

TRAITEMENT DE POTABILISATION DES EAUX DE SURFACE

ELIMINATION DES IONS AMMONIUM



FORMES DE L'AZOTE

- Minéral
- Organique
- Soluble
- Volatil

Etat d'oxydation : - 3 à + 5

L'AZOTE MINERAL

➤ EAUX



➤ ATMOSPHERE



AZOTE ORGANIQUE

- Amines
- Amides
- Hétérocycles
- Acides aminés
- Protéines
- Acides humiques

IMPORTANCE DES IONS AMMONIUM DANS LES EAUX POTABLES

Réagissent avec le chlore pour donner des chloramines

- qui réduisent le pouvoir bactéricide du chlore
- qui conduisent à des mauvais goûts
- qui peuvent induire la production de nitrite

Les ions ammonium sont des nutriments qui induisent une post-prolifération bactérienne dans le réseau de distribution

ELIMINATION DES IONS AMMONIUM

- Traitement physique : stripping
- Traitement d'échange d'ions
- Traitement d'oxydation chimique : chlore
- Traitement biologique : nitrification

ELIMINATION PHYSIQUE DE NH_4^+

A pH basique (11 à 12) → l'ammoniaque est sous forme NH_3 et est volatile

On l'élimine par stripping

Pour les eaux potables, les rendements sont mauvais car la teneur en NH_4^+ est trop faible

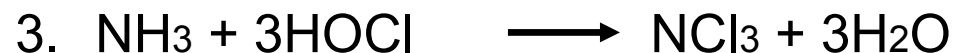
ELIMINATION PAR ECHANGE D'IONS

Echange ionique par la cliloptilolite :
le potassium gêne

La rareté de la cliloptilolite est un obstacle à cette
technique

ELIMINATION DE L'ION AMMONIUM

➤ Oxydation par le chlore :

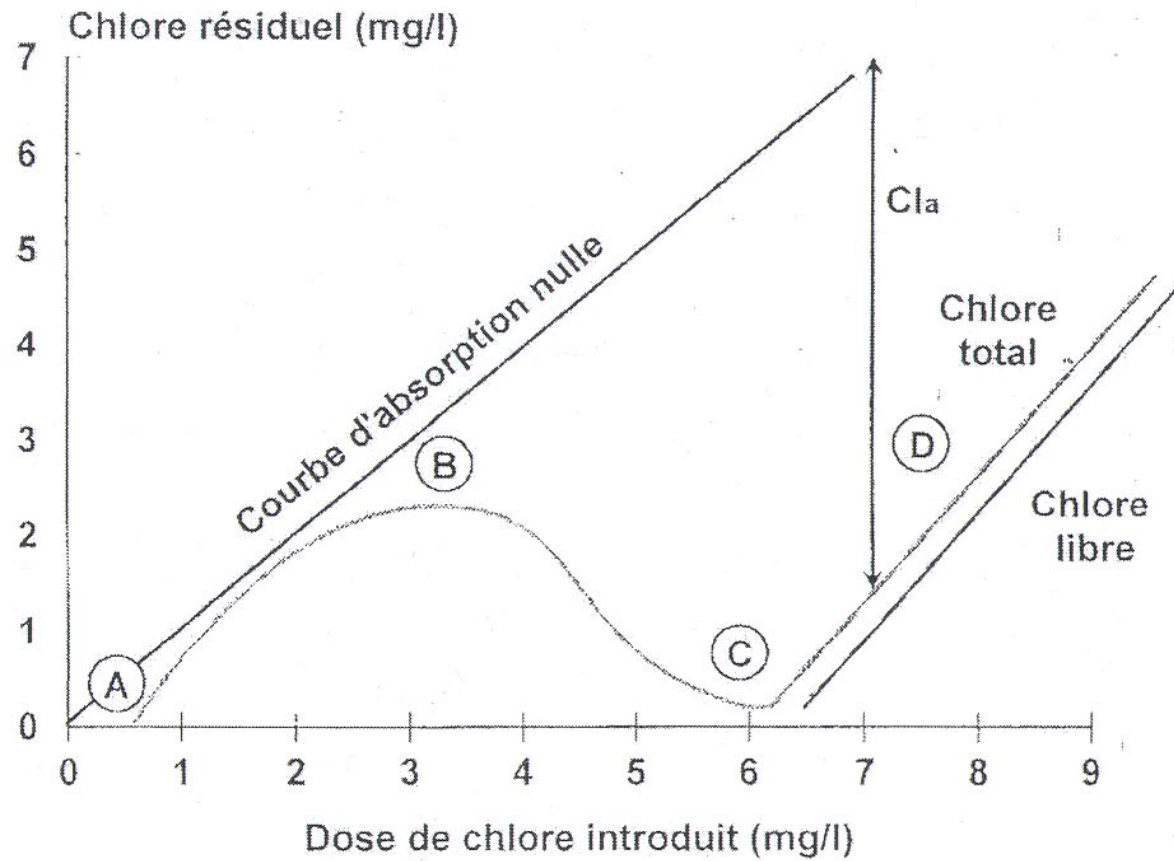


L'addition membre à membre des réactions (1) et (4) donne :



COURBE D'ABSORPTION DU CHLORE

Détermination du point critique



TRAITEMENT CHIMIQUE DES IONS AMMONIUM PAR CHLORATION

➤ AVANTAGE

- L'azote disparaît de l'eau car transformé en azote gazeux

➤ DESAVANTAGES

- Le chlore conduit avec la matière organique présente dans les eaux à des réactions secondaires :
 - Formation de composés organochlorés
 - THM
 - Dérivés chlorés de
 - l'acide nitrique
 - l'acétonitrile
 - ...
- Certains composés sont cancérigènes

Ne jamais chlorer les eaux brutes riches en MES et matières organiques

CONTROLE DES HALOMETHANES DANS L'EAU

Depuis 1974, ROOK a montré que les traitements de chloration induisaient la formation de composés organochlorés volatils.

