



Démarrage d'une station de traitement biologique par nitrification/dénitrification

Sans apport initial de boue activée



L'application de la circulaire Voynet-Le pensec et la mise en place des programmes de résorption favorisent l'installation de procédés de traitement de l'azote. Le traitement biologique du lisier de porc par nitrification/dénitrification (N/D) reste le procédé le plus employé. A sa mise en place, il peut être recommandé d'effectuer un apport initial de boue provenant d'une autre station déjà en fonctionnement. Cependant, lorsque la protection sanitaire est prioritaire ou pour une station de traitement très isolée, il est tout à fait possible d'éviter ce transfert de boue entre deux élevages de porcs. Sans cet apport, le réacteur devra fabriquer lui-même sa biomasse microbienne indispensable aux processus de transformation de l'azote. Ce mode de montée en charge a été choisi par la Station d'Expérimentation Nationale Porcine de Romillé pour son unité de traitement. Cet article décrit les modalités de mises en œuvre et ses conséquences.

Description de l'unité de traitement

L'unité de traitement biologique par N/D de la station de Romillé a été construite en janvier 2000 pour résorber ses excédents d'azote et pour répondre à des besoins expérimentaux. Son dimensionnement est prévu pour traiter la totalité du lisier produit par le troupeau naisseur-engraisseur partiel de 168 truies productives soit environ 9 m^3 par jour. La construction de la station de traitement n'a pas nécessité de génie civil, toutes les fosses étaient déjà initialement présentes.

Avant traitement, les lisiers sont collectés dans une fosse d'homogénéisation de 150 m^3 disposant d'un brasseur de 7,5 kW. Ce dernier est actionné environ une minute avant tout

transfert de lisier. De la fosse d'homogénéisation, le lisier est ensuite transféré vers le réacteur biologique. Son volume utile de 490 m^3 permet à la liqueur mixte d'y séjourner en moyenne 54 jours. Ses dimensions (hauteur utile 2,8 m, rayon 7,5 m) sont adaptées au mode d'oxygénation : une turbine lente de surface de 18 kW. Un rebord, d'environ 1,20 m, retient les éventuelles mousses. Le rythme de fonctionnement de la turbine est prévu sur 8 séquences journalières. La durée d'aération est fixée pour partie par le gérant de la station de traitement mais elle est corrigée selon différents paramètres physico-chimiques de la liqueur mixte : température et potentiel oxydo-réducteur, concentration en NH_4^+ , NO_2^- et NO_3^- . A la fin de la séquence d'aération, le réacteur reçoit $\frac{1}{8}$ de la quantité de lisier brut à traiter quotidiennement afin d'apporter une source

Résumé

La station expérimentale de Romillé a choisi, pour des raisons sanitaires, de démarrer son unité de traitement biologique sans ensemencement initial par des boues provenant d'un autre ouvrage. Cet article décrit les modalités de mise en œuvre. Le système d'aération dans le réacteur biologique est constitué d'une turbine lente de surface qui fonctionne 8 fois par jour. Chacune de ces séquences est suivie d'un apport en lisier brut, peu élevé au cours des 3 premiers mois. A l'apparition du processus de nitrification qui se manifeste par la formation de nitrites et nitrates, les concentrations en azote Kjeldahl et ammoniacal sont divisées respectivement par 2 et 9. A l'issue, le débit de traitement a pu être rapidement augmenté pour atteindre la charge nominale de 9 m^3 par jour, 5 mois après la mise en eau. Selon certains auteurs, des durées de montée en charge plus courtes peuvent être obtenues ; leurs recommandations de démarrage de station de traitement sont présentées en fin d'article.

Pascal LEVASSEUR
Fabrice BELINE



de carbone nécessaire au bon déroulement de la dénitrification. Une pompe asservie à 2 sondes de niveau, transfère le lisier traité vers le décanteur. Ce dernier, d'une hauteur totale de 8 mètres (600 m³ utiles) permet également le stockage des boues. Le surnageant est prélevé par une pompe flottante asservie à un densimètre. Il est réceptionné dans trois fosses totalisant 1500 m³ de capacité utile.

