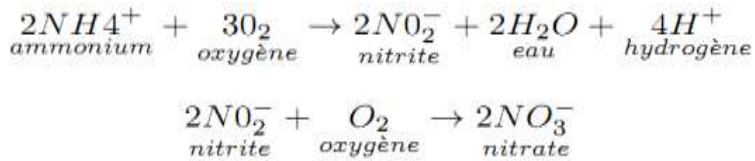


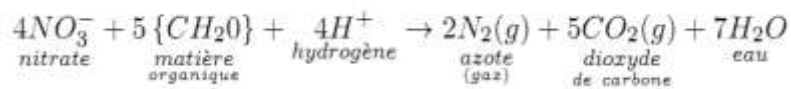


Dans des **sols oxygénés**, des bactéries **nitrifiantes** assurent le processus de **nitrification** qui consiste à transformer les produits de la **fixation** ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NH}_3$ ) en **nitrite (nitritation)** puis en **nitrates (nitratisation)**, assimilables par les plantes :

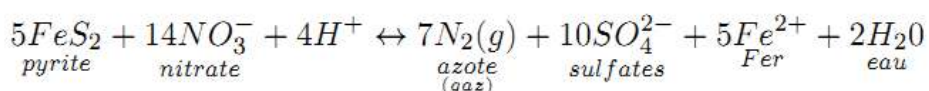


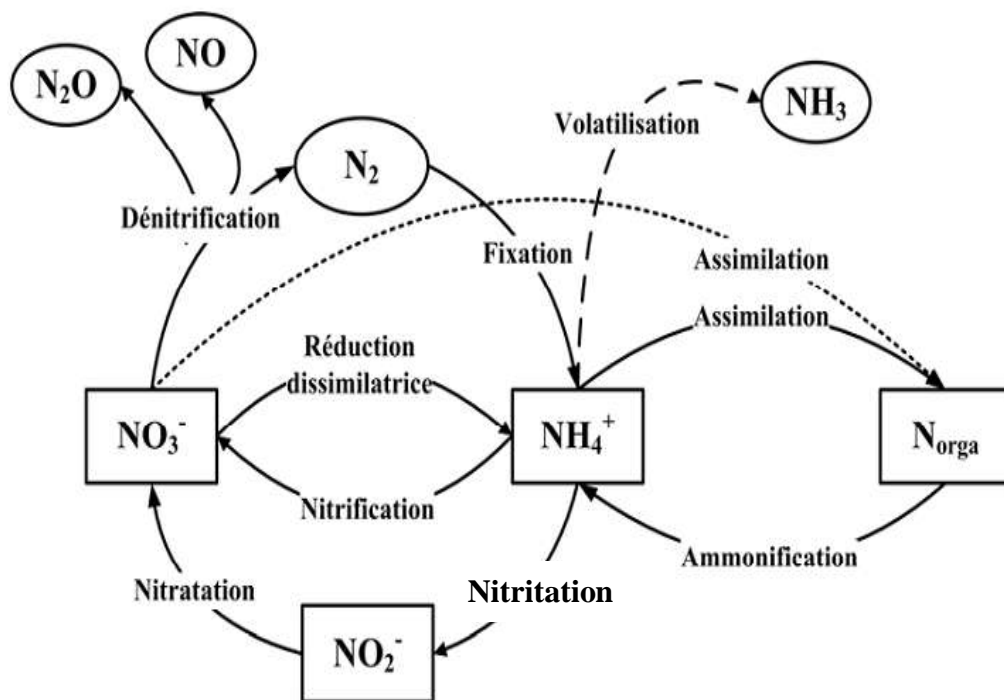
Lorsque les **concentrations en oxygène dissous** ou **présent et biodisponible** dans le milieu diminue trop, le milieu est dit **anoxique**. Dans ces conditions, des **bactéries dénitrifiantes** transforment les **nitrates** en **diazote** au cours du **processus de dénitrification**. Deux types de dénitrification peuvent alors prendre place dans les aquifères :

