

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



École Nationale Polytechnique

Département de Génie de l'environnement

Mémoire de Master

En Génie de l'Environnement

THÈME :

***Effet du champ électromagnétique sur la
croissance de la biomasse dénitrifiante***

Présenté par

LAMRANI Yamina

Soutenu en Octobre 2015 devant le jury :

Président	Mr.	N.MAMERI	Professeur	ENP
Examineur	Mr.	H.GRIB	Professeur	ENP
Protomotrice	Mme.	N.ABDI	Professeur	ENP
Co-promoteur	Mr.	N.BENYOUSSEF	M.A.A	UBEIBBA

Promo 2015

Dédicaces

« Je dédie cette thèse à » :

À mon père et ma mère

À mes très chers frères

À ma très chère sœur

À mon bon frère

À mes neveux et nièces

À toute ma famille grande et petite

À mes meilleures amies

À tous ceux qui me reviennent chère

Remerciements

Je tiens tous d'abord à remercier Dieu le tout puissant pour m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour aboutir à la réalisation de ce travail.

Ce modeste travail a été réalisé au sein de l'unité de Recherche en Ingénierie & Environnement (URIE) de Génie d'Environnement à l'École Nationale Polytechnique dirigé par :

- *Madame **N.Abdí**, à qui je tiens à exprimer, ma profonde gratitude de m'avoir prodigué ses précieux conseils, ses aides permanentes, sa compétence et critiques constructives,*
- *Monsieur **N.BENJOUSSEF** Maître-Assistant à l'université Mohammed El-Bachir El Ibrahimí Bordj Bouarériđj.*

*Je tiens également à remercier vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce mémoire. Merci à Monsieur **N.MAMERI** d'avoir accepté de présider le jury. Merci également à Monsieur **H.GRIB** qui est accepté d'examiner ce travail.*

Et je remercie tous les membres de l'URIE, pour leur aide et pour leur soutien qu'ils m'ont apporté.

Mes derniers remerciements vont à ma famille, mes amis et toute personne qui m'a aidé de près ou de loin à accomplir ce travail.

MERCI

Sommaire

INTRODUCTION	1
I. DÉNITRIFICATION BIOLOGIQUE	5
I.1. Définition	5
I.2. Dénitrification autotrophe	6
I.3. Dénitrification hétérotrophe	6
I.4. Paramètres influençant la dénitrification	6
I.4.1. La concentration initiale des nitrates	7
I.4.2. Le carbone organique	7
I.4.3. L'oxygène dissous	7
I.4.4. La température	8
I.4.5. Le pH	8
I.4.6. Le rapport C/N	9
I.4.7. Le rôle potentiel d'oxydo-réduction	9
I.4.8. Influence biologique	9
I.4.9. Substances toxiques	10
I.5. Schéma de la croissance bactérienne	10
I.5.1. La phase de latence	11
I.5.2. La phase d'accélération de croissance	11
I.5.3. La phase exponentielle de croissance	11
I.5.4. La phase de ralentissement	12
I.5.5. La phase stationnaire	12
I.5.6. La phase de mort accélérée	12
I.5.7. La de déclin (décroissance)	12
I.6. Technologie de la dénitrification	12
I.6.1. Procédé à bactérie libre	12
I.6.2. Procédé à culture fixée	13
I.6.2.1. En lit fluidisé	13
I.6.2.2. En lit fixé	13

II.	EFFET DU CHAMP MAGNÉTIQUE SUR LES SYSTÈMES BIOLOGIQUES	15
II.1.	Effet sur les microorganismes	15
II.2.	Effet sur les végétaux	16
II.3.	Effet sur être humain	17
II.4.	Effet du CEM statique sur la dénitrification biologique	18
III.	MATÉRIELS & MÉTHODES	21
III.1.	Introduction	22
III.2.	Sélection des bactéries dénitrifiantes	22
III.3.	Composition de l'alimentation en discontinu	23
III.4.	Description du dispositif expérimental	23
IV.	RÉSULTATS & DISCUSSION	25
IV.1.	Préparation de solénoïde	26
IV.2.	Effet du champ électromagnétique statique sur la croissance de la biomasse dénitrifiante	27
	CONCLUSION	32
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
	ANNEXES	
	RÉSUMÉ	

Liste des figures

Figures	titres	Pages
Figure I.1	les phases de croissance établies par (Buchanan, 1918)	10
Figure III.1	Dispositif de la sélection des bactéries en Réacteur Discontinu	23
Figure III.2	Le montage expérimental	24
Figure IV.1	Intensité de l'induction magnétique en fonction du courant	26
Figure IV.2	Courbe de croissance de la biomasse dénitrifiante	27
Figure IV.3	Évolution de la concentration des nitrates en fonction de temps à différentes intensités de l'induction magnétique	29
Figure IV.4	Évolution de la concentration des nitrites en fonction de temps à différentes intensités de l'induction magnétique	29
Figure IV.5	Évolution des rendements d'élimination des nitrates en fonction de temps à différentes intensités de l'induction magnétique	30

Liste des tableaux

tableaux	titres	Pages
Tableau III.1	Composition de l'alimentation en discontinu	23
Tableau IV.1	Paramètre de Solénoïde	26

Liste des abréviations

DCO	Demande Chimique en Oxygène
DBO	Demande Biologique en Oxygène
MES	Matière en suspension
NOR	Oxyde nitrique réductase
N2OR	Oxyde nitreux réductase
CM	Champ Magnétique
CMC	Champ Magnétique Constant
CMA	Champ Magnétique Alternatif
CMU	Champ Magnétique uniforme
CMNU	Champ Magnétique non uniforme
CMT	Champ Magnétique Terrestre
CEM	Champ Électromagnétique
ATP	Adénosine Triphosphate

*INTRODUCTION
GÉNÉRALE*

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est un élément indispensable à la vie, son importance est primordiale et ne cesse de croître. L'approvisionnement en eau potable devient de plus en plus difficile, cela est dû essentiellement à la pollution par les rejets industriels ainsi que par l'utilisation intensive des engrais en agriculture qui fait augmenter la teneur des nitrates dans les eaux souterraines (**Ratel, 2002**).

En effet, les nitrates sont des composés indésirables dans l'eau potable car leur toxicité pour l'homme est avérée. Les nitrates peuvent provoquer une méthémoglobinémie en particulier chez les nourrissons et les femmes enceintes ainsi qu'avoir un effet cancérigène. De plus, la présence des nitrates dans les eaux provoque une eutrophisation des lacs et des rivières causant ainsi une détérioration de leur aspect esthétique et caractéristiques organoleptiques (**Martin, 1979**). De ce fait, l'eau polluée en nitrate nécessite un traitement très poussé.

La dénitrification biologique est l'un des procédés les plus efficaces pour l'élimination des nitrates des eaux polluées. Deux grandes catégories de technologies biologiques sont aujourd'hui mises en œuvre pour la dénitrification : l'un est « autotrophe » dans laquelle les bactéries utilisent une source de carbone minéral, et l'autre « hétérotrophe » dont la biomasse nécessite une source de carbone organique. Cette dernière présente l'avantage d'être plus économique que les méthodes physicochimiques et électrochimiques, ainsi que la dénitrification autotrophe.

Dans le cadre de notre travail, nous nous proposons de traiter une eau de fortes concentrations en nitrates dans un réacteur en batch soumis au **CEM** et d'étudier l'effet du champ électromagnétique sur la croissance de la biomasse dénitrifiante.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres.

Une partie bibliographique qui comprend deux chapitres. Le premier chapitre regroupe les résultats obtenus lors du traitement de la pollution nitrique par dénitrification biologique.

Dans le deuxième chapitre regroupe des résultats déjà obtenus sur l'effet du champ électromagnétique sur les systèmes vivants (microorganismes, végétaux et êtres humains) et sur la dénitrification biologique.

Le troisième chapitre est entièrement consacré à la présentation du protocole d'expérience choisi (méthodologie expérimentale, matériels et dispositif expérimental), des

INTRODUCTION GÉNÉRALE

résultats détaillés obtenus suite à l'étude statistiques des effets des champs électromagnétiques sur la croissance de la biomasse dénitrifiante.

Enfin, une conclusion générale est présentée englobant toutes nos remarques, déductions, réflexions et perspectives dans le cadre de sujet.

Partie
bibliographique

Chapitre I
DÉNITRIFICATION
BIOLOGIQUE

Synthèse bibliographique
DÉNITRIFICATION BIOLOGIQUE

I. Dénitrification biologique

I.1. Définition

La dénitrification est un processus anoxique au cours duquel des bactéries hétérotrophes vont changer leur métabolisme pour utiliser les formes oxydées d'azote (NO_2^- , NO_3^-) en tant qu'accepteurs d'électrons au lieu de l'oxygène moléculaire. La réduction biologique des nitrates au cours de la dénitrification mènera à la production finale d'azote gazeux inerte (N_2). La dénitrification consiste à éliminer les nitrates présents dans l'eau en impliquant les étapes suivantes :



Chaque étape est catalysée par une enzyme.