Procédures de contrôle, analyses effectuées

Pour le suivi de cette station de traitement, des analyses du lisier aéré ont été réalisées en routine, deux fois par semaine. Elles consistent en une détermination de la concentration en azote ammoniacal par un Quantofix et des concentrations en nitrites et nitrates par des bandelettes colorimétriques. Ces méthodes d'analyse ne donnent pas des niveaux de concentration très précis mais elles permettent de suivre les évolutions globales (Figure 1). Les concentrations de ces trois formes d'azote sont des indicateurs du bon fonctionnement d'une station de traitement. Elles conditionnent pour partie la vitesse de montée en charge et le temps d'aération. Parallèlement, un échantillonnage du lisier aéré a été réalisé toutes les deux à trois semaines ainsi qu'un échantillonnage moyen du lisier brut. Leur concentration en matière sèche, anhydride phosphorique, oxyde de potassium ainsi que les différentes fractions azotées (Kjeldahl, ammoniacal, nitrites et nitrates) ont été analysées par le laboratoire IDAC de Nantes.

Par ailleurs, le réacteur biologique est équipé de sondes permettant d'enregistrer la température, le potentiel oxydo-réducteur et la concentration en oxygène du

lisier aéré. Ces valeurs sont enregistrées toutes les 15 minutes sur fichier informatisé.

Montée en charge du réacteur biologique

La montée en charge d'un réacteur de traitement biologique aérobie correspond au développement d'une flore bactérienne assurant la dégradation de la charge carbonée (bactérie hétérotrophe) et l'oxydation de l'azote ammoniacal (bactérie autotrophe). La croissance des bactéries autotrophes étant beaucoup plus lente que celles des bactéries hétérotrophes, le développement de cette flore est le facteur limitant lors d'une montée en charge.

Au cours de cette étape, les apports de lisier doivent fournir des substrats nécessaires à la croissance bactérienne (matière organique, NH₄⁺, ...). Une concentration en azote ammoniacal comprise entre 50 et 70 mg/l est favorable au développement des bactéries nitrifiantes. Cependant cette concentration ne doit pas être excessive

car la forme libre NH₃ est inhibitrice de la nitrification⁽²⁾.

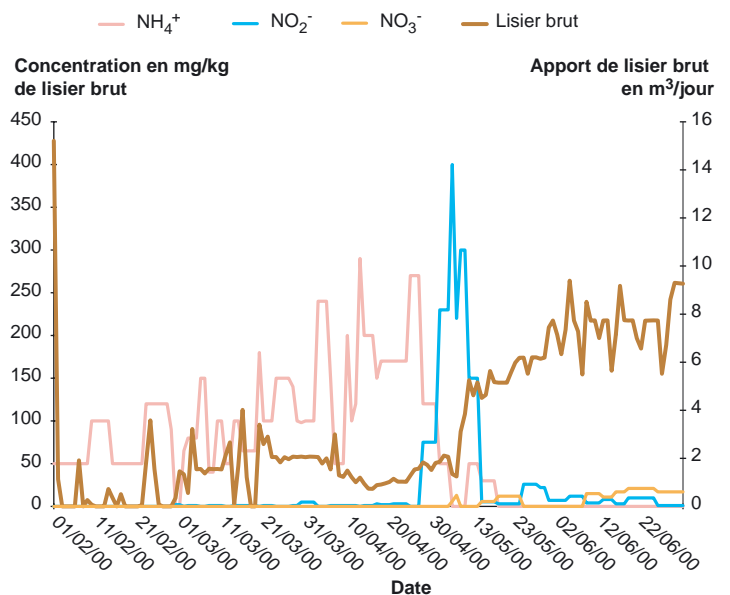
La constitution de la biomasse nitrifiante

Le 1^{er} février 2000, le réacteur est chargé avec 380 m³ d'eau claire, soit 78 % de sa capacité utile. 15 m³ de lisier brut contenant 1,2 kg de NH₄⁺/m³, mesuré au Quantofix ont été ajoutés afin d'obtenir un mélange dilué à environ 50 g NH₄⁺/m³. Cet apport de lisier brut permet l'ensemencement du réacteur nécessaire pour le développement des différentes flores bactériennes.

