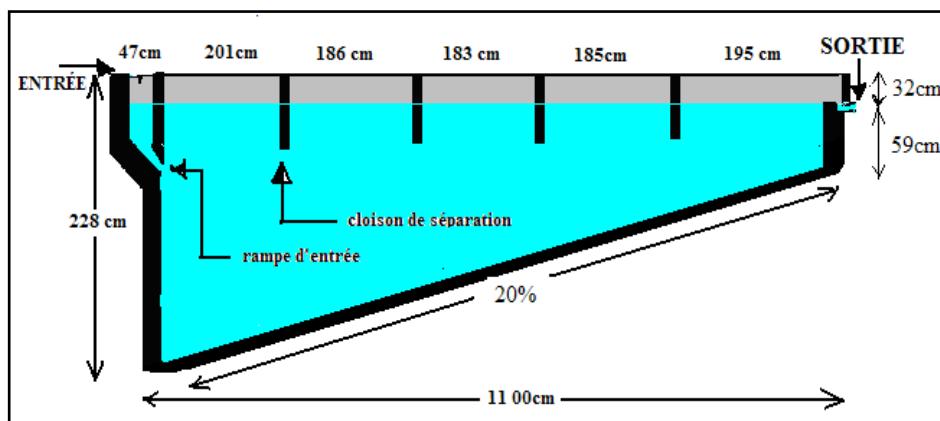


Sur cette photo on voit au fond le bassin de stockage et la cabine de commande des pompes et de l'agitateur suivis des deux bassins de décantation et au premier plan le regard de convergence du surnageant devant quitter les bassins.

Les paramètres des boues brutes seront mesurés à l'entrée (bassin de stockage) et les qualités des boues épaissies et du surnageant sortant du D/E aussi seront évaluées.

La figure ci-dessus représente une coupe longitudinale schématique du bassin de décantation/ épaississement.

Figure 8 : Coupe longitudinale schématique du décanteur épaisseur



Le bassin dans sa forme globale a pour base un trapèze. Sa grande base est de 228 cm dont 196 cm immergables et sa petite base de 91 cm de hauteur submersible de 59 cm qui constitue également la hauteur de surverse. Il est long de 11 m dont 10 m utiles, sa largeur intérieure est de 1,5 m. Les cloisons sont larges de 9 cm, et longues de 71 cm environ et plongent dans l'eau à une hauteur de 39 cm et les 32cm restants sont non immergés. Les cloisons sont séparées par des distances variables (voir figure 8).

A l'amont, on a l'entrée (dispositif de réception) qui commence par une petite pente qui amortit les chutes d'eau lors de l'alimentation. Après, on rencontre une première cloison qui participe à l'atténuation des perturbations hydrauliques. Cette première cloison fait partie d'un ensemble de 5 cloisons dont le rôle est l'amortissement des aléas qui peuvent influer sur la qualité du surnageant. Lors du remplissage on peut constater que l'écume n'est abondante que dans les deux premiers compartiments c'est-à-dire dans l'espace délimité par la troisième cloison. La couche de flottants ou l'écume est quasiment absente ou insignifiante dans les autres compartiments situés vers l'aval. Cependant, la hauteur élevée de la première cloison fait que seuls les grands volumes sont amortis et ceci à partir du moment où le bassin est totalement ou presque rempli. Le petit espace à l'entrée du bassin est le siège de dépôt de particules lourdes (pierres, sables, graines) lors de l'alimentation et les boues qu'il contient sont très concentrées.

3.2.2. Lits de séchage non plantés

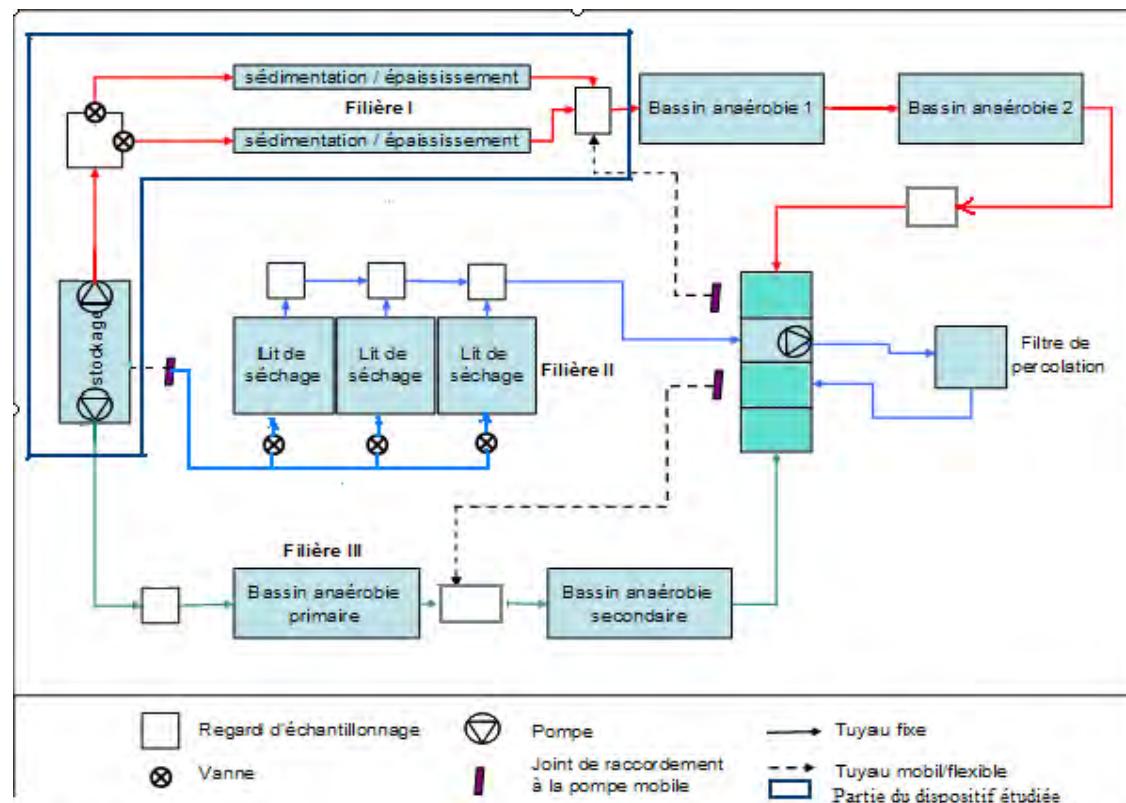
Ils sont au nombre de 3 de base carrée de 2 m de coté et d'une profondeur de 0,6 m. les lits sont alimentés par l'intermédiaire d'une pompe mobile que l'on plonge dans le bassin de stockage. Un système de trois vannes dont une à l'entrée de chaque lit permet de les alimenter indépendamment les uns des autres. Leur médium de filtration est constitué par trois couches dont une de sable à la surface et deux de gravier (fin et grossier). Les lits disposent chacun d'un drain qui se prolonge dans un regard de récupération du lixiviat qui suit un canal collecteur vers un bassin de récupération divisé en 4 compartiments. Le bassin est muni d'une pompe fixe immergée permettant d'alimenter un filtre à sable. Ce dernier verse dans un des compartiments du dispositif de récupération.

3.2.3. Digesteur anaérobiose primaire suivi d'un bassin anaérobiose secondaire

Le bassin anaérobiose primaire est de forme trapèze d'un volume global de 22 m³. Il comporte une pente de 17% de l'amont vers l'aval. Il est alimenté par l'une des pompes fixes du bassin de stockage. Les boues sont déversées dans un petit regard pour amortir les perturbations hydrauliques avant d'atteindre le bassin. Une conduite en T permet de récupérer le surverse ayant séjourné dans le digesteur. Elle donne dans un regard ou une autre conduite l'achemine par écoulement gravitaire vers le digesteur secondaire. Ce dernier est rectangulaire de longueur 4 m, de largeur 1 m et de profondeur 2 m. Il envoie ses eaux vers un compartiment du bassin récupérateur. Ce bassin permet un traitement primaire et reçoit directement des boues brutes du bassin de stockage. Son principe est basé sur la digestion anaérobiose des matières organiques, il joue en même temps le rôle de décanteur.

L'organisation générale de la STEBV est représentée sur le schéma ci-après.

Figure 9 : Les différentes filières de la station expérimentale de Cambérène et son fonctionnement



3.3. METHODOLOGIE DE RECHERCHE

3.3.1. Caractérisation des boues de vidange de Dakar

La première partie de l'étude consiste à une caractérisation exhaustive des boues de vidange de Dakar. Les prélèvements se font dans le bassin de stockage qui recueille quotidiennement une partie des boues collectées. Un accent particulier est mis sur le pourcentage en sable des boues de vidange et de leurs teneurs en déchets solides. Les MES, les MS, les MVS, la DCO, le pH, l'azote et les coliformes fécaux vont aussi être évalués.

Des tests de sédimentation sont réalisés sur les échantillons de boues brutes qui vont servir à l'alimentation des bassins de décantation. Une bouteille de cinq litres permet de faire des prélèvements à l'entrée du bassin c'est-à-dire à la sortie des boues envoyées par la pompe du bassin de stockage. Une fois l'échantillon apporté au laboratoire 5 cônes Imhof sont mobilisés. Pour débuter le test, on agite bien la bouteille avant de remplir le cône et chaque nouveau remplissage d'un cône est précédé d'une bonne agitation de l'échantillon.

Dans cette présente étude, la méthode classique de test de sédimentation qui consiste à noter la hauteur entre la couche de boues et les eaux claires n'a pas été utilisée du fait de

la difficulté d'observation de la différence entre boues et eaux claires. C'est plutôt la hauteur des boues déposées qui a été suivie et notée au cours des trois heures que dure le test.

La détermination de la teneur en déchets solides des boues est effectuée à l'aide des grilles (trous de 1,9cm) installées dans les ouvrages de réception du bassin de stockage. Compte tenu de leur humidité ces déchets seront asséchés avant leur classification et leur quantification.

3.3.2. Suivi des performances du décanteur/épaississeur

La deuxième partie de l'étude s'intéresse à la filière de décantation/épaississement afin d'évaluer le comportement des deux bassins face à différents cycles de charges (alimentation) et de repos (épaississement). La qualité des différents composants liquides et solides de ce bassin : boues, et surnageant a été évaluée.

La qualité du surnageant est évaluée dans une perspective de comparaison avec les eaux usées brutes alimentant la station de Cambérène d'une part et d'autre part, pour faire des propositions et des investigations d'un système de traitement de cet effluent.

Le suivi des performances des bassins de décantation/épaississement va se faire conformément à la méthodologie ci-après.

Différents cycles d'alimentation sont appliqués et à titre de comparaison certains paramètres vont subir des variations au niveau des deux bassins. Ces derniers seront manipulés de telle sorte que des facteurs fixes le resteront pour les deux bassins et on fera varier un paramètre selon les besoins.

Les paramètres sont au nombre de 3 : la charge, le mode d'alimentation et la durée de l'épaississement.

3.3.2.1. Evaluation de l'influence de la variation de charge

L'influence de la variation de charge sera évaluée à deux niveaux : avec surverse et sans surverse.

- Variation de charge journalière sans surverse**

Une alimentation sans surverse est une alimentation où le bassin reçoit un volume égal à son propre volume c'est-à-dire 18 m^3 de boues brutes. Les boues brutes apportées et le surnageant ne sortent pas du bassin. Cependant ce volume est apporté en des volumes journaliers variables.

C'est une évaluation de l'impact d'une variation de charges journalières sans surverse. Des volumes de 6m^3 et 9m^3 sont apportés quotidiennement. Ces deux volumes sont

fractionnés en 3 apports égaux distancés de quatre heures. Les durées de la période d'alimentation sont donc respectivement de 3 et de 2 jours.

Après l'alimentation les bassins sont suivis pendant 15 jours d'épaississement.

- **Variation de charge journalière avec surverse.**

Une alimentation avec surverse est une alimentation où le bassin continue de recevoir des boues brutes après son remplissage. Le volume supplémentaire ajouté crée une surverse qui fait sortir le surnageant du bassin vers le digesteur secondaire. Cette alimentation peut être appelée alimentation continue. C'est ce type d'alimentation qu'utilise actuellement la déposante de boues de vidange de l'ONAS.

Il s'agit d'évaluer l'influence d'une variation de charges journalières avec surverse sur l'efficacité de la séparation solide/liquide. Des volumes de 2m^3 et 4m^3 sont apportés quotidiennement dans les deux bassins. La période d'alimentation dure 20 jours et les volumes journaliers sont divisés en des apports d'un mètre cube toutes les 30 minutes. La durée d'épaississement est de 15 jours pour les deux bassins.

De ces deux variations découle une variation du volume final de boues brutes traitées au cours du cycle.

L'alimentation avec surverse ne permet que le traitement de 18 m^3 alors qu'une alimentation avec surverse permet de traiter de plus grands volumes (40 et 80m^3). Ces plus grands volumes impliquent un volume de stockage des boues plus grand. Ainsi il s'agit de voir l'influence d'une augmentation du volume de boues épaisse dans le bassin sur la qualité du surnageant.

3.3.2.2. Influence du mode de fractionnement des volumes

Pour évaluer l'influence du mode d'alimentation, les charges et la durée de l'épaississement sont fixées. Un volume journalier de 9 m^3 est appliqué pour un volume final de 18 m^3 sans surverse. Pour un premier cycle, ces 9m^3 sont apportés d'un seul coup et pour un deuxième cycle ils sont administrés en trois apports de 3m^3 de 4 heures d'intervalle.

3.3.2.3. Influence de la durée de l'épaississement

L'intérêt est de voir l'évolution de la qualité du surnageant et des caractéristiques des boues épaisse en fonction d'une prolongation du temps de séjour des boues dans le bassin.

La même charge est appliquée dans deux bassins en même temps et par le même mode de fractionnement des volumes. Cependant le temps d'épaississement change d'un bassin à l'autre. D'abord une charge de 6 m³/jour pendant trois jours ; et des temps d'épaississement de 10 et 15 jours sont appliqués. Ensuite 9m³ en un seul apport journalier sont apportés sur deux jours suivi d'un épaississement de 10 et 20 jours. Enfin une alimentation avec une charge de 9 m³ fractionnée en 3 apports est appliquée et des temps de séjour des boues de 7 et de 10 jours sont observés.

3.3.3. Prélèvement et échantillonnage

Des prélèvements pour la caractérisation des boues de vidange de l'agglomération de Dakar sont faits au niveau du bassin de stockage de la station expérimentale. L'objectif est de déterminer les caractéristiques moyennes des boues de vidange qui alimentent les différentes filières testées. Un litre de boues brutes est prélevé tous les jours pour une analyse. Le prélèvement est pris à chaque alimentation du bassin. L'échantillon représente le mélange du contenu de deux ou plusieurs camions de vidange parfaitement homogénéisé à l'aide de l'agitateur dont est équipé le bassin de stockage. Cet échantillon de boue brute sera l'objet d'analyses physicochimiques et biologiques.

Pour les tests de sédimentation sur cônes d'Imhof, les échantillons sont pris à l'entrée des D/E pour être le plus proche possible des boues brutes réellement envoyées par les pompes afin de faire ultérieurement des comparaisons avec les boues sédimentées à la fin du cycle.

Les grilles installées au niveau des structures de réception du bassin de stockage servent à la détermination des déchets solides. Les refus de grille à la fin du dépôtage sont recueillis, asséchés avant qu'on ne procède à la quantification et à la classification puis rapportés au volume ayant produit ces déchets.

Concernant les bassins de décantation/épaississement deux niveaux vont être concernés par les prélèvements (les boues décantées, et le surnageant).

Le prélèvement et l'échantillonnage diffèrent selon le mode d'alimentation des bassins.

Pour une alimentation sans surverse: un échantillon est pris un jour sur trois en commençant le premier jour de l'épaississement. Un préleveur en profondeur est plongé à 30 cm de la surface d'eau libre du bassin et un litre du surnageant est prélevé.

S'il s'agit d'une alimentation avec surverse le procédé est différent pendant les 20 jours d'alimentation, mais à partir de l'épaississement il reste le même.

L'échantillonnage pendant l'alimentation avec surverse se passe comme suit :

L'un des bassins reçoit 2 m³/jour en deux apports d'un mètre cube espacés de 30 minutes. Un échantillon de 500 ml est pris pendant la restitution sur chaque mètre cube envoyé. Cet échantillon est divisé en trois prises : au début, au milieu et à la fin de la restitution par le bassin du volume envoyé. Cela permet de prendre en compte les phénomènes liés aux perturbations hydrauliques. A la fin de l'alimentation 1 litre de surnageant est recueilli sur les 2 m³ de la journée.

Le second bassin reçoit 4 m³/jour alors le volume de l'échantillon par mètre cube restitué devient 250 ml et le procédé reste le même c'est-à-dire : 1m³ est envoyé toutes les 30 minutes et les 250 ml sont divisés en trois parts égales pris au début, au milieu et à la fin de la restitution du mètre cube. Le volume de l'échantillon est alors d'un litre de surnageant recueilli dans le regard qui amène le surnageant vers les digesteurs secondaires.

Ainsi pour chaque alimentation et pour chaque bassin un échantillon d'un litre est pris quotidiennement. De ce litre d'échantillon journalier, 200 ml sont prélevés et mis dans un flacon de deux litres pendant une semaine pour constituer un composite hebdomadaire pour chaque décanteur. C'est ce composite qui va servir aux analyses physicochimiques. A la fin de l'épaississement la qualité et la quantité des boues épaissies seront déterminées. Le soutirage se fait après pompage du surnageant à l'aide d'une pompe mobile. Elle est plongée à différentes profondeurs progressivement jusqu'à ce que le surnageant soit définitivement évacué.

Les boues épaissies sont prélevées à deux niveaux à l'entrée et à la sortie du bassin. En effet, il est supposé qu'il existe une différence entre les boues des deux points de prélèvement. L'échantillon d'un litre de boue est pris à chaque point.

4. -RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSIONS

Ce chapitre est subdivisé en trois parties : la première est consacrée à la caractérisation des boues de vidange de Dakar, le second à l'évaluation de la qualité du surnageant et la dernière à la quantification et à l'évaluation de la qualité des boues épaissies.

4.1. Caractérisation des boues de vidange de Dakar

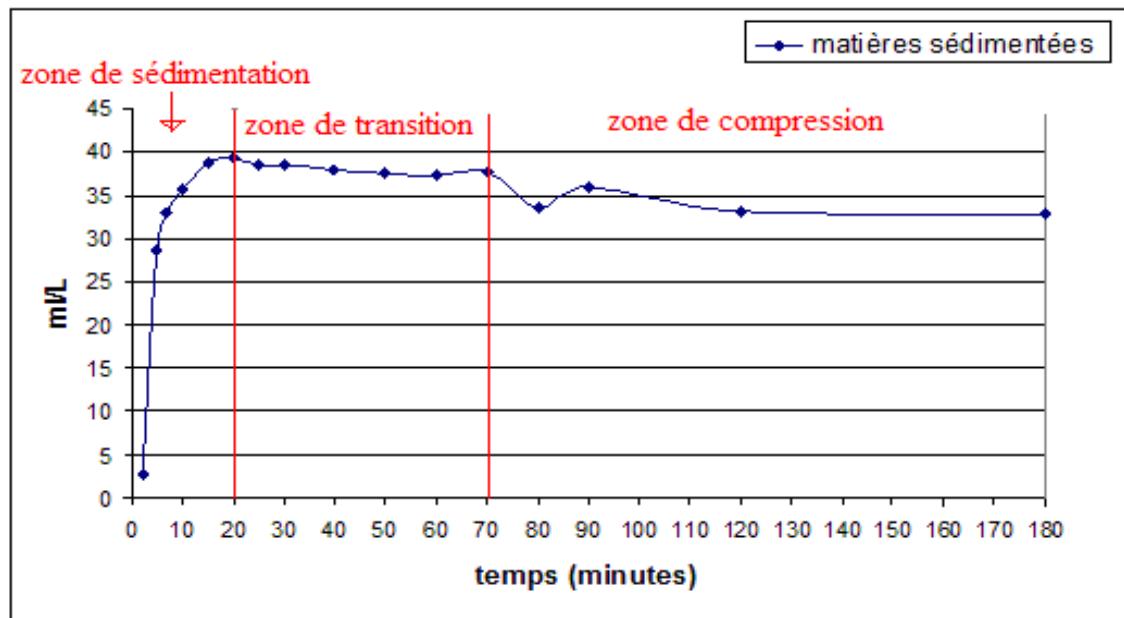
Le premier objectif de ce travail est la caractérisation exhaustive des boues de vidange de Dakar. Pour ce faire, les paramètres suivants ont été évalués :

- les matières décantables par des tests de sédimentation avec des cônes d'Imhof sur des échantillons de boues de vidange brutes ;
- les matières solides présentes dans les boues de vidange (refus de grille)
- la teneur en sable et les paramètres physico-chimiques (la DCO, MS, MES, MVS) et microbiologiques (coliformes fécaux).

4.1.1. Tests de sédimentation avec cônes d'Imhof

Les résultats des tests de sédimentation sont consignés sur la figure 10.

Figure 10 : Courbe des variations moyennes des matières sédimentées en fonction du temps



La courbe d'évolution des matières sédimentées en fonction du temps peut être divisée en trois zones. Une zone de sédimentation qui correspond aux vingt premières minutes du test, les particules les plus lourdes et les plus visibles (sables notamment) se décantent très rapidement et forment une couche stable au fond du cône. Le volume maximal de boues décantées est atteint dans cette première partie alors s'en suit une deuxième phase où il ne varie que très peu : c'est la zone de transition : elle est beaucoup plus longue que la première (50 minutes) et bien que la sédimentation des particules continue, la variation du volume de boues décantées est insignifiante voire nulle. Il s'établit un équilibre dynamique entre la décantation des particules et le tassement de ces dernières. A la fin de cette partie le tassement de la couche de boues a tendance à prendre le dessus sur la sédimentation.