Les produits oxydés (nitrites et nitrate) issus de l'étape de traitement aérobie de l'azote (nitrification) subissent une réduction anaérobie par des bactéries spécifiques (hétérotrophes) dont la formation est souvent réprimée par la présence d'oxygène (**Edeline, 1988**). Ces bactéries qui ne se forment qu'en l'absence ou en présence de très faible concentration d'oxygène, utilisent les NO_2^- et NO_3^- comme accepteurs d'électrons dans la chaîne respiratoire.

Le produit final de ces réactions de réduction est l'azote moléculaire associé à une production d'énergie par les cellules lors du transfert des électrons (**Edeline, 1988**). Ces bactéries sont qualifiées des bactéries aérobies facultatives.

Le traitement biologique occupe une place importante parmi les procédés mis en place pour éliminer les nitrates. C'est un procédé anaérobie, qui utilise l'oxygène des nitrates, pour oxyder, soit des matières organiques (dénitrification organotrophe), soit des substances minérales (dénitrification lithotrophe).

La dénitrification organotrophe est également appelée hétérotrophe, les bactéries intervenantes utilisent le carbone organique pour la synthèse cellulaire. Par contre, les bactéries de la dénitrification lithotrophes sont autotrophes, car elles consomment, pour la synthèse cellulaire le CO_2 dissous dans l'eau ou lié sous forme de bicarbonates (**Nuttal et al., 2003**).

Synthèse bibliographique

DÉNITRIFICATION BIOLOGIQUE

I.4.1. La concentration initiale des nitrates

En général, les nitrates sont nécessaires pour la synthèse des enzymes surtout la nitrate réductase. Selon **Brayan 1981**, le nitrate affecte la production du nitrate réductase. Sa présence déclenche la synthèse et sa concentration détermine la quantité d'enzyme synthétisé. Cette relation peut être décrite par une cinétique de **Michael-Menten** qui se caractérise par une forte dépendance de la vitesse de dénitrification à la concentration des nitrates (**Betlach M.R et Tiedje.M, 1981**).

Un autre effet de la concentration initiale des nitrates pourrait être sur l'ordre de la réaction. (**Bowman R.A. et Focht D.D, 1974**) mettent en évidence une cinétique d'ordre 1 pour de faibles concentrations en nitrates tandis que pour de fortes concentrations la cinétiques de la réaction serait d'ordre 0.

I.4.2. Le carbone organique

Comme la plupart des micro-organismes dénitrifiants sont hétérotrophes, la présence de carbone organique est donc indispensable à la réalisation du processus de dénitrification, car le substrat carboné fournit l'énergie nécessaire à leur métabolisme et constitue l'élément de base de leurs synthèses cellulaires. Le carbone organique favorise également le processus de dénitrification en accélérant la respiration aérobie (**Davidsson et Leonardson, 1996**). Tandis que les faibles performances de dénitrification biologique, résultant en général d'une limitation des eaux usées en carbone, imposent l'apport d'une source de carbone exogène afin d'améliorer les performances de traitement. Le méthanol et l'acétate sont les principaux substrats carbonés synthétiques ayant été utilisé dans le domaine de la dénitrification des eaux résiduaires (**Louzeiro et al., 2002, Foglar et Briski., 2003**).

I.4.3.L'oxygène dissous

Les rendements de dénitrification sont affectés par la présence d'oxygène. En effet, les micro-organismes réalisant la dénitrification étant des aérobies facultatifs, ils consomment l'oxygène dissous avant l'oxygène des nitrates. Cependant, la dénitrification peut commencer en présence de faibles taux d'oxygène dissous (**Mariotti, 1986**). Le taux limite d'oxygène dissous à partir duquel la dénitrification peut s'initier est compris entre 0.2 et 2mg/l (**Nakajima et al., 1984, Trevor .,1985**). Ceci peut être expliquer par l'existence de quelques micro-organismes qui sont capable de dénitrifier en aérobiose. En présence d'une forte concentration

Synthèse bibliographique
DÉNITRIFICATION BIOLOGIQUE

d'oxygène dissous, les étapes de la dénitrification sont graduellement inhibées, c'est d'abord la réduction de l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N₂O) qui est affecté puis celle du nitrite et enfin celle de nitrate.

I.4.4. La température

La température est un important facteur de contrôle de dénitrification. Bien que la dénitrification puisse avoir lieu dans une très large gamme de température , entre 0 et 60°C , celle-ci reste relativement faible entre 0 et 5°C (**Smid A.E. et Beauchamp E.G,1976**). Entre 2 et 25°C , la dénitrification augmente de manière continue et reste plus ou moins stable entre 25 et 60°C . Alors qu'à des températures supérieure à 60°C elle décroît. Les pourcentages d'augmentation du taux de dénitrification en fonction de la température sont très variables d'un site à l'autre.

En règle générale, la réaction semble être réalisée par des micro-organismes mésophiles. Mais il n'existe pas de température optimale pour réaliser la dénitrification

Il existe plusieurs équations qui relient la température et la dénitrification on peut citer par exemple la relation suivante (**Knowles R, 1982**) :

$$K_t = K_{20} * \Theta^{(t-20)}$$

Ou : **K_t** : taux de dénitrification à la température t

K₂₀ : taux de dénitrification à 20°C

t : température en °C

Θ : constante comprise entre 1.13 et 1.05

I.4.5. Le pH :

Les microorganismes réalisent la dénitrification sont moyennement sensibles aux fluctuations du pH. Le pH optimum semble se situer entre 7 et 8,7. La réaction de dénitrification entraine une élévation du pH, qui doit être contrôlé puisqu'il peut y avoir inhibition de la réaction au-delà d'une valeur de pH égale à 9. Les travaux de **Gee et Kim 2004** montrent toutefois que la dénitrification est possible à un pH de 9,5 dans un réacteur en batch accumulant les nitrites. **Foglar et Briski, 2003** observent un pH optimum de 7,4 mais également une bonne dénitrification dans des gammes de pH allant de 5,9 à 8,4 pour une biomasse acclimatée à dégrader les nitrates.

Synthèse bibliographique
DÉNITRIFICATION BIOLOGIQUE

I.4.6. Le rapport C/N

Quelle que soit la source de carbone utilisée, la détermination d'une concentration en carbone à fournir par rapport à la concentration en nitrate à éliminer (rapport C/N) est une étape préliminaire obligatoire à toute optimisation de traitement biologique par dénitrification. Le rapport DCO/N pour une dénitrification complète est égal à 2.86 pour le nitrate et 1.71 pour le nitrite sans tenir compte de la croissance cellulaire. De nombreux auteurs (**Skrinde J.R. et Bhagat S.K, 1982, Tam N.F.Y et al, 1992 a et b**) soulignent qu'indépendamment de la source de carbone utilisée, le rapport DCO/N doit être compris entre 3 et 6 pour avoir de bonne performance de dénitrification biologique. Des études sur la dénitrification montrent que le rapport C/N minimal pour une réduction totale du nitrate en N₂ est de 3.4 et 1.08 pour une dénitrification totale du nitrite.

I.4.7. Le rôle potentiel d'oxydo-réduction

Les réactions de respiration ou de dénitrification étant composées d'une succession de réactions d'oxydo-réduction, le potentiel d'oxydo-réduction global de chaque intermédiaire est un facteur important. La vitesse de dénitrification augmente lorsque le potentiel d'oxydo-réduction décroît (**Lie E. et Wellander T.1994**). (**Kucera I. et al., 1983**) ont montré que le nitrite et le protoxyde d'azote produits lors de la dénitrification ou ajouté au milieu, diminuaient le taux de réduction de nitrate en oxydant la chaîne respiratoire via les nitrites et l'oxyde nitreux réductases.

I.4.8. Influence biologique

La dénitrification est assurée par les communautés des microorganismes. Elles sont structurées sur le long terme par la disponibilité en carbone, le pH et la température (**Enwall K. et al., 2005**). Leur composition reflète donc les conditions environnementales, mais les tolérances ne sont pas les mêmes pour tous les types de bactéries (**Wallenstein M.D. et al., 2006**). La biodiversité offre une grande variété de microorganismes pouvant réaliser la dénitrification. Certains tolèrent des pH acides, contrairement à d'autres qui ont besoin de pH exclusivement neutres, ou certains supportent des degrés d'assèchement plus fort que d'autres. Le paramètre biologique influe donc lui aussi directement sur la dénitrification.

DÉNITRIFICATION BIOLOGIQUE

I.4.9. Substances toxiques

Mis à part les influences de l'oxygène et du pH, d'autres corps ou composés inhibent la dénitrification. Selon leur composition, ils peuvent agir au niveau des enzymes comme inhibiteurs compétitifs qui empêchent leur régénération (**Martin G, 1979**). Parmi les substances toxiques pour la dénitrification, on peut citer :

- Les cyanures et le dinitriphénol qui inhibe la chaîne respiratoire des microorganismes.
- Les ions sulfures qui inhibent la NOR et la N_2OR .
- L'acétylène qui inhibe N_2OR .

I.5. Schéma de la croissance bactérienne

La culture en batch permet de suivre tout le cycle d'une population de micro-organismes. Ce cycle est également représenté sous forme d'une courbe de croissance correspondant au suivi de la population (densité de population) ou au suivi de la biomasse (densité de la biomasse), éventuellement après transformation logarithmique, en fonction du temps.