Le chlore introduit réagit avec les matières organiques de l'eau.

CHLORATION DES ACIDES HUMIQUES DES EAUX

Molécules formées

Chloroforme

CHCl_3

Monobromodichlorométhane

CHCl_2Br

Monochlorodibromométhane

CHClBr_2

Bromoforme

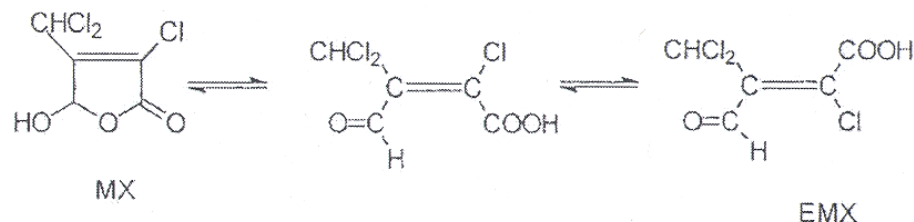
CHBr_3

AUTRES MOLECULES IDENTIFIEES

CCl₃NO₂
CCl₃CN
CHCl₂CN
CCl₃COOH
CHClCOOH

Certaines molécules peuvent être mutagènes

MX

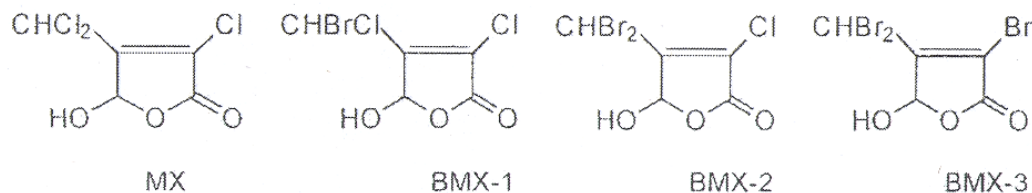


Structure du MX et des BMX-1,-2 et -3

BMX-1 : chloro-3 bromochlorométhyl-4 hydroxy-5 (5H) furanne one-2

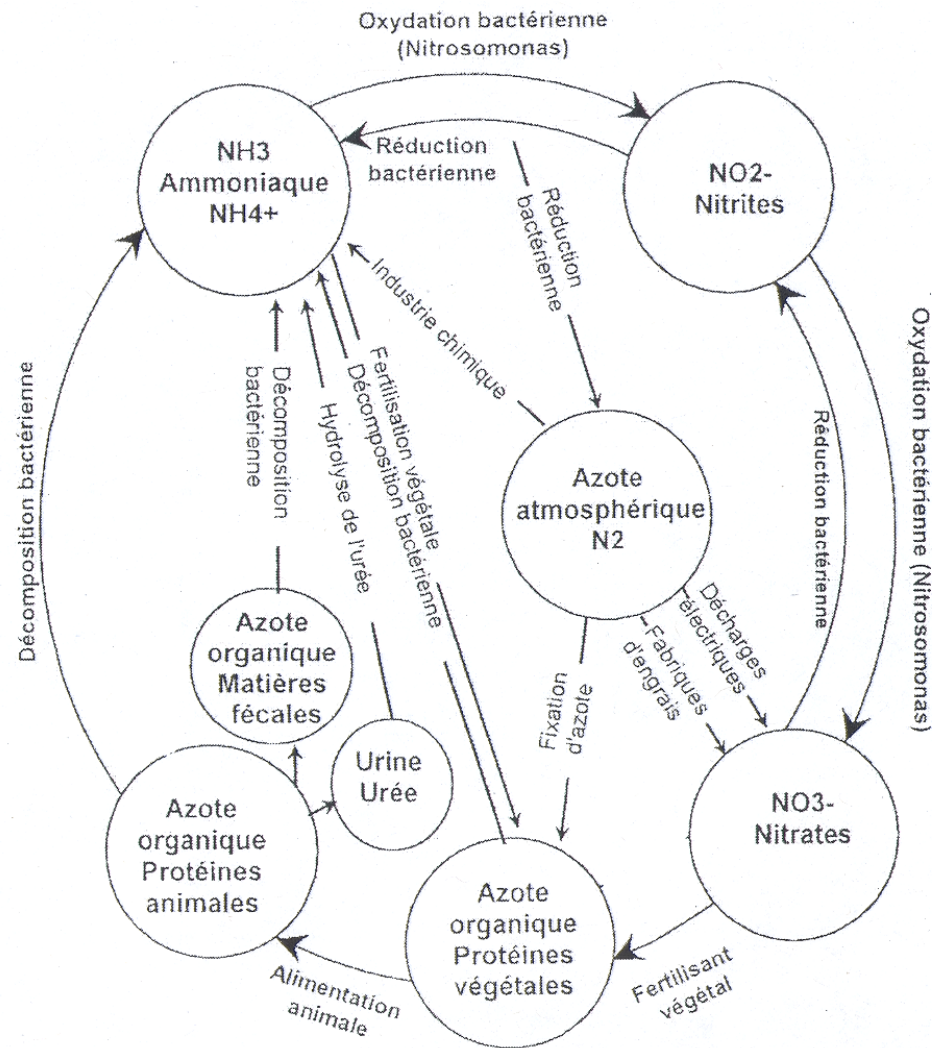
BMX-2 : chloro-3 dibromométhyl-4 hydroxy-5 (5H) furanne one-2

BMX-3 : bromo-3 dibromométhyl-4 hydroxy-5 (5H) furanne one-2



ELIMINATION BIOLOGIQUE DES IONS AMMONIUM

Cycle de l'azote



MINERALISATION

Ammonification nitrification nitratisation

Minéralisation matière organique dans la couche arable du sol conduit à :

- Libération NH_4 dans le sol
- Immobilisation
 - Incorporation dans les microorganismes de composés azotés simples
 - Formation de composés organiques, stables, plus résistants aux microorganismes