La zone de compression dure autant que la deuxième partie et au-delà de 120 minutes le niveau de la couche de boue ne varie plus même si l'observation est prolongée jusqu'à 180 minutes. Le tassement débute par une forte et rapide baisse du niveau de la couche de boues. C'est pendant ce temps que les bulles d'air disparaissent de la couche de boues. Si ces bulles sont assez importantes, elles donnent lieu à des fissures qui selon leur importance peuvent conduire à un phénomène particulier de remontée de la couche de boues.

Sur les onze tests effectués trois ont montré un phénomène de remontée de boues par gros flocons vers la surface du cône avant de redescendre avec une vitesse plus grande due à l'agrégation des particules entre eux. Cependant les moments de son apparition peuvent changer d'un test à l'autre.

L'apparition de la remontée de la couche de boues sédimentées est aléatoire. Cependant dans les cas observés, il y a eu une création d'espaces vides de boues dans la couche de matières sédimentées qui la précède. Les vides se présentent sous formes de fissures non rectilignes d'épaisseurs variables. Ils peuvent apparaître au début ou juste avant la remontée des boues. Dans les premières minutes qui suivent la remontée des boues, l'observation de la formation de la nouvelle couche de boues est difficile voire impossible. La sédimentation est accélérée et la colonne reste très trouble.

Tableau 4: Test de sédimentation type avec désintégration de la boue sédimentée

Minutes	Lecture (ml/L)	Observations
2	3	fine couche claire à la surface
5	8,5	petits espaces dans la couche de boues
7	10	la ligne de démarcation des boues est claire et net
10	12	dans la phase claire les particules sont + grosses et + mobiles
15	14	
20	16,5	
25	18,5	
30	20	
40	21	
50	21,5	Formation de gros flocs mais de vitesse lente
60	21	
70	20,5	
80	20,5	Accentuation des espaces dans les matières déposées
90	22	
116		Désintégration de la couche et remontée, coupure dans la couche de 2cm
120	27	formation ^o d'écume avec de gros flocs ; 2 à 3 ml de vide dans la couche de boues. La boue redescend avec une grande vitesse
134	25	4ml de rupture dans la couche de boues
180	29	6,5 ml de rupture dans la couche de boues

Avant la désintégration de la colonne de boue, celle-ci ne possède qu'une très fine couche de flottants mais après la remontée de boues, certaines particules redescendent plus et forment une écume importante. Il a été signalé dans la littérature que, probablement, le processus de digestion continu dans les boues fraîches des toilettes publiques produit des gaz de digestion qui sont à l'origine de la flottaison de particules de boues (Eawag/Sandec, 1999). Si ce phénomène est présent dans les boues de vidange de Dakar cela est peut-être du à la fréquence des vidanges très élevée :

Ce phénomène de remontée de boues dans les cônes Imhof s'est toujours manifesté dans les décanteurs de manière aléatoire et imprévisible. Ce sont ici des mottes de boues flottantes qui remontent à la surface. Elles sont accompagnées par des bulles et se désintègrent dès qu'elles sont en contact avec l'atmosphère et enrichissent la couche des boues flottantes (écume).

Par ailleurs, dans les décanteurs primaires, on observe parfois des boues flottantes provoquées par la dénitrification (Edeline, 1997). Selon Hiraoka cité par Edeline, il peut se produire un cas particulier de boues flottantes dans l'aérateur, accompagnant un gonflement filamenteux par *Nocardia amarae* (bactérie filamenteuse). Cet organisme a une paroi hydrophobe, et se fixe sur les microbulles d'air ($70\text{ }\mu$ de diamètre) formant ainsi des écumes dès que sa population atteint 10^3 à 10^6 par mg de MVS.

Le décanteur/épaisseur ne fonctionne pas dans des conditions d'aération mais sa colonisation par les algues et la présence d'autres microorganismes témoignent d'une bonne diffusion de l'oxygène. Cela est rendu possible grâce à sa faible profondeur notamment vers l'aval où elle n'est que de 59cm et sa grande surface de contact avec l'atmosphère qui est de 14m^2 . A cela s'ajoute le barbotage qu'engendre l'alimentation avec la pompe qui peut aussi être source d'oxygène dissous.

La vitesse maximale de sédimentation des particules est de 8,67 ml/L.mn et elle est atteinte au bout de 5 minutes de tests. Entre la deuxième et la 7^{ième} minute l'augmentation de la vitesse de sédimentation est rapide mais au delà elle ne va pas cesser de diminuer. Cette phase est celle de la sédimentation décrite plus haut.

Après 20 minutes de test, bien que la sédimentation continue la vitesse de chute des particules reste presque nulle et tourne autour de zéro : c'est la zone de transition ou d'équilibre entre la sédimentation et le tassemement de la colonne de boues. A partir de la 70^{ième} minute de test la vitesse diminue fortement et finit par se stabiliser à zéro. Le tassemement est maximal et la sédimentation est minimale. Le mouvement des particules est lent et les différentes phases de la colonne de boues sont nettement visibles. Alors les particules sédimentent plus qu'elles ne se décantent.

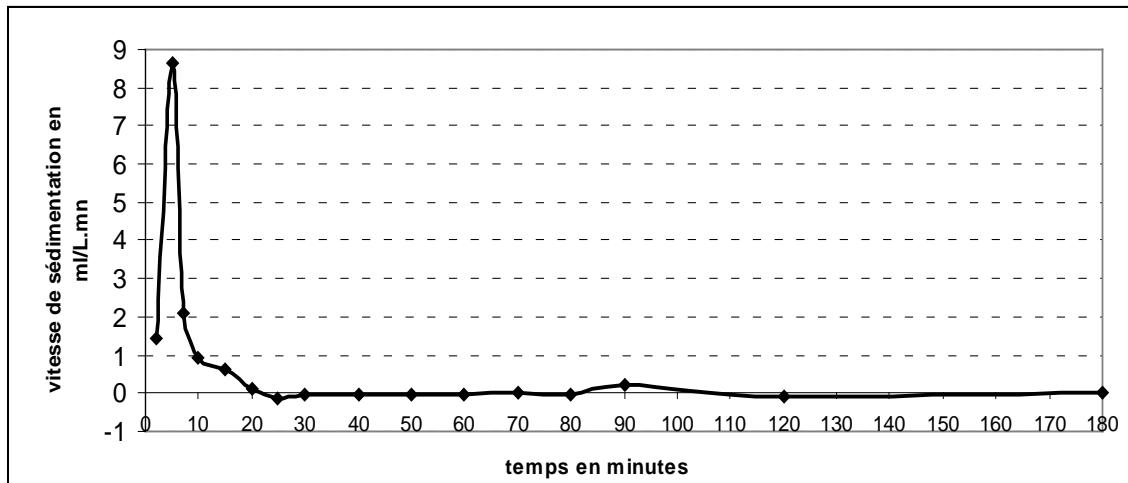
Le volume moyen de boues décantées est 40 ml/L de boues brutes soit $0,04\text{m}^3/\text{m}^3$ de boues brutes. Ce pourcentage est atteint en 20 minutes et va être comparé à celui trouvé avec les tests grandeur-nature dans les décanteurs.

A la déposante, la vitesse maximale de sédimentation trouvée est de 45ml/L.mn. Elle est atteinte au bout de 3 mn de test. Le volume maximal de boues sédimentées est quand à lui atteint à la 7^{ième} minute de test ; il est de $0,118\text{ m}^3/\text{m}^3$ de boues brutes envoyées (Vonwiller et al, 1999). Cependant les tests effectués au Ghana ont indiqué que le temps nécessaire pour l'atteinte du volume maximal de boues sédimentées est d'une demi-heure pour les boues fécales domestiques et d'une heure pour les boues des toilettes publiques (Sandec, 1999).

La différence observée entre les valeurs de la déposante et celles de la station expérimentale s'explique par la prise du sable et de particules lourdes dans le canal de prélèvement de la déposante. Cela est indiqué par le temps très court de sédimentation de

ces particules (3 minutes). En effet les sables sédimentent en 2 minutes avec un diamètre compris entre 1 et 0,1 mm (Degremont, 1978). C'est cette même raison qui explique le volume de boues sédimentées très proche de celui du Ghana qui est $0,10$ à $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (Sandec, 1999) bien que les boues brutes du Ghana soient trois fois plus chargées que les boues de Dakar selon leur propres mesures.

Figure 11 : Courbe d'évolution de la vitesse de sédimentation en fonction du temps



4.1.2. Refus de grille au niveau des boues de vidange

L'évaluation des refus de grille s'est faite avec l'aide de deux grilles identiques installées aux deux coins du bassin de stockage. La grille a une forme carrée de 50 cm de coté. Elle a des trous sur toute sa surface, qui sont circulaires avec un diamètre de 1,9 cm.

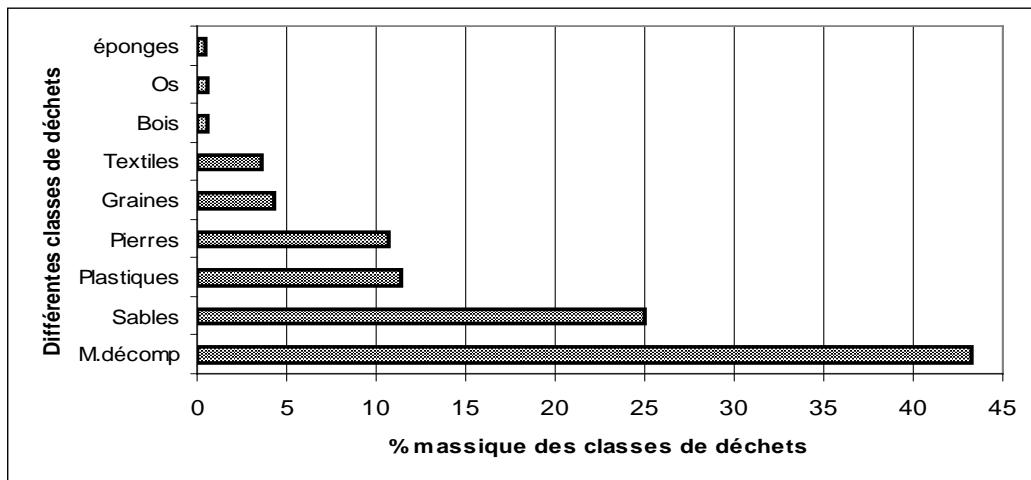
Photo 3 : Grille du bassin de stockage avant et après un dépotage



L'évaluation est faite après un séchage de 3 semaines. Cela est nécessaire du fait que les refus sont mélangés aux boues et sont souvent pâteux. Cela explique la présence du sable qui en toute logique devrait être entraîné dans le bassin.

La figure 12 présente la répartition massique des différents déchets présents dans les boues de vidange dépotées au niveau de la SETBV :

Figure 12 : Pourcentage massique des différentes classes de déchets



La moyenne des refus de grille est estimée à 273 g/m^3 de boues. La photo suivante illustre les refus de grille et ses différentes classes de matériaux. Ces derniers sont constitués principalement d'ordures ménagères.

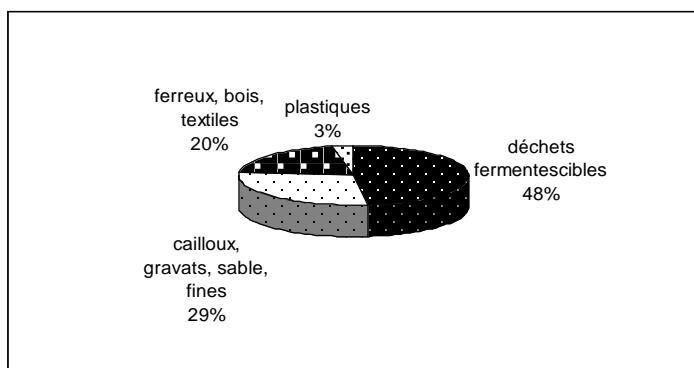
Photo 4 : Déchets solides provenant des boues de vidange



Ces déchets solides ménagers se retrouvent dans la fosse septique par différentes voies. Certains comme les déchets organiques de même que les graines de grande taille (voir annexe) proviennent des eaux de cuisine car les fosses prennent souvent en charge ces eaux. Une partie des graines notamment les plus petites de taille peuvent provenir directement du tube digestif. Les plastiques légers comme les emballages sont le plus souvent utilisés lors de la vente de produits alimentaires utilisés en cuisine. Cependant, les plastiques durs comme les bouteilles, les flacons, les rasoirs, le bois et les os impliquent une introduction volontaire ou accidentelle dans la fosse. Par contre les pierres peuvent provenir des dalles des toilettes si ces dernières sont vétustes.

Les refus de grille du fait de leur provenance domestique présentent de fortes ressemblances avec les ordures ménagères (figure 13).

Figure 13: Composition des ordures ménagères (Source : Rouyat et al ; 2006)



Dans le graphe ci-dessus les déchets fermentescibles sont des végétaux et matières organiques. C'est cette partie qui est retrouvée dans les refus de grille sous forme de matière en décomposition et en des proportions moins importantes du fait de la décomposition qui s'opère déjà dans la fosse. Les cailloux, gravats et sables sont plus importants dans les ordures ménagères car la majeure partie ne parvient pas à la fosse ; quant aux plastiques qui sont plus importants dans les refus de grille, elle s'explique principalement par la réutilisation des emballages d'origine ménagère et de l'impossibilité de leur dispersion dans la fosse alors que pour les déchets domestiques c'est souvent le cas.

La valorisation de ces déchets (refus de grille) peut rencontrer un certain nombre de contraintes. Le compostage peut s'avérer difficile du fait que la partie biodégradable des déchets a déjà subi un processus de dégradation avancée ce qui donne à cette fraction une couleur noire et une forme filamenteuse. En plus, de la forte proportion des déchets non compostables comme les plastiques, les cailloux et le sable.

Pour en partie ces mêmes raisons l'incinération n'est pas une option fiable. La prise en charge de ces résidus de traitement doit donc faire l'objet d'une réflexion à part.

4.1.3. Teneurs en sables des boues de vidange

Le sable représente en moyenne 300 g/m^3 de boue brute. Il faut signaler les fortes variations dues aux provenances des camions et à la technologie de pompage utilisée. Cette valeur doit être revue à la hausse car le sable se perd à deux niveaux.

- premier niveau : comme signalé plus haut, les refus de grille deviennent pâteux et emprisonnent beaucoup de sable qui ne se retrouvent pas dans le bassin de stockage où l'échantillonnage est effectué ;
- deuxième niveau : le bassin de stockage est muni d'un agitateur qui propulse les matières les plus lourdes dont les sables dans des zones mortes. Cela est dû à la dissymétrie du bassin.

Photo 5 : zones de dépôts de sables et de matières solides lourdes dans le bassin de stockage



Cependant, cette valeur moyenne du sable peut être corrigée en ajoutant les sables déposés dans le bassin de stockage. Les dépôts sont constitués par le sable, les gravats, le fer et les graines lourdes. Ces dépôts ont été recueillis pendant la vidange du bassin de stockage et estimés en volume à 50 litres pour un volume total de boues ayant traversé le bassin de 60 m^3 . Si on assimile tous les dépôts à du sable alors le calcul suivant permet de trouver la masse de sable dans un mètre cube.

La porosité du sable est de 35 à 40% et sa densité de 1,6 à 1,7.

La valeur de 40 % de porosité est retenue du fait de la présence d'autres matériaux plus poreux que le sable.

La formule suivante donne la teneur en sable :

$$T_s = \frac{V_t \times P \times d}{V_{tb}} + M_1 + M_2 = \frac{50 \times 40 \times 1,7}{100 \times 60} + 0,3 + \frac{0,273 \times 25}{100} = 0,935 \text{ kg/m}^3$$

Avec:

T_s : teneur en sable des boues,

V_t : volume total de sable recueilli mélangé à l'eau,

P : porosité des dépôts,

d : densité du sable,

V_{tb} : volume total de boues ayant traversé le bassin.

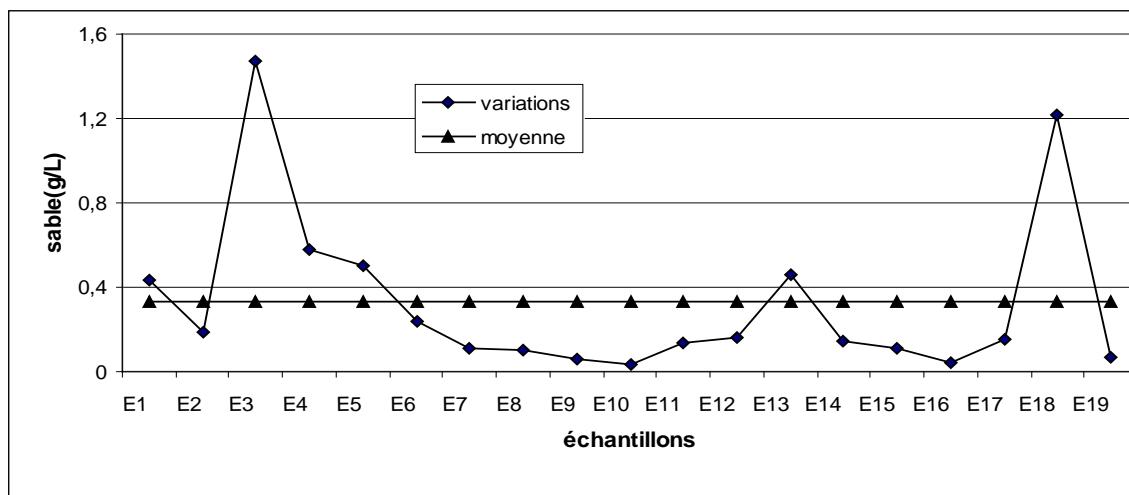
M_1 : teneur moyenne de sable calculée dans les boues

M_2 : teneur moyenne de sable contenue dans les déchets solides soit 25 % en masse

La teneur en sable corrigée est de 935 g/m³ de boue brute ; en réalité, ce n'est que le tiers du sable qui arrive dans les bassins de décantation.

La figure 14 présente la variation de la teneur en sable des boues brutes.

Figure 14: Variation de la teneur de sable dans les boues brutes



Cette moyenne est fortement affectée par des valeurs extrêmes soient infiniment petites ou extrêmement grandes. Cette forte dispersion témoigne, encore une fois, de la variabilité importante des boues brutes liée à leurs différentes origines.

La présence de sable dans la fosse septique s'explique par plusieurs phénomènes. Les cours des maisons possèdent rarement un plancher ; ainsi, en allant dans les toilettes, de par leurs chaussures, les usagers amènent du sable et ce phénomène est accentué en saison des pluies quand le sol est mouillé et adhère parfaitement aux sandales. De plus, dans la banlieue de Dakar, les douches intérieures ne sont pas aussi répandues et le matériau utilisé pour la construction de la fosse qui s'effrite sous le poids des années entraîne une libération de sable. A cela, s'ajoute la prédominance des chaises turques dans les WC qui facilite l'introduction directe de sable dans la fosse.

4.1.4- Caractéristiques des boues de vidange de Dakar

En plus des paramètres évalués précédemment nous avons procédé à l'évaluation de paramètres physiques et chimiques. Dans cette campagne, 50 échantillons ont été prélevés pour être analysés à chaque fois que le bassin de stockage a été rempli. L'échantillon est composite et peut représenter le contenu de 3 camions de vidange et parfois c'est un seul camion même si ce dernier cas est rare. En effet, c'est après chaque remplissage du bassin qu'on prélève l'échantillon. Ces mesures constituent également les données d'entrée pour les différentes filières notamment la filière décantation/épaississement. Les valeurs moyennes de ces mesures sont consignées dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Caractéristiques moyennes des boues de vidange brutes de Dakar

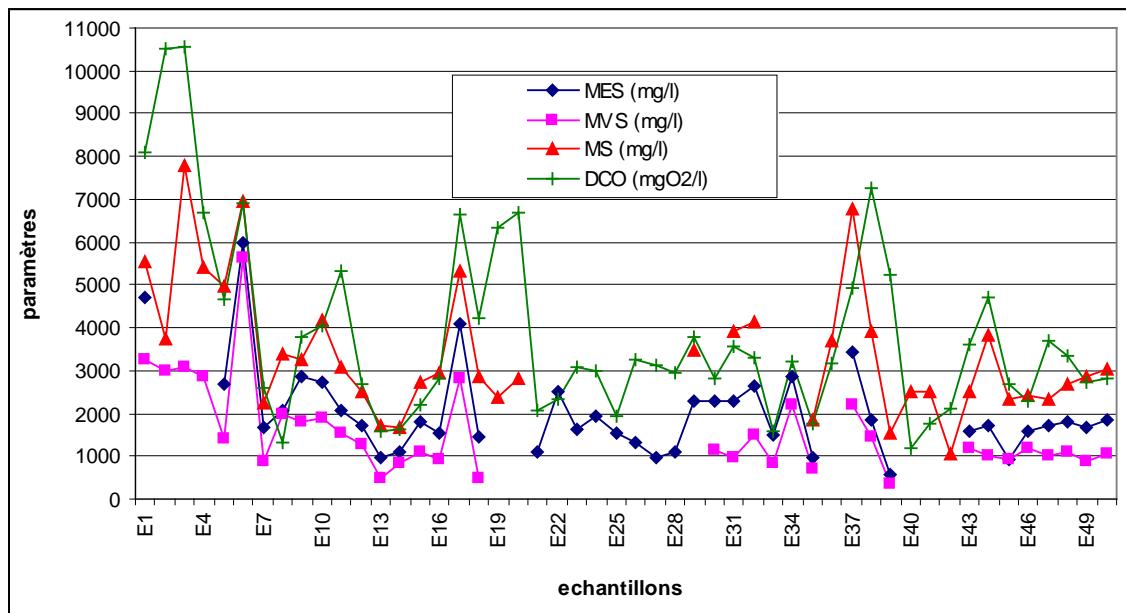
Paramètres	MS (mg/L)	MES (mg/L)	MVS (mg/l)	NTK (mg/L)	DCO (mgO ₂ /L)	T°	pH	CF
Boues brutes	3 488	2 130	1 571	442	3 853	24,1	7,3	3,6. 10 ⁶
Ecart type	1 558	1 214	1038	422	2162	-	-	-
Nombre d'échantillons	36	42	35	30	50	11	11	6
Intervalle de confiance à 95 %	548	620	520	221	599	-	-	-

Les valeurs ci-dessus représentent des moyennes calculées sur les l'ensemble des données de la campagne qui a duré 3 mois. Cependant, ces valeurs cachent de fortes variations dues à des facteurs techniques liés aux camions vidangeurs, aux fosses septiques, et aux pratiques socioculturelles associées à l'utilisation des ouvrages

4.1.5- Variabilité de la composition des boues de vidange de Dakar

La nature des boues de vidange varient constamment selon l'origine (standing des ménages), la technologie utilisée pour le pompage, le type de fosse (fosses septiques, latrines, puits perdus...) et la fréquence de vidange de la fosse. Pendant l'expérimentation, les boues provenant de quartiers de bas standing sont les plus concentrées et présentent plus de refus de grille. De même, les boues provenant de la zone côtière où une intrusion de l'eau de la nappe est soupçonnée, sont moins concentrées du fait de la fréquence de vidange très élevée du à l'intrusion de l'eau de la nappe peu profonde et qui affleure par endroit. La contribution de la technologie de pompage des camions reste très faible car tous les camions reçus à la SETBV durant l'expérimentation sont pompeurs.