Le premier mois, les apports de lisier brut totalisant 28 m³, n'ont été réalisés que ponctuellement. Les 2 mois suivants, les apports sont automatisés sur une base approximative de 20 % de la charge nominale. Cependant les consignes sont réajustées quotidiennement par l'automate en fonction des différents paramètres physico-chimiques de la liqueur mixte. En pratique les apports auront été de 1,7 m³/jour de début

Au cours de la montée en charge, les apports de lisier doivent fournir des substrats nécessaires à la croissance bactérienne (matière organique, NH₄⁺, ...).

Figure 1 : Évolution des apports de lisier dans le réacteur biologique et de la concentration en azote ammoniacal, nitrites et nitrates au cours de la montée en charge.



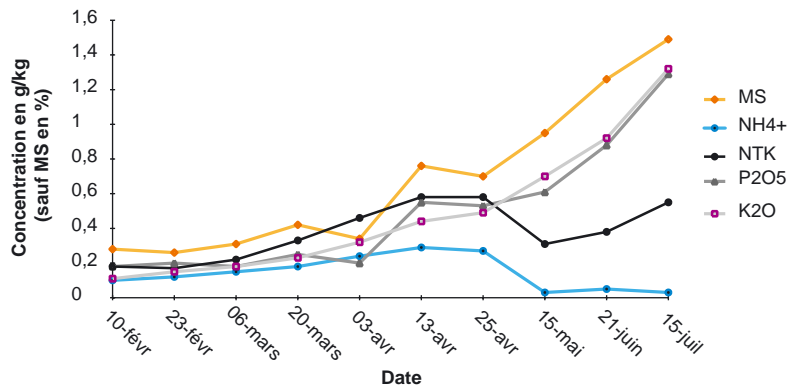


mars à fin avril. La concentration en NH_4^+ du lisier aéré fluctue entre 50 et 250 mg/l. Cependant, les figures 1 et 2 montrent une augmentation globale de son niveau de concentration. 2,5 mois après le début de la montée en charge, il a fallu réduire légèrement le débit de lisier brut à traiter (de 2 à 1 m^3/jour) pour éviter des concentrations excessives en ammonium. Parallèlement, la concentration du lisier aéré en MS, NTK, P_2O_5 et K_2O continue également de croître mais demeure peu élevée après 3 mois de montée en charge (0,7 % de MS, 0,58 g NTK/kg, 0,53 g $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$ et 0,49 g $\text{K}_2\text{O}/\text{kg}$, Figure 2). En effet, d'une part, les apports totaux de lisier n'ont été que de 142 m^3 ce qui reste peu élevé relativement à l'apport initial de 380 m^3 d'eau, d'autre part la concentration du lisier brut est également peu élevée avec 1,8 % de MS, 1,4 g NTK/kg, 1 g $\text{P}_2\text{O}_5/\text{kg}$ et 1,5 g $\text{K}_2\text{O}/\text{kg}$. Au cours de cette période, les concentrations en nitrites et nitrates demeurent proches de 0 mg/l. La biomasse microbienne qui n'a pas été apportée au départ se constitue progressivement mais elle n'est pas suffisamment importante pour que la production d'azote oxydé soit détectable.