Depuis la première description de (**Buchanan, 1918**), il est classique distinguer plusieurs phases dans la croissance des cultures des micro-organismes. Ces phases sont caractérisées par certaines valeurs ou variations de la vitesse de multiplication de la culture. On reconnaît classiquement les sept phases successives suivantes (figure I.1) :

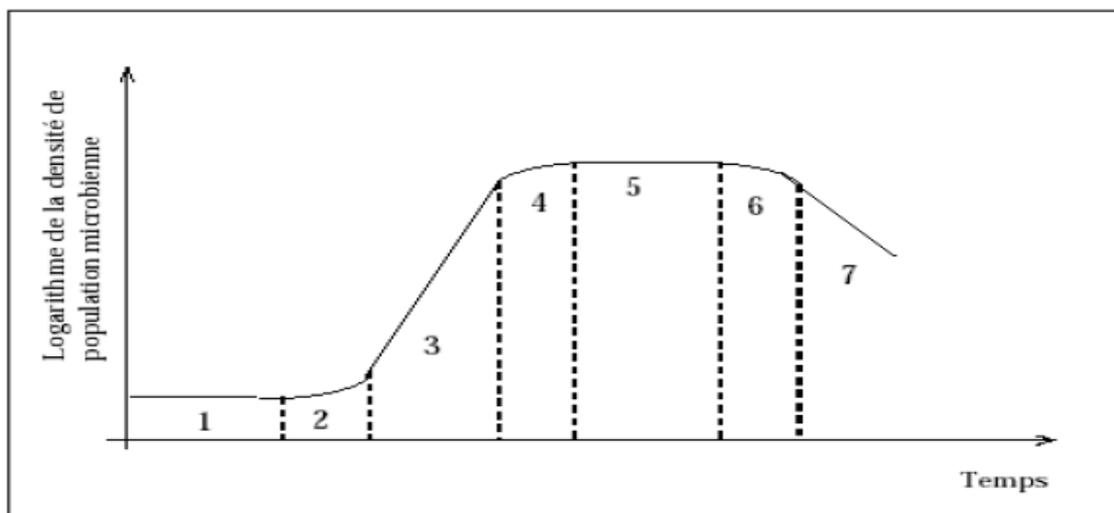


Figure I.1 : Les phases de croissance établies par (**Buchanan, 1918**)

Synthèse bibliographique
DÉNITRIFICATION BIOLOGIQUE

I.5.1 : La phase de latence

Il s'agit d'une période d'adaptation au cours de laquelle la cellule synthétise en particulier les enzymes qui lui sont nécessaires pour métaboliser le substrat présent (**Reatz et Bauer, 2001**). Au cours de cette phase, il n'y a pas de reproduction cellulaire :

$$X = \text{cte} = X_0$$

X : la concentration cellulaire (nombre de cellules ou concentration en biomasse bactérienne par unité de volume de culture).

X₀ : la concentration cellulaire au temps t = 0.

La vitesse de croissance (dx/dt = 0).

I.5.2. La phase d'accélération de croissance

Lorsque la phase d'adaptation précédente est terminée, on assiste au démarrage de la croissance proprement dite : la reproduction cellulaire commence.

I.5.3. La phase exponentielle de croissance

Pendant cette phase, les microorganismes se divisent et doublent leur nombre à un intervalle de temps régulier ; la population est presque uniforme en termes de propriétés chimiques et physiologiques. Au cours de cette phase, la vitesse de croissance dx/dt augmente proportionnellement à X. D'où l'allure logarithmique (ou exponentielle) du phénomène. En coordonnées semi-logarithmique, (Log X = f(t)), cette phase a l'allure d'une droite :

$$\frac{dX}{dt} = \mu X$$

On peut modéliser simplement la phase exponentielle de croissance par :

$$\text{Log } X = \text{Log } X_0 + \mu t$$

$$X = X_0 e^{\mu t}$$

Le taux de croissance est quant à lui constant et maximal, il est défini par l'équation différentielle suivante :

$$\mu = \frac{dX}{dt} \cdot \frac{1}{X} = \mu_{\text{max}}$$

Synthèse bibliographique

DÉNITRIFICATION BIOLOGIQUE

Pour cette phase : $\text{Log } X_2 - \text{Log } X_1 = \mu_{\max} (t_2 - t_1)$ et $\mu_{\max} = \frac{\text{Log } X_2 - \text{Log } X_1}{t_2 - t_1}$

I.5.4. La phase de ralentissement

Il y a un épuisement du milieu de culture suite à la disparition d'un ou plusieurs composés nécessaires à la croissance et à une accumulation des produits inhibiteurs résultants du métabolisme bactérien, il existe un début d'autolyse des micro-organismes.

I.5.5. La phase stationnaire

Durant cette phase, il n'y a aucune augmentation du nombre de micro-organismes. Le taux de croissance par organisme est nul.

I.5.6. Phase de mort accélérée

Durant cette période, le nombre de micro-organisme décroît, d'abord lentement puis de plus en plus vite, jusqu'à l'établissement d'une phase de mortalité logarithmique. Le taux de mortalité par organisme augmente jusqu'à un certain maximum.

I.5.7. La phase de déclin (décroissance)

Un changement nuisible comme la carence en nutriment et l'accumulation de déchets toxiques conduisent à la diminution du nombre de cellules viables et une lyse cellulaire sous l'action des enzymes protéolytiques endogènes, caractéristique de la phase de mortalité. La mort d'une population de micro-organismes, comme sa croissance durant la phase exponentielle, est habituellement logarithmique. La cinétique de croissance des micro-organismes est donc essentiellement composée d'une phase de latence suivie d'une phase exponentielle puis d'une phase stationnaire.

I.6. Technologie de la dénitrification

Il existe de grandes voies de mise en œuvre de procédés biologiques

I.6.1. Procédé à bactéries libres

L'eau à traiter est mise en contact dans un réacteur semi-fermé à mélange intégral avec la biomasse agrégée en floccs bactériens. Dans le cas de la dénitrification, le mélange serait réalisé en absence d'air. Ce procédé, présente l'inconvénient d'un faible rendement et le risque

Synthèse bibliographique
DÉNITRIFICATION BIOLOGIQUE

d'une mauvaise décantation entraînant une mauvaise épuration .Ce système est surtout utilisée par les stations d'épuration.

I.6.2. Procédé à cultures fixées

C'est un procédé utilisé surtout pour la dénitrification de l'eau potable. Dans ce cas, l'épuration des eaux est réalisée dans des filtres biologiques où les bactéries sont adsorbées sur un support fixe.

La fixation des bactéries sur un support dépend de l'hétérogénéité des surfaces, de la charge électrique et du pouvoir adsorbant. Cette fixation conduit à une très grande concentration de bactéries dans le réacteur ce qui permet un meilleur rendement.

La fixation sur support minéral peut se faire en deux technologies :

I.6.2.1. En lit fluidisé, la taille des particules est inférieure à 1 mm et le flux est ascendant avec une vitesse telle que la fluidisation est obtenue. Cette technologie est intéressante car la surface développée par le milieu fin est élevée et permet une forte concentration en bactéries. Par contre, il a été observé une fuite de matière en suspension dans l'eau traitée (**Ratel, 2001**).

I.6.2.2.En lit fixe : la taille des particules minérales est supérieure à 1 mm,le flux d'eau est ascendant. La biomasse reste stockée dans les interstices du matériau.

Chapitre II
EFFET DU CHAMP
ÉLECTROMAGNÉTIQUE
SUR LES SYSTÈMES
BIOLOGIQUES

Synthèse bibliographique
**EFFET DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE SUR LES SYSTÈMES
BIOLOGIQUES**

II. Effet du champ électromagnétique sur les systèmes biologiques

Tous les organismes évoluent en permanence dans un champ magnétique faible. Sur la représentation du spectre électromagnétique, le champ magnétique se situe au tout début avec une longueur d'onde infinie et une fréquence nulle (**BBEMG, 2010**). Il est donc très loin des rayonnements ionisants comme les rayons gamma et les rayons X. Ces derniers ont la capacité de briser les liaisons inter-intracellulaires (**Blank, 1995**). Bien que la fréquence des champs magnétiques soit très basse et qu'ils ne possèdent pas l'énergie pour briser des liaisons au niveau moléculaires, plusieurs effets dus aux champs magnétiques statiques ont été observés sur les organismes vivants

II.1. Effet sur les microorganismes (Bellossi, 1984)

Les études sont nombreuses mais diverses et conduisent parfois à des résultats contradictoires pour un même germe, illustrations précise de l'absolue nécessité d'une parfaite maîtrise des conditions expérimentales.