Sols limoneux : minéralisation nette entre 120 et 200 kg/ha

➤ Bactéries responsables ammonification :

- Bactéries aérobies
 - *Bacillus fluorescens*
 - *Bacillus subtilis*
- Bactéries anaérobies
 - *Clostridium perfringens*
 - *Clostridium bifermenteus*
- Actinomycètes – champignons
 - *Micrococcus ureae* (transforme urée en NH_3)

FACTEURS INFLUANT SUR LA MINÉRALISATION

- pH
Ammonification réduite à pH acide
- Teneur en calcaire
Minéralisation élevée dans sols pauvres en calcaire
- Température
- Changements d'état du sol
Pic de minéralisation à chaque phase de réhumidification après période de sécheresse
- Quantité et qualité de substrat
Plus le rapport C/N est faible, plus la minéralisation est rapide

NITRIFICATION

➤ Ammonification

➤ Nitrification

➤ Nitratisation

AMMONIFICATION

Réactions qui peuvent s'effectuer avec ou sans micro-organismes.

Ce ne sont pas des réactions inverses de l'assimilation.

ORIGINES

- Excrétion par des organismes vivants
- Métabolisme endogène
- Mort et décomposition de cellules vivantes
- Pollution industrielle et agricole

EXCRETION

Molécule excrétée

Organisme

Ammoniaque

Bactéries – plantes
Invertébrés et vertébrés aquatiques
Amphibiens (forme têtard)

Urée

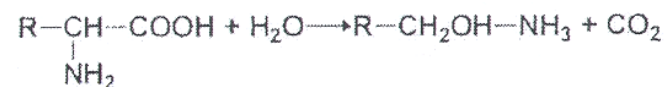
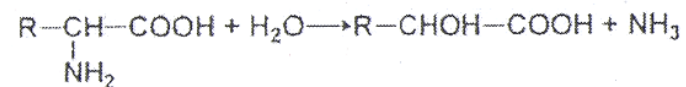
Amphibiens (forme adulte)
Vertébrés terrestres

Acide urique

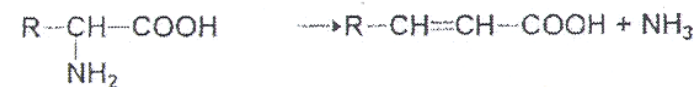
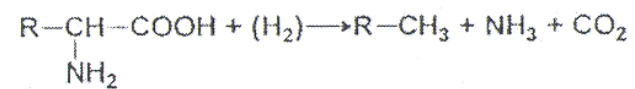
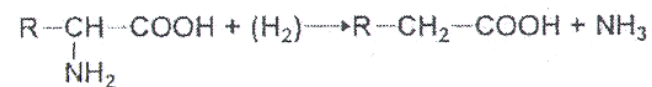
Oiseaux
Reptiles terrestres

HYDROLYSE - DESAMINATION

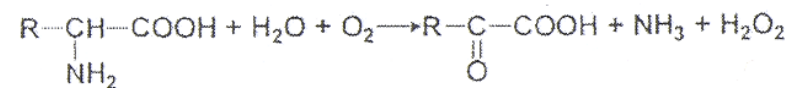
HYDROLYSE



DESAMINATION REDUCTIVE



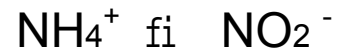
DESAMINATION OXYDATIVE



MINERALISATION NITRIFICATION

Deux étapes pour transformation de l'ammoniaque libéré :

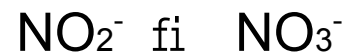
➤ Nitritation



Bactéries :

- Nitrosomas
- Nitrospira
- Nitrosoglia

➤ Nitratisation



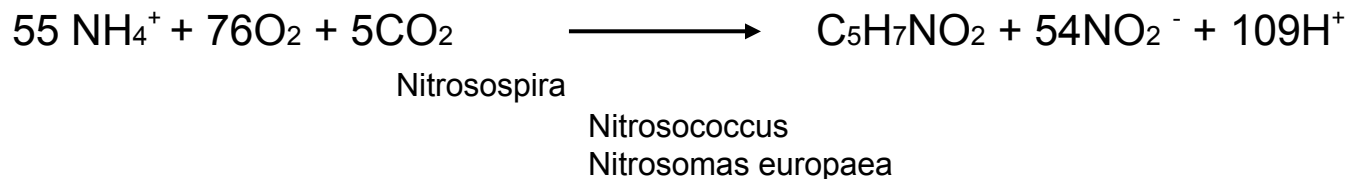
Bactérie :

- Nitrobacter

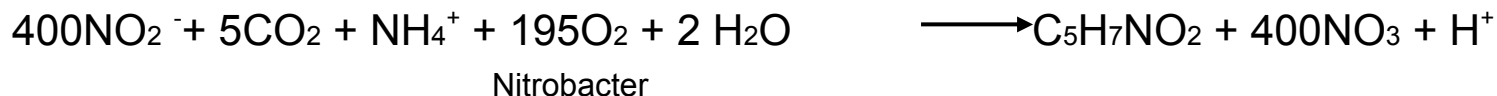
NITRIFICATION

➤ Nitritation : oxydation de l'ion NH_4^+ en ion NO_2^-

Réaction lente



➤ Nitratation : oxydation de l'ion NO_2^- en ion NO_3^-

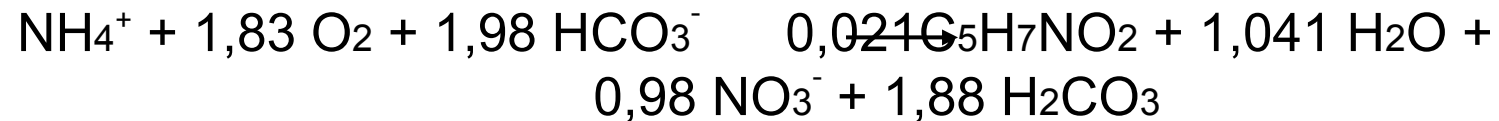


Ces genres de bactéries sont aérobies strictes, chimiolithotrophes obligatoires, utilisant l'oxydation de leurs substrats minéraux comme seule source d'énergie et le gaz carbonique comme source exclusive de carbone

Il faut 4,5 mg O_2 /mg NH_4^+ et PO_4^{3-}

Il existe aussi des nitrificateurs hétérotrophes

EQUATION GLOBALE DE LA NITRIFICATION



FACTEURS INFLUANT SUR LA NITRIFICATION

➤ pH

Activité nitrificateurs augmente avec pH.