Apparition des nitrites et des nitrates

Au début du 4^{ème} mois de montée en charge, des nitrites apparaissent, leur concentration augmente jusqu'à 400 mg/l (Figure 1). Il semblerait que dans d'autres situations de démarrage, l'apparition des nitrites peut être plus fugace et/ou plus proche de la mise en eau du réacteur. Parallèlement, les concentrations en azote ammoniacal et total diminuent (Figure 1 et 2). Entre le 25 avril et le 15 mai, elles sont respectivement divisées par 9 et 2, correspondant à la nitrifi-

Figure 2 : Évolution de la concentration en éléments fertilisants du lisier aéré au cours de la montée en charge



fication de la majeure partie de l'azote ammoniacal.

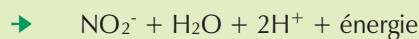
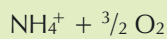
La phase de nitratisation (2^{ème} étape de la nitrification, voir Encadré 1) ainsi que la dénitrification se mettent en place conjointement à la phase de nitratisation comme l'indiquent l'apparition de nitrate et le maintien de leur concentration entre 0 et 21 mg/l au cours du 4^{ème} et 5^{ème} mois de montée en charge. En l'absence d'inhibiteurs (NH_3 , manque d' O_2), les *Nitrobacter* ont une croissance plus rapide que les *Nitrosomas* donc, les nitrites disparaissent et ne s'accumulent plus.

La mise en place de ce processus de transformation de l'azote ammoniacal en azote moléculaire (N_2), a permis d'augmenter le débit de lisier à traiter. D'une moyenne de 19 % de la charge nominale, nous sommes passés à 62 % entre le 12/05/00 et le 31/05/00, puis à 82 % en juin, pour atteindre 100 % du débit de traitement prévu par le cahier des charges le 29 juin 2000, soit 148 jours après la mise en eau (Figure 1). La faible concentration en azote ammoniacal de la liqueur mixte, indétectable par Quantofix en juin 2000, témoigne du bon

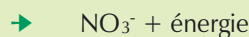
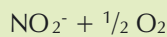
La faible concentration en azote ammoniacal de la liqueur mixte, témoigne du bon rendement épuratoire de cette station de traitement.

Encadré 1 : Étapes de la nitrification et de la dénitrification, intervention des principales populations bactériennes

En phase aérobie

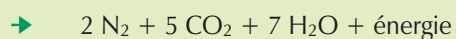
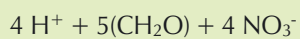


Nitrification
Nitrosomas, Nitrosococcus, Nitrosolobus



Nitrification
Nitrobacter, Nitrococcus, Nitrospina

En phase anaérobie



Dénitrification hétérotrophe (principalement)
Pseudomonas, Acinetobacter



rendement épuratoire de cette station de traitement.

Évolution du potentiel oxydo-réducteur et de la concentration en oxygène du lisier aéré en fonction des séquences d'aération

Le potentiel d'oxydo-réduction est le reflet de la concentration relative entre les constituants oxydés et réduits d'une solution. Bien qu'il caractérise une concentration en oxygène dans le milieu, leur cor-

respondance dans la liqueur mixte peut être assez variable. L'un ou l'autre de ces paramètres peut être utilisé pour le pilotage des séquences d'aération.