Escherichia Coli a donné lieu à de multiples travaux : un CMCU de 1400 mT, 48h ne modifie ni la croissance *d'E. Coli* (ni celle de *Sarcine lutes*) selon **HEDRICK (1964)**, un CM de 500mT constant ou pulsé n'affecte pas sa reproduction mais un CMC de 3200 mT induit après 2h d'exposition une diminution temporaire du nombre de cellules en culture capables de former des colonies selon **SHCHELKUNOVA (1970)** ; un CMC de 200 mT n'inhibe pas la reproduction cependant qu'un CMC de 450 mT l'inhibe mais ne tue pas les germes et que l'effet de champs pulsés de 0,5 à 23 mT dépend étroitement de la fréquence pour **AARHOLT (1980)**, et **TCHIZHOFF (1975)** qui envisagent une décontamination de l'eau dans les vaisseaux cosmiques par exposition à un CM pulsé . En opposition avec les résultats précédents la croissance des germes n'est pas modifiée par un CMC uniforme de 420 mT durant l'exposition mais s'accélère après l'exposition (**MIRO 1967**) ; **CAUSEY (1979)** obtient une augmentation de la résistance à certains antibiotiques après exposition à 300 mT et **COATE** n'observe pas de mutation pour une exposition en CMA de 0,1 ou 0,2 mT associé à un champ électrique de 10 à 20 V.m⁻¹ , à 45 ou 75 Hz (**SHEPPARO 1977**).

HEDRICK (1964) obtient une inhibition de la croissance de *S.aureus* après une exposition de 21 et 24 h à un CMCU de 1400 mT. Il met par ailleurs en évidence qu'un CMCNU de 70mT permet d'obtenir une modification de l'aspect de la culture : les germes normalement

Synthèse bibliographique
**EFFET DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE SUR LES SYSTÈMES
BIOLOGIQUES**

en amas apparaissant après une exposition de 36 h séparés les uns des autres. Une exposition de 20 mois à un CM de 5mT avec repiquage tous les 3 jours conduit à l'apparition d'une souche totalement blanche en 7 mois présentant des modifications considérables des propriétés des germes initiaux, de leur sensibilité aux antibiotiques et une augmentation de leur pathogénicité (**KARKOVA 1976**). **THIEMANN (1970)** par des CMC de 500 à 800 mT accélère le taux de croissance de *Micrococcus denitrificans*. **MOORE (1979)** expose des cultures de *Pseudomonas aeruginosa*, *Halobacterium halobium*, *Bacillus subtilis* et *Staphylococcus epidermis* ainsi que *Candida albicans* à des CMNU, pulsés ou non, les cultures étant agitées et, selon l'intensité et les fréquences il obtient un effet stimulant ou un effet inhibiteur qui serait dû à une diminution du taux de multiplication. **MOORE** conclut à un effet direct sur le système respiratoire des microorganismes. **STASYUK (1974)** parvient à inhiber la croissance de *Mycobacterium tuberculosis* par exposition de 2 à 24 h à 100 mT sans modification de la sensibilité des germes aux antibiotiques. Les résultats concernant la sensibilité aux antibiotiques varient avec les auteurs : Pour **PAVLOVITCH**, la résistance de *Staphylococcus aureus* augmente (**STASYUK 1974**) ; pour **SERDYUK (1978)** un CMA de 8 à 12 mT, 50 Hz appliqué pendant 20 mn par jour augmente la sensibilité aux antibiotiques du *staphylocoque doré* et du *bacille pyocynique*. Le même auteur rapporte un effet favorable de tels champs dans le traitement de gonarthrites expérimentales.

II.2. Effet sur les végétaux (Belossi, 1984)

Le taux de germination de graines d'avoine exposées 5 jours à un CMCNU de 120 mT n'est pas modifié (**MERICLE 1964**), il en est de même pour des graines de radis à 450 ± 5 mT. L'expérimentation conduite sur 18 mois a permis d'éliminer un effet lié à la saison (**SIMMERS 1967**), mais il a cependant augmenté pour des graines de pommes et des graines d'abricots à 60 mT (**LEE CHAO 1967**).

La croissance des pousses est accélérée pour l'avoine en appliquant un CMCNU de 120 mT selon **MERICLE (1964)**. Il en est de même pour *Secale cereale* après exposition des graines humides 4 à 5 h à 120mT, $160 \text{ mT} \cdot \text{mm}^{-1}$ (**BRANDSCH 1973**) : par ailleurs, un CM d'intensité faible (jusqu'à 6 fois le CM terrestre) ne modifie pas la croissance de *Triticum durum* (**INNAMORATI 1974**), ni de *vicia faba* (**MILLER 1976**).

Synthèse bibliographique
**EFFET DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE SUR LES SYSTÈMES
BIOLOGIQUES**

En 1963, **BOE** accélère la maturation des tomates (*Lycopersicon ascul entum*) en les plaçant entre les pôles d'aimants. En **1965 STREKOVA** et **TARAKANOVA** constatent que la croissance en CMC peu intense (1 à 6.2 mT) à partir de graines (seigle, lupin, pois, concombre, orge, maïs) s'accompagne d'une baisse de la consommation d'oxygène. En 1972, à partir de semences de fèves *Vicia faba* en CMCNU (6.2 et 1200 mT) ils mettent en évidence des modifications de la structure des mitochondries des racines interprétées comme liées à des changements de teneur en ATP ; ils considèrent que la cause première des effets produits par les CMC sur les processus vitaux résiderait dans les changements de l'énergie cellulaire.

C'est une action sur la perméabilité membranaire qu'envisage **LEBEDEV (1975,1977)** pour expliquer les divers effets obtenu en exposant à un CMC de 502 mT des graines en germination : augmentation de l'intensité de la respiration, de l'activité de la lipase (soja, tournesol), de l'amylase (blé) de la catalase, de la polyphénoloxydase, de la peroxydase, de l'activité photochimique de la chlorophylle, de l'activité de phosphorylation des chloroplastes. **TRANKIN (1973)** considère également qu'un CM modifie la structure des membranes cellulaires.

II.3. Effet sur l'être humain

Même en l'absence de tout champ électrique extérieur, notre corps est le siège de microcourants dus aux réactions chimiques qui correspondent aux fonctions normales de l'organisme. Par exemple, certains signaux sont relayés par les nerfs sous la forme d'impulsions électriques. La plupart des réactions biochimiques qu'impliquent la digestion et de l'activité cérébrale par exemple, comportent une redistribution de particules chargées. Le cœur lui-même est le siège d'une activité électrique que votre médecin peut suivre sur l'électrocardiogramme (**Nikhil parsi, 2007**).

Le corps humain est un bon conducteur de l'électricité. La présence d'un champ électrique ou d'un champ magnétique à 60Hz, c'est-à-dire petits courants électriques qui disparaissent dès que l'exposition cesse. Ces microcourants ne s'accumulent pas dans le corps. Ils sont généralement imperceptibles car leur intensité est trop faible pour exciter les nerfs et les muscles. Ils sont même plus faibles que les courants produits naturellement par l'activité du cœur et du cerveau. Par exemple, en présence d'un champ magnétique de 0,15 μ T, les

Synthèse bibliographique
**EFFET DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE SUR LES SYSTÈMES
BIOLOGIQUES**

microcourants provoqués dans le corps sont environ 5 000 fois plus petits que les courants naturels du corps humain. (Hydro-Québec, novembre 2011).

Nous imaginons mal un monde sans électricité. Pourtant, partout où cette forme d'énergie est utilisée, les conducteurs et les appareils électriques produisent des champs électriques et magnétiques (CEM). Bien que ces champs soient généralement de faible intensité et imperceptibles, leurs effets potentiels sur le corps humain font depuis quarante ans l'objet de recherches poussées. Ces travaux ont débouché sur de nombreux rapports d'études. Plusieurs centaines d'études épidémiologiques ont été réalisées auprès de divers groupes, tant chez les travailleurs du domaine de l'électricité que dans la population en général. En outre, un grand nombre d'études expérimentales ont été menées en laboratoires sur les effets des champs électriques et magnétiques sur les cellules vivantes.

D'après les études et les recherches d'Hydro-Québec, les scientifiques qui tentent d'évaluer si un produit (ou un agent comme le champ magnétique) est cancérigène s'appuient sur deux types d'études : les études épidémiologiques et les études de laboratoire de longue durée sur l'animal de laboratoire. De nombreuses études épidémiologiques réalisées dans le monde, notamment aux États-Unis, au Canada et en Grande-Bretagne, se sont intéressées aux champs magnétiques.

II.4.Effet du CEM statique sur la dénitrification biologique

Il n'y a que peu d'études qui utilisent le champ magnétique pour les processus de traitement des eaux usées, et dans la plupart d'entre eux, le champ magnétique est utilisé seulement pour la séparation des solides ou des micro-organismes de l'effluent attachés. Cependant, il existe ici une remarque importante, qui est l'activité biologique accrue par l'application du champ magnétique. Pour une raison quelconque, le champ magnétique a tendance à augmenter l'activité bactérienne, et l'effet était beaucoup plus perceptible dans les cultures hétérogènes (des eaux usées) que dans la culture pure (Yavuz et al., 2000).

Les champs magnétiques ne sont pas atténués par les membranes et parois biologiques et ils peuvent pénétrer dans les cellules et même plus profondément dans les tissus vivants. Grâce à ce mécanisme, ils peuvent influencer les voies métaboliques et les événements qui se produisent au niveau cellulaire (Funk, Monsees et al., 2009). Ce fait pourrait mener à la

Synthèse bibliographique
**EFFET DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE SUR LES SYSTÈMES
BIOLOGIQUES**

conclusion que les membranes ne peuvent pas percevoir le champ magnétique. Par contre, il a été démontré au cours des années que plusieurs des effets du champ magnétique sur les organismes vivants découlent de l'altération du flux de calcium à travers la membrane. L'explication se trouve dans les propriétés diamagnétiques des phospholipides qui composent la membrane. Ceux-ci se réorientent sous l'effet d'un champ, ce qui cause la déformation des canaux de calcium de la membrane (**Rosen, 2003 ; Galland et Pazur, 2005**) Les canaux à ions sodium sont affectés de façon moins importante par les champs magnétiques (**Rosen, 2003**).