Optimum voisin neutralité ou légèrement basique.

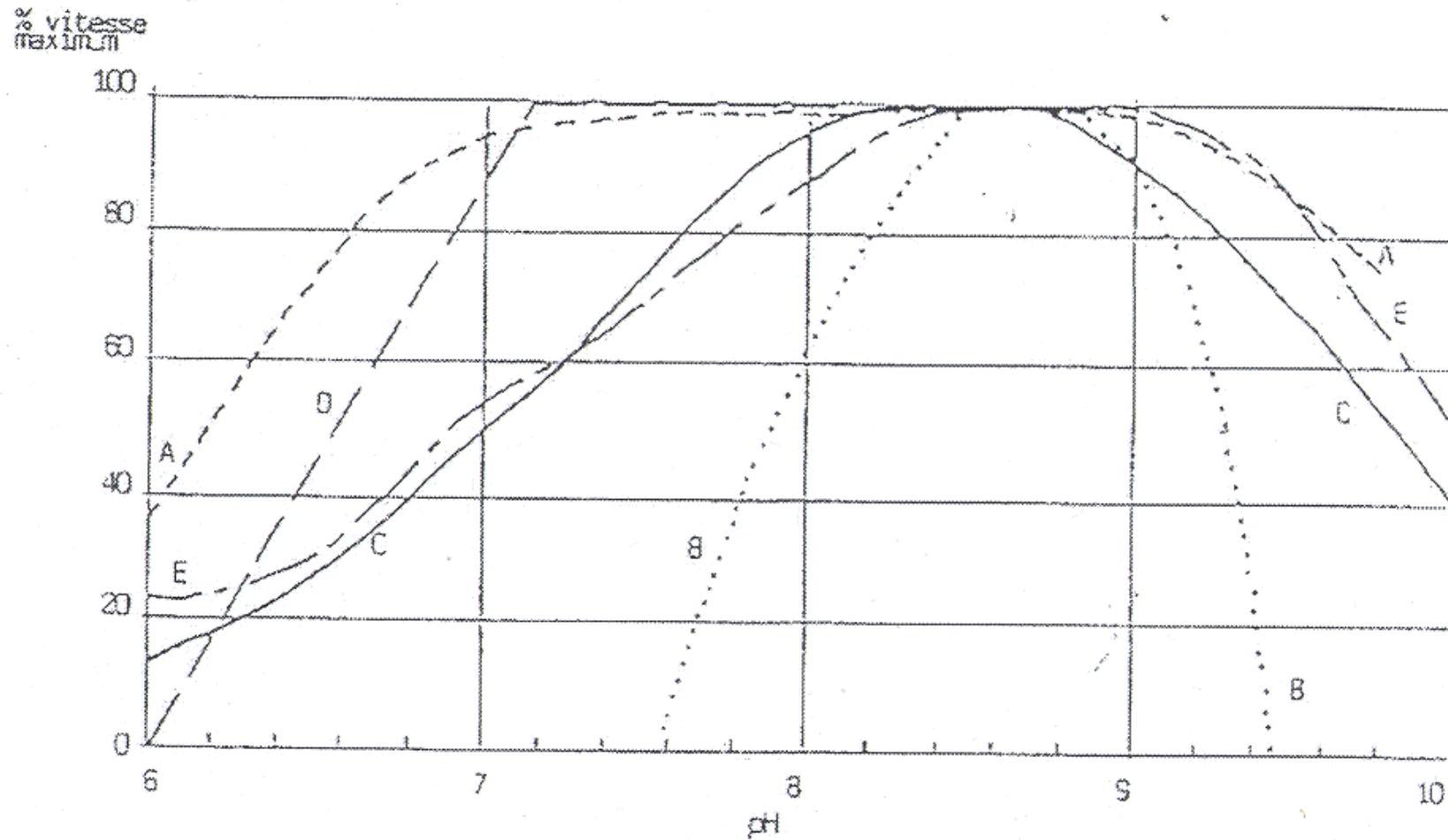
➤ Teneur en eau – humidité

Sol sec *fi* nitrification ralentie

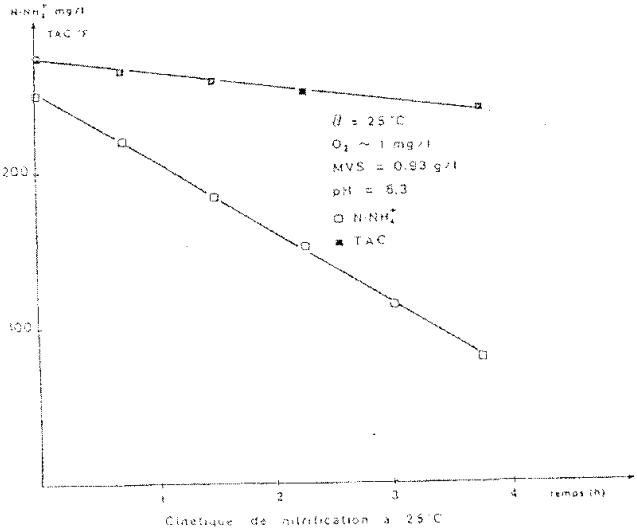
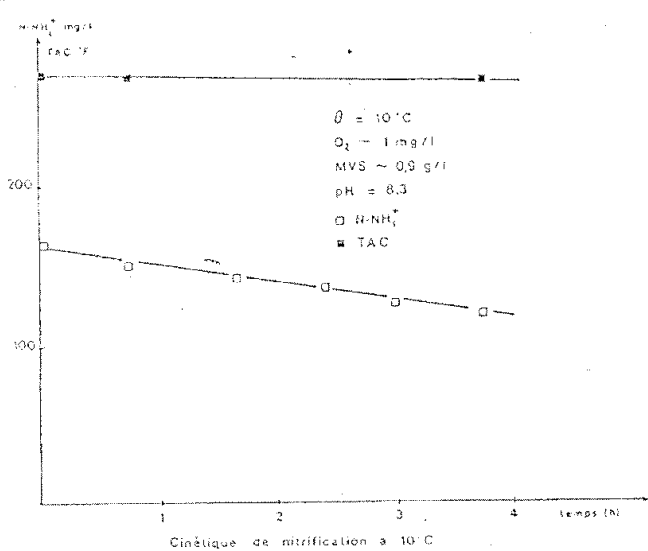
➤ Aération du sol – teneur en oxygène