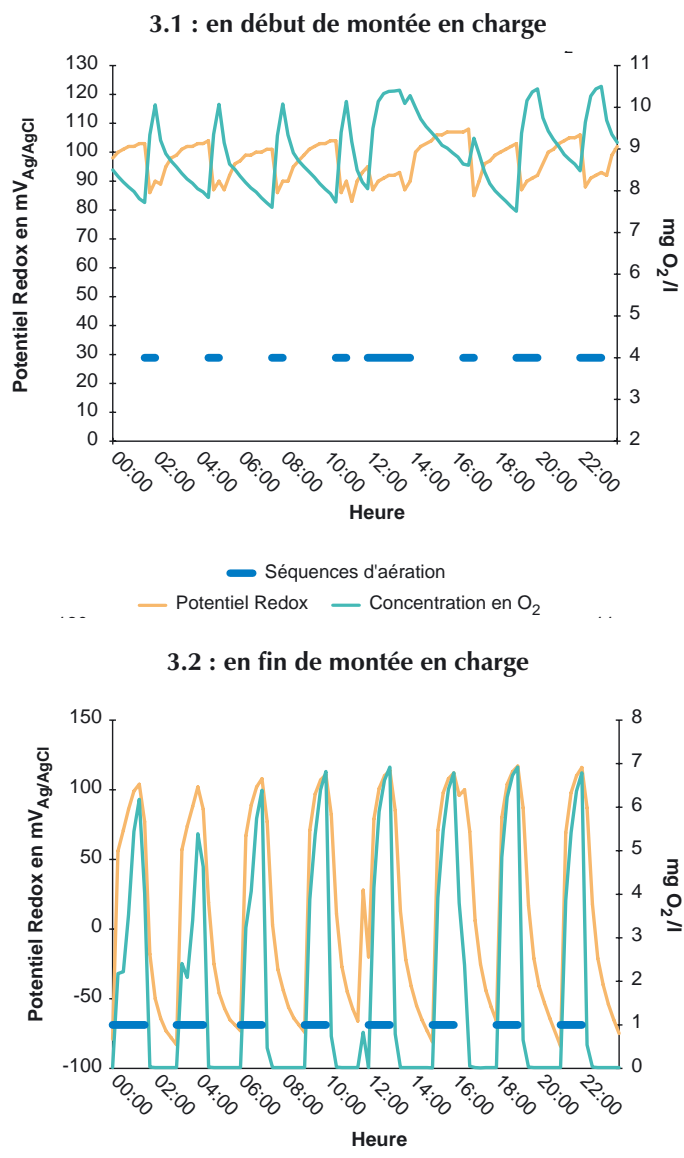
La Figure 3.1 montre l'évolution de ces 2 paramètres sur une période de 24 heures en début de montée en charge soit le 29/03/00⁽³⁾. Le potentiel oxydo-réducteur et la concentration en oxygène demeurent élevés et contenus dans un intervalle de faible amplitude, entre respectivement 83 et 108 mV_{Ag/AgCl} (moyenne : 97 mV_{Ag/AgCl}) et 7,7 à

10,4 mg/l (moyenne : 9,0 mg/l). Ils s'expliquent par la faible consommation en oxygène par les matières oxydables de la liqueur mixte relativement aux apports provenant de la turbine (6 h 14 de fonctionnement le 29/03). Pour le développement de la biomasse microbienne nitrifiante, qui sont des bactéries aérobies strictes, une concentration en oxygène de 2 à 4 mg O₂/l devrait suffire. Cependant la turbine de surface a également une fonction d'homogénéisation de la liqueur mixte indispensable à la croissance des bactéries.

(3) La station de traitement n'a été équipée en système d'enregistrement informatisé que 1,5 mois après le début de la montée en charge. Les évolutions des potentiels oxydo-réducteur et de la concentration en oxygène sont représentatives de leur période.

Le potentiel d'oxydo-réduction est le reflet de la concentration relative entre les constituants oxydés et réduits d'une solution

Figure 3 : Évolution du potentiel oxydo-réducteur et de la concentration en oxygène du lisier aéré en fonction des séquences d'aération



En début de montée en charge, le potentiel oxydo-réducteur et la concentration en oxygène évoluent en sens contraire, ce qui est peu habituel. Ainsi, lors de la première séquence d'aération du 29/03/00 (Figure 3.1), la teneur en oxygène augmente rapidement de 7,7 à 10,1 mg/l tandis que le potentiel oxydo-réducteur chute de 103 à 86 mV_{Ag/AgCl}. Dans nos conditions, ces évolutions sont restées semblables tant que les concentrations en nitrites et nitrates demeuraient indétectables. Elles semblent difficilement explicables en l'absence de toutes autres informations. Toutefois, les amplitudes considérées sont peu significatives.