Figure 15 : Variabilité des boues brutes de Dakar



La Demande Chimique en Oxygène (DCO) et les matières sèches (MS) sont les deux paramètres les plus variables ; elles fluctuent énormément autour de la moyenne. Les MES et les MVS sont moins variables. Les MS et la DCO sont moyennement corrélés (coefficient de corrélation = $0,65 > 0,6$), généralement elles varient de la même façon. Les MES et les MVS évoluent en même temps et dans les mêmes proportions car elles sont fortement corrélées (coefficient de corrélation= $0,9 > 0,8$).

Les arguments cités plus haut s'ils expliquent les variations observées dans notre étude ne peuvent justifier les différences constatées avec les valeurs de Vonwiller et al trouvées dans le suivi de la déposante de Cambérène en 2007.

4.1.6- Comparaison des boues de la déposante et de la SETBV

L'intérêt recherché, à travers cette comparaison, est d'évaluer le mode d'échantillonnage approprié pour la caractérisation des boues de vidange de Dakar et de statuer sur les différences observées avec les autres mesures déjà effectuées à la déposante de Cambérène d'autant plus que les différents résultats obtenus l'ont été sur la base d'un mode d'échantillonnage différent.

Tableau 6: Comparaison des valeurs moyenne de la SETBV et de celles de la déposante

Paramètres	MS (mg/L)	MVS _T /MS	NTK (mg/L)	DCO (mg/L)
Ndiaye/Vonwiller	4455	70%	931	7119
Walker	4300	45%	-	5480
SETBV	3488	45%	442	3853
Nombre d'échantillons	DBV	44	7	35
	SETBV	36	20	50

Il ressort de ce tableau que pour les mêmes boues collectées à Dakar, les valeurs des différents paramètres mesurés sont très différentes. L'azote et la DCO ont presque doublé par rapport à la SETBV, le rapport MVS_T/MS et les MS se multiplient par un facteur de 1,3.

Les différences entre les valeurs moyennes sont à chercher dans le mode d'échantillonnage qui est complètement différent pour les différentes études menées jusqu'ici, mais aussi, au niveau de la durée de la campagne d'échantillonnage.

Vonwiller et Ndiaye ont procédé comme suit : leur campagne d'échantillonnage a duré 21 jours, du 19 décembre 2006 au 8 janvier 2007. Leur point de prélèvement est l'ouvrage de réception de la déposante qui peut recevoir plusieurs camions en même temps. De 9 h à 15 h, 2 échantillons sont prélevés par heure et un échantillon entre 8 h et 9h et entre 15 et 16 h. quand les camions dépotent dans le canal, les échantillons sont pris, un au début, un au milieu et un à la fin et le tout est mélangé dans un bac.

Connaissant le volume total déposé, un volume proportionnel est prélevé dans une bouteille. Ces échantillons seront regroupés pour constituer un échantillon composite journalier.

Ce modèle d'échantillonnage présente plus de différences que de similitudes avec la méthode utilisée dans notre étude et citée plus haut. Pour les deux modèles, un échantillon peut provenir d'un ou de plusieurs camions de vidange mais pour le reste ils diffèrent totalement. En effet le contenu des camions n'est pas mélangé et

l'échantillonnage se fait à la sortie du tuyau de dépotage du camion alors que pour la méthode utilisée dans ce travail c'est au niveau du bassin de stockage et après mélange du contenu de plusieurs camions que la prise d'échantillon se fait.

L'échantillonnage de Vonwiller et Ndiaye nous semble présenter deux problèmes essentiels qui peuvent être à l'origine du caractère plus élevé de leurs valeurs.

- Le premier est le point de prélèvement qui accumule les matières solides qui sédimentent rapidement pendant le dépotage et qui pourraient être prélevées lors de l'échantillonnage, ce qui naturellement augmenterait les valeurs des différents paramètres. La preuve est qu'à la fin de chaque journée ou en milieu de journée les ouvriers utilisent des pelles pour enlever les matières décantées. Sur la photo suivante on peut voir les déchets solides accumulés au niveau du canal de la déposante de Cambérène ; on peut y voir également d'importantes quantités de sable et de déchets solides.

Photo 6 : Déchets solides accumulés dans le canal de la déposante de Cambérène



Il est évident que ces déchets accumulés contiennent une grande partie de matières en suspension. Ces dernières peuvent être prises lors de l'échantillonnage dans le canal collecteur de la déposante.

Selon Walker (2007) l'écoulement dans le canal n'est pas très turbulent, le sable et les particules lourdes s'y déposent et l'arrivée d'un camion les remet en suspension ce qui peut dénaturer les résultats.

- Le second problème est lié à la façon de prendre les échantillons, car les différentes phases n'occupent pas la même proportion en volume donc on ne devrait pas avoir le même volume prélevé pour les échantillons. Et en plus, identifier une phase au moment du dépotage n'est point évident. Au tout début du dépotage les boues sont très concentrées du fait de la décantation qui s'opère lors

du transport qui dure en moyenne 51 minutes pour la déposante de Cambérène (Diongue, 2006) ; un temps largement suffisant pour le dépôt des matières solides au fond du camion malgré les perturbations lors du transport. Les tests de sédimentation situent ce temps entre 15 et 30 minutes. Il se pose donc un problème de représentativité de l'échantillon. Leur difficulté provient de la réalisation du mélange du contenu des différents camions. Ces problèmes sont résolus avec le bassin de stockage et l'agitateur. Il est à signaler que la SETBV n'a jamais reçu d'hydro-cureurs durant l'expérimentation par contre la déposante en reçoit.

Si la légère supériorité notée entre nos valeurs et celles des autres s'explique par le mode d'échantillonnage elle ne pourrait en aucun cas expliquer le gap entre les boues de vidange de Dakar et les boues des autres régions du monde.

4.1.7- Classification des boues de vidange de Dakar parmi les autres boues de quelques régions du monde

Le tableau 11 compare les caractéristiques des boues de Dakar à celles mesurées dans d'autres régions du Monde.

Tableau 7 : Comparaison des boues de vidange de Dakar avec celles produits dans diverses régions du Monde

Paramètres	Accra	Bangkok	Manille	USA EPA	Dakar
MS (mg/L)	11 900	16 000	72 000	38 800	3 488
MVS_T (%)	60	69	69	76	54
DCO (mgO₂/L)	7 800	14 000	37 000	43 000	3853
DCO/MS	0,7	0,9	0,5	1,1	1,1

NB : les données de la deuxième à l'avant dernière colonne viennent du document EAWAG/SANDEC, 1999.

Il apparaît clairement sur ce tableau que les BV de Dakar sont largement moins concentrées que les autres boues des régions du monde. Cependant, si pour les paramètres MS, DCO pris séparément, les écarts sont grands ce n'est pas le cas pour les paramètres MVS_T et DCO/MS qui présentent des valeurs assez proches. C'est le cas entre les BV de Dakar et USA/EPA pour le rapport DCO/MS et les rapports MVS_T entre Accra et Dakar qui sont très proches.

Ces différences peuvent s'expliquer par les technologies de pompage utilisées et par les pratiques socioculturelles d'utilisation et de gestion des ouvrages d'assainissement autonomes. D'après Diongue (2006), les camions utilisés sont à 83% de type pompeur c'est-à-dire incapable de prélever les matières solides déposées au fond de la fosse. De ce fait, les boues qui arrivent au niveau des déposantes ne représentent que la fraction liquide (surnageant) des fosses. Selon le même auteur, les éboueurs ou "baay-pelles" interviennent souvent soit, aux cotés des camions pour enlever les boues restantes après le passage des camions soit, pour procéder directement à la vidange de la fosse. Kassa Mvoubou (2004) confirme cela à travers le tableau 12 suivant qui indique les types de vidanges (complète ou incomplète) et les moyens d'évacuation des boues restantes dans la fosse après le passage du camion.

Tableau 8 : Vidange complète et évacuation des boues restantes chez les bénéficiaires du camion

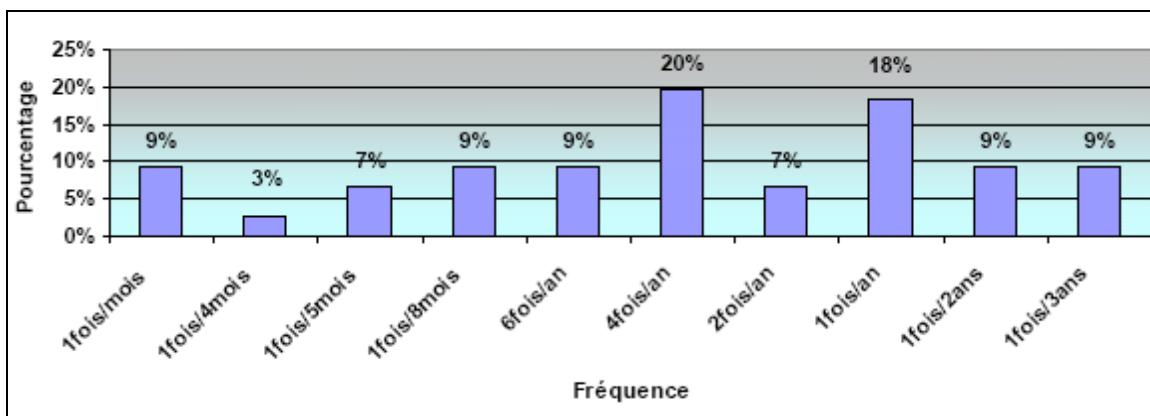
(Source Kassavoubou, 2004).

	Type de vidange		Mode d'évacuation des boues restantes		
	Complète	Incomplète	Baay-pelles	Membres de la famille	Sans intervention
Pourcentage	19%	81%	37%	6%	57%

Dans cette commune comme on peut le constater 81% des fosses ne sont pas complètement vidangées et le reste est constitué de boues concentrées. Ces dernières auraient permis de rehausser la concentration des boues de vidange.

Mais, il est important de signaler que cette boue concentrée que les camions ne sont pas capables de pomper ne se retrouve pas à la déposante. Ces boues restantes enlevées sont enfouies dans des trous creusés à côté de la fosse septique vidangée ou mises dans des vieux sacs de riz pour être jetées dans des dépotoirs d'ordures ou dans des endroits déserts (Diongue, 2006). La fréquence des vidanges reste élevée du fait du nombre pléthorique d'usagers et du fait que la fosse soit mal dimensionnée voire sous dimensionnée la plupart du temps et de la remontée des eaux de nappes dans certaines zones. La fréquence de vidange des fosses est de 3 mois (Diongue, 2006) et Mvoubou(2004) présente un tableau plus détaillé de la durée de la fréquence de vidange dans la commune de Sahm-Notaire qui confirme également cette hypothèse figure 15.

Figure 15 : Fréquence de vidange des fosses dans la commune de Sahm-Notaire



(Source Kassavoubou, 2004)

En dehors des problèmes techniques, des pratiques culturelles telles que le lavage des parties intimes qui se font à chaque passage dans les WC et le nombre de bains élevé par jour à cause du climat peuvent être à l'origine d'une dilution des boues de vidange.

Il faut y ajouter l'intrusion des eaux de la nappe phréatique qui a une profondeur moyenne de 9,96 m (Fall, 1991). Dans certaines zones, la nappe affleure quasiment.

4.2. Performances des décanteurs épaisseurs

Les paramètres mesurés pour la caractérisation des boues de vidange de Dakar au niveau du bassin de stockage constituent les valeurs d'entrée pour les différentes filières et particulièrement pour les D/E.

Les échantillons ont été prélevés pendant les jours d'alimentation de la filière. L'évaluation des performances se fera en fonction des variations des différents paramètres présentés ci-après (charges, durée d'épaissement et mode de fractionnement des charges).

Comme déjà évoqué, la concentration en matières sèches des boues brutes tourne autour de 3,5 kg/m³.

Si un volume de 18 m³ est brassé par un cycle (charge et épaissement), alors les charges rapportées à la surface dépendent de la durée du cycle. Ainsi pour un cycle sans surverse de deux et trois jours d'alimentation les charges sont respectivement de 2,25 kg MS/m².j et 1,5 kg MS/m².j. Ces charges correspondent à des volumes nominaux de 9m³

et de $6\text{m}^3/\text{jour}$. La charge traitée avec ce mode d'alimentation est de $4,5 \text{ kg MS/m}^2$. Ce qui fait une charge totale par cycle de 63 kg de MS .

Pour l'alimentation avec surverse, des volumes de 2 m^3 et de $4 \text{ m}^3/\text{jour}$ ont été apportés pour des charges respectives de $0,5 \text{ kg MS/m}^2\text{.jour}$ et $1 \text{ kg MS/m}^2\text{.jour}$. Ces charges ont été appliquées pendant 20 jours suivis d'un épaississement de 15 jours.

4.2.1. Influence de la variation de charge

L'évaluation est faite sous deux modes d'alimentation : une alimentation sans surverse et une alimentation avec surverse ; mais aussi à partir d'une variation de charge journalière pendant l'alimentation et lors de l'épaississement.

4.2.1.1. Influence d'une variation de charge journalière sans surverse

Dans le premier bassin, on applique $2,25 \text{ kg MS/m}^2\text{.j}$ pendant 2 jours et dans le second, on apporte $1,5 \text{ kg MS/m}^2\text{.j}$ pendant 3 jours d'alimentation suivi d'une durée d'épaississement identique pour les deux bassins et pendant laquelle l'évolution des MS, MES, MVS et la DCO sont suivis un jour sur trois.

➤ Evolution des MES et des MVS contenues dans le surnageant en fonction d'une variation de charge journalière sans surverse

Les figures 16 et 17 présentent les variations en MES et en MVS du surnageant au cours de la période d'épaississement.

Figure 16 : Variation des MES en fonction de la variation de charge journalière sans surverse suivie de 10 jours d'épaississement

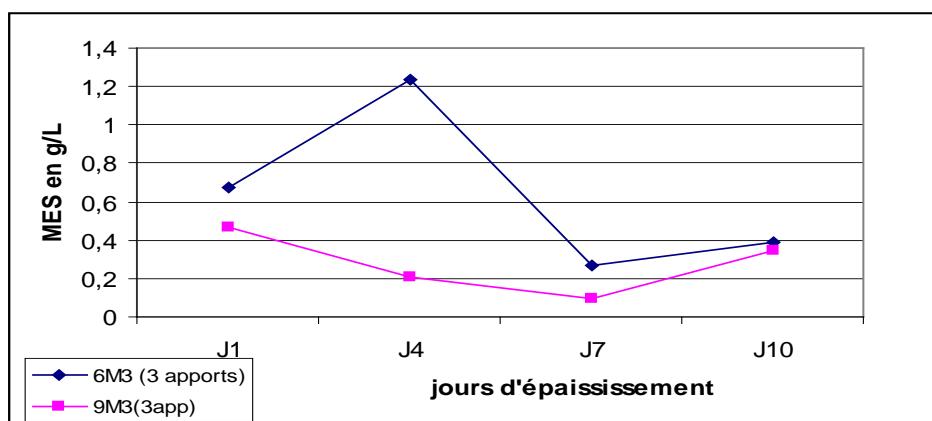
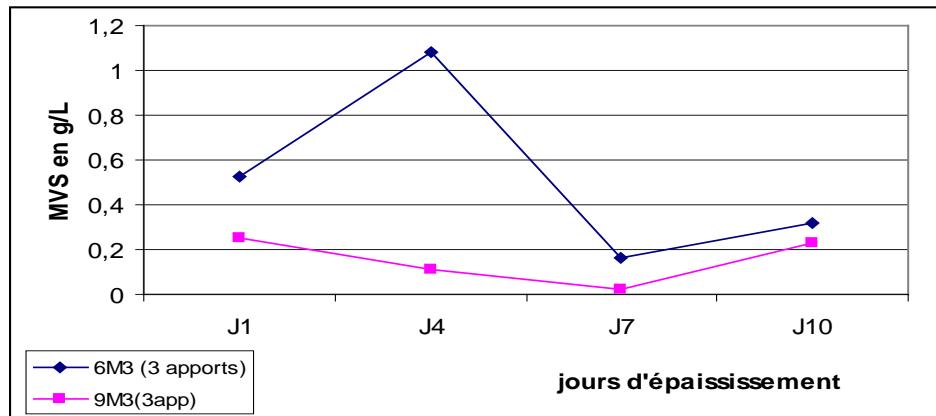


Figure 17 : Variation des MVS en fonction de la variation de charge journalière sans surverse suivi de 10 jours d'épaississement



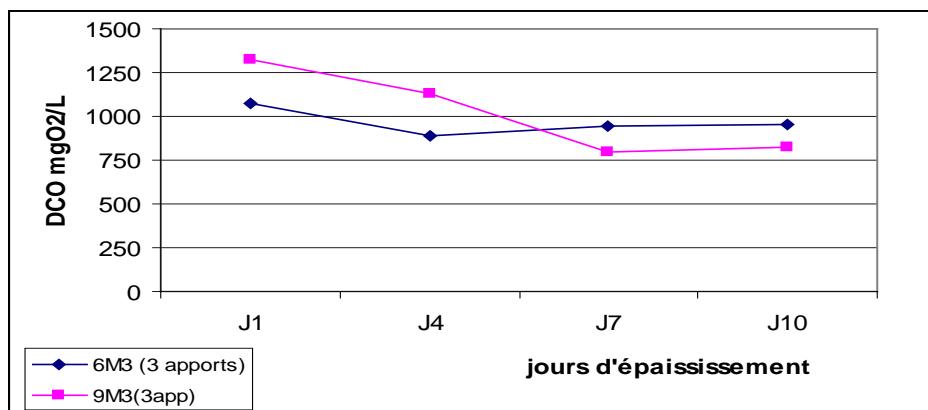
Les matières en suspension et les matières volatiles en suspension sont beaucoup plus abondantes dans le surnageant quand la charge journalière appliquée est la plus faible. Cela reste valable du premier au dernier jour de l'épaississement. Cependant, la différence est beaucoup plus nette du premier jour au 7^{ème} jour que durant le reste de l'épaississement.

Cela s'explique par le fait qu'avec un débit journalier de 6 m³, l'alimentation dure trois jours et les perturbations hydrauliques sont plus importantes lorsque le bassin est faiblement rempli alors qu'avec 9 m³ la durée d'alimentation est de deux jours et le fait que le bassin soit à moitié rempli réduit fortement les perturbations liées aux nouveaux apports de boues.

✖ Evolution de la DCO contenue dans le surnageant en fonction de la variation de charge journalière sans surverse

Les figures 18 et 21 présentent les variations en DCO du surnageant au cours de deux périodes d'épaississement.

Figure 18 : Variation de la DCO en fonction de la variation de charge journalière sans surverse après 10 jours d'épaississement



Les variations de la DCO ne respectent la règle énoncée plus haut qu'à partir du 7^{ième} jour d'épaississement. Cette expérience a été reprise avec un temps d'épaississement de 10 jours.