Nécessité d'avoir des conditions strictement aérobies.

INFLUENCE DU pH SUR LA VITESSE DE NITRIFICATION



INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

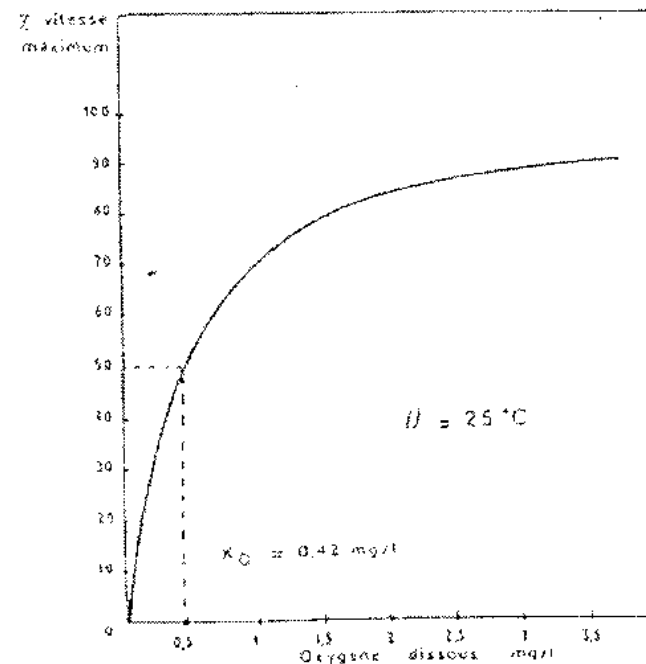


INFLUENCE DE LA TENEUR EN AMMONIAQUE

A basse concentration en ammoniacque, la cinétique de la réaction est de l'ordre de 1

INFLUENCE DE LA TENEUR EN OXYGENE

Influence de la concentration en oxygène dissous sur le taux de croissance des bactéries nitrifiantes



INFLUENCES DE LA PRESENCE D'AUTRES ELEMENTS

Eléments indispensables

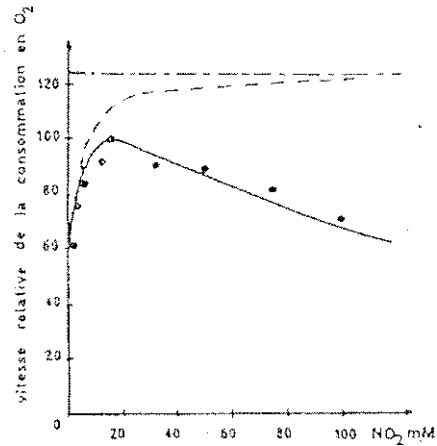
Phosphore	0,1 à 0,5 mg/l
Fer	0,03 mg/l
Cuivre	0,03 mg/l
Magnésium	0,03 mg/l

Pour Nitrosomas : certains acides aminés

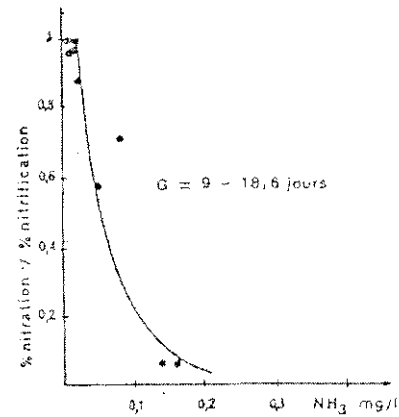
Pour Nitrobacter : Mo, Zn, acétate, pyruvate