Lukas et al (2006), ont mis en évidence que le champ magnétique a un effet léthal sur les bactéries dénitrifiantes, sans aucun changement dans l'activité enzymatique.

Les bactéries *Paracoccusdénitrificans* ont été exposées à une basse fréquence de champ magnétique (10mT, 50Hz) pendant 24mn, en comparaison avec les échantillons témoins. Il a été observé que l'activité de dénitrification des cellules a diminué de manière significative après l'exposition au champ magnétique (**Lukas et al., 2006**).

PARTIE
EXPÉRIMENTALE

Chapitre III
MATÉRIELS &
MÉTHODES

MATÉRIELS & MÉTHODES

III.1. Introduction

Ces dernières années la dynamique des travaux de recherches dans le domaine du traitement des eaux par procédés biologiques vise à réduire et à optimiser le facteur temps. Ceci passe par l'amélioration des procédés par différentes méthodes : traitements physiques (rayons X et rayon gamma, les ultrasons), traitement chimiques (utilisation de diverses sources de carbone) afin d'améliorer le rendement des systèmes microbiologiques. Notre contribution innovatrice est que ce travail se propose d'étudier la possibilité d'améliorer la dénitrification biologique par l'utilisation du champ électromagnétique statique.

Étant donné que l'efficacité de ce procédé dépend de la capacité des microorganismes (bactéries dénitrifiantes) à transformer les nitrates en azote gazeux, nous nous proposons d'utiliser les relations électromagnétiques pour stimuler la dénitrification biologique. Deux réacteurs séquentiels en batch ont été mis en place dans les mêmes conditions de fonctionnement sauf que le deuxième est placé dans un dispositif, lui permettant de fonctionner en présence d'un champ magnétique.

III.2.Sélection des bactéries dénitrifiantes

La sélection d'une flore bactérienne dénitrifiante a été réalisée à partir d'une boue activée prélevée au niveau de la station d'épuration de la ville d'Alger. Une quantité de boue a été mise en présence d'une alimentation riche en nitrates afin de favoriser le développement de la biomasse dénitrifiante. La sélection a été réalisée dans des conditions d'anoxie à la température du laboratoire ($T= 18^{\circ}\text{C}$) avec des quantités suffisantes d'acétate de calcium comme source de carbone. Une agitation est nécessaire pour homogénéiser le milieu. Une fois que la consommation des nitrates est réalisée au bout d'un temps relativement court, nous estimons que les boues sont aptes à dénitrifier (figure III.1).

MATÉRIELS & MÉTHODES

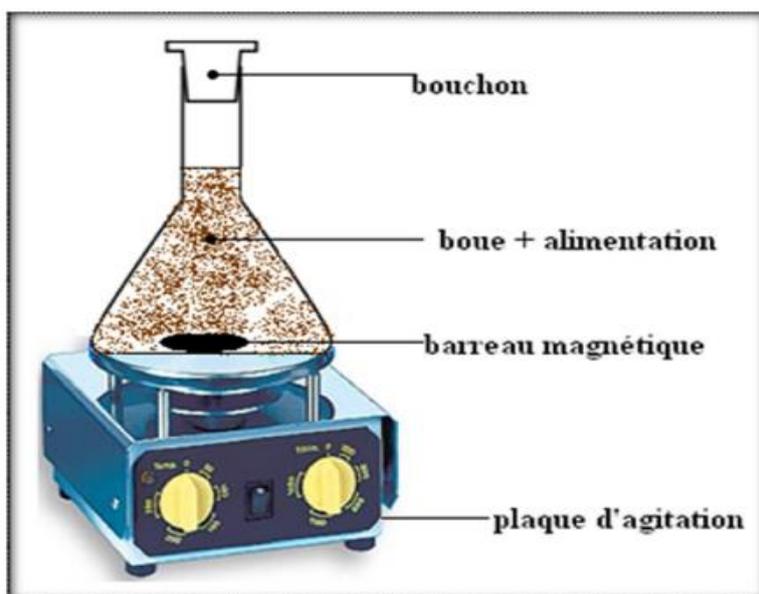


Figure III.1 : Dispositif de la sélection des bactéries en Réacteur Discontinu

III.3. Composition de l'alimentation en discontinu

La composition de l'alimentation en mode batch est donnée dans le tableau III.1

Tableau III.1 : Composition de l'alimentation en discontinu

composé	Alimentation en discontinue
NaNO ₃	100mg de NO ₃ ⁻
KH ₂ PO ₄	Trace
MgSO ₄	Trace
Acétate de calcium	En excès

III.4. Description du dispositif expérimental :

Les expériences de dénitrification ont été réalisées dans un réacteur en batch de 300ml contenant une concentration en boue activée dénitrifiante de 0,29% soumis à une agitation mécanique en continu. Le champ magnétique a été créé par un solénoïde, alimenté par un générateur de courant continu (Matrix, model MPS-3010L-1). Le réacteur a été placé sur un support au centre de la bobine autour de laquelle sont placés deux ventilateurs afin d'éliminer la chaleur produite par le solénoïde et permet ainsi à l'unité d'opérer à une température ambiante. Le réacteur fermé à l'atmosphère, muni d'un point de prélèvement pour la prise d'échantillon, fonctionne ainsi en absence d'oxygène.

MATÉRIELS & MÉTHODES

Diverses intensités des radiations électromagnétiques (5mT, 10mT, 20mT) ont été imposées au réacteur et des prélèvements sous agitation sont effectués chaque heure (1h). Le suivi de la croissance de la biomasse dénitrifiante a été effectuée après centrifugation à 4000 trs/min, le surnagent ainsi obtenu subira par la suite un dosage spectrophotométrique des échantillons à une longueur d'onde de 600 nm.

L'effet du champ électromagnétique statique sur la croissance de la biomasse dénitrifiante a été testé. Le dispositif expérimental est représenté sur figure III.2.

Les expériences ont été réalisés à une concentration de la source de carbone à fournir par rapport à la concentration des nitrates $C/N = 6$ (Martin et al., 2009).



Figure III.2 : Le montage expérimental

Chapitre IV
Résultats & discussions

RÉSULTATS & DISCUSSIONS

IV.1.Préparation de solénoïde

L'intensité de l'induction magnétique (Tesla) est le fait de la conduction du courant à travers les fils du matériau conducteur (cuivre) constituant le solénoïde, cette induction peut être ajustée toute en changeant l'intensité du courant électrique (Ampère). La figure IV.1 représente l'intensité de l'induction magnétique en fonction du courant électrique (Ampère).

La mesure des intensités magnétiques fournies par le solénoïde à diverses intensités électriques a été réalisée à l'aide d'un teslamètre (Teslamater DF 3901).Les paramètres de solénoïde sont données dans le tableau IV.1

Tableau IV.1 : Paramètre de solénoïde

Diamètre	15,2 cm
Diamètre intérieur	7,5 cm
Longueur	12,7 cm
Nombre de spire	935
Diamètre de fils	2mm
Poids	1713,2 g

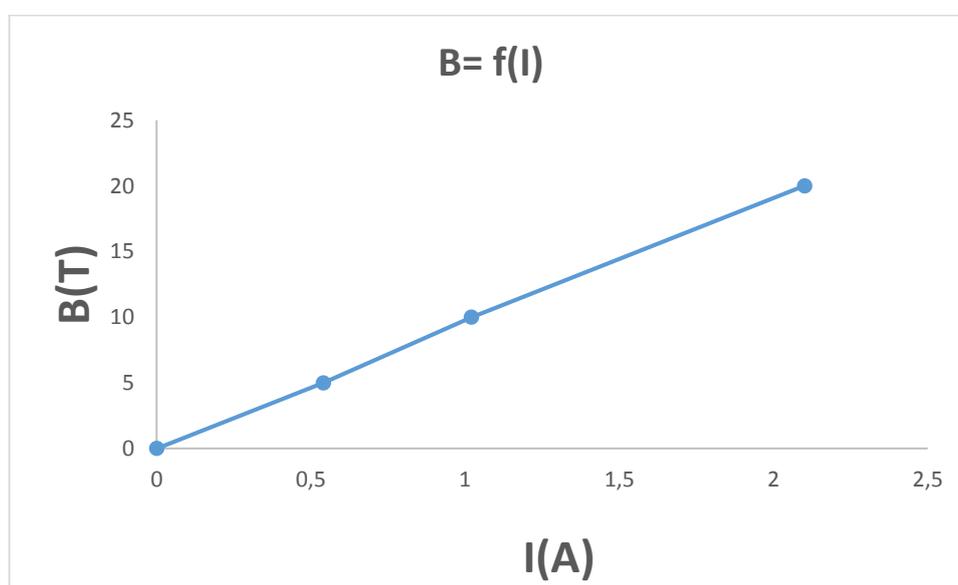


Figure IV.1 : Intensité de l'induction magnétique en fonction du courant

RÉSULTATS & DISCUSSIONS

IV.2. Effet du champ électromagnétique statique sur la croissance de la biomasse dénitrifiante

Pour évaluer le potentiel de dénitrification avec exposition au champ électromagnétique statique, deux expériences en parallèle ont été conduites : la première a été réalisée dans un réacteur en batch soumis aux CEM, et la deuxième dans un réacteur conventionnel sans exposition aux CEM et servant de témoin. Les deux bioréacteurs ont opéré dans les mêmes conditions.