Figure 19 : variation des MES en fonction d'une variation de charge journalière sans surverse suivi de 15 jours d'épaississement

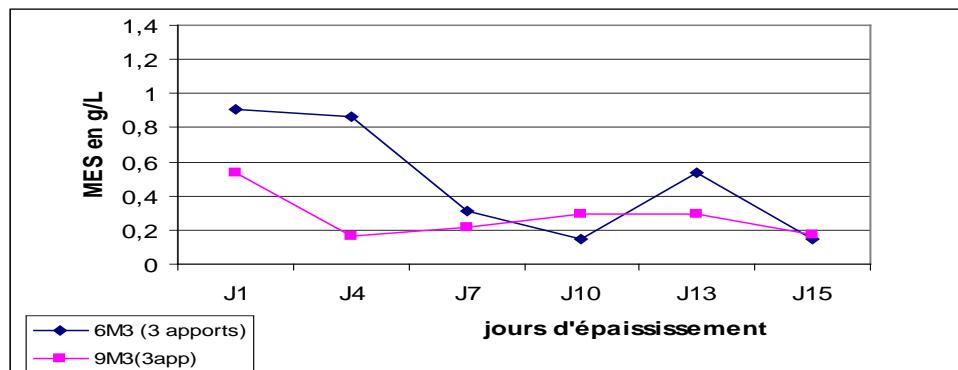
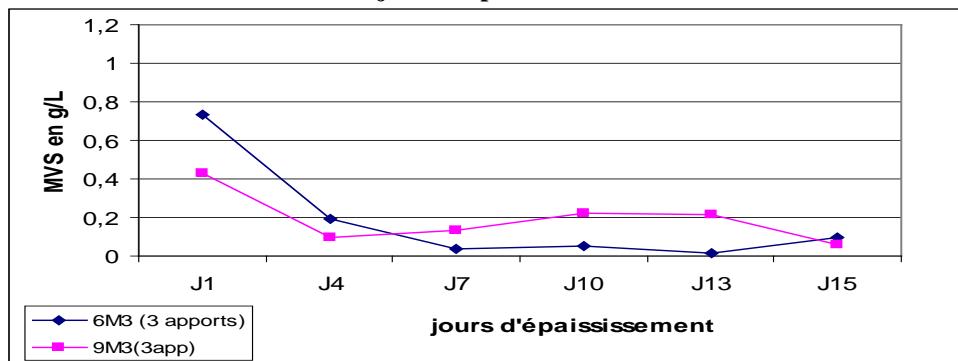
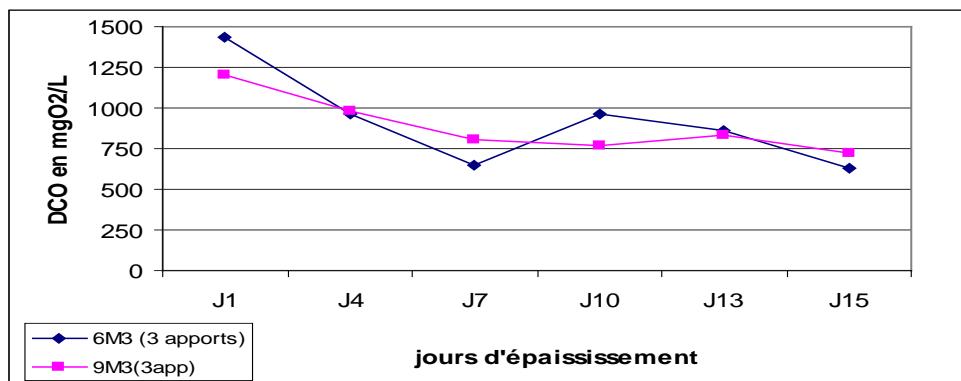


Figure 20 : variation des MVS en fonction de la variation de charge journalière sans surverse suivi de 15 jours d'épaississement



La plus grande charge journalière offre un rendement nettement meilleur au début de l'épaississement mais cette tendance n'est pas continue durant la période de repos du bassin. Pour les MVS à partir du 7^{ème} jour, le bassin ayant reçu la plus petite charge journalière pendant l'alimentation donne un surnageant moins chargé. Alors que pour les MES ni l'une ni l'autre tendance ne prenne le dessus. Cependant à la fin des 15 jours d'épaississement que ce soient les MES ou les MVS les concentrations sont identiques dans les deux bassins.

Figure 21 : Variation de la DCO en fonction d'une variation de charge journalière sans surverse après 15 jours d'épaississement



Contrairement à la DCO lors de la première expérience, ici la plus grande charge offre une meilleure efficience le premier jour mais au delà cette hypothèse ne se confirme pas. Toujours est-il qu'à la fin de l'épaississement les teneurs en DCO dans les surnageants restent identiques.

L'influence que peut avoir une différence de charge journalière avec une alimentation sans surverse sur la qualité du surnageant est très visible lors des premiers jours d'épaississement jusqu'au 7^{ème} jour pour les MES et les MVS mais, au delà de ce jour elle devient moins nette.

La tendance générale est qu'une plus grande charge journalière est plus efficiente. Cependant la DCO ne respecte guère cette tendance.

La constante dans cette expérience est que quelque soit les charges appliquées le prolongement de l'épaississement efface complètement les variations de rendement qui peuvent exister.

Deux explications peuvent être avancées pour ces deux phénomènes :

- les différences des premiers jours sont dues au fait que le bassin n'amortit que les plus grands volumes et donc l'alimentation avec 9 m³ offre alors un meilleur rendement épuratoire ;

- la réduction voir la disparition des différences au cours de l'épaississement sont dues au fait qu'au fil du temps les perturbations sont devenues insuffisantes voir nulles dans le bassin.

4.2.1.2. Influence d'une variation de charge journalière avec surverse sur la qualité du surnageant

Dans l'un des bassins on apporte $0,5\text{kg MS/m}^2.\text{jour}$ soit 2 m^3 de boues brutes par jour et dans l'autre bassin on applique le double soit 4 m^3 ($1 \text{ kg MS/m}^2.\text{jour}$). Pour les deux bassins, les volumes journaliers sont divisés en des apports de 1 m^3 toutes les trente minutes. Il a été procédé ainsi pendant 20 jours d'alimentation suivi de 15 jours d'épaississement. Les temps de séjour sont respectivement de 9 jours et de 4,5 jours.

➤ Evolution des MS, MES, MVS et de la DCO contenues dans le surnageant en fonction d'une variation de charge journalière avec surverse

Les figures 22 et 23 présentent une variation des MS, MES, MVS et DCO du surnageant du bassin D/E soumis à différentes charges dans des conditions de surverse.

Figure 22 : Variation des MS, MES, et MVS en fonction d'une variation de charge journalière avec surverse

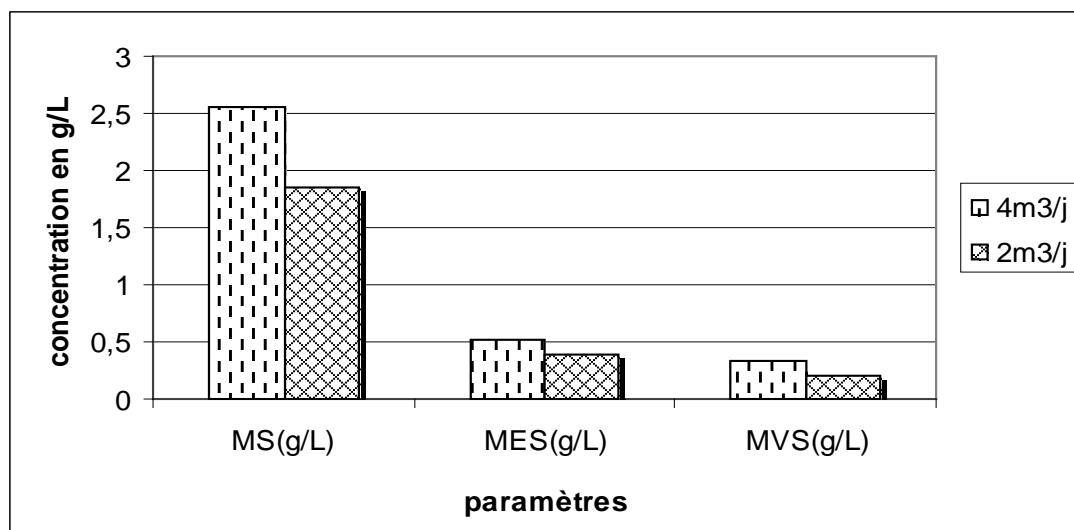
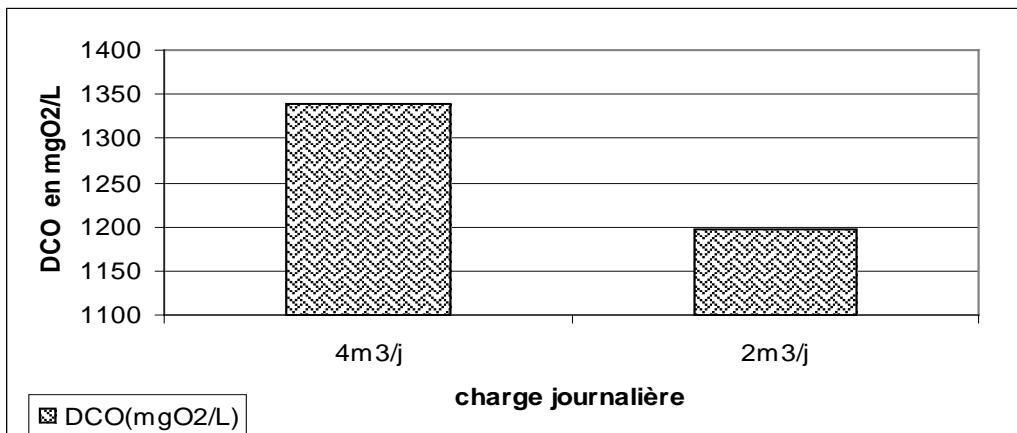


Figure 23 : Variation de la DCO en fonction d'une variation de charge journalière avec surverse.



Pendant l'alimentation, le surnageant obtenu avec un volume journalier de 4m³/jour est plus chargé que le surnageant obtenu avec un volume journalier de 2m³/jour. Cependant le rapport entre les rendements n'est pas multiplié par un facteur deux comme pour les volumes appliqués.

Avec un temps de séjours de 4,5 jours, la qualité du surnageant reste de meilleure qualité qu'une eau brute dessablée de la STEP de Cambérène dont les concentrations en MES et DCO sont respectivement de 0,816 g/L et 2017 mgO₂/L (ONAS, 2007).

4.2.1.3. Influence d'une variation du volume final traité

L'objectif est de voir, si les différences observées pendant l'alimentation restent valables durant l'épaississement. L'épaississement dur 15 jours, un échantillon est pris tout les trois jours.

✖ Evolution des MS, MES, et les MVS en fonction du volume final traité

Les figures 24, 25 et 26 montrent l'évolution des MS, MES et MVS durant l'épaississement après les 20 jours d'alimentation

Figure 24 : Evolution des MS en fonction de la charge pendant l'épaississement

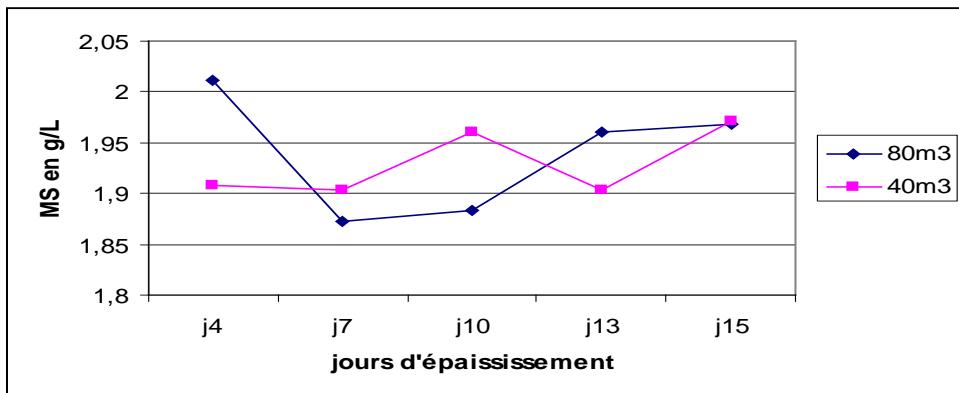


Figure 25 : Evolution des MES en fonction de la charge pendant l'épaississement

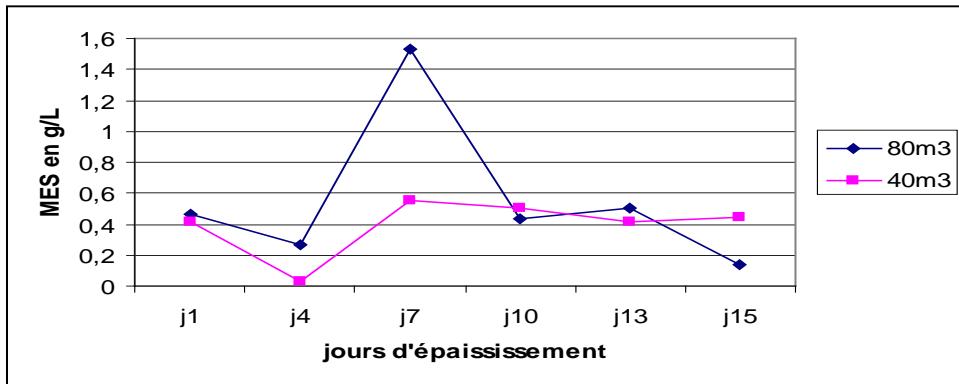
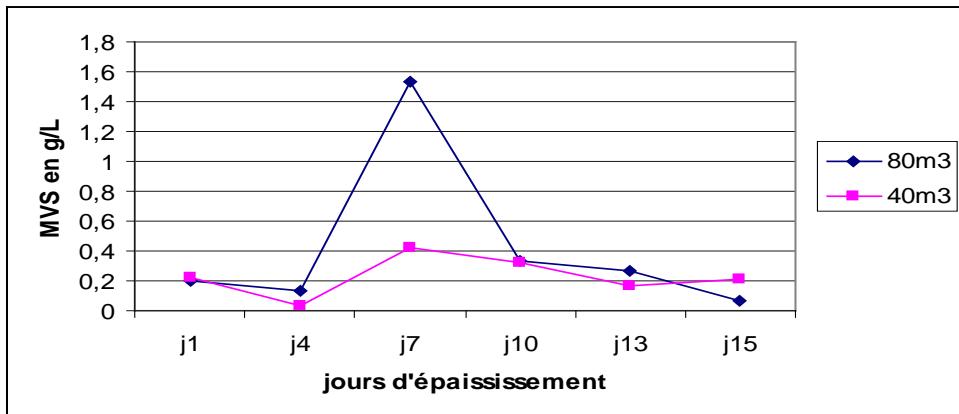


Figure 26 : Evolution des MVS en fonction de la charge pendant l'épaississement



Pendant l'épaississement, malgré que les charges aient varié du simple au double, les différences de rendements dans les bassins ne sont pas perceptibles.

Pour les MES de meilleurs rendements sont notés pour la plus petite charge entre le 4^{ième} et le 10^{ième} jour mais au-delà les valeurs restent peu différentes. Cela s'observe sur les MVS et les MS à quelques différences près.

Ce constat s'explique par le temps de repos qui devient infini dans le bassin et le relargage des boues qui occasionnent une discontinuité du processus de sédimentation des particules. En effet, ce sont des mottes de boues de diamètres très variables qui remontent à la surface du bassin de façon aléatoire et incontrôlée.

La fermentation des boues a comme aspect visuel une remontée à la surface du décanteur des boues (couleur noirâtre, malodorante présentant une forte densité apparente de la boue (Pujol et al; 1990).

Selon ce même auteur, les causes possibles sont l'âge de la boue trop élevé et l'influence des graisses par admission d'effluents septiques. Cela se confirme dans notre cas où la totalité de la boue est d'origine septique et riche en graisse notamment les huiles de cuisson et où le temps de séjour est suffisamment long. En plus de cela l'apparition d'une nouvelle forme de vie constituée d'algue phototrophes témoignée par la couleur verdâtre du bassin n'est pas étrangère à ce regain de pollution.

En définitive, une différence de charges journalières avec surverse a des conséquences significatives sur le rendement épuratoire du bassin pour tous les paramètres mesurés mais son impact s'estompe pendant l'épaississement.

4.2.2. Influence du mode de fractionnement des charges sur la qualité du surnageant

Des charges journalières identiques d'alimentation sont appliquées à raison de 9 m³ par jour pendant 2 jours. Pour une des charges, la totalité est appliquée une seule fois et l'autre charge, on la fractionne en des apports de 3 m³ espacés de 2 heures.

4.2.2.1. Evolution des MS et de la DCO en fonction du mode de fractionnement des charges

Les figures 27 et 28 présentent les variations de MS et de DCO du surnageant en fonction du mode de fractionnement de la charge.

Figure 27 : Variation des MS en fonction du mode de fractionnement des charges

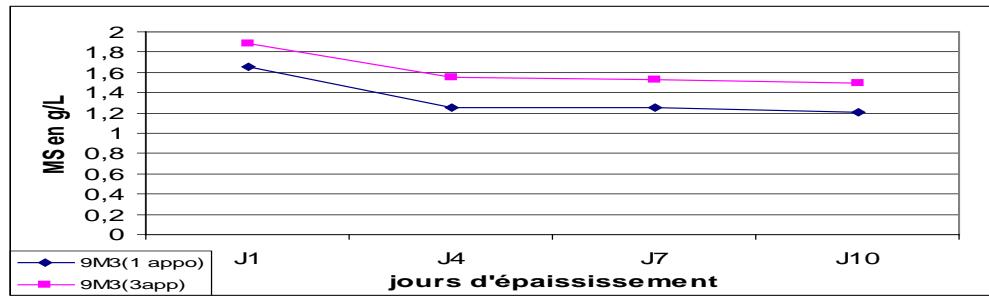
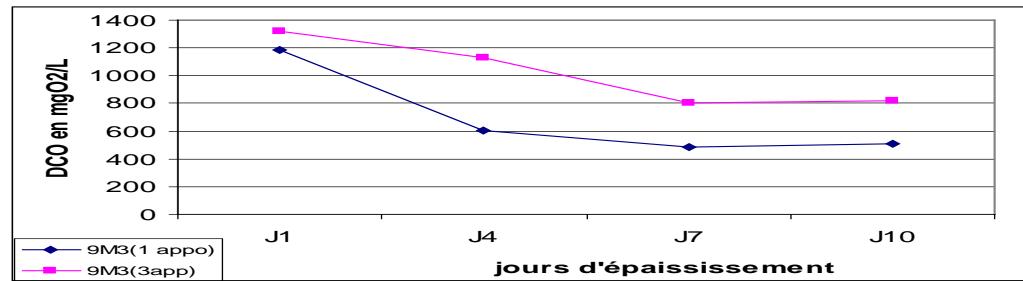


Figure 28 : Variation des DCO en fonction du mode de fractionnement des charges

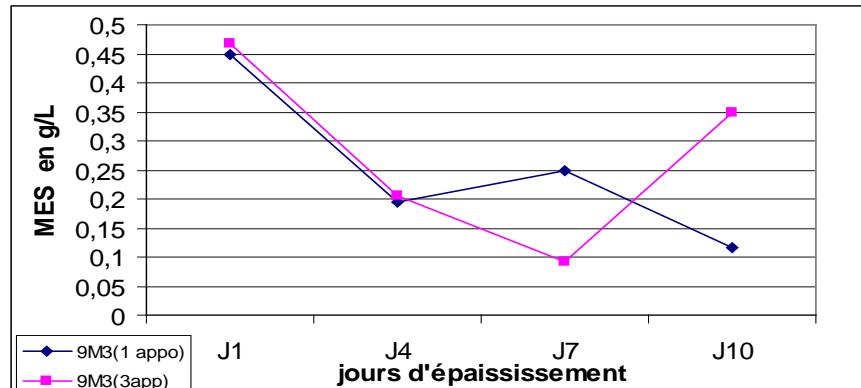


A volume journalier égal, le meilleur rendement pour le surnageant en DCO et en MS est obtenu avec la charge non fractionnée. Ce constat reste valable sur toute la durée de l'épaississement.

4.2.2.2. Evolution des MES et de la MVS en fonction du mode de fractionnement des charges

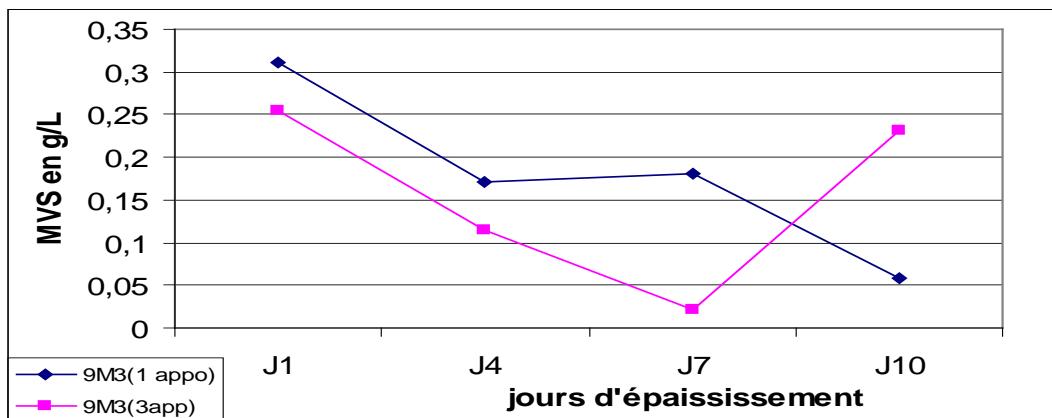
Les figures 29 et 30 présentent les variations de MES et de MVS du surnageant en fonction du mode de fractionnement de la charge.

Figure 29 : Variation des MES en fonction du mode de fractionnement des charges



Faire plusieurs apports en une journée est synonyme de plusieurs remises en suspension des particules décantées. Cela explique le fait qu'au début de l'épaississement, l'apport unique est légèrement plus efficient sur le rendement en MES. Cependant, la différence disparait au fur et à mesure que le repos se prolonge et que les particules décantent et commencent à s'épaissir. Il est à croire que seules les particules les plus légères sont massivement remises en suspension et que les plus grosses responsables des MS et de la DCO en grande partie ne sont pas mises en cause ce qui explique les écarts entre les différents paramètres.