**La dénitrification hétérotrophe** : elle se produit lorsque de la **matière organique** est **oxydée** par des **bactéries**. Lorsque les teneurs en **oxygène** sont **suffisamment faibles** dans le milieu, ces bactéries utilisent les **nitrates** comme **accepteurs finaux d'électrons**, selon la réaction suivante :



**La dénitrification autotrophe** : en milieu **anaérobie**, des bactéries sont capables de respiration-nitrate à partir de diverses formes minérales. Ainsi, la bactérie **Thiobacillus denitrificans** est capable de respiration nitrates à partir de minéraux soufrés. Ces éléments **inorganiques soufrés** sont alors oxydés et les nitrates agissent comme **accepteurs d'électrons**. Nous écrivons comme exemple ci-dessous le processus de **dénitrification par oxydation de la pyrite** :





**Figure 3.** : Cycle simplifié de l'azote. En ovale les **formes gazeuses**, dans les carrés les formes **dissoutes ou solide (N<sub>orga</sub>)**

## ***II.1.2 Facteurs influençant la nitrification et la dénitrification***

### ***II.1.2.1 Facteurs influençant la nitrification***

#### **a) La température**

La température de nitrification se situe entre **5** et **42°C (35° la température optimale)** (Gay, 1983), ce processus est plus intense en été car favorisé par des températures plus élevées et un apport accru en **oxygène** par **photosynthèse** (Schlesinger et Hartley, 1992; Cowan et Boynton, 1996).

#### **b) Le pH**

La nitrification est favorisée par des **pH neutres**, ou légèrement basiques. Elle devient faible dans les milieux acides (**tourbières, lacs**). Le pH idéal pour la **nitrification** est compris entre **6** et **8** (Josserand, 1983; Bock et al., 1989).

#### **c) Teneur de l'oxygène dissous (O<sub>2</sub>)**

La **concentration optimale d'oxygène dissous** pour une **nitrification** se situe entre **0,5** et **4 mg/l** (Stenstrom et Poduska, 1980; Josserand, 1983). Selon **Sharma et Ahler (1977)**, en présence de faibles concentrations d'oxygène l'affinité

des **bactéries nitrifiantes** est déficiente comparée à celle des **bactéries hétérotrophes**, et pourtant les bactéries nitrifiantes sont peu efficaces (**Prosser, 1989**).

### ***II.1.2.2 Facteurs influençant la dénitrification***

#### ***a) La température***

Aux **basses températures**, le taux de **dénitrification** diminue significativement mais est encore mesurable entre **0** et **5°C** (**Knowles, 1982; Koba et al., 1997**). La **dénitrification** est dépendante de la **température**, entre **5°C** et **45°C** les **micro-organismes** sont le plus efficaces pour réaliser ces processus. La température agit sur l'**activité** et le **nombre des bactéries dénitrifiantes** (**Gordon et al., 1986**). Donc la température optimale pour la dénitrification est entre **30** et **35°C** (**Lalisse-Grundmann et al., 1983**).

#### ***b) Le pH***

D'après la réaction de dénitrification, ce processus consomme des **H<sup>+</sup>**. Ainsi au contraire de la **nitrification**, la **dénitrification** aurait tendance à **alcaliniser le milieu**. Mais cette réaction dégage aussi du **CO<sub>2</sub>** augmentant l'influence du couple carbonate (avec une tendance à stabiliser le **pH** aux alentours de **6-6.5**). **Knowles, (1982)**, montre que la dénitrification est limitée dans des conditions de **pH acide**.

#### ***c) Propriétés du sol (teneur en eau)***

Dans le sol, le fonctionnement de la dénitrification dépend du niveau d'humidité qui conditionne l'aération et le niveau d'anoxie (**Cadiou, 2004**). La teneur en eau du sol facilite le développement de bactéries anaérobies et favorise la diffusion des nitrates, c'est pourquoi la dénitrification croît avec la teneur en eau, et est optimale à la saturation du milieu.