Le champ électromagnétique a tendance à augmenter l'activité bactérienne et la croissance. Il peut influencer les voies métaboliques et les événements qui se produisent au niveau cellulaire (Dini et al., 2011 et Yalan Ji et al., 2010).

D'après Yalan Ji et al., 2010, la biodégradation des polluants organiques a été stimulée sous l'action du champ magnétique, et pourrait atteindre des états stables après 48h.

Le taux de croissance a été évalué à quatre valeurs d'induction magnétique différentes, à savoir, 0, 5, 10, 20 mT, comme le montre la figure IV.2.

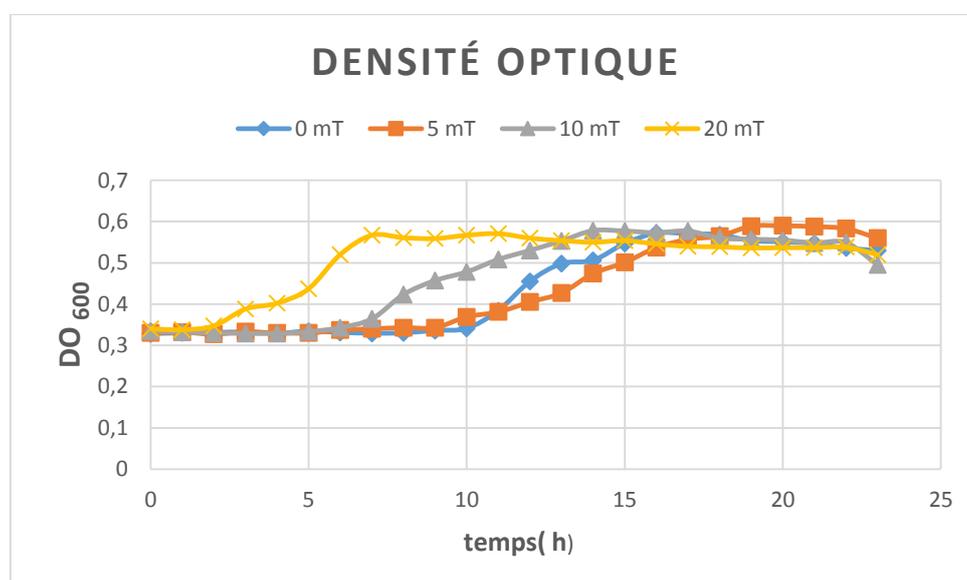


Figure IV.2 : Courbe de croissance de la biomasse dénitrifiante

En absence de champ magnétique, la phase de latence s'étend sur 10h. Au cours de cette phase le nombre de bactérie reste constant. Elle correspond à une période où les bactéries inoculées dans le milieu s'adaptent à leur nouvel environnement et synthétisent les enzymes nécessaires à la métabolisation des substrats disponibles. Après 10h la reproduction cellulaire commence, les microorganismes se divisent et augmentent en nombre (le nombre de cellule et

RÉSULTATS & DISCUSSIONS

le taux de croissance augmentent simultanément avec le temps) c'est la phase de croissance exponentielle. Après 16h, suite à l'épuisement de nutriment, il se produit un ralentissement de la croissance bactérienne et le taux de croissance décroît. Après 18h la population bactérienne a diminué avec le temps en raison de manque de nutrition.

En présence d'un champ magnétique d'intensités croissantes de 5, 10, 20 mT, la durée de la phase de latence est réduite : elle est de 9h, 5h, 3h pour des intensités de 5, 10 et 20 mT respectivement. On assiste à une augmentation des taux de croissance. Après 20 h la population bactérienne a diminué, les bactéries sont entrées dans la phase de déclin.

Au vu de ces résultats il apparait que le champ magnétique induit un effet positif sur la croissance de la biomasse dénitrifiantes.

L'exposition continue d'une boue dénitrifiante à un champ électromagnétique montre qu'une intensité de 20 mt influence positivement l'activité dénitrifiante avec une amélioration de la vitesse de réduction des nitrates par rapport au témoin (figure IV.3).

L'analyse de la figure (IV.4) illustrant l'évolution de la concentration des nitrites en fonction du l'exposition au champ électromagnétique montre clairement que la réduction des nitrites via l'enzyme nitrite réductase a été amélioré suite à l'exposition aux ondes électromagnétiques, l'activité enzymatique a donc été stimulé par un apport d'énergie et la vitesse de transformation des nitrites a été accéléré.

Les résultats obtenus concordent avec ceux obtenus par **Filipic et al., (2012)** qui, ont montré que l'activité enzymatique des deux bactéries majoritaires des boues des stations d'épurations (à savoir *E.Coli*, *Pseudomonas putida*) est influencée positivement par un champ magnétique statique de 5, 17 et 50 mT. Par ailleurs ils mettent en évidence qu'une inhibition de la croissance a été observée à la température optimale de la croissance (37 et 28°C respectivement).

Lebkowska et al., (2011) rapportent qu'une exposition d'une boue activée à un champ magnétique statique de 7mT a un effet positif sur la croissance de la biomasse et sur l'activité enzymatique d'une boue activée. L'influence du champ magnétique sur le processus de dégradation du formaldéhyde a également été observée pour des concentrations de 2400 – 2800 mg/l, avec une amélioration du rendement de biodégradation et de l'abattement de la DCO de 30% et 26% respectivement par rapport au témoin.

RÉSULTATS & DISCUSSIONS

L'investigation de l'effet d'un champ magnétique d'une induction de 40mT sur l'élimination des composés organiques a été présentée par **Tomska et Wolny (2008)**. Les résultats obtenus montrent que l'abattement de la DCO dans l'unité de boue activée exposée à un champ magnétique est nettement meilleur par rapport à l'unité témoin. Également l'analyse des composés azotés de transformation montre que l'élimination des composés azotés organiques et plus essentiellement la nitrification est plus efficace avec l'unité opérant avec des aimants.

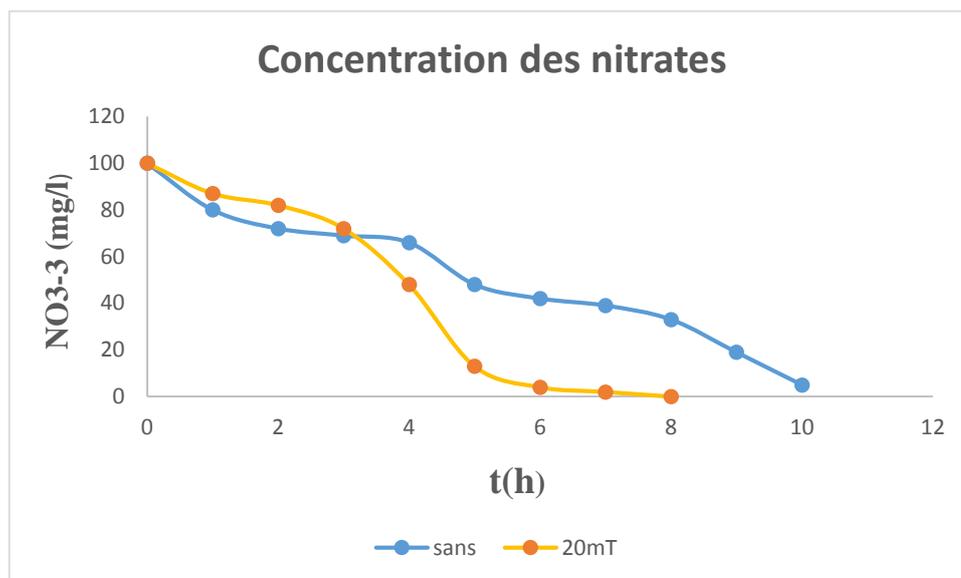


Figure IV.3 : Évaluation des concentrations en nitrates en fonction du temps à différentes intensités de l'induction magnétiques