Figure 30 : Variation des MVS en fonction du mode de fractionnement des charges



La fraction organique ne suit pas la même tendance observée chez les autres paramètres. En effet, le meilleur rendement est obtenu avec plusieurs apports journaliers pour une même charge appliquée qu'avec un seul apport. La multiplication des apports constituent un rajeunissement de la flore microbienne et donc, une plus grande activité de dégradation dans la boue et donc, plus de MVS, cela peut constituer une première hypothèse. Et la deuxième hypothèse est relative au fait que les apports multiples peuvent donner lieu à une dégradation des particules organiques due à un phénomène purement mécanique lié à l'écoulement et aux frottements qu'il occasionne.

4.2.3. Influence du temps de séjour des boues sur la qualité du surnageant

Les charges et le mode de fractionnement des volumes sont fixés, seule la durée de l'épaississement est variable. L'objectif est de déterminer la durée idéale pour une meilleure qualité du surnageant mais aussi de voir si en réalité on gagne ou pas en prolongeant l'épaississement.

4.2.3.1. Influence du temps de séjour des boues sur les MS, les MES et les MVS

Les figures 31, 32, 33, 34 et 35 présentent les variations des paramètres suivis en fonction de la durée de l'épaississement.

Figure 31 : Evolution des MES en fonction de la durée de l'épaississement avec 6 m³.

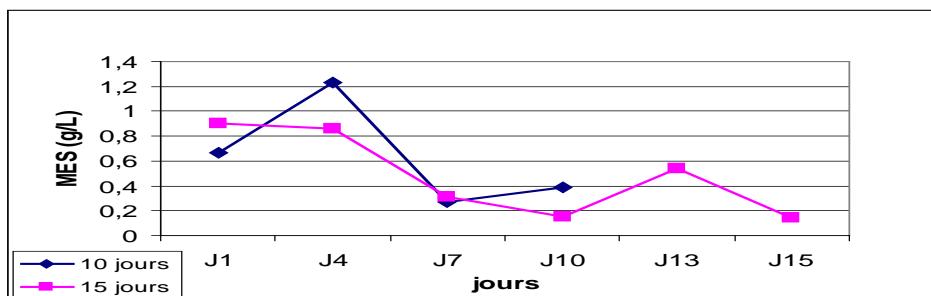


Figure 32 : Evolution des MES en fonction de la durée de l'épaississement avec 9 m³ en 3 apports

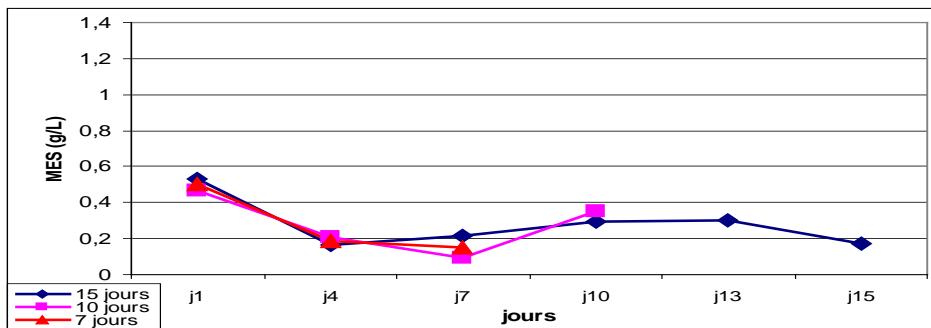


Figure 33 : Evolution des MES en fonction de la durée de l'épaississement avec 9 m³ apport unique

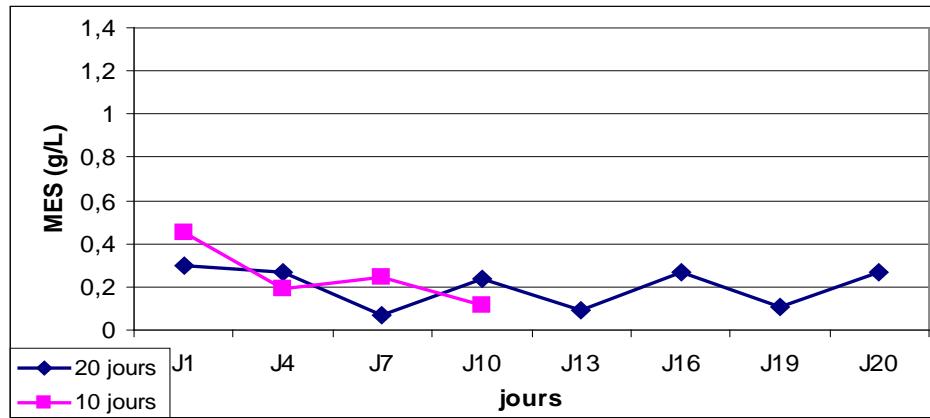


Figure 34 : Evolution des MES, MS et MVS en fonction de la durée de l'épaississement avec $4\text{m}^3/\text{j}$

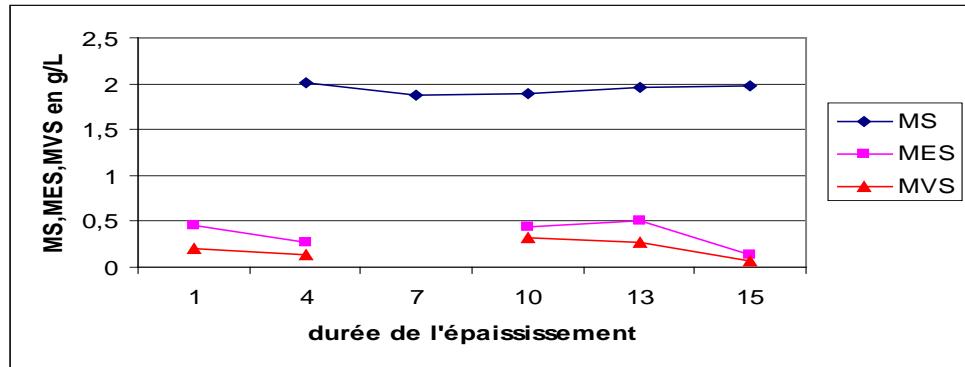
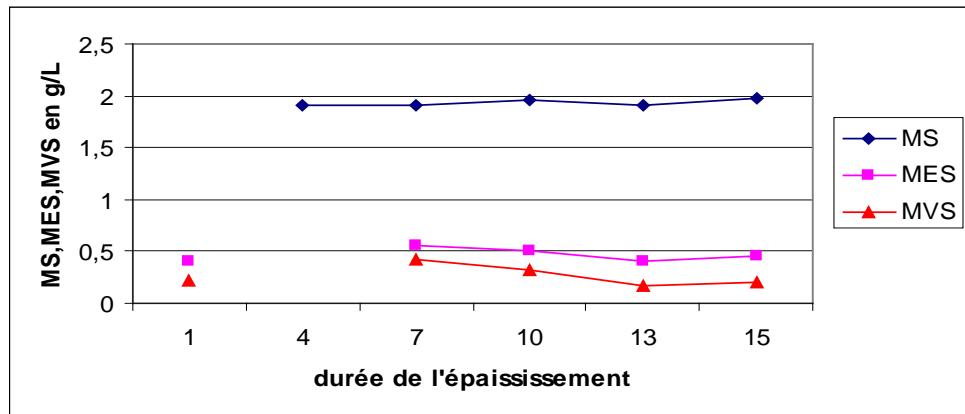


Figure 35 : Evolution des MES, MS et MVS en fonction de la durée de l'épaississement avec $2\text{m}^3/\text{j}$



Les différences observées sur la qualité du surnageant pour une même charge et pour un même mode de fractionnement de la charge sont strictement liées aux paramètres initiaux de la boue ayant alimenté le décanteur/épaississeur.

La qualité du surnageant ne suit pas une progression linéaire au cours de l'épaississement mais plutôt elle connaît des variations soient d'amélioration ou de dégradation. Cependant, dans le cas général, la concentration des matières en suspension se réduit drastiquement entre le premier et le 7^{ème} jour d'épaississement et au-delà, les variations deviennent aléatoires et peuvent donner lieu à un regain de pollution ou tout simplement occasionner une faible amélioration. Cette tendance reste valable pour les MVS et les MS. Si dans le cas d'une alimentation avec surverse, les résultats sont différents en apparence,(figure 35) cela est due au fait que le premier jour de l'épaississement correspondait déjà à un temps de séjour respectif de 4,5 jours et 9 jours du surnageant dans le bassin. En effet le premier jour ici noté est le 10^{ème} pour l'un et le 5^{ème} pour l'autre. Cela se traduit par le constat qu'il n'y a presque pas d'amélioration significative de la qualité du surnageant au cours de l'épaississement (**à partir de quel jour ???**).

4.2.3.2. Influence du temps de séjour des boues sur la DCO

Les figures 36, 37 et 38 présentent les variations de la DCO en fonction en fonction du temps de séjour des boues dans les bassins

Figure 36 : Evolution de la DCO en fonction de la durée de l'épaississement avec 6 m³

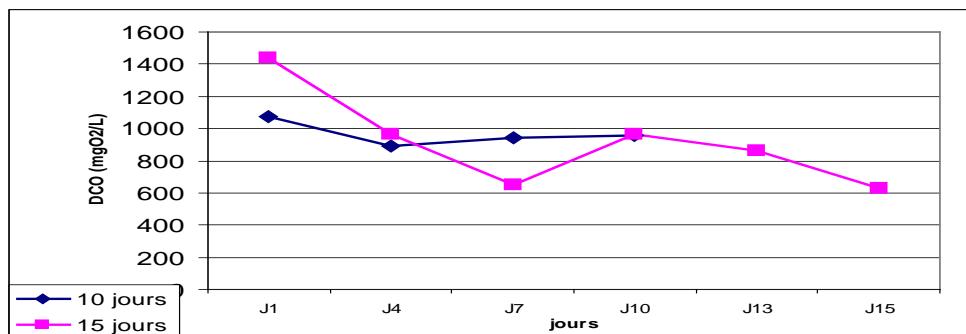


Figure 37 : Evolution de la DCO en fonction de la durée de l'épaississement avec 9 m³ en 3 apports

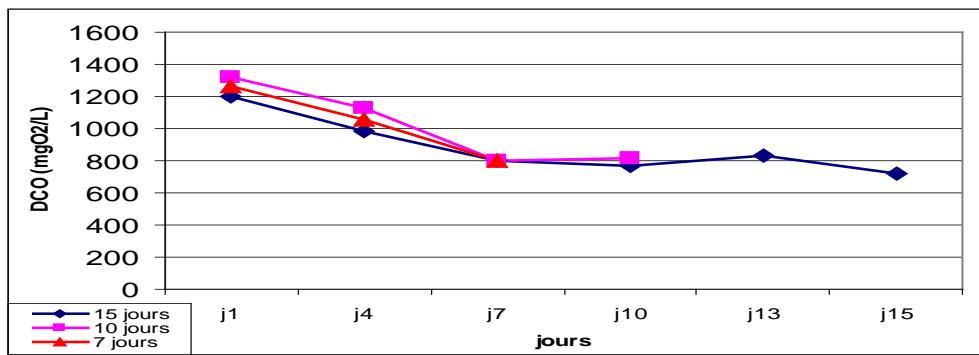
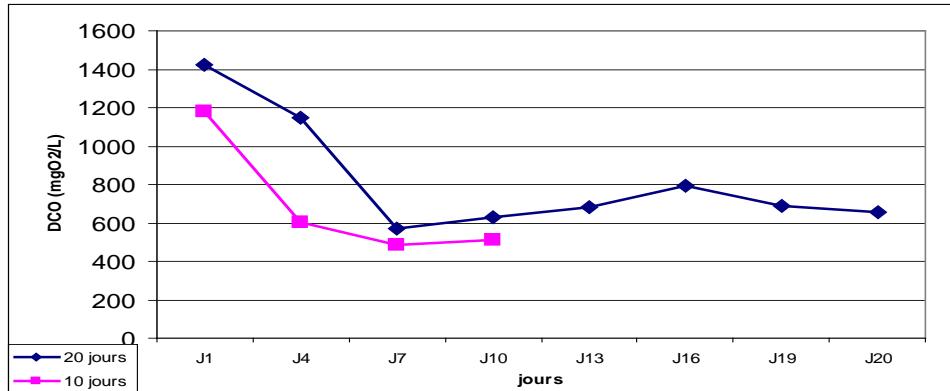


Figure 38 : Evolution de la DCO en fonction de la durée de l'épaississement avec 9 m³ apport unique



Pour la DCO le prolongement de la durée de séjour des boues au-delà de 7 jours n'a pas d'influence positif sur la qualité du surnageant. Cependant, si le prolongement se poursuit, une augmentation de la DCO se produit. Comme dit plus haut le relargage de boues est responsable de ce phénomène en plus du développement de microorganismes phototrophes en général et parfois des invertébrés qui sont pris avec le surnageant lors de l'échantillonnage. Les algues représentent des matières en suspension non décantables lorsqu'elles sont vivantes. En fait la quasi-totalité des MES recueillies à la sortie d'un lagunage à microphytes est constituée par les cellules algales (Bécaye, 2002).

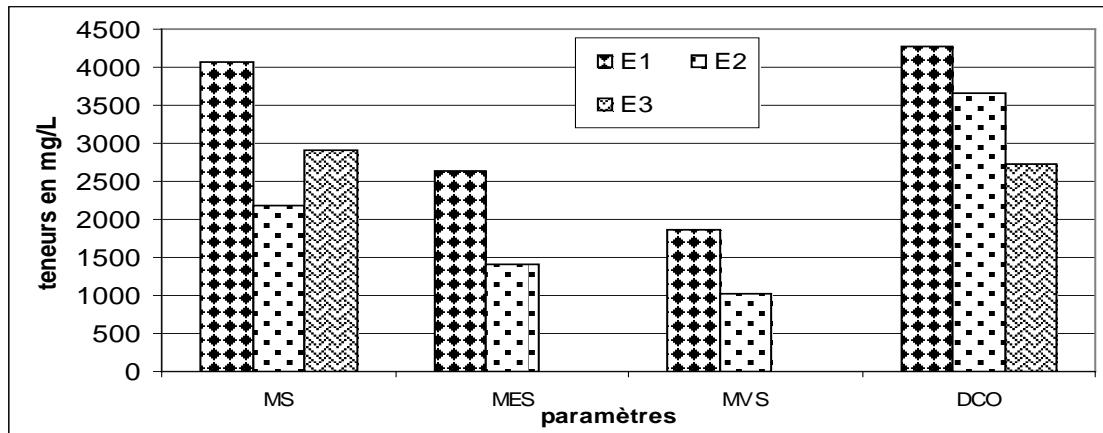
La DCO filtrée est indispensable pour une bonne connaissance de la qualité en DCO qu'aurait le surnageant sans ces nouvelles matières en suspension. Le développement algal est rendu possible par la diffusion de l'oxygène de l'air via l'interface atmosphère-eau et de la production d'oxygène par les algues phototrophes (Bécaye, 2002). Le développement de ces organismes témoignent de la clarté du surnageant et donc la pénétration de la lumière solaire.

4.2.4. Rendement épuratoire des décanteurs/épaississeurs

4.2.4.1. Variation du rendement lié à la variabilité des boues brutes

Trois cycles de 9 m³ sont effectués avec le même mode de fractionnement des volumes mais les concentrations des MS, des MES, des MVS, et de la DCO sont fondamentalement différentes (figure 9). Ensuite, des temps d'épaisseur de 7, 10 et 15 jours sont appliqués pour évaluer l'impact de cette différence de boues brutes sur le rendement épuratoire apparent du bassin.

Figure 39 : Variabilité des boues d'alimentation selon les cycles



Les rendements des MES et de la DCO par les D/E en fonction du temps d'épaissement brute sont présentés dans les figures 40 et 41.

Figure 40 : Rendement en MES en fonction de la durée d'épaissement

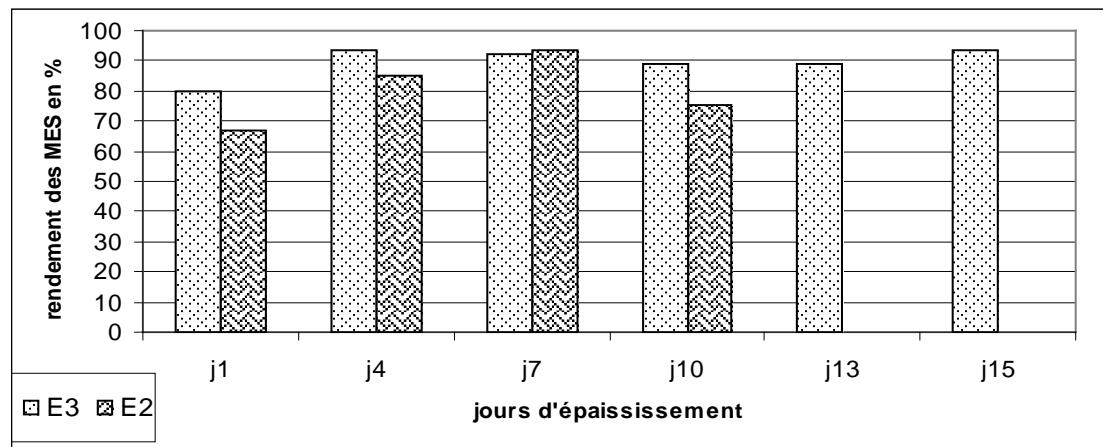
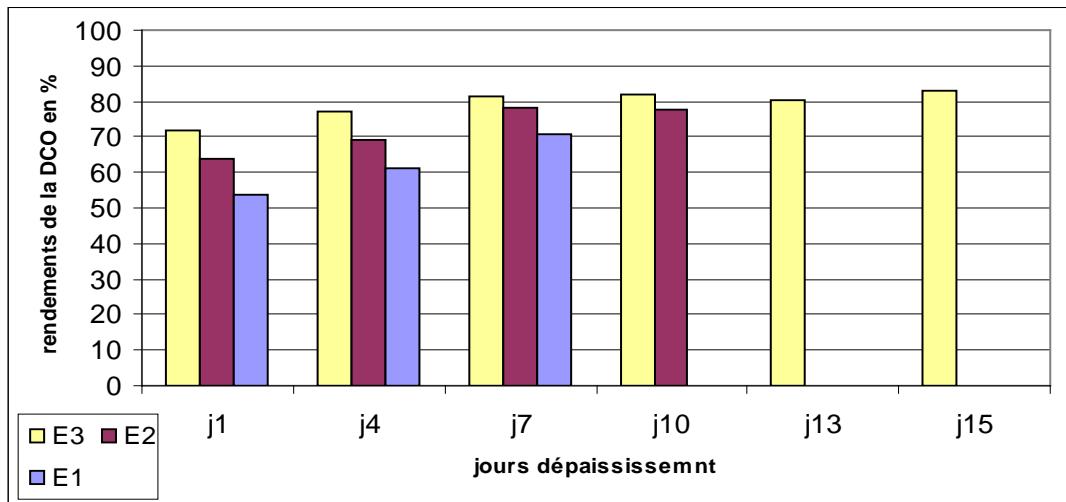


Figure 41 : Rendement de la DCO en fonction de la durée d'épaissement



Les rendements épuratoires des bassins sont plus élevés lorsque la boue brute de départ est plus concentrée. Cela est valable même si la qualité du surnageant est meilleure à l'arrivée avec une boue moins concentrée au départ.

Cette tendance observée avec les MES et la DCO est aussi valable pour les MVS et les MS.

Le calcul du rendement apparent est effectué à partir de la formule suivante :

$$R = \left[\frac{1 - \text{valeur du paramètre dans le surnageant}}{\text{valeur du paramètre à l'entrée}} \right] \times 100$$

$$R = \left(1 - \frac{\alpha}{\beta} \right) \times 100$$

α : Valeur du paramètre dans le surnageant

β : Valeur du paramètre dans la boue brute

R : Rendement apparent du bassin

Si α est grand le rapport $\frac{\alpha}{\beta}$ est grand ; le terme $1 - \frac{\alpha}{\beta}$ diminue et R diminue aussi. Le

raisonnement contraire est aussi valable si β est grand le terme $1 - \frac{\alpha}{\beta}$ augmente et R

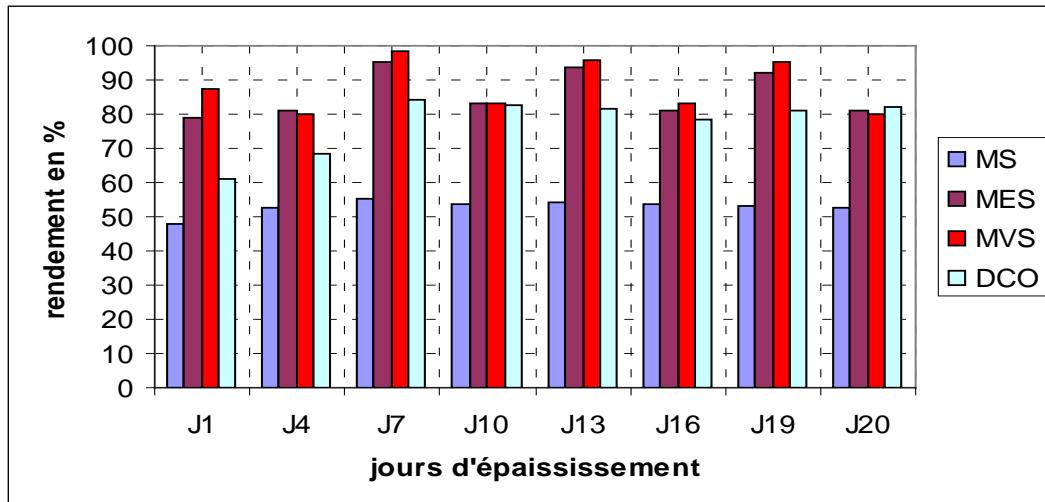
aussi.