### ***II.1.3 Le transfert des nitrates dans le sol***

La dynamique des transferts de solutés dans le sol ainsi que les facteurs influençant ces transferts ont été largement étudiés et sont plutôt bien connus.

Ces études ont permis de mettre en évidence l'influence de la **texture** et de la **composition minéralogique** d'un **sol** sur la **concentration en nitrates** des eaux du sol. Plus un sol est **argileux**, plus sa capacité de **rétenion de contaminants** sera a priori forte. Au contraire un **sol très sableux** laissera plus

facilement passer les **polluants dissous**, facilitant leur **transfert dans l'hydrosystème**.

**Tindall et al. (1995)** ont mesuré les **lixiviations d'azote** par des **colonnes de 40 cm** d'épaisseur de **sols nus argileux et sableux** suite à des épandages de **fertilisants**. Les nitrates appliqués sur le **sol sableux** sont complètement transférés dans le système au bout de **10 jours**, alors que sur le **sol argileux**, **5 à 6 semaines** sont nécessaires pour que **60 %** des **nitrates** apportés soient **transférés par le sol**.

#### ***II.1.4 Les transferts de nitrates dans un hydrosystème***

La **Figure 5** représente de manière simplifiée les transferts de nitrates dans un **hydrosystème** et y localise les processus de **dénitrification**.

Les **nitrates** sont la forme la plus **mobile** de **l'azote** dans le **sol**. Ils y sont donc stockés essentiellement dans la **phase aqueuse** sous forme **dissoute**. De fait, lorsqu'un **phénomène pluvieux** intervient, les **nitrates** circulent facilement dans le **sol** et sont aisément entraînés avec les **eaux ruisselées et infiltrées** :

**Le ruissellement** : lors de **fortes précipitations**, le sol peut se **saturer en surface** et/ou en **subsurface** (à quelques centimètres de profondeur). De l'eau s'accumule ainsi à ce niveau et **ruisselle** selon la **pente**. Via cet **écoulement**, les eaux sont transférées vers les **rivières**. Le transfert des nitrates par **ruissellement** est d'autant **plus important** que **l'intensité des précipitations** est forte. **L'état hydrique du sol** joue également un rôle puisque **plus le sol est saturé, plus le ruissellement** sera important.

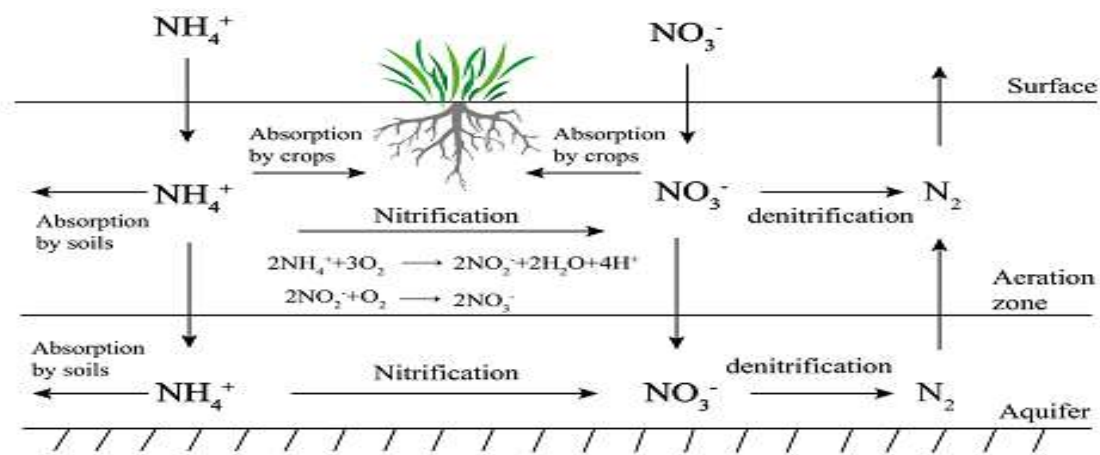
#### **L'infiltration**

Les **eaux infiltrées** traversent la **zone non saturée** qui est la zone située entre la **base du sol** et la **surface de la nappe**. L'épaisseur de ce milieu est variable (**quelques dm à plusieurs dizaines de m**). Lors d'une **infiltration**, la **teneur en eau** dans le **milieu non saturé** augmente. Lorsque la teneur en eau excède cette **capacité de rétention** du milieu, l'eau descend sous **l'effet de la gravité**, donc **s'infiltré**, et humidifie les couches inférieures.