INFLUENCE DE LA PRESENCE DE NITRITES ET D'AMMONIAC SUR LA NITRATATION

Influence de la concentration en nitrite sur la vitesse de nitratation

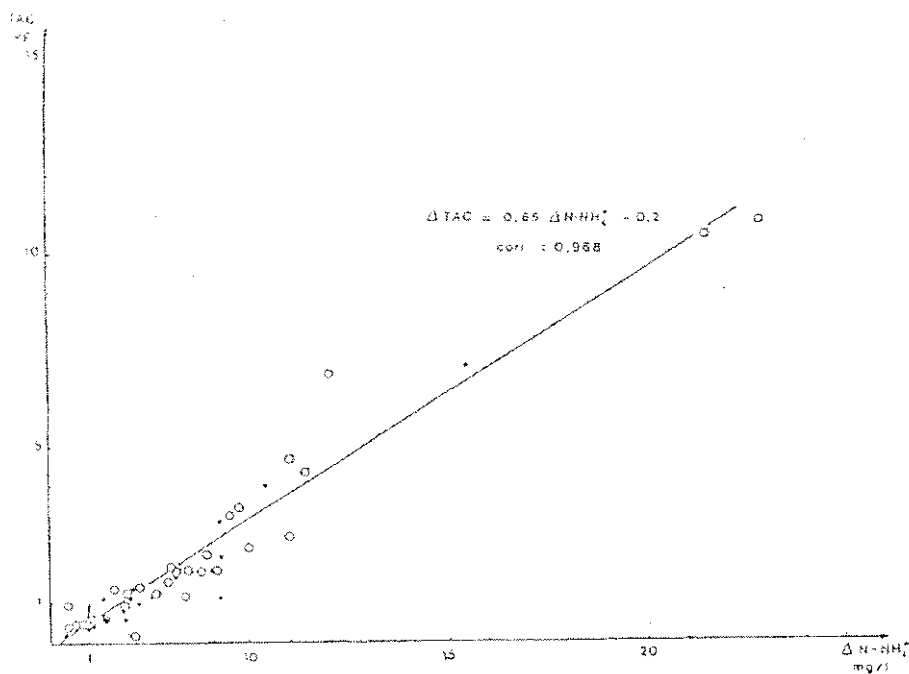


Inhibition de la nitratation par l'ammoniac (100)



INFLUENCE DE LA NITRIFICATION SUR L'ALCALINITE

Influence de la nitrification sur la diminution du TAC de l'eau



INHIBITEURS DE LA NITRIFICATION

➤ Composés inorganiques

Nitrosomas est très sensible à la présence de certains composés.
Une solution de cuivre à 4 mg/l provoque une inhibition de 75 %

➤ Composés organiques

Exemples d'inhibition de réactions intermédiaires entre NH_4^+ et NO_2^-
:

- A. Composés chélatants ; thiourée, allylthiourée, cyanure de potassium, diéthylthiocarbamate
On pense qu'il peut y avoir chélation des traces de cuivre indispensable
- B. Composés réagissant sur les enzymes protéiques : monoxyde de carbone, thiosemicarbazide, éthyl-xanthate
- C. Inhibiteurs de transport d'électrons : bleu de méthylène, phénazine, méthosulfate
- D. Alcools et amines à faible poids moléculaires : méthanol, éthanol, propanol, N-butanol, méthylamine
- E. Piégeage des radicaux libres : N_2O , acétone, acétate d'éthyle

INHIBITION DE LA NITRIFICATION

- Chlorate
- Xylène
- Matières organiques qui entrent en compétition dans la consommation d'oxygène : sucres, alcools...

Composés	Concentration nécessaire à l'obtention de 75% d'inhibition	
	mg/l	Molarité
Thiourée	0.075	1×10^{-4}
Thioacétamide	0.014	1.9×10^{-5}
Méthylisothiocyanate	0.8	1.1×10^{-5}
Alkyl isothiocyanate	1.9	1.9×10^{-5}
Dithio-oxamide	1.1	9.2×10^{-5}
Thiocyanate de potassium	300	3×10^{-3}
Méthyl dithiocarbamate de sodium	0.9	7×10^{-5}
Diméthyl dithiocarbamate de sodium	13.6	9.5×10^{-5}
Diméthyl ammonium diméthyl dithiocarbamate	19.3	11.6×10^{-5}
Cyclopentaméthylène dithiocarbamate de sodium	23	10.5×10^{-5}
Cyclopentaméthylène dithiocarbamate de pipéridinium	57	2.3×10^{-4}
Sulfate de méthyl thioronium	6.5	2.3×10^{-5}
Chlorure de benzyl thioronium	49	2.4×10^{-4}
Monosulfite de tetraméthyl thiuram	50	1.2×10^{-4}
Disulfite de tetraméthyl thiuram	30	1.2×10^{-3}
Phénol	5.6	6×10^{-5}
O-crésol	12.8	1.2×10^{-4}
M-crésol	11.4	1.06×10^{-4}
P-crésol	16.5	1.53×10^{-4}
Dichlorophénol	50	1.8×10^{-4}
2,4 dinitrophénol	150	8.3×10^{-4}
Alkyl alcool	19.5	3.4×10^{-3}
Alkyl chlorure	180	2.4×10^{-3}
Ether dialkyl	100	1×10^{-3}
Aniline	7.7	8.3×10^{-5}
Diméthyl-paranitrosoaniline	19	1.3×10^{-4}
Carbonate de guanidine	16.5	9.2×10^{-5}
Strychine hydrochlorure	175	4.3×10^{-4}
2.chloro-6 trichlorométhylpyridine	100	0.46×10^{-3}
Ethylméthane	250	2.1×10^{-3}
Acide éthylène diamine tetra-acétique	350	1.2×10^{-3}
Hydrazine	58	1.8×10^{-3}
Bleu de méthylène	100	3.1×10^{-4}
Disulfure de carbone	35	0.46×10^{-3}
Acétone	840	1.5×10^{-2}
8.Hydroxyquinoléine	73	5×10^{-4}
Streptomycine	400	6.9×10^{-4}

APPLICATION DE LA NITRIFICATION

- Filtration lente
- Filtration rapide
- Nitrificateurs

FILTRATION LENTE

INFLUENCE DE LA VITESSE DE FILTRATION SUR LES TENEURS EN NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- et O_2 DANS L'EAU