C'est cela qui explique qu'au Ghana les rendements en MES on atteint 55 à 80% ce qui est supérieurs aux rendements de la station expérimentale de traitement de boues de vidange de Cambérène (STEBV) mais le surnageant de ce dernier est beaucoup moins chargé que le surnageant du décanteur d'Achimota qui présente des taux de 4 g de MES/litre alors qu'il est inférieur à un gramme à Cambérène. Le rapport est proche de celui qui existe entre les teneurs en MS des boues brutes d'Achimota (12g MS/L) et celles de Cambérène (3,5g MS/L).

4.2.4.2. Rendement du décanteur pour une alimentation sans surverse

La figure 42 synthétise les rendements épuratoires obtenus au niveau des D/E dan les conditions d'absence de surverse.

Figure 42 : Rendement épuratoire avec une alimentation de $9\text{m}^3/\text{j}$ (apport unique) sans surverse.



Ce type d'alimentation est pris comme référence du fait qu'il a donné une meilleure satisfaction qu'une alimentation de $9\text{ m}^3/\text{jour}$ fractionnés qui s'est en outre révélée plus adéquate qu'une alimentation avec 6 m^3 fractionnés.

Les rendements connaissent de fortes disparités selon les paramètres et durant le temps de l'épaississement.

Les rendements en MES et MVS sont très importants et se situent dans la barres des 80 à 90 % alors que la DCO connaît des rendements le plus souvent compris entre 60 et 80%. Les MS enregistrent les plus mauvais rendements qui ne dépassent guère les 55%.

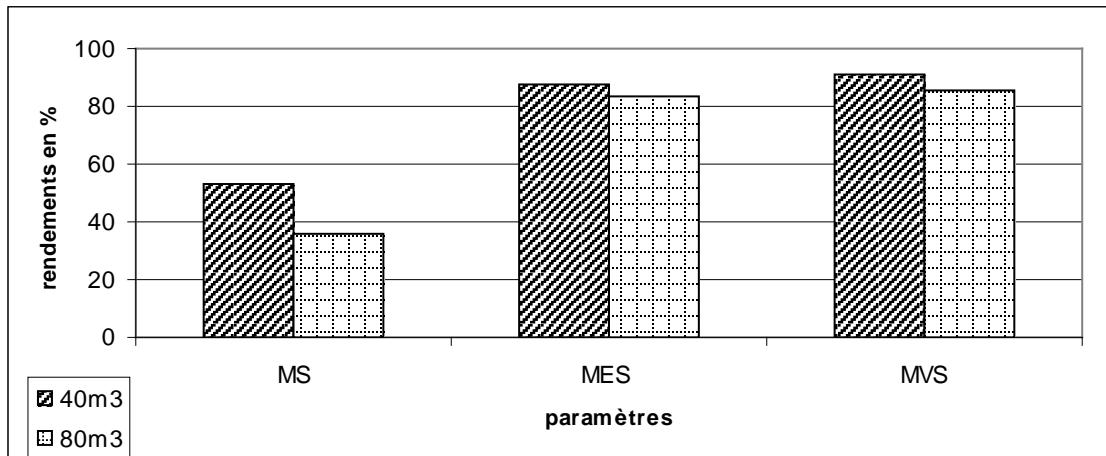
Comme signalé pour la qualité du surnageant, poursuivre l'épaississement au delà de 7 jours ne donne que peu ou presque pas de satisfaction supplémentaire.

4.2.4.3. Rendement du décanteur pour une alimentation avec surverse

➤ Rendement du décanteur pendant l'alimentation

La figure 43 suivante présente le rendement apparent du décanteur durant la période d'alimentation avec surverse.

Figure 43 : Rendement épuratoire du décanteur pendant l'alimentation



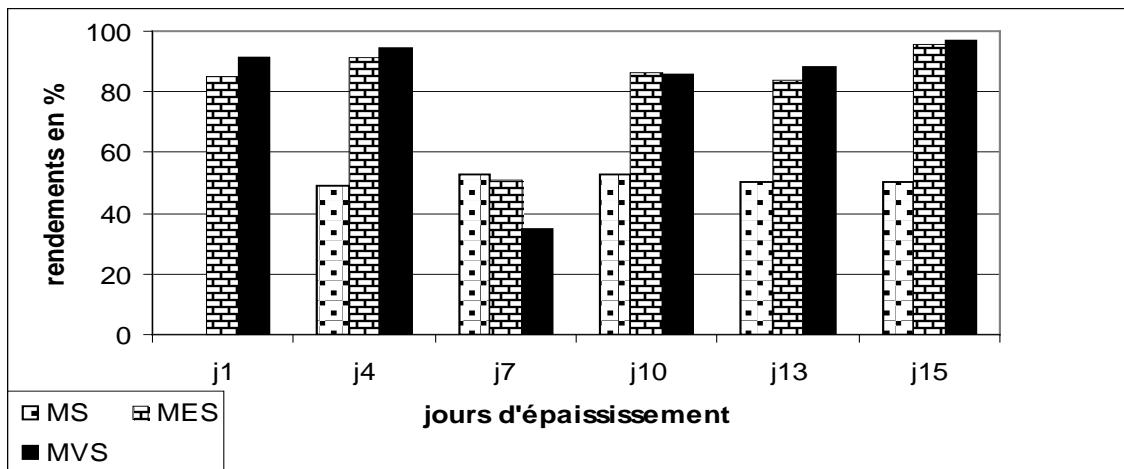
Malgré l'alimentation continue avec 9 jours de temps de séjour de la boue dans le bassin, les rendements ne sont que très peu différents de ceux d'un repos complet. Cependant, pour un temps de séjour de 4,5 jours, le rendement du bassin en matières sèches est très faible avec 35 % ; en outre, les MES et les MVS n'ont pas connu de variation notable. Dans l'ensemble, la variation de charges journalières a entraîné une variation de rendement. Les boues brutes d'alimentation étant les mêmes dans ce cas précis, la variabilité des rendements sont donc strictement liées aux variations de charges. Le bassin ayant reçu moins de boues a eu un meilleur rendement, ce rendement n'est pas linéaire car deux fois plus de charge ne donne pas deux fois plus de satisfaction.

Les rendements élevés obtenus s'expliquent par le fait que le temps de séjour de 4,5 jours est largement suffisant pour permettre aux particules décantables de se déposer au fond du bassin car en fonctionnement normal ces temps de séjour ne sont que de quelques heures.

X Rendement du décanteur pendant l'épaississement après une alimentation avec surverse

La figure 44 ci-dessous présente le rendement apparent du décanteur pendant l'épaississement après une alimentation avec surverse.

Figure 44 : Rendement pendant l'épaississement après une alimentation avec surverse



Ces rendements concernent ceux d'une alimentation de 80 m^3 sur 20 jours suivie d'un épaississement de 15 jours. La particularité de ce cycle est que le bassin a 19 % de son volume rempli de boues épaissies. L'intérêt est de voir si ce facteur lié au stockage des boues influence le rendement du bassin et quelle est en définitive, la limite de stockage.

Les rendements sont restés les mêmes malgré les boues contenues à l'intérieur du bassin. Une légère amélioration de rendement pour les MS qui atteint la barre de référence des 50%. Pour le reste il n'y a pas de changement par rapport aux rendements lors de l'alimentation ; ce qui prouve encore une fois que la prolongation de la durée de l'épaississement au-delà du temps de séjour fixé pendant l'alimentation ne donne pas globalement lieu à une amélioration de rendement supplémentaire.

Avec un stockage, important de boues dans le D/E, l'on a réduit le temps de séjour des eaux dans le bassin et malgré cela, les rendements n'ont pas connu de baisse.

4.2.5. Qualité du surnageant des décanteurs

La décantation effectuée constitue un traitement primaire des boues de vidange qui ne garantit pas une qualité d'eau conforme aux normes sénégalaises de rejet. De plus, les charges encore élevées en pollution secondaire et tertiaire sont telles qu'un contact direct entre cette eau et le milieu naturel provoquerait certainement des dommages importants sur ce milieu.

Pour le moment à Cambérène, le surnageant de la déposante de boues est pris en charge par la station d'épuration des eaux résiduaires municipales du même nom. Une comparaison va être faite avec les eaux usées reçues en tête de station.

Tableau 9 : Comparaison entre les eaux usées brutes dessablées et décantées au niveau de la STEP de Cambérène avec les surnageants de la SETBV.

	Eaux usées brute dessablées	Eaux usées décanteur primaire	Surnageant pendant l'alimentation		Surnageant après 15 jours d'épaississement	
			2m ³ /j	4m ³ /j	40m ³	18m ³
MES	818	269	395	512	448	172
DCO	2017	966	1192	1277	-	718

Les eaux usées brutes dessablées sont plus chargées en DCO et en MES que tous les surnageants de la station expérimentale. Une alimentation sans surverse suivi d'un épaississement de 15 jours donne un surnageant de meilleure qualité (DCO et MES) qu'une eau sortie du décanteur primaire de la STEP de Cambérène alors que pour un temps de séjour de 4,5 jours la qualité du surnageant se dégrade mais reste de meilleure qualité qu'une eau brute dessablée.

Donc dans ces conditions d'alimentation, le surnageant de la SETBV est d'une qualité telle que son acheminement vers la STEP de Cambérène ne pose pas de problème majeur. Il reste simplement à vérifier le débit pour éviter de dépasser les charges de dimensionnement de la STEP.

Par ailleurs, la prise en charge de cet effluent par une STEP comme celle de Cambérène nécessite le contrôle de la biodégradabilité des eaux. Les rendements des MS qui ne dépassent pas les 50 % indiquent qu'il y a une forte proportion de matières sèches dissoute car les matières en suspension sont presque totalement retenues et aussi la présence d'une DCO dure et réfractaire. La biodégradabilité dépend du rapport DCO/DBO₅ il est donc nécessaire de l'évaluer.

D'autres paramètres importants comme les métaux lourds, les hormones devraient être évalués pour une meilleure prise de décision.

4.3. Caractérisation des boues épaissees

L'évaluation des boues épaissees se fait à la fin de chaque cycle. Pendant l'épaississement aucun accès à ces boues n'est possible donc on ne pourra pas se prononcer sur leur évolution pendant la durée de leur épaississement. La connaissance du volume des boues nous permettra de déterminer le pourcentage qu'on peut épaisser en fonction du volume de boues brutes envoyées. Les boues épaissees sont ici considérées comme étant les

matières sédimentées se trouvant au fond du D/E mais aussi celles surplombant le surnageant. Cette couche d'écume se retrouve sur les boues sédimentées après le pompage du surnageant. Mais, elle est très peu importante et se retrouve pratiquement dans les trois premiers compartiments du D/E. cette couche superficielle joue un rôle important dans l'évaporation au niveau du bassin de stockage.

4.3.1. Evaporation au niveau des décanteurs/épaississeurs

Le décanteur épaississeur a une surface de 13,95 m² en contact avec l'atmosphère. Il possède 4 cloisons de longueur moyenne de 70 cm dont 17 cm non immersés se trouvant au dessus du sol. L'évaporation est évaluée à chaque cycle comme suit : après remplissage complet du bassin c'est-à-dire 18 m³ on note la hauteur d'eau au niveau des parois notamment au niveau de la cloison de surverse située à la sortie du bassin. C'est cette variation qui donne le volume perdu pendant l'épaississement. Cependant, il faut signaler que cette variation reste difficile à évaluer tout les jours du fait de sa faible évolution donc on se contente de faire la mesure qu'à la fin de l'épaississement.

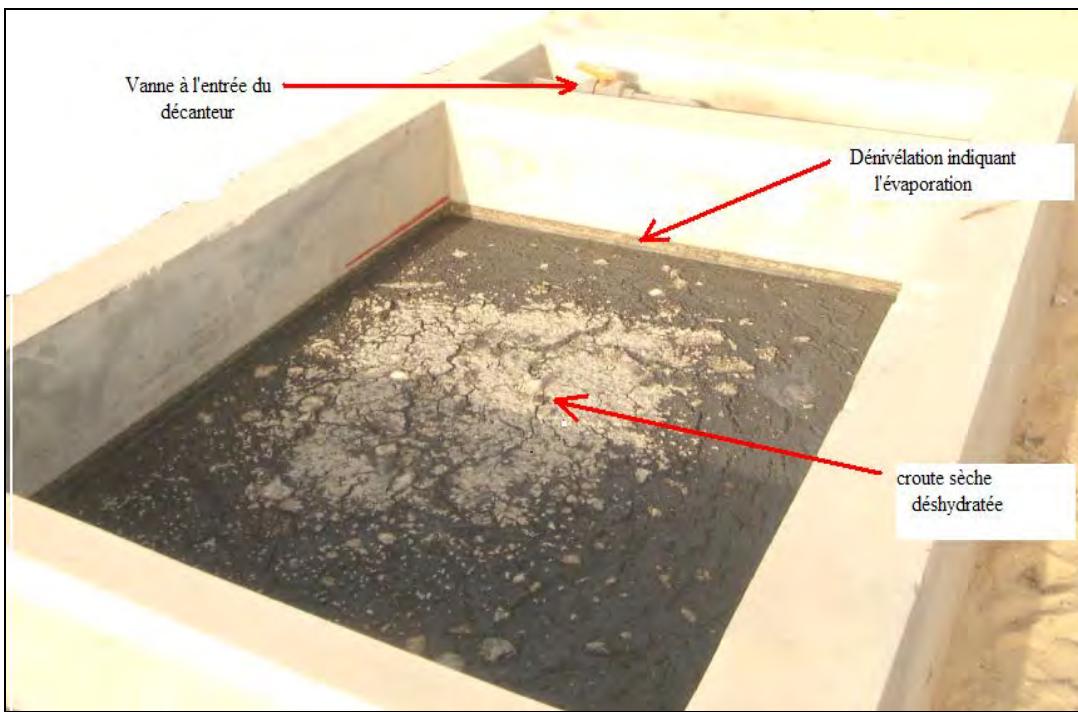
La valeur moyenne trouvée est de 5,4 mm/j. Cette valeur reste faible par rapport aux valeurs trouvées sur les masses d'eau libre et sur les eaux usées.

Diop (2002) qui a travaillé sur un lagunage à microphytes à quelques dizaines de mètres de la station expérimentale a trouvé une évaporation de 8,5mm/j alors qu'au niveau de la station météorologique de Dakar Yoff, avec des étangs d'eaux stagnantes, les pertes tournaient autour de 277 mm/mois, soit 9mm/j. D'après Diop. B. S, la surface en contact avec l'atmosphère était l'unique paramètre lié au bassin qui intervient dans l'évaporation et que l'épaisseur de la lame d'eau restait sans importance. De plus, selon cet auteur, l'écoulement de l'eau dans les bassins expérimentaux et les variations de vitesse de l'écoulement (liées à l'augmentation du débit d'alimentation) ne produisaient manifestement pas d'effets sur l'évaporation.

La différence notée au niveau des pertes d'eau entre les bassins de lagunage et les D/E peut s'expliquer par deux phénomènes :

- le premier est l'effet écran que provoque l'écume. En effet, les matières flottantes contenues dans les boues remontent à la surface du bassin et constituent une couche opaque empêchant les rayons du soleil d'atteindre la lame d'eau. Cette écume est observée en grande partie sur les deux premières cloisons et reste faible sur les autres ;
- le second est le phénomène d'ombrage du à la fois à l'orientation du bassin et à la hauteur des revanches. Ce phénomène apparaît dès les premières heures de la matinée et continue jusqu'au coucher du soleil. Ainsi une bonne partie du bassin est ombragée durant la journée et ceci empêche les rayons du soleil d'atteindre la masse d'eau. Cette évaporation nous permet d'obtenir une écume très déshydratée à la surface de l'eau, elle est sèche et fissurée. L'image ci-dessous illustre clairement le phénomène.

Photo 7 : Croute de flottants au niveau de la première cloison

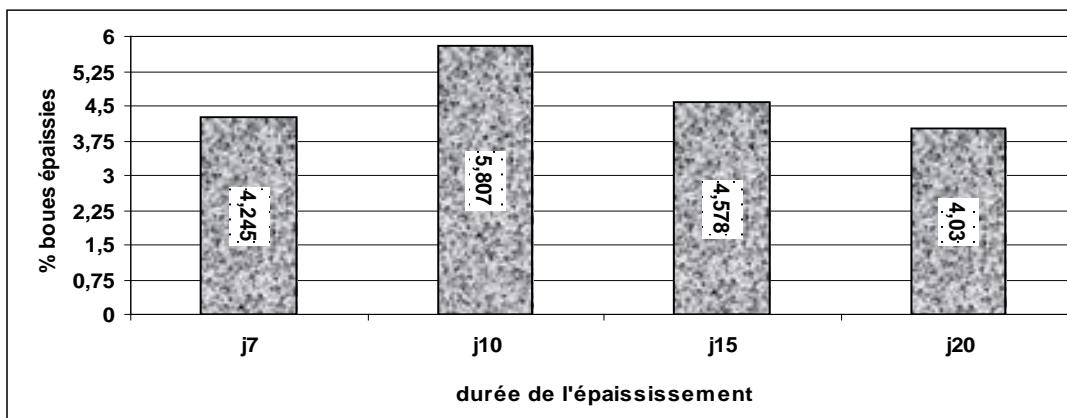


Le volume perdu n'est pas négligeable et représente 3,6 % du volume traité soit $8,8 \text{ m}^3$ des 246 m^3 traités durant toute l'expérimentation. Le volume perdu par évaporation n'est pas trop loin de celui des boues épaissies qui est de 5 %.

4.3.2. Pourcentage des boues épaissies

Le pourcentage de boues épaissies représente le rapport entre le volume de BE recueilli à la fin de l'épaississement sur le volume de BB traité pendant le cycle. Le tableau 14 présente le pourcentage de boues épaissies en fonction de la durée de l'épaississement.

Figure 14 : Pourcentage de boues épaissies en fonction de la durée de l'épaississement



Le pourcentage de boues épaissies varie légèrement en fonction de la durée de l'épaississement. C'est entre 10 et 15 jours d'épaississement que l'on obtient le plus grand pourcentage de boues avec un maximum en 10 jours de près de 6. On peut supposer que la valeur correspondant à 7 jours est due au fait que l'ensemble des matières n'ont pas sédimenté. Et après 10 jours le phénomène de digestion anaérobique et de tassement prennent le dessus sur la sédimentation d'où une diminution du pourcentage de boues épaissies.

La boue épaissie est très consistante, de couleur noirâtre moins malodorante que la boue brute. La consistance est plus marquée à l'entrée qu'à la sortie du bassin, c'est pour cette raison que lors du pompage parfois la pompe rencontre des difficultés.

Photo 8 : Boues épaissies au fond du décanteur



En moyenne, on ne peut épaisser que 5% du volume de boues brutes envoyées ; c'est le pourcentage de matières sédimentées trouvé lors des tests avec cônes Imhof. La différence peut s'expliquer par le fait que le temps de sédimentation avec les cônes est de 3 heures et pour le bassin il est de 7 à 20 jours.

Cette valeur de $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de boues soutirées est de moitié plus petite que la valeur trouvée avec le bassin de décantation Achimota au Ghana. Selon cette étude, le volume spécifique occupé par les matières sédimentées peut être évalué à $0,10$ à $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de boues brutes il dépend de la composition des boues et du temps d'épaissement (Strauss, 1997). Une autre étude réalisée à Alcorta en Argentine montre des valeurs de $0,02\text{m}^3/\text{m}^3$ de boues (Ingallinella et al, 2000).

Cela est du à la charge hydraulique (et solides) du taux de chargement appliqué aux réservoirs de décantation à Accra ($\sim 0,7 \text{ m/j}$ et $10 \text{ kg SS/m}^2.\text{jour}$) par rapport aux bassins de décantation de Alcorta ($\sim 0,1 \text{ m/j}$ et $0,8 \text{ kg SS/m}^2.\text{jour}$). A Dakar on a appliqué $0,9 \text{ kg MES/m}^2.\text{jour}$ pour une durée de 20 jours et un épaissement de 15 jours. A la lumière de ces données on peut donc dire que les matières sédimentées sont fonction de la charge appliquée par mètre carré mais aussi fonction de la charge des boues en MES.

Pendant l'épaissement, il se passe plusieurs phénomènes à la fois : d'abord il y a la sédimentation des particules qui s'accumulent sur le radier, un tassement suivi d'une digestion anaérobiose.

4.3.3. Caractéristiques des boues épaissees

Globalement, les caractéristiques des boues épaissees varient très peu en fonction du temps d'épaissement. Le tableau 15 donne les valeurs moyennes de l'ensemble des boues recueillies.