Compte tenu des valeurs et des évolutions particulières du potentiel oxydo-réducteur, le pilotage des séquences d'aération s'effectue essentiellement sur une programmation horaire pendant la phase de démarrage.

En fin de montée en charge, le potentiel oxydo-réducteur et la teneur en oxygène de la liqueur mixte évoluent de façon plus conforme à ce qui est généralement admis (Figure 3.2.). Lors d'une séquence d'aération, les valeurs augmentent de - 80 à



+ 110 mV_{Ag/AgCl} et de « 0 » à 7 mg O₂/l, ces valeurs pouvant varier selon la stratégie d'aération. Le milieu devenant aérobie, de multiples composants du lisier (dont l'azote) sont oxydés créant une élévation du potentiel oxydo-réducteur. A l'arrêt de la turbine d'aération, l'oxygène résiduel est rapidement consommé par les bactéries aérobies. La création d'un milieu anoxique indispensable à l'activité des bactéries dénitrifiantes permet ainsi la réduction des nitrites et des nitrates en azote moléculaire (N₂).

L'augmentation de la concentration globale en éléments réduits entraîne la chute du potentiel oxydo-réducteur.

La sonde Rédox montre ici ses avantages pour décrire les conditions d'anoxie. Lorsque la turbine s'arrête, la sonde à oxygène indique une concentration nulle dès que le potentiel oxydo-réducteur se situe entre - 20 et + 20 mV_{Ag/AgCl} (Figure 3.2) alors que les conditions d'anaérobiose stricte sont caractérisées par des potentiels oxydo-réducteurs inférieurs à - 200 mV_{Ag/AgCl}. Dans un réacteur biologique, une sonde Rédox permet de caractériser une liqueur mixte faiblement concentrée en oxygène, zone où la sonde à O₂ devient imprécise. En vitesse de croisière, l'utilisation de ce paramètre permet d'optimiser les séquences d'aération pour une nitrification et une dénitrification complète, il tend à supplanter les modes de pilotage basés sur un programmeur horaire ou l'utilisation de sondes à oxygène.

Une durée de montée en charge variable

La durée de montée en charge obtenue à la Station Expérimentale de Romillé n'est pas pleinement transposable à toutes les situations

d'élevage. Indépendamment d'un ensemencement initial, beaucoup de facteurs de variation influencent le développement des bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes : la température, la composition du lisier, notamment sa charge carbonée et azotée, la stratégie et le mode d'aération.

Dans nos conditions, la température de la liqueur mixte dans le réacteur biologique était peu élevée : 7,9 °C en février, 8,7 °C en mars et 9,2 °C en avril. Elle n'a pas favorisé la multiplication des bactéries nitrifiantes. Même si leur croissance est théoriquement possible dès 5 °C, l'optimum se situe

(1) Service d'Assistance Technique pour l'Exploitation des Stations d'Épuration.

Encadré 2 : Procédures de démarrage d'une station de traitement biologique par N/D recommandées par les SATESE⁽¹⁾ du Finistère et des Côtes d'Armor.

Les procédures de démarrage des stations de traitement biologique du lisier de porc sont du ressort des sociétés constructrices. Cependant les SATESE 22 et 29 viennent d'élaborer un guide de recommandations générales qui tient compte de leur expérience et des particularités technologiques propres à chaque constructeur.