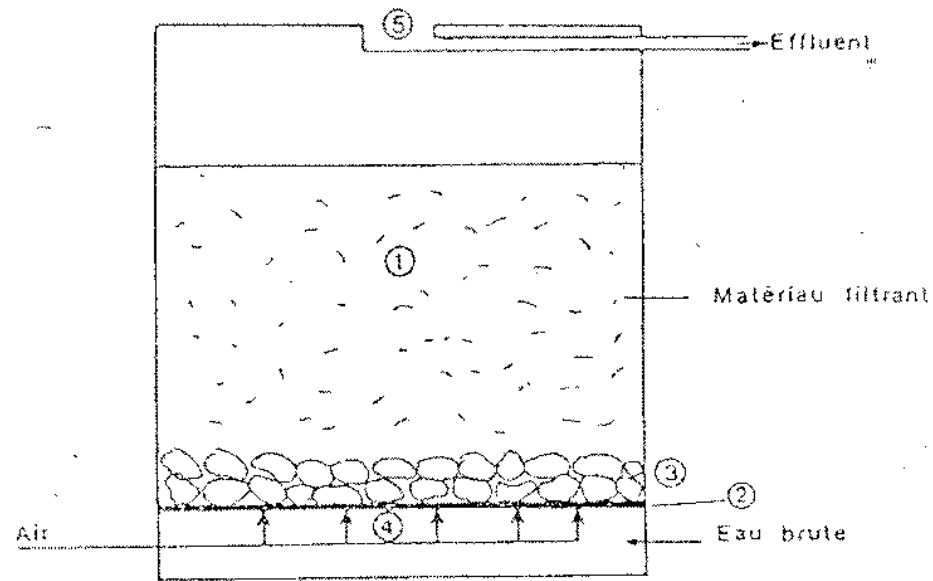
➤ Effet vitesse

➤ Effet jour et nuit

INCONVENIENTS DE LA FILTRATION LENTE

Très sensible aux pollutions et aux variations brusques des teneurs en ammonium

NITRIFICATEURS

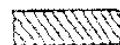
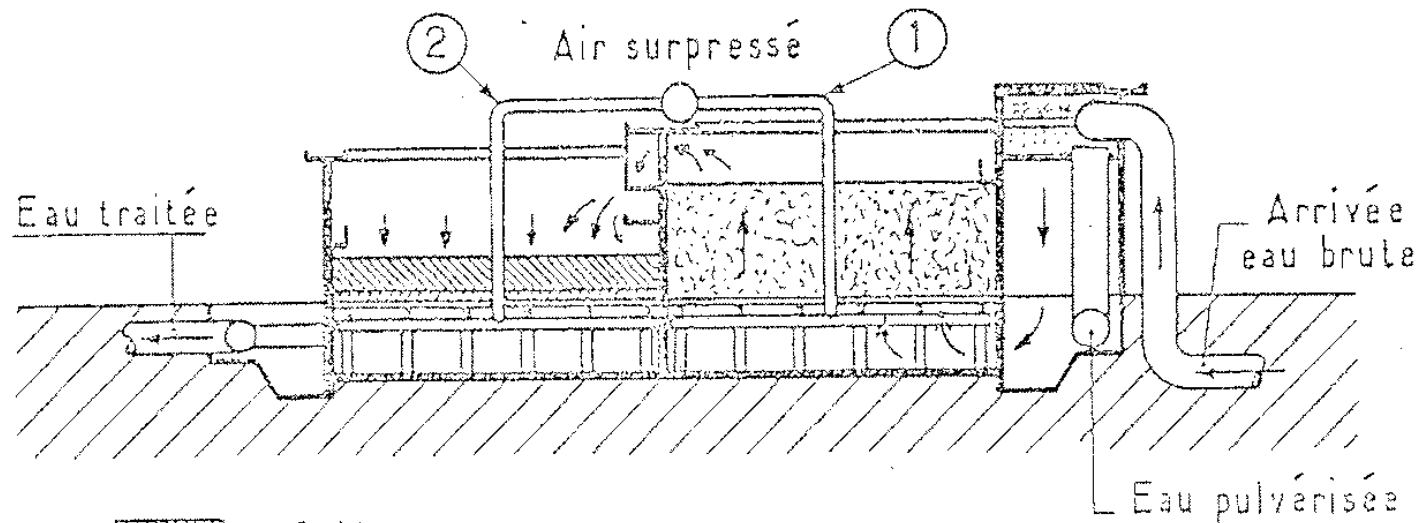


Filtration biologique à courant ascendant

- Température fixe
- Ajout d'oxygène
- Ajout de phosphates
- Matériau : pouzzolane
- Vitesse de 5 à 10 m/h

EXEMPLE DE NITRIFICATEUR

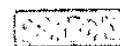
Schéma des nitrificateurs de l'usine de Croissy, avec lit de pouzzolane entre une aération par pulvérisation et un filtre à sable