Tableau 10 : Caractéristiques des boues épaissees

Paramètres	Boues épaissees
MS (g/L)	58 (6%)
MVS (g/l)	36,5
DCO (g O ₂ /L)	81
SABLE (g/L)	9,3

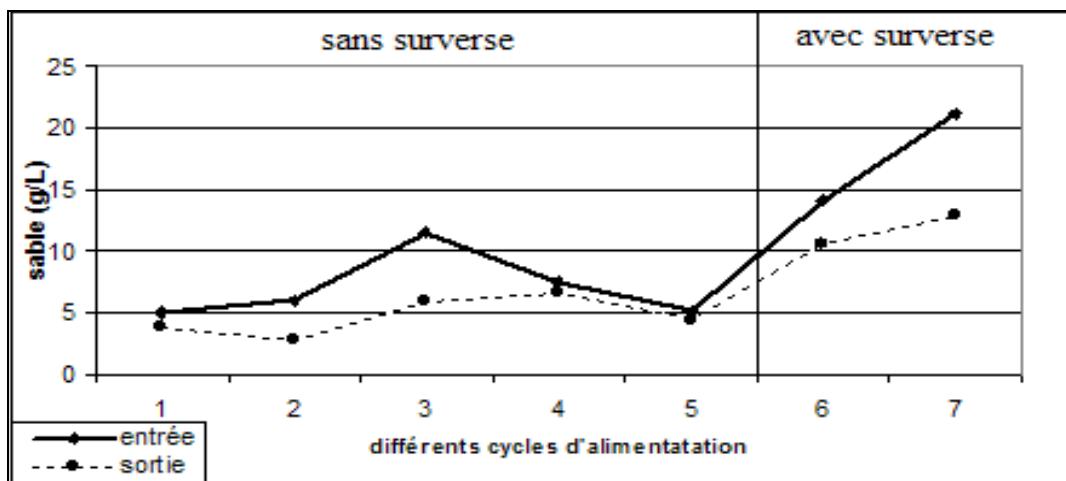
Les matières en suspension n'ont pas été quantifiées sur les boues épaissies du fait de leur faible teneur en eau. Le colmatage du filtre étant tellement rapide que cela se traduirait par une simple évaporation de l'eau.

Les valeurs de matières sèches trouvées sont très proches de celles trouvées par Ndiaye après 5 jours d'épaississement à la déposante.

4.3.3.1. Teneurs en sable des boues épaissies

Dans l'ensemble, les boues épaissies présentent une teneur en sable de 9314 mg/L. Cette valeur cache une variation entre l'entrée et la sortie du bassin. Les échantillons pris à ces deux points montrent des différences illustrées sur la figure ci-dessus.

Figure 45 : Courbes d'évolution du sable selon les cycles à l'entrée et à la sortie du D/E



Le graphe montre qu'il y a à chaque fois plus de sable à l'entrée qu'à la sortie du D/E. les différences sont parfois faibles et parfois très significatives. Ce phénomène s'explique par le temps de sédimentation très court 2 minutes (Degrémont, 1978) des sables notamment des sables grossiers qui ne peuvent migrer jusqu'à la sortie du bassin.

La concentration en sable est beaucoup plus importante pendant les alimentations avec surverse à la sortie du bassin. Cela est du au débit traversier et aux perturbations hydrauliques lors de l'alimentation.

Par ailleurs la masse de sable contenue dans les boues épaissies devrait être égale à la masse de sable envoyée pendant l'alimentation. Il n'y a pas eu de conservation de masse et l'exemple suivant en est une parfaite illustration.

Une boue brute de teneur moyenne en sable de 935 g/m³, alimente le bassin pendant 20 jours à l'ordre de 2m³/jour; on recueille à la fin de l'épaississement 1,8954 m³ de boues épaissies d'une teneur en sable de 12 kg/m³.

On envoie en tout 40 m³ de boues brutes pour 37,4 kg de sable et on recueille 23,412 kg de sable à la sortie. Cela fait une différence de 14 kg.

Cette différence est due aux zones de dépôt de sable dans le bassin de stockage et au sable retenu dans les déchets solides et qui a été évalué comme faisant partie des boues brutes; ces deux portions ne sont pas envoyées dans le décanteur.

On se retrouve en moyenne avec 9 kg de sable/m³ de boues épaisse. Cela pourrait désavantager la valorisation des boues. Il serait donc intéressant d'installer un dessableur à l'entrée des D/E.

4.3.3.2. Comparaison entre les boues épaisse de la SETBV et de la déposante de Cambérène

L'objectif est d'avoir une idée sur l'efficacité de la déposante de Cambérène qui semble avoir des problèmes de fonctionnement liés à une rupture de capacité de charge parce que la qualité du surnageant produit reste bonne par rapport aux eaux usées brutes.

Tableau 11 : Comparaison des MS de la déposante de Cambérène et de la SETBV

Boues épaisse	Echantillons de la déposante			SETBV
	N°1	N°2	N°3	
MS (g/L)	66	58	51,1	58
MS %	7,4	6,8	5,4	5,7

Les MS mesurées dans les boues épaisse au niveau de la station expérimentale sont légèrement inférieures aux valeurs mesurées au niveau de la déposante dans l'ensemble ; ce qui peut s'expliquer par la durée plus élevée de l'épaisseur et du fait que les boues n'ont pas eu le temps de connaître un début de stabilisation au niveau de la SETBV. Ces valeurs sont très faibles par rapport à celles trouvées au Ghana où la densité des boues dans le bassin de décantation/épaisseur d'Achimota est de 14% de MS contre 6% à Dakar dans la couche de boues et de 16% dans la couche flottante à la fin des 4 à 8 semaines que dure le cycle (Larmie, 1994). A Alcorta ce pourcentage monte à 18 % après 6 mois de chargement (Ingallinella et al, 2000). Ces différences peuvent s'expliquer par deux facteurs :

- la concentration des boues qui avoisine les 12g/l dans les deux cas (Ghana et Alcorta) alors qu'elle n'est que de 3 g/l à Dakar. En plus, dans le cas du Ghana 60% à 80% sont des boues domestiques et le reste des boues de toilettes publiques beaucoup plus concentrées stockées que pendant 2 à 3 semaines ;
- le cycle est plus élevé au Ghana jusqu'à 8 semaines (Larmie, 1994) qu'à Dakar où le cycle le plus long n'a duré que 5 semaines.

4.3.4. Facteurs influençant l'épaississement des boues

Le coefficient de concentration d'un paramètre donné est défini comme étant le rapport de concentration du facteur dans les boues épaissies sur sa concentration dans les boues brutes. Il s'agit ici de voir le rapport moyen qui existe entre les valeurs moyennes des paramètres mesurées sur les boues épaissies et celles mesurées sur les boues brutes. Les résultats obtenus sont consignés sur le tableau suivant.

Tableau 12 : Comparaison des boues brutes et des boues épaissies

paramètres	Boues brutes	Boues épaissies	Coefficient de concentration
MS (g/L)	3,5	58	17
MVS_t (g/l)	2	36,6	18
DCO (gO₂/L)	3,8	81	21
MVS_t/MS (%)	58 %	63 %	1,1
DCO/MS	1,1	1,4	1,3

On peut constater que si les paramètres sont pris séparément leurs coefficients de concentration sont élevés alors que pour les rapports entre paramètres il est peu élevé voire faible. La fraction organique pris dans son ensemble par rapport aux MS ne connaît qu'une faible augmentation de 5% en passant de 58 dans les boues brutes à 63% dans les boues épaissies. De même, le rapport DCO/MS ne passe que de 1,1 à 1,4. Ce qui est très faible par rapport aux autres paramètres. Cela s'explique par le fait que le traitement est un ensemble et que les paramètres évoluent parallèlement. Donc les rapports entre les concentrations des boues brutes aux boues épaissies restent faibles.

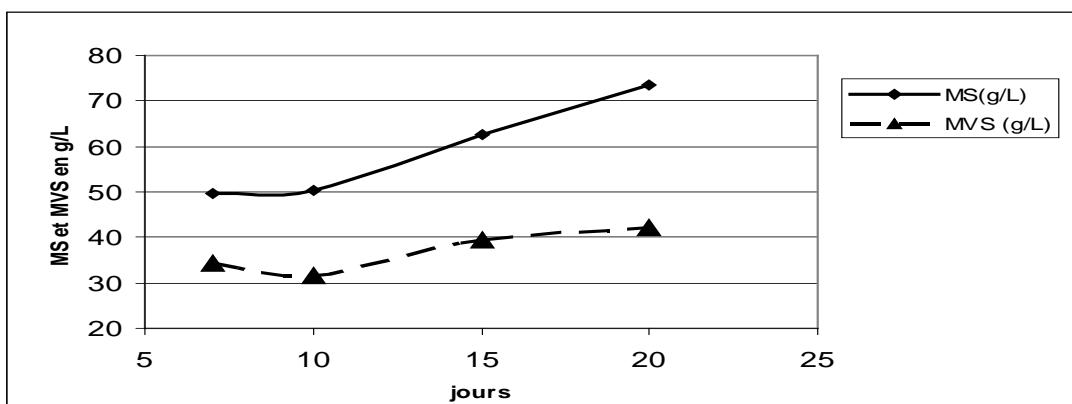
Par ailleurs les paramètres suivants : MS, MVS, DCO et le sable ont des coefficients de concentration très élevés. Ce qui témoigne d'une efficacité du D/E et de l'abondance de la matière minérale.

4.3.5. Evolution des paramètres dans les boues épaissies

4.3.5.1. Evolution des MS et MVS en fonction de la durée de l'épaississement

La figure 46 montre l'évolution des MS et des MVSt en fonction de la durée de l'épaississement

Figure 46 : Courbe d'évolution des MS et MVS_t en fonction de la durée de l'épaississement



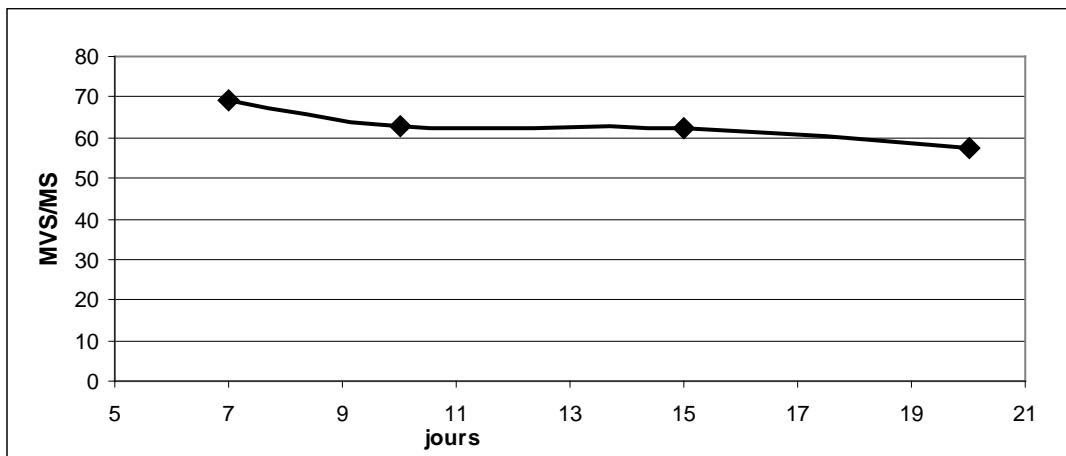
Les MS et les MVS augmentent parallèlement en fonction d'une augmentation de la durée de l'épaississement. Cette augmentation ne commence à être réellement visible qu'à partir d'une dizaine de jours d'épaississement ; elle est nette pour les MS alors que pour les MVS elle est moins marquée.

4.3.5.2. Evolution du rapport MVS/MS en fonction de la durée de l'épaississement

La fraction organique est un bon paramètre pour le suivi du traitement des boues de vidange.

Historiquement, la stabilisation des biosolides a consisté à un processus de digestion en une seule étape anaérobiose et aérobiose. Ce processus s'est avéré efficace pour réduire la teneur en matière organique des boues des eaux usées. Toutefois, de nouvelles exigences réglementaires et la volonté de renforcer encore la performance ont conduit à de nouveaux développements dans la technologie de digestion. Les progrès récents en matière de stabilisation des biosolides sont caractérisés par l'amélioration de la destruction des solides volatiles, la hausse de la production de biogaz, l'amélioration de la stabilité opérationnelle, la réduction des agents pathogènes, et la baisse du volume. (Jolly; 2004)

Figure 47 : Courbe d'évolution du rapport MVS_t/MS en fonction de la durée de l'épaississement

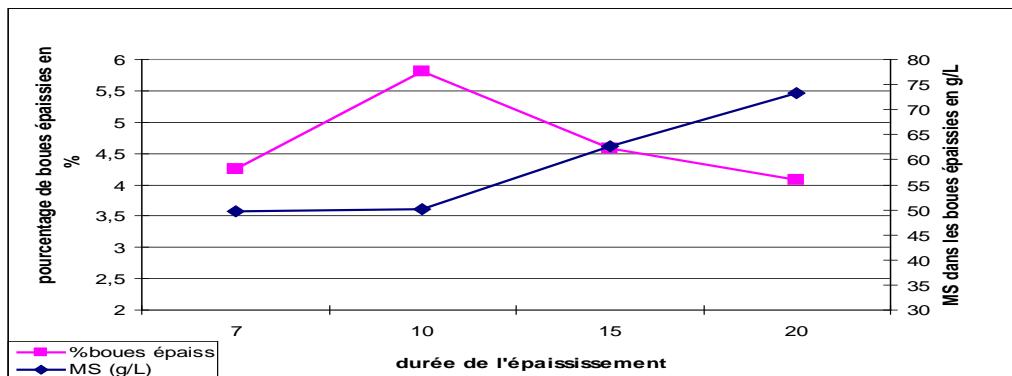


Au fur et à mesure que l'on prolonge l'épaississement le rapport MVS/MS passe de 70 à presque moins de 60%. Cela montre qu'au cours du temps, on a une disparition progressive de la fraction organique dans les boues épaissies ce qui témoigne de la présence de réactions anaérobies.

4.3.5.3. Evolution de la MS en fonction de la durée de l'épaississement

La figure 48 présente le rapport entre les MS et la durée de l'épaississement :

Figure 48 : Courbe d'évolution de la MS et du pourcentage de boues épaissies en fonction de la durée de l'épaississement



Le pourcentage des boues épaissies et les matières sèches évoluent conjointement mais inversement en fonction de la durée de l'épaississement. Exception fait entre le 7^{ème} et le 10^{ème} jour d'épaississement. L'augmentation des MS est rapide à partir du 10^{ème} jour, de même que la réduction du pourcentage de boues épaissies pendant cette même période. Donc plus la durée d'épaississement augmente plus la boue épaissie est riche en MS. Cela est du à l'entassement de la boue et au phénomène de digestion qui même s'ils ne sont

pas achevés sont quand même bien amorcés. Cependant, des essais supplémentaires doivent être faits pour voir la limite de l'épaississement c'est-à-dire la durée au-delà de laquelle une prolongation de la durée de l'épaississement n'aura aucun effet sur la concentration en MS de même que sur le pourcentage de boues épaissees.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

La gestion des boues de vidange est un problème majeur dans les pays en développement. La recherche de solutions est aujourd’hui plus que jamais une nécessité. Quelques traitements ont été expérimentés mais les décanteurs épaississeurs n’ont fait jusqu’ici que l’objet de très peu d’expérimentations pour le traitement des boues de vidange (seule l’expérience d’Achimota au Ghana existe quasiment). Ils ont toujours servi dans les systèmes classiques de traitement d’effluents municipaux et aussi dans les industries agroalimentaires.

L’expérimentation qui a été conduite constitue une première étape d’une filière de traitement des boues de vidange domestiques. Les objectifs auxquels cette étude doit aboutir ont été énumérés au début de ce travail.

La caractérisation de la boue de Dakar : elle a mobilisé 246 m³ de boues brutes venant d’horizons diverses et a nécessité un peu plus de 3 mois d’expérimentation.

- les boues de Dakar se sont avérées moins concentrées que toutes les autres boues des régions du monde trouvées dans la littérature avec une moyenne de 3,5 g MS/L, elles sont trois fois moins concentrées que les boues trouvées au Ghana qui affichent une moyenne en matières sèches de 12 g/L. Cette tendance est générale et concerne aussi les matières volatiles qui représentent 45% de la matière sèche ; les matières en suspension et la demande chimique en oxygène (DCO) qui sont respectivement de 2,1g et 3583 mg O₂/L. La détermination de la teneur en sable des boues de vidange ainsi que de leur teneur en déchets solides constitue une première ;
- La teneur en sable des boues brutes s’élève à 935 g /m³ ; sa détermination a posé quelques problèmes liés aux dépôts dans le bassin de stockage et sa rétention dans la patte de déchets solides retenue par la grille du bassin de stockage.
- Les déchets solides dans les boues brutes sont assez semblables aux déchets solides ménagers sauf que la partie organique est faible du fait de la dégradation qui s’effectue dans la fosse ; la valeur moyenne est de 277 g/m³.

Les performances du décanteur épaississeur :

Après l’évaluation de l’influence d’une variation de charge journalière et finale les conclusions suivantes sont retenues :

- pour une alimentation sans surverse; la plus grande charge offre une plus grande efficience surtout au début de l’épaississement ;

- pendant l'alimentation la plus grande charge est moins efficace mais la qualité du surnageant obtenu n'est pas loin de celle du surnageant obtenu pendant l'épaississement ;
- pendant l'épaississement et pour un volume de stockage de boues épaissies de 20% du volume du décanteur, les différences de qualité du surnageant ne diffèrent presque pas en fonction des charges appliquées. Autrement dit, pendant l'épaississement les variations de la qualité du surnageant dues aux variations des charges se réduisent et s'estompent.

De l'évaluation du mode de fractionnement des charges journalières, il en ressort qu'un apport unique par jour pour une même charge est plus efficace qu'un fractionnement de cette même charge au cours de la journée.

L'épaississement d'un surnageant au-delà de 7 jours n'est pas nécessaire ; les variations de qualité entre le premier et le 7^{ème} jour sont très peu significatives. Si une prolongation du temps de séjour des boues s'effectue, alors le surnageant peut reprendre des charges polluantes. Ce phénomène est lié au relargage de boues, au développement de microorganismes phototrophes et à des protozoaires qui colonisent le bassin.

La variabilité des boues brutes est constante durant l'alimentation du bassin et influence le rendement épuratoire de ce dernier. Ainsi, une boue de départ plus concentrée offre à l'arrivée un rendement apparent plus élevé.

Les décanteurs/épaississeurs offrent une efficacité de traitement très satisfaisant pour les MES et les MVS de l'ordre de 80 à 90 %. Ils sont moins efficaces vis-à-vis de la DCO, 60 à 80% et n'éliminent pas plus de la moitié des MS.

L'évaluation de la qualité des boues épaissies: cette évaluation a donné les enseignements suivants :

- le pourcentage de boues épaissies diminue avec une augmentation du temps de séjour des boues. La teneur en matières sèche augmente alors que la proportion de la fraction organique diminue avec une prolongation de l'épaississement ;
- les pourcentages de boues épaissies obtenus avec les bassins sont de l'ordre de $0,05 \text{ m}^3 / \text{m}^3$ de boues brutes envoyées contre $0,04 \text{ m}^3 / \text{m}^3$ avec les tests de sédimentation effectués au laboratoire ;
- les boues épaissies ont une teneur en matières sèches de 6 % soit 58g/litre dont 63% de matières volatiles totales et d'une DCO de 81g O₂/L.

Quelques difficultés rencontrées lors de l'exécution de ce travail peuvent expliquer ces limites. Il s'agit de :

- l'échantillonnage avec les dépôts notés au niveau du bassin de stockage et l'absence de préleveur en profondeur fiable,
- les méthodes d'analyse qui à l'origine étaient mises au point pour des effluents moins concentrés que les boues de vidange,
- la variabilité des boues de vidange d'un cycle à l'autre.

Perspectives

Des études sur les points suivants pourraient améliorer la fiabilité des résultats obtenus au niveau de la SETBV.

- sur le bassin de réception qui devrait être de forme circulaire pour éviter les dépôts de matières décantables.
- sur la taille des grilles ainsi que celle des regards qui les abritent qui devrait doubler. Ceci éviterait les éclaboussures et la formation de pattes qui obstruent les trous et retiennent le sable lors du dépotage ;
- sur la puissance des pompes de boues qui devrait augmenter car les boues épaissees s'évacuent difficilement ;
- sur la charge journalière avec surverse qui devrait augmenter car la rupture de charges n'est pas encore atteinte;
- sur l'oxygène dissous dont la quantité doit être suivie de même que la colonisation du bassin par les microorganismes.

En définitive, les décanteurs/épaisseurs constituent une option sérieuse pour le traitement primaire des boues de vidange et la poursuite de la filière doit faire l'objet de plus amples investigations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blazy P., 2007. Décantation aspects théoriques et Décantation Équipements et procédés *Techniques de l'ingénieur, traités Génie des procédés.* 29 pages.
- Degremont, 1978. Mémento technique de l'eau. 8^{ème} édition. 1200 pages.
- DIONGUE E. S. T., 2006. Stratégies d'optimisation de la filière de vidange de boues de latrines à Dakar. *Master spécialisé 2iE (ex-EIER)/EPFL.* 81 pages.
- Diop B. S., 2002. Les écosystèmes aquatiques et semi-aquatiques dans l'épuration des eaux usées domestiques et urbaines par mosaïques hiérarchisés d'écosystèmes artificiels en Afrique tropicale sèche. *Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement.* ISE, FST, UCAD, Dakar. 184 pages.
- EDE 2006. Etude d'Avant projet détaillée. Office National de l'Assainissement du Sénégal. *Rapport d'études.* 31 pages.
- Edeline F., 1997. L'épuration biologique des eaux : théorie et technologie des réacteurs. 4^{ème} édition, 5^{ème} tirage. 191 pages.
- Fall C, 1991. Pollution azotée de la nappe de Thiaroye : causes et proposition de solutions. *Mémoire de DEA en Sciences de l'Environnement.* ISE. FST. UCAD. 71 pages.
- FNDAE, sd. Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions. 33 pages.
- Gallard, 1998. Bac de décantation. Réseau d'échange d'idées et de méthodes pour des actions de développement. <http://www.interaide.com/pratiques>. 4 pages.
- Graveleau, L. 2005. La biologie de l'épuration des eaux résiduaires. *Master SGE.* 57 pages.
- Jolly M., Nemeth L., Arant S., Wilson T., 2004. Recent advances in biosolids stabilization: case histories. Earth Tech Engineering Ltd, UK, Earth Tech, Canada, Earth Tech US, Earth Tech US.
- Kassavoubou F., 2004. Évaluation de la gestion communautaire des boues de vidange dans la commune d'arrondissement de Sahm Notaire (ville de Guédiawaye, Région de Dakar. Formation Post-universitaire de Génie Sanitaire et Environnement. EIER-ETSHER/EPFL.
- Koné D. and Strauss M., 2004. Low-cost Options for Treating Faecal Sludge in Developing Countries – Challenges and Performance.