Règles générales :

- Remplissage en eau claire de 20 à 50 % du volume du réacteur, voire 100 % si turbine de surface.
- Ensemencement ou non du réacteur (boue activée d'un autre ouvrage), si ensemencement, prévoir environ 10 % du volume.
- Alimentation en lisier brut de 1/5 à 1/4 de la charge nominale en m³ par jour.
- Durée de remplissage de 2 à 4 mois
- Suivi de la montée en charge par les paramètres redox ou oxygène, le contrôle des concentrations en NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et le poids des boues (test éprouvette ou analyses).
- Durant la période de montée en charge, les durées d'aération sont « forcées » : sur-aération les premières semaines jusqu'à diminution sensible de la teneur en NH₄⁺ de la liqueur activée (de l'ordre de 50 mg/l résiduel). Durant cette période, les trois formes d'azote sont présentes : NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ (*).
- L'ajustement des réglages pour l'équilibre N/D s'effectue à partir du moment où le résiduel de l'ordre de 50 mg/l en NH₄⁺ est atteint, généralement à partir de 2 à 3 mois de fonctionnement.
- Le poids de boue dans le réacteur est variable suivant les filières. L'optimum serait de 8 à 15 g/l en MES, pour un bon rapport kWh/m³ traité. La régulation du poids de boue s'effectue en équilibrant les deux paramètres extraction et recyclage de liquide traité.
- Chaque constructeur ayant un type de conduite d'ouvrage particulier lié à la technologie de son installation, l'application des règles générales s'adapte dans chaque cas. L'objectif étant d'obtenir en quelques mois un fonctionnement stabilisé, le terme de 6 mois pour l'obtention de l'état stable est raisonnable. Pour juger de l'état stable et s'affranchir des effets de dilution, le délai de 3 taux de renouvellement hydraulique semble nécessaire.
- L'équilibre à atteindre étant le compromis entre masse active et durées d'aération permettant l'obtention d'un résiduel en azote total compatible avec l'arrêt d'autorisation.

(* Note des auteurs : le mélange initial constitué par de l'eau et du lisier ne contient pas de nitrites et de nitrates. Mais il semblerait que sous certaines conditions, ils puissent apparaître très rapidement.



autour de 30-36 °C pour *Nitrosomas* et 28 °C pour *Nitrobacter*. D'autre part le temps d'aération retenu à la station n'a été que de 6 heures par jour sur les

deux premiers mois et 8 h 30 par jour en moyenne sur toute la durée de montée en charge alors que des temps d'aération supérieurs sont parfois appliqués. En pratique, des durées de montée en charge plus courtes peuvent être obtenues (voir Encadré 2).

Conclusion

Que ce soit pour des raisons de protection sanitaire de l'élevage ou pour une station de traitement très isolée, il est possible de ne pas ensemer le réacteur. Le lisier contient suffisamment de bacté-

ries impliquées dans le processus de N/D pour le développement de sa propre boue activée.

Lorsque la charge nominale n'est pas attendue avant 3 ou 4 mois, il est indispensable de prévoir une bonne gestion des ouvrages de stockage, notamment en période hivernale. Alors qu'elle peut représenter un volume important, la fraction de lisier non traitée pendant la montée en charge ne pourra plus, en effet, être stockée dans les fosses destinées à la digestion biologique, à la décantation ou au stockage du surnageant. ■

Principales sources bibliographiques

- Anthonisen A.C., Loehr R.C., Prakasam T.B.S. et Srinath E.G. (1976). Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. *Journal Water Pollution Control Federation*, 48 : 835-852.
- Beline F. (1998). Etude des transferts d'azote par nitrification/dénitrification (N_2 , N_2O , NH_3) au cours du traitement aérobique et du stockage du lisier de porc. Essai avec ^{15}N . Thèse Cemagref/Université de Perpignan, 153 p.
- Duchène P. (1990). Élimination de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités. CEMAGREF Documentation technique FNDAE n°10, 57 p.
- Lee N.M. et Welander T. (1996). The effect of different sources on respiratory denitrification in biological wastewater treatment. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 82: 277-285.
- Painter H.A. (1986). Nitrification in the treatment of sewage and wastewater. In : *Nitrification*, Prosser J.I.eds., Oxford University press, Washington DC, pp 185-211.

Contacts :

pascal.levasseur@itp.asso.fr
fabrice.beline@cemagref.fr