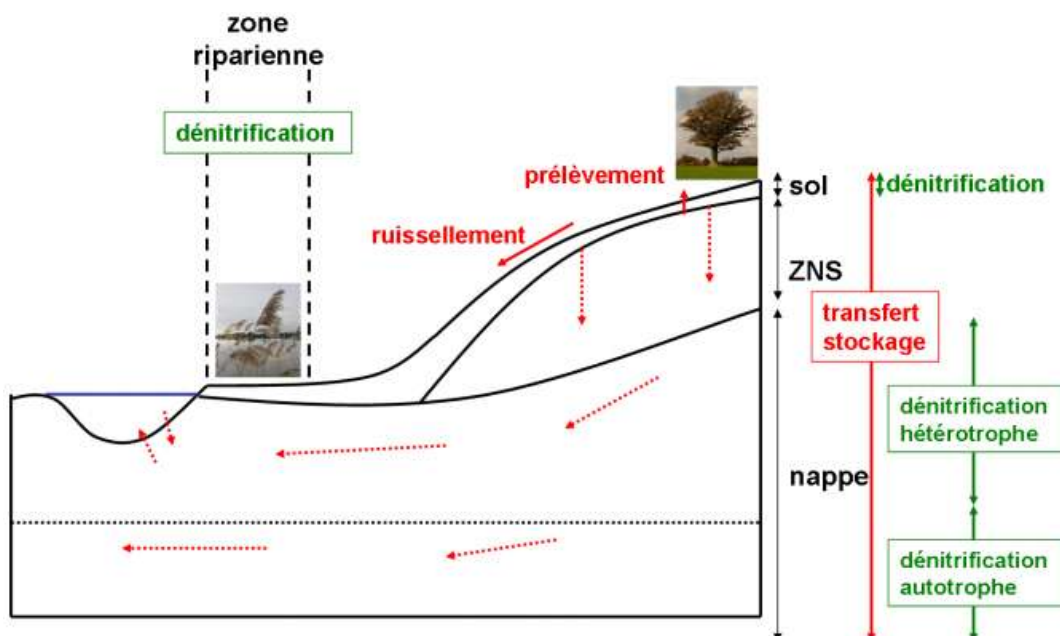
La probabilité de dépasser la **capacité de rétention** du milieu augmentant avec **l'infiltration**, plus celle-ci est importante, plus la **vitesse de transfert** des solutés à travers la **zone non saturée** est **conséquence**. La **zone non saturée** est

cependant globalement caractérisée par des **vitesse de transfert** des **solutés** faibles (quelques dm. an<sup>-1</sup>). Tout comme le **sol**, la **zone non saturée** peut être le siège de **transformations bio-physico-chimiques** impliquant les **nitrates**. Cependant, ces réactions sont bien **moins prononcées** que dans le **sol**. Il est donc plus courant de considérer la **zone non saturée** comme une **zone de transfert de polluants** plutôt que comme un milieu où les nitrates sont impliqués dans des **réactions bio-physico-chimiques**.

Une fois dans la nappe, les nitrates peuvent être transférés aux rivières par les **échanges régissant** entre ces deux compartiments. Ils peuvent également être réduits naturellement par une **dénitrification** dans la **zone saturée**.



**Figure 4.** Schéma réactionnel de la minéralisation de l' azote



**Figure 5.** Représentation simplifiée des transferts d'azote vers les eaux souterraines