- Larmie S.A., 1994. Sedimentation Tank Sludge Accumulation Study.
- Martin J., VARONE F., 2001. Contribution des certificats verts au développement de l'électricité renouvelable dans un marché libéralisé. 27 pages.
- Mbéguéré, M. 2002. Traitement des eaux usées domestiques par voie naturelle sous climat tropical : étude de cinq écosystèmes artificiels terrestres par Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels. *Thèse de doctorat de troisième cycle en Sciences de l'Environnement*. ISE, FST, UCAD, Dakar.
- Metcalf & Eddy, 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill. Boston, 4th edition.
- Montangero A. et Strauss M., 2002. Faecal sludge treatment. IHE, Delph. 42 pages.
- Montangero A., Strauss M. et Dembélé A., 2000. Gestion des boues de vidange : parent pauvre de l'assainissement et défi à relever. *Publication soumise à la 12^{ème} conférence du réseau international de formation à la gestion de l'eau et des déchets*. 12 pages.
- Ndiaye A. A., 2006. Caractérisation des boues de vidange et performance de la déposante de Cambérène. *Master spécialisé Génie Sanitaire et Environnement*. 2IER/EPFL. 59 pages.
- Neuveux. N., 2006. Etude bibliographique sur les technologies de traitement des boues.
- Pépin T. H., Martin J., 2003. Conversion biochimique de la biomasse : aspects technologiques et environnementaux. 27 pages.
- PNUE, 2003. Rapport Annuel du Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
- Pujol R., Vachan A., Martin G., 1990. Guide technique sur le foisonnement des boues activées.
- Rouyat J., Broutin C., Rachmuhl V., Gueye A., Torrasani V., Ka I., 2006. La gestion des ordures ménagères dans les villes secondaires du Sénégal. Vers des politiques municipales incluant les quartiers périphériques. *Études et Travaux*. Série en ligne n°8, Éditions du Gret, www.gret.org, 91 pages.
- Sandec, 1998. Separation and pond systems for the treatment of faecal sludges in the tropics. Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design; Second Edition June. *Report N°. 05*.
- Strauss, M., Heinss, U., and Montangero, A. (1998). Excreta news: field research progress in FS treatment. Sandec News, Zurich, Switzerland.

Strauss, M., Koné, D., 2005. Technology development and capacity building for improved excreta disposal in developing countries: Project proposal submitted to Velux Foundation. EAWAG/SANDEC.

Strauss, M. and Montangero A. FS Management; Review of practices, problems and initiatives; engineering knowledge and research. Project- R8056. 73 pages.

Strauss, M., Larmie, S. A., and Heinss, U. (1997) Treatment of sludges from on-site sanitation - low-cost options. *Water Science and Technology*.

Strauss, M., Larmie, S. A., and Heinss, U. (1998) Solids separations and ponds systems for the treatment of faecal sludges in the tropics: lessons learnt and recommendations for preliminary design.

Strauss, M., Larmie, S. A., and Heinss, U., 1999. Characteristics of faecal sludges and their solids-liquid separation.

Strauss, M., and Montangero, A., 2002. Faecal sludge management. *IHE lecture notes*. Delft, the Netherlands.

Thammarat K., Chongrak P., Nguyen T., Narong S., Montangero A., Strauss M., 1998. Constructed Wetlands for Septage Treatment – Towards Effective faecal Sludge Management. 117 pages.

Tounkara A., 2007. Nitrification of faecal sludge liquor using pilot scale intermittent sand filters in Dakar, Senegal. *Master of Science Thesis*. UNESCO-IHE. EAWAG-Sandec. 130 pages.

USEPA, 2000. Onsite wastewater treatment and disposal systems. United States Environmental Protection Agency, Office of water program operations, Washington DC.

Vonwiller L., 2007. Monitoring of the Faecal Sludge Treatment Plant of Cambérène in Dakar. *Internship Report*. Eawag/Sandec, ONAS.

Walker M., 2008. Performance of the Faecal Sludge Treatment Plant of Rufisque and its impact on the Waste Stabilisation Pond. *Internship Report*. 42 pages.

ANNEXES

Annexe I : Cadre logique de l'étude

	Résumé narratif	Indicateurs objectivement vérifiables	Sources et moyens de vérification	Hypothèses
Objectif général	Etudier le comportement de deux bassins de décantation /épaississement opérés en charge et alimentation différente dans le traitement des BV de systèmes autonomes dans une perspective de mise en place de critères fiables de dimensionnement d'un tel ouvrage.	ensemble des données à la fin de l'expérimentation	rapport final de l'étude	Opération normale de la STBV sans dérangements ou panne.
Objectifs spécifiques	1-caractérisation des BV de Dakar. 2-évaluer le comportement des bassins D/E en fonction de la charge et de l'alimentation. 3-évaluer les performances de STBV	-paramètres caractéristiques -temps de repos optimal et alimentation appropriée - taux de dépollution	rapports préliminaires	boues de vidange disponibles et bon fonctionnement de la STBV
Résultats attendus	-les différentes caractéristiques des BV de Dakar sont connues.	résultats à la fin de la campagne de mesure	rapport après deux mois d'analyse	possibilité de varier les charges et les temps d'épaississement fixés
	-les charges à appliquer et les durées d'épaississement sont connues.	charge optimal en fonction du temps d'épaississement	rapport chaque mois	
	-les volumes de boues stockées sont connus	registre de terrain	rapport chaque deux semaines	
	-la qualité du surnageant durant l'épaississement évaluée	fiche d'analyse journalière	rapport chaque mois	
	-connaître le taux d'abattement de la pollution	évolution des paramètres d'entrée	fiches d'analyse à la fin de l'épaississement	
Activités à développer	-faire des analyses sur les BV brutes. -faire varier les charges, les durées d'épaississement et le mode fractionnement des charges. -caractériser la qualité des sous-produits (surnageant, boues décantées). -tests de sédimentation au labo	fiches de labo et registres de terrain	tableau du planning des activités	problèmes de capacité d'accueil du labo et disponibilité des produits

Annexe II : Vitesse de sédimentation des matières décantables

MINUTES	ML/L	
2	2,85	1,43
5	28,7	8,62
7	32,9	2,1
10	35,7	0,93
15	38,7	0,6
20	39,2	0,1
25	38,5	-0,14
30	38,4	-0,02
40	37,8	-0,06
50	37,5	-0,03
60	37,3	-0,02
70	37,6	0,03
80	33,6	-0,04
90	35,9	0,23
120	33,2	-0,09
180	32,8	-0,01

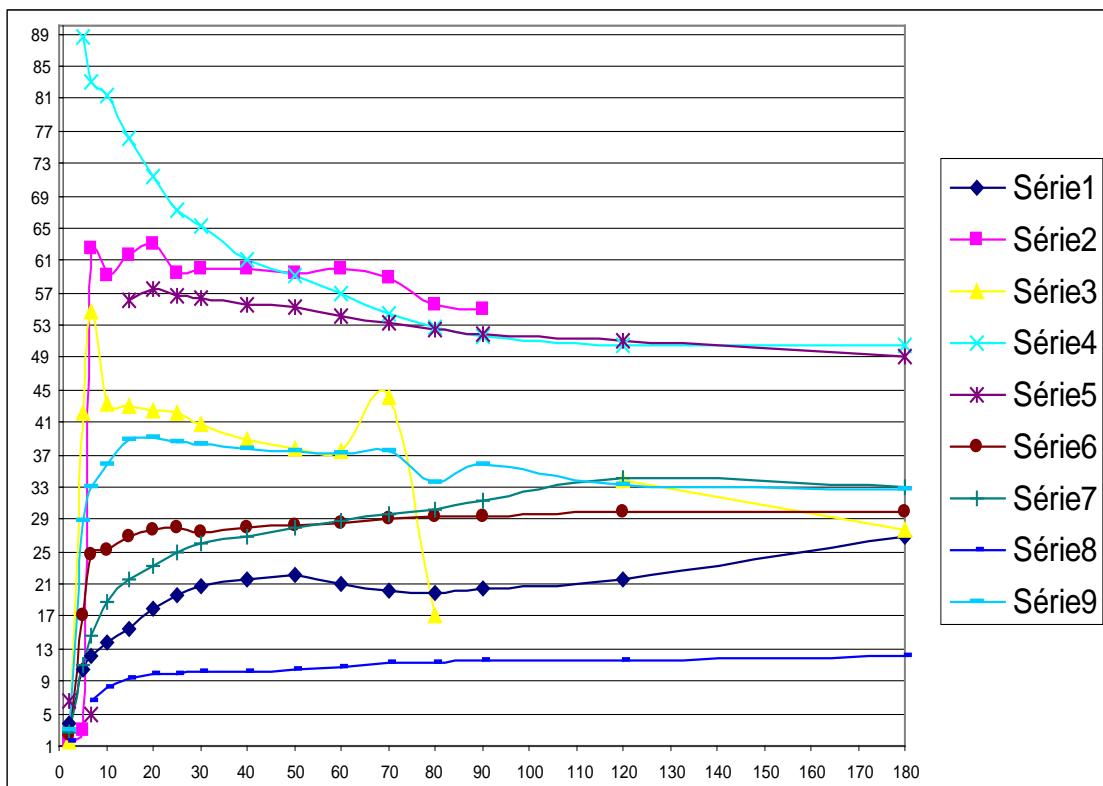
Annexe III : Variations des teneurs en sable des boues brutes

sables (g/L)	MS (g/L)	% sable/MS
0,432	5,54	7,798
0,184	3,72	4,946
1,476	7,776	18,981
0,58	5,412	10,717
0,504	4,984	10,112
0,24	6,956	3,450
0,108	3,236	3,337
0,104	4,192	2,481
0,06	3,096	1,938
0,032	1,732	1,848
0,136	2,724	4,993
0,16	2,948	5,427
0,46	5,328	8,634
0,268	2,86	9,371
0,112	2,384	4,698
0,044	2,8	1,571
1,22	6,784	17,983
0,072	3,228	2,230
0,156	2,7	5,778

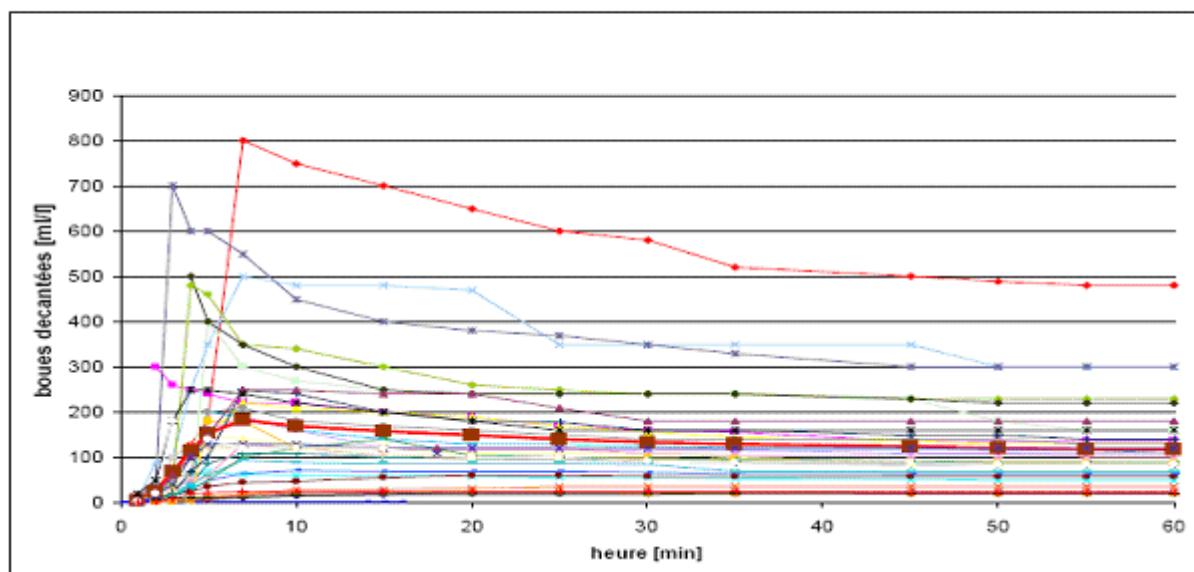
Annexe IV : Moyennes des tests de sédimentation

minutes	Test1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10	Test 11	test 12
2	3,667	1,5	1,5		6,625	2,5	2,67			1,5		2,85
5	10,5	3	42,25	88,5		17	11					28,7
7	12	62,5	54,67	83	5	24,67	14,7			6,5		32,9
10	13,67	59	43,25	81,5		25,33	18,7	30		8,25		35
15	15,5	61,5	42,88	76	56	27	21,7			9,25		38,7
20	17,83	63	42,5	71,5	57,5	27,67	23,3	46		10		39,9
25	19,67	59,5	42,25	67,25	56,5	28	25	50		10		39,8
30	20,83	60	40,75	65,25	56,25	27,5	26	54		10,25		40,1
40	21,5	60	38,75	61	55,63	28	27	60		10,25		40,2
50	22	59,5	37,75	59	55,25	28,17	28	64		10,5		40,5
60	21	60	37,5	57	54,25	28,67	28,8	64		10,75		40,2
70	20,17	58,75	44	54,5	53,25	29	29,7	66		11,25		40,7
80	20	55,5	17	52,75	52,5	29,33	30,3	68		11,25		37,4
90	20,5	55		51,5	52	29,33	31,3	64		11,5		39,4
120	21,67		33,75	50,5	51	30	34	107,7	132,5	11,5	131	60,4
180	27		27,67	50,5	49,25	30	33		132,5	12	131	54,8

Annexe V : résultats des tests de sédimentation avec cônes Imhof



annexe VI Résultats des essais (33) de décantations réalisés dans des cônes d'Imhoff (Ndiaye)



Annexe VII : Classification et définition des déchets solides contenus dans les boues de vidange

Classes	Masse(g)	% en masse	Description
Plastiques (durs et légers)	1880	11,4	Ce sont les plastiques légers : emballage blancs, noirs, des préservatifs etc. et durs : bouteilles de gel de douche ou bouchons, rasoirs, ballons et plastiques en tout genre
Textiles	600	3,6	Tissus en coton en polyester, filets de pêche utilisés pour le lavage du corps lacet etc. ...
Pierres	1750	10,6	Pierres blanches, rouges, béton armé, coupures de carreaux etc.
Sable	4100	24,9	Le sable est noir et mélangé à de fines particules de matières en décomposition et de très petites graines de tomate et piment
Graines	700	4,2	Constituées à cuticule dure et d'autres en décomposition. Les plus abondants sont les graines de Saba sénegalensis, de pains de singe, de datte, de mangue, de tamarin etc.
Bois	100	0,6	Bois durs, légers coque de coco, branchettes
Os	100	0,6	Os durs en général et des os de poisson
Eponge	85	0,5	
Matières en décomposition	7100	43,2	Matières en décomposition noirâtre, constituées de particules organiques grossières et fines, de fibres en coton et de laine et d'épluchures etc. la matière est méconnaissable
Totaux	16415	100	

Annexe VIII : Caractéristiques des boues épaissees

LES BOUES	MVSt(g/l)	MS(g/L)	MS (%)	DCO(mgO ₂)	sable(g/l)	%MVS/MS	%sable/MS	m. minérale	DCO/MS
DE ₁ C ₁ .1er C	28,925	42,08	4,94	52 960	4,71	68,738	11,193	20,069	1,259
DE ₁ C _F 1er C	25,872	37,508	4,2	48 320	3,884	68,977	10,355	20,668	1,288
DE ₂ C ₁ .1er C	38,284	60,468	6,436	46 300	8,3	63,313	13,726	22,961	0,766
DE ₁ C ₁ .2er C	49,532	70,464	7,300	113 400	6,048	70,294	8,583	21,123	1,609
DE ₁ C _F 2er C	28,888	40,984	4,184	58 700	2,828	70,486	6,900	22,614	1,432
DE ₂ C ₁ .2er C	55,86	74,148	7,607	161 600	11,476	75,336	15,477	9,187	2,179
DE ₂ C _F .2er C	23,136	47,636	4,971	47 500	5,856	48,568	12,293	39,138	0,997
DE ₁ C ₁ .3er C	48,156	86,672	6,507	97 000	21,176	55,561	24,432	20,006	1,119
DE ₁ C _F 3er C	36,024	60,056	4,609	89 800	11,54	59,984	19,215	20,801	1,495
DE ₂ C ₁ .3er C	32,812	52,188	5,309	54 700	7,52	62,873	14,409	22,718	1,048
DE ₂ C _F .3er C	26,468	43,484	4,369	73 000	6,6	60,868	15,178	23,954	1,679
DE ₂ C ₁ .4er C	35,164	51,02	4,843	71 300	5,112	68,922	10,020	21,058	1,397
DE ₂ C _F .4er C	33,576	48,388	4,319	101 300	4,416	69,389	9,126	21,485	2,093
DE ₁ C ₁ .CN	37,42	65,148	6,538	53 040	14,06	57,438	21,582	20,980	0,814
DE ₁ C _F CN	39,056	65,2	6,580	83 980	10,644	59,902	16,325	23,773	1,288
DE ₂ C ₁ .CN	46,748	81,296	8,324	123 760	21,156	57,503	26,023	16,473	1,522
DE ₂ C _F CN	35,884	58,04	6,525	97 240	13,004	61,826	22,405	15,768	1,675

Annexe IX : Modes opératoires

Mode opératoire de MS

- mettre au four une capsule vide pendant deux heures à 105°
- retirer la capsule et la refroidir au dessiccateur
- peser la capsule sèche soit P1
- prendre 25 ml de l'échantillon et le mettre dans la capsule
- repeser la capsule pleine soit P2 puis la mettre dans le four pendant 2 heures à 105°C
- ensuite on pèse la capsule sortie du four après l'avoir refroidie au dessiccateur soit P3

La teneur en MS est (mg/l) = (P3-P1)/25

La teneur de MS en % = (P3-P1)/(P2-P3)

Mode opératoire pour les MES

- laver les filtres (1µm de diamètre) avec de l'eau distillée
- mettre les filtres dans une capsule en aluminium et introduire le tout dans un four à 105°C pendant 2 heures.
- retirer le tout et refroidir au dessiccateur
- peser la capsule contenant le filtre soit P₁
- prélever le filtre et l'introduire dans un entonnoir
- filtrer un volume connu V
- remettre le filtre dans la capsule et réintroduire à nouveau au four à 105° pendant 2 heures
- retirer encore une fois le tout et refroidir au dessiccateur
- peser la capsule et le filtre soit P₂

$$\text{MES (g/L)} = (P_2 - P_1) * 1000 / V.$$

Les MVSS (matières volatiles sèches en suspension) sont déterminer à partir des mesures ayant servi à l'évaluation des MS. On reprend le filtre et on l'introduit dans une capsule en porcelaine on pèse (P₃) le tout et on l'introduit dans le four à 550°C pendant 2 heures on le retire et on refroidit au dessiccateur avant de peser à nouveau (P₄).

Mode opératoire pour la DCO

Nous utilisons la méthode HACH.

- introduire 2 ml d'eau distillée dans un tube DCO Hach (blanc*),
- introduire (0,5 à 1ml) d'échantillon dilué au dixième [5ml d'échantillon est prélevé puis dilué dans un volume de 50ml] dans un second tube DCO Hach avec 1,5 à 1 ml d'eau distillée,
- agiter, puis chauffer les deux tubes dans un four à DCO à 150°C, pendant deux heures,
- laisser refroidir et lire au spectrophotomètre DR 2000 HACH, à 620 nm.

La DCO est donnée directement en mg O₂/l.

* Le blanc permet la mise à zéro du spectrophotomètre.

La teneur réelle est = $50/5 * 2/0,5 * \text{lecture}$ ou $50/5 * 2/1 * \text{lecture}$. L'unité est en mg d'oxygène /L

Mode opératoire pour NTK

Digestion

- introduire 50 ml d'échantillon non filtré dans un tube de digestion contenant quelques pierres ponceuses,
- ajouter 9 ml de H₂SO₄ et 5 g de K₂SO₄,
- digérer pendant trois à quatre heures (l'échantillon devient alors clair) et laisser refroidir,
- introduire le digestat dans une fiole de 250 ml et ajuster avec de l'eau distillée,
- prélever 25 ml du digestat dilué et neutraliser avec un volume connu de NaOH 5N,

(Le volume de soude est préalablement déterminé grâce à un dosage précis en présence de bleu de bromothymol).

Dosage de l'azote Kjeldahl

- introduire dans une fiole jaugée de 50 ml, une prise d'essai (0,5ml) à partir de l'aliquote neutralisé,
- ajouter 2 ml de tartrate double, agiter,
- ajouter 2 ml de réactif de Nessler, agiter,
- compléter à 50 ml avec de l'eau distillée, agiter,
- laisser reposer 10mn et lire au spectrophotomètre à 420 nm,
- déduire la concentration de la courbe d'étalonnage c-à-d la lecture.

La concentration en NTK est = $250/50 * (25 + \text{volume de NaOH})/25 * 50/0,5 * \text{lecture}$

On trouve la valeur en mg/L de N.