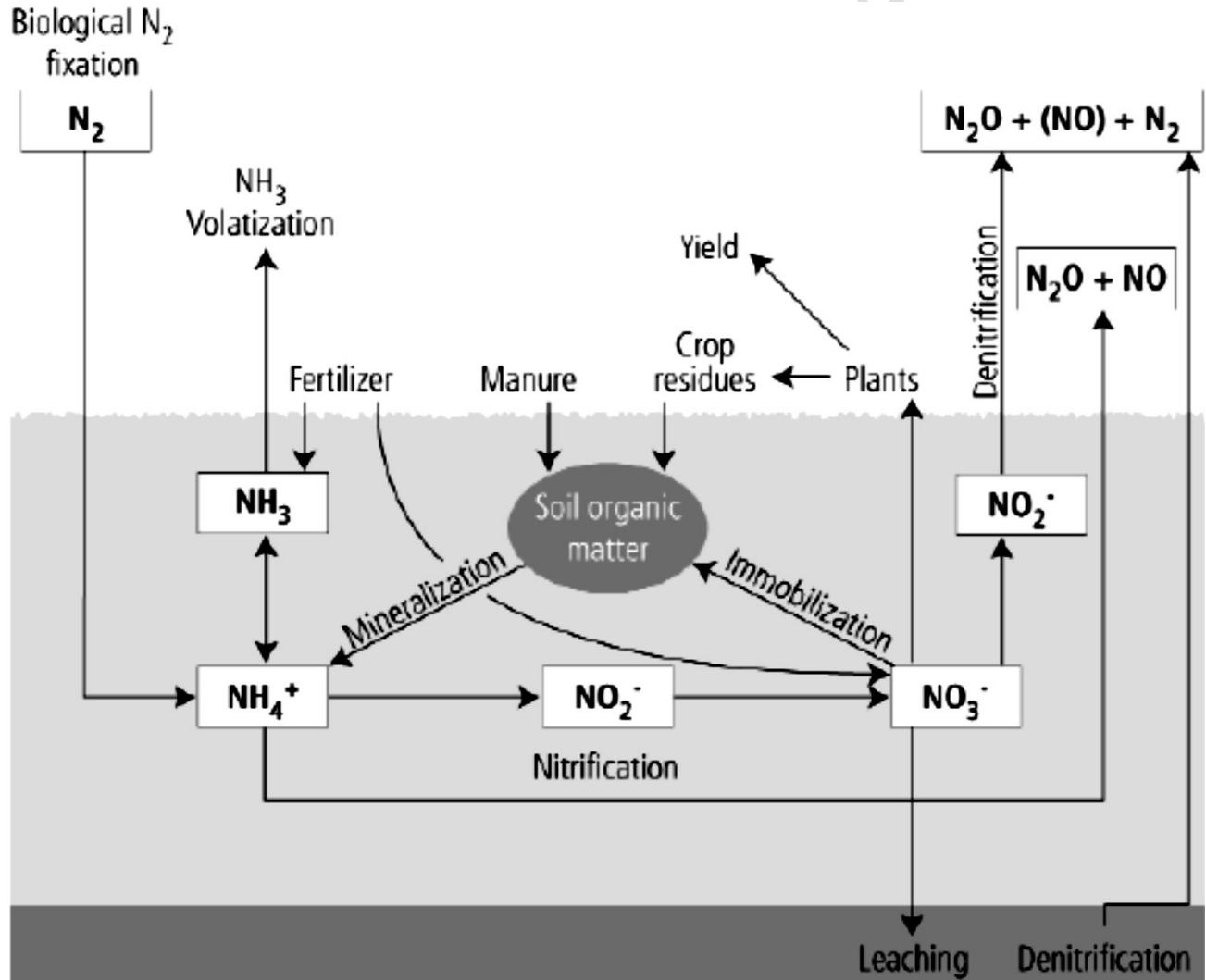


# دورة النروجين في الطبيعة



رسم تخطيطي لدورة النروجين في الطبيعة

(المصدر: soil and plant nitrogen, IFA – 2004)