Sable



Béton poreux ou plancher filtrant



Pouzzolane de 7/13

①

Air surpressé à co-courant en phase de fonctionnement

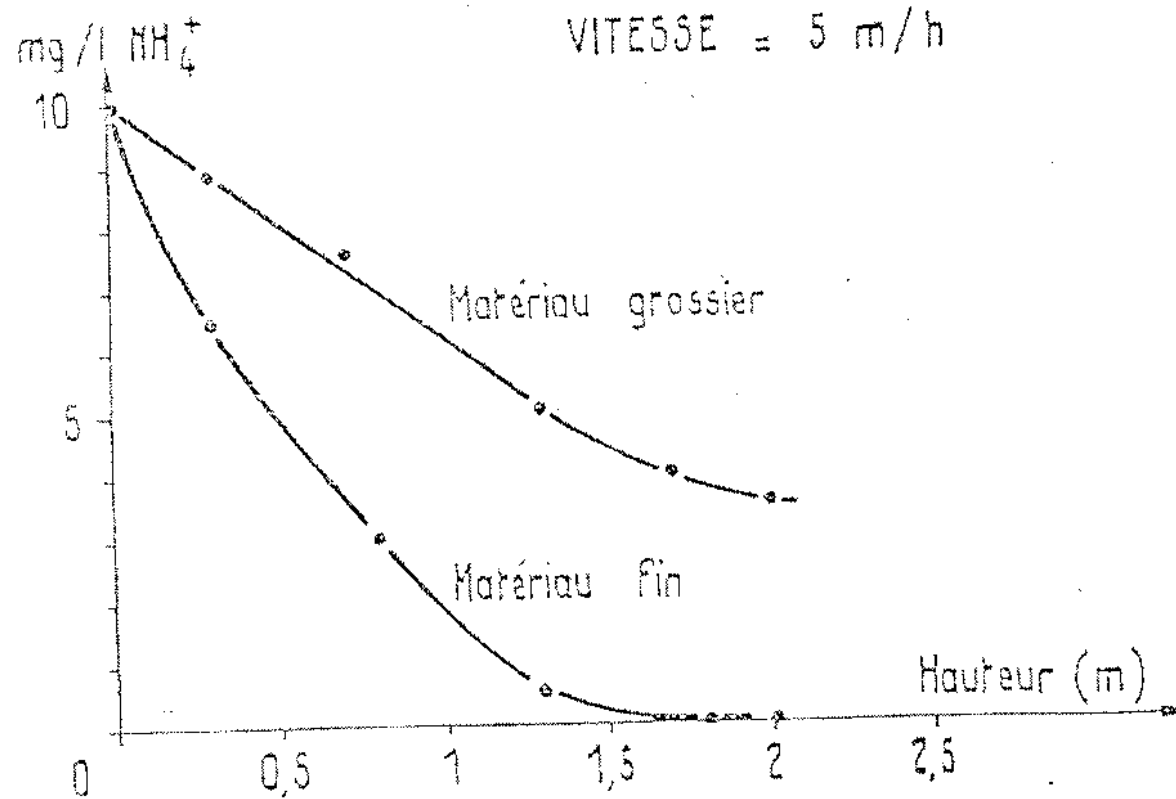
②

Air surpressé en phase de décolmatage

EXEMPLE DE STATION DE NITRIFICATION EN EAU POTABLE

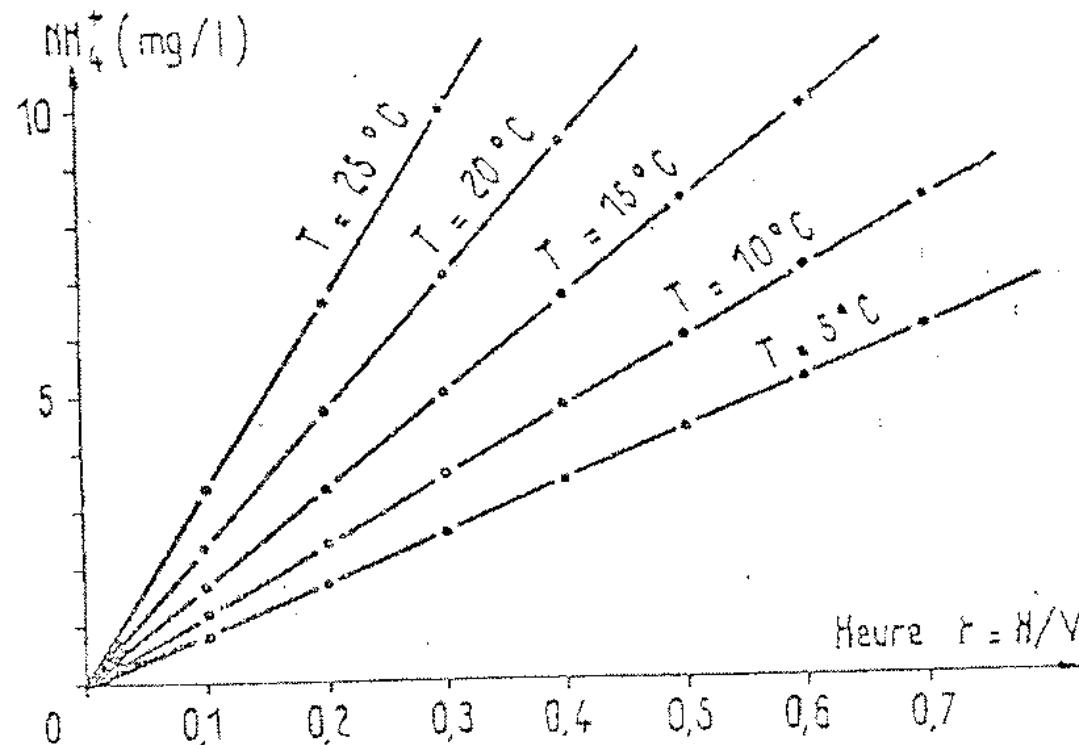
Stations de traitement	Débit nominal (m ³ /h)	Hauteur de pouzzolane (m)	Granulométrie (mm)	Vitesse (m/h)	NH ₄ ⁺ éliminé (mg/l)	Vitesse de réaction en mg/m ² /h
Villeneuve la Garenne	2000	2	20/40	8.8	4	0.176
Vernouillet	500	2	20/40	6.5	4	0.130
Aubergenville	5880	1,7	10/20	9.8	5	0.144
Le Pecq Minor	1980	2	20/40	11.2	3.5	0.196
Le Pecq Major	3000	2	20/40	15	2.5	0.187
Croissy I	1500	2	20/40	9.6	2.5	0.120
Croissy II	300	2	10/20	6.5	7	0.113

INFLUENCE DE LA GRANULOMETRIE DU SUPPORT SUR LA HAUTEUR DE COUCHE NECESSAIRE A LA NITRIFICATION



INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LE TEMPS DE CONTACT

Influence de la température sur les temps de contact nécessaires à la nitrification
(résultats obtenus sur pouzzolane)



(Travaux DEGREMONT)

PLACE DE LA NITRIFICATION BIOLOGIQUE DANS UNE USINE DE POTABILISATION

- Filtration rapide
 - Stockage
 - Décantation
 - Filtration rapide
 - Ozonation
 - Filtration sur charbon actif

- Filtration mixte : rapide – lente
 - Décantation
 - Filtration rapide
 - Ozonation
 - Filtration lente
 - Filtration sur charbon actif

CAS DU PRETRAITEMENT AU BIOXYDE DE CHLORE

ClO_2 — Décantation — Filtration sur sable — Filtration sur charbon actif — ozonation