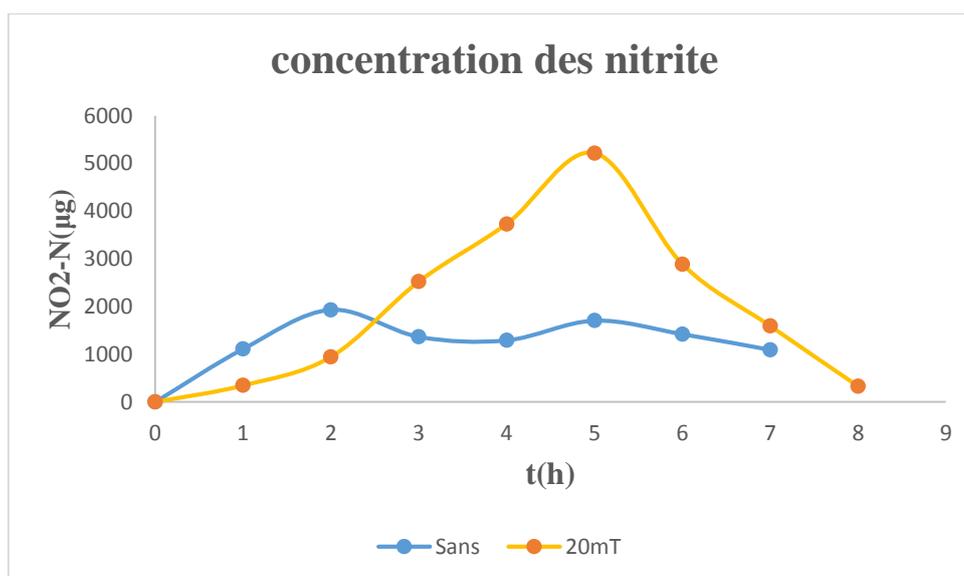


Figure IV.4 : Évaluation de la concentration des nitrites en fonction du temps à différentes intensités de l'induction magnétique

RÉSULTATS & DISCUSSIONS

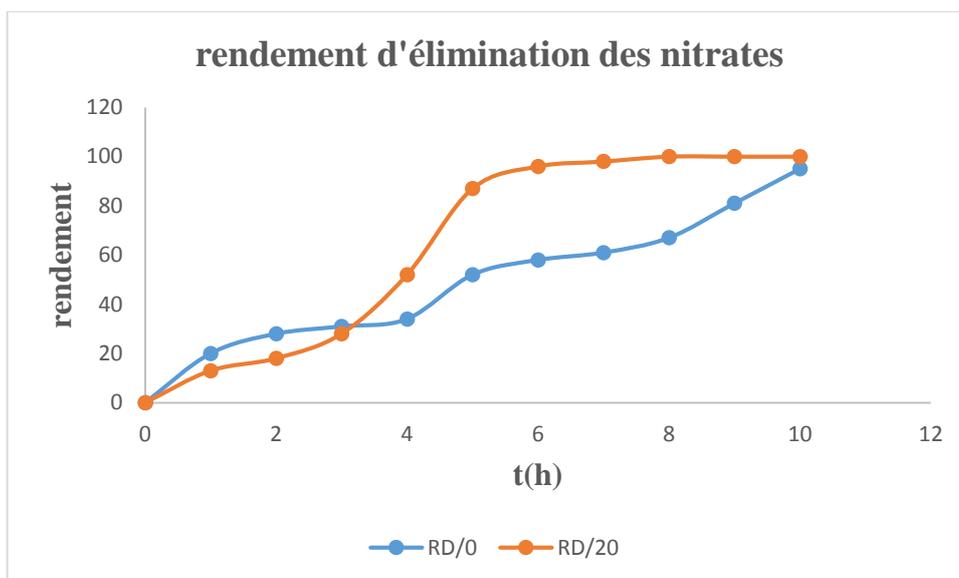


Figure IV.5 : Évolution des rendements d'élimination des nitrates en fonction du temps à différentes intensités de l'induction magnétique

*CONCLUSION
GÉNÉRALE*

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les nitrates sont des nutriments pour les végétaux. L'utilisation d'engrais azotés (élément constitutif des nitrates) inadaptés aux conditions locales et l'exploitation inappropriée des sols provoquent des concentrations excessives de nitrates dans les eaux.

La pollution des eaux par les nitrates présente un double risque. Ingérés en trop grande quantité, les nitrates ont des effets toxiques sur la santé humaine. Par ailleurs, ils contribuent avec les phosphates à modifier l'équilibre biologique des milieux aquatiques en provoquant des phénomènes d'eutrophisation

L'objectif de ce travail était d'étudier l'effet du champ électromagnétique sur la croissance de la biomasse dénitrifiante.

Dans un premier temps, nous avons sélectionné la biomasse dénitrifiante à partir d'une boue activée afin de la mettre dans le milieu réactionnel.

Dans un second temps, nous avons démarré le processus et établi le profil de la croissance de la biomasse et déterminé l'influence de champ électromagnétique sur la croissance, le résultat obtenu a permis de mettre en évidence que le champ magnétique à l'induction de 0 à 20 mT a un effet positif sur la croissance d'une biomasse dénitrifiante sélectionnée à partir d'une boue activée prélevée au niveau de la station d'épuration de la ville d'Alger.

*RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AARHOLT E., FLINN A., SMITH C. - Biological effects of extremely low-frequency non-ionizing radiation. – Symposium URSI, “ondes electro-magnétiques et Biologie”, Jouy en Josas, 1980, 153-156.

BBEMG. (2010). “Notions de base” Retrieved 03-03, 2010, from <http://www.bbemg.ulg.ac.be/>

Bellossi A. (1984)” Effet biologique des champs magnétique”, Laboratoire de biophysique Faculté de médecine F-3500 Rennes.

Betlach, M.R et Tiedje, J.M. (1981). Kinetic explanation for accumulation of nitrite, nitric oxide and nitrous oxide during bacterial denitrification. *Applied and Environmental Microbiology.* 42(6). pp 1074-1084.

Blank, M. (1995). "Biological effects of environmental electromagnetic fields: molecular mechanisms." *Biosystems* 35(2-3): 175-178.

BOE A.A., SALUNKHE O.K. - Effects of magnetic fields on tomato ripening- *Nature*, 1963, 198, 4888, 91, 92.

Bowman, R.A., et Focht, D.D. (1974). The influence of glucose and nitrate concentrations upon denitrification rates in sandy soils. *Soil Biology and Biochemistry.* 6. pp 279-301.

BRANOSCH P., BRANOSCH C. Cell division and growth response in root tips of allium *Seoa* and *cecale* cereal in magnetic field. - *Pev.Roum. Biol. Botanique*, 1973, 18, 3, 145-152.

Bryan L.E., Nicas T., Holloway B.W, and Crowther C. (1981). Aminoglycoside-Resistant Mutation of *Pseudomonas aeruginosa* Defective in Cytochrome *c*₅₅₂ and Nitrate Reductase. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, Jan. 1981, p.71-79.

CAUSEY S.C., HUNGATE F.P. - Mutagenic effects of magnetic fields in bacteria.-URSI. National Radio Science Meeting, Bioelectromagnetic Symposium. Seattle, 1979, 487.

Davidsson, T.E. et Leonardson, L.G. (1996). Effects of nitrate and organic carbon additions on denitrification in two artificially flooded soils. *Ecological Engineering.* 7 (2). pp 139-149.

Dini L., Abbro L., 2005. Bioeffects of moderate –intensity static magnetic fields on cell cultures. *Micron* 26:195-217.

Enwall K., Philipport L., Hallin S. (2005). Activity and composition of the denitrifying bacterial community respond differently to long-term fertilization. *Applied and Environmental Microbiology* 71: pp 8335-8343.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Filipic J., Kraigher B., Tepus B., Kokol V., Mandic-Mulec I. (2012). Effects of low-density static magnetic fields on the growth and activities of wastewater bacteria *Escherichia coli* and *Pseudomonas putida*. *Bioresource Technology* 120, 225-232.

Foglar L., Briski F. (2003). Wastewater denitrification process-the influence of methanol and kinetic analysis. *Process Biochemistry* 39(1)-103.

Funk, R.H.W.T.Monsees, et al. (2009). “Electromagnetic effect- From cell biology to medicine.” *Progress in Histochemistry and Cytochemistry* 43(4):177-264.

Gee C.S, Kim J.S.(2004). Nitrite accumulation followed by denitrification using sequencing batch reactor. *Wat.Sci. Tech* 49(6), 47-55.

HEDRICK H.G. – Inhibition of Bacterial Growth in Homogeneous Fields. - In : Biological Effects of Magnetic Fields, Ed. M.F.Bernothy, Plenum Press, New-York,1984,240-245.

INNAMORATI M., BOCHICCHIOGOOI A. Mancanze di effetto di campo magnetici deboli sull'accrescimento delle piante di *Triticum*.- *Giornale Botanico Italiano*, 1974, 108,27-53.

KARKOVA N.A., KAZANIN V.I., VOLKOVA Z.S., REEKO A.F.- (Influence d'un champ magnétique constant sur certaines propriétés du staphylocoque doré.) *Zh.Mikrobiol.Immunobiol.*, 1976,1 ,145-146.

Knowles R. (1982). Denitrification, Dissimilatory Reduction of Nitrate to Ammonium, and Nitrification in a Bioturbated Estuarine Sediments as Measured with ¹⁵N and Microsensor Denitrification. *Microbiol Techniques Rev.*, 46.pp 43-70.

Kucera, I., V. et Dobry, R.(1983). The distribution of redox equivalents in the anaerobic respiratory chain of *paracoccus denitrificans*. *European*

LEBEDEV S.I., BARANTSKII P.I., LITVINENKO L.G., SHIYAN L.T. - (Physiobiochemical characteristics of plants after presowing treatment with a permanent magnetic field.) – *Fiziologiya Rasterini*, Jan – Feb 1975, 22, 1,103-109.

Lebkowska M. Rutkowska A.N, Pajor E. (2013). Effect of a static magnetic field of 7Mt on formaldehyde biodegradation in industrial wastewater from urea-formaldehyde resin production by activated sludge. *Bioresource Technology* 131, 78-83.

LEE CHAO, WALKER S.R.- Effects of a magnetic field on the germination of apple, apricot and peach seeds.-*Hort, Science*, 1967,2,4,152-153

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Lie E. et Wellander T. (1994). Influence of dissolved oxygen and oxydation- reduction potential on the denitrification rate of activated sludge. *Water science and technology*, 30(6), 91-100.

Louzeiro N.R, Mavinic D.S., Oldham W.K., Meison A. and Garder I.S. (2002). Methanol – induced biological nutrient removal kinetics in a full-scale sequencing batch reactor. *Water Research*. 2002; 36 (11). Pp 2721-2732.

Lukas Fojt, Ludek Strasak, Vladimir Vetterl, 2006. « Effect fields on the denitrification activity of *Paracoccus denitrificans* ». *Bioelectrochemistry* 70(2007) 91-95.

Mariotti A. (1986). La dénitrification dans les eaux souterraines, principes et méthodes de son identification : une revue. *Journal of Hydrology*.88:1-23.

Martin D. Salminen J .M., Niemi R.M., Heiskanen I.M., Valve M.J., Hellsten P.P, Nysten T.H. (2009). Acetate and ethanol as potential enhancers of low temperature denitrification in soil contaminated by fur farms: A pilot –scale study.

Martin G. (1979). Le problème de l’azote dans les eaux. Tech & Doc, Lavoisier Paris, France.

MERICLE R.P., MERICLE L.W., SMITH A.E., CAMPBELL W.F., MONGOMERY D.J. - Plant growth responses.-In : *Biological effects of magnetic fields*, Ed. M.F.Barnothy, Plenum Press, New-York , 1964, 183-195.

Michael H.Gerardi. (2002). *Wastewater Microbiology “Nitrification and Denitrification in the activated sludge”*.

MIRO L., CHALAZONITIS N.- Effets d’un champ magnétique constant et intense sur l’autoactivité du ventricule d’*Helix* en normothermie.- *C.R.Soc. Biol.*, 1967, 161, S, 1100-1105.

MOORE F. - Geomagnetic disturbance and the orientation of nocturally migrating birds.- *Science*, 1977, 196, 4290, 682-684.

Nakajima M., Hayamizu, T. et Nishimura H. (1984). Effect of oxygen concentration on the rates of denitrification and denitrification in the sediments of an eutrophic lake. *Water Research*.18.pp 335-338.

Nikhil Parsi, 2007. « Electromagnetic Effects on Soybeans ». University of Missouri-Columbia, 2007.

Ratel, M. (2002): Rapport sur l’élimination des nitrates des eaux potables. Document Techniques FNDAE &SNIDE.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Reatz, E. et Bauer, W.** (2001). Fermentations et Technologie Enzymatique. Science Alimentaire.
- Rosen, A.** (2003). "Mechanism of action moderate-intensity static magnetic fields on biological systems." Cell Biochemistry and Biophysics 39(2): 163-173.
- SHCHELKUNOVA S.A., DENCHEV D.D., BADENKO L.A., SEMENOV R.I.** – (the effect of magnetic fields on *Escherichia Coli* K12)- Biofizica, 1970, 15.4.665-669.
- SHEPPARD A.R.,EISENBUD M.**- Hematological and Bichemical Effects of E L F Fields.- In :Biological Effects of Electric and Magnetic Fields of Extremely Low Frequency., New York University Press, 1977,5,1-44
- SIMMERS M.H**- Growth of radish (*Raphanus sativus*) seedlings in magnetic fields. Biologica Plantarum, 1967, 9, 5,377-382.
- Skrind J.R, Bhagat S.K** (1982). Industrial wastes as carbon sources in biological denitrification. Journal of the Water Pollution Control Federations. 54(4): pp 370-377.
- Smid A.E. et Beauchamp E.G.** (1976). Effects of temperature and organic matter on denitrification in soil. Canadien Journal of Soil Science. 56. pp 385-391.
- STASYUK G.A.**-(influence d'un champ magnétique constant sur la mycobactérie de la tuberculose.)- Problemy Tuberkuleza, 1974, 07,75-77.
- STREKOVA V.YU., TARAKANOVA G.A., PRUONIKOVA V.P., NOVITSKY Y.I.**(Some physiological and cytological changes in germinating seeds in a stationary magnetic field- P.I.Effects of inhomogeneous magnetic field of low intensity.) Fiziol. Rast., 1965,12,5,920-929.
- TCHIZHOFF S.V., SINIAK Y.E., CHIKANA M.I., UKHANOVA S.I., KRASNOCHIEKOV V.V.**- A propos d'un champ magnétique sur *Eschericia coli*) Kosm. Biol.Aviaskosm.Med. 1975, 9, 5, 26-31.
- THIEMANN W., WAGNER E.**- Die Wirbung eines homogenen magnet feldes auf das wachstum von *Micrococcus denitrificans*.- Zeitschriftfur Naturforschung, 1970,25b,1020-1023.
- Tomsko,A., Wolny,L., 2008.** Enhancement of biological wastewater treatment by magnetic field exposure. Desalination 222,368-373.
- TRAVKIN M.P.** - Change in the bioelectrical activity of *Setcreasea purpures* on exposure to permanent and pulsating magnetic fields. Biofizica, 1973, 18, 1,172-174.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Walenstein M.D., Myrold D.D., Firestone M.K., Voytek M.A. (2006). Environmental controls on denitrifying communities and denitrification rates: insights from molecular methods. *Ecological Applications* 16:2143-2152.

Yavuz,H ., Celeri, S.S., 2000. Effect of magnetic field on activity sludge in wastewater treatment. *Enzyme Micro.Technol.* 26, 22-27.

ANNEXES

ANNEXES

Méthode de dosage

Standard méthodes

(Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec)

Principe : Oxydation chimique des matières réductrices par un excès de $K_2Cr_2O_7$. Cette oxydation se réalise en milieu sulfurique (H_2SO_4), en présence de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) comme catalyseur et sulfate de mercure ($HgSO_4$), à ébullition à reflux pendant 2 heures dans un bloc chauffant.

Réactifs :

- Acide sulfurique pur- sulfate d'argent, la dissolution du sulfate d'argent dans l'acide sulfurique dans une proportion de 23.4g pour 4.25kg d'acide sulfurique, donne le réactif acide.
- La solution de digestion est préparée à partir de 10.2g de bichromate de potassium préalablement séché, qui est introduit dans 500mL d'eau distillé. On ajoute ensuite à cette solution 167ml d'acide sulfurique pur et 33,3g de sulfate de mercure.

mode opératoire

1. Introduire dans un tube 2.5ml de l'échantillon à analyser.
2. Ajouter 1,5ml de solution de digestion .
3. Ajouter lentement et avec précaution 3,5ml de réactif acide.
4. Ajouter pendant quelques secondes à l'aide de l'agitateur vortex.
5. Porter à l'ébullition dans un bloc chauffant pendant 2h.
6. Laisser refroidir jusqu'à température ambiante .
7. Lire la valeur de la densité optique au spectrophotomètre pour une longueur d'onde de 600nm.

ملخص

في هذه الدراسة، تم تطبيق العلاج بالإشعاع الكهرومغناطيسي بواسطة بكتيريا منشطة نازعة للنترات في مفاعل حيوي من أجل تحفيز الأنزيمات المطبقة في هذه العملية، وبالتالي تقليل وقت المعالجة.

أظهر التعرض المستمر للكتلة الحيوية النازعة للنترات في مختلف قيم الحث المغناطيسي الذي تراوح بين 5 و 20 ميليTesla انه يؤثر إيجابيا على نمو الكتلة الحيوية النازعة للنترات.

كلمات مفتاحية : النترات، نزع النترات، بكتيريا منشطة ، المجال الكهرومغناطيسي، تحفيز، إنزيم

Résumé :

Dans la présente étude, un traitement avec des radiations électromagnétiques a été appliqué sur une boue activée dénitrifiante dans un réacteur séquentiel en batch dans le but d'accélérer la vitesse de la réduction des nitrates par une stimulation des enzymes impliquées dans le processus, et par conséquent réduire le temps de traitement.

L'exposition en continue de la biomasse dénitrifiante à diverses inductions magnétiques a montré que les inductions de 0 à 20 mT influencent positivement sur la croissance de la biomasse dénitrifiante.

Mots clés : Nitrate, Dénitrification, Boue activée, Champ électromagnétique, Stimulation, Enzyme.

Abstract:

In this study, the treatment with electromagnetic radiation was applied on a denitrifying activated sludge in a sequential batch reactor in order to accelerate the speed of the reduction of nitrate by stimulating enzymes involved in the process, and therefore reduce the processing time.

The continuous exposure in the denitrifying biomass to various magnetic inductions showed that induction of 5 to 20 mT influent positively on the growth of denitrifying biomass.

Keywords: nitrate, denitrification, activated sludge, Electromagnetic Field Stimulation, Enzyme.