يوجد النتروجين في النُظْم الزراعية و البيئية على عدة أشكال و صور تحوي على مدى من التكافؤات إبتداءً من  $3^-$  كما في  $NH_4^+$  إلى  $5^+$  كما في  $NO_3^-$ . إن التغير من تكافؤ إلى آخر يعتمد عموماً على الظروف البيئية المحيطة و التي هي في الأساس عبارة عن توازنات بيولوجية. إن التحولات و التدفق من شكل إلى شكل آخر يطلق عليه في مجملته دورة النتروجين ، كما في الشكل السابق. فإذا بدأنا بأي مرحلة من دورة النتروجين و من ثم إتباعها سوف نصل إلى النقطة التي إنطلقنا منها مرة أخرى

فإذا بدأنا صواعق البرق و التي تكون عبارة عن موجات كهربية - ناتجة من تصادم السُحب - تقدر بحوالي ٣٠٠ أمبير من الطاقة الكهربائية إضافة إلى طاقة حرارية مصاحبة تقدر بحوالي ٢٠٠٠٠ درجة مئوية و التي تقوم بتحويل غاز النتروجين ( $N_2$ ) الموجود في الهواء إلى أكاسيد نتروجين مختلفة و التي تنتهي إلى النترات ( $NO_3^-$ ) و التي تنزل إلى التربة مع مياه الأمطار مزودة إياها بعنصر النتروجين القابل للإمتصاص بواسطة جذور النباتات. إضافة إلى ذلك ، فإن غاز النتروجين الجوي ( $N_2$ ) يمكنه التحول إلى صورة أمونيم ( $NH_4^+$ ) و ذلك عن طريق التثبيت الحيوي له - كما سيتضح بعد - و هي عملية أكثر أهمية من عملية البرق.

عنصر النتروجين هذا - أيأ كانت صورته الممتصة - يدخل في العديد من التفاعلات الحيوية بداخل النبات مكوناً العديد من المركبات العضوية المحتوية على النتروجين. عند تحلل البقايا النباتية ، فإن المركبات العضوية المحتوية على النتروجين تأخذ سلسلة من التحولات الميكروبية و التي تؤدي إلى تكوين الأمونيم في البداية و تنتهي عادةً في صورة نترات. في الظروف اللاهوائية نجد أن النترات يمكنها أن تتحول إلى أكاسيد نتروجين و التي تنتهي بغاز النتروجين و الذي يعود مرة أخرى إلى الغلاف الجوي. و بهذا تكون قد أغلقت دورة النتروجين في الطبيعة. و من الجدير بالذكر أنه في حالة إضافة مصادر نتروجين عضوية أو غير عضوية فإن عنصر النتروجين سوف يسلك نفس مسارات التحول ، و كذلك فإن قد يؤدي إلى تسريع أو تقليل وتيرة مسارات تحول النتروجين الأخرى.

أما إذا نظرنا إلى دورة النتروجين من جهة مصادر التحصل و الفقد لهذا العنصر ، نجد أن هناك مصادر تتسبب في إضافة النتروجين إلى تلك الدورة مثل الترسيب أو التثبيت الحيوي أو الأسمدة العضوية أو التسميد المعدني للعنصر. كذلك نجد أن هناك مصادر للفقد في دورة النتروجين الأ و هي

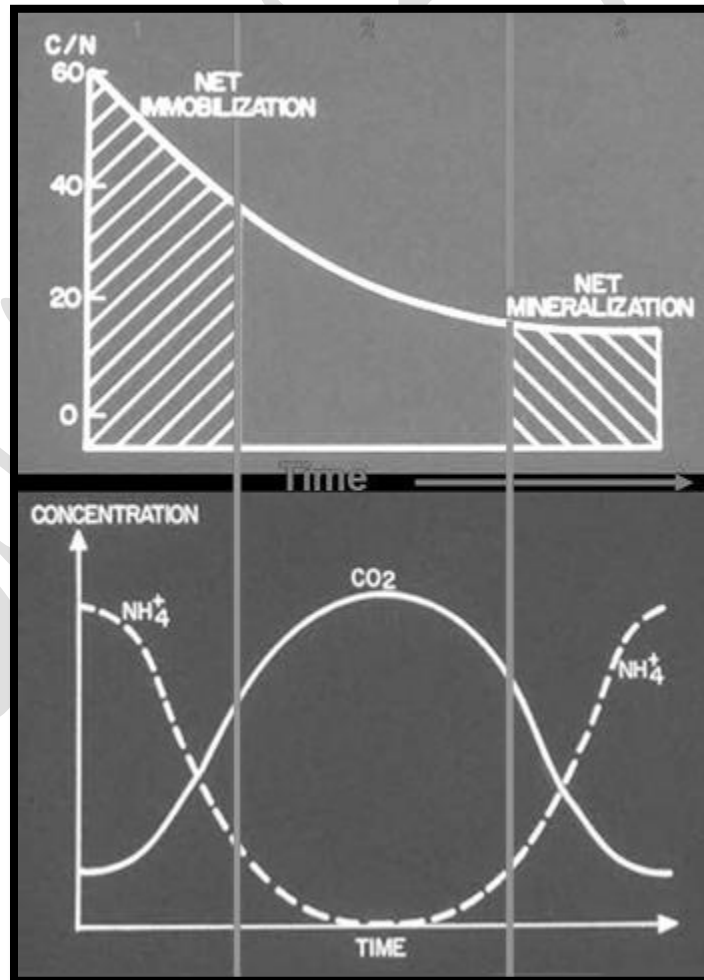
الغسيل و التطاير و عكس النترتة و كذلك فقد النتروجين عن طريق حصاد المحصول. كما اننا يمكن أن نلاحظ أن في دورة النتروجين عمليتين تحويل كل منهما يعكس تأثير الآخر و هي المعدنة (Mineralization) و التي يتم فيها إنحلال النتروجين العضوي إلى صورة أمونيا ، و عكسها هي عملية التثبيت (Immobilization) التي يتم فيه إستغلال النتروجين المعدني في بناء أجسام ميكروبات التربة أي يتحول إلى مادة عضوية بالتربة. و فيما يلي سنناقش كل عملية من عمليات تحول النتروجين من صورة إلى أخرى في دورة النتروجين في الطبيعة.

### المعدنة و التثبيت Mineralization & Immobilization:

في داخل التربة هناك حالة مستمرة من دورات تحول النتروجين العضوي إلى نتروجين غير عضوي (معدني) و العكس صحيح أيضاً. هذه الدورات تتم بواسطة الكتلة الحيوية الموجودة بالتربة ، و بالتالي فإن العوامل التي تؤثر على نشاط تلك الكتلة الحيوية ستؤثر بطبيعة الحال على معدلات تحول النتروجين ما بين المعدنة و التثبيت. و يكفي القول لبيان أهمية ذلك أن الكتلة الحيوية الموجودة بالتربة تقدم كمية من نتروجين التربة تقدر بحوالي ٢٠-٤٠ كجم\فدان. كما هو معروف ؛ فإن معظم النتروجين المتواجد بالتربة يكون في صورة عضوية غير قابلة للإستغلال بواسطة جذور النباتات ، و بالرغم من ذلك فإن هناك العديد ممن الطرق الكيميائية و الحيوية و التي تعمل على تحويل تلك المركبات العضوية المحتوية على نتروجين إلى صورة صالحة للإمتصاص عن طريق جذور النباتات.

ف نجد في عملية التحول الحيوي أن الكائنات الحية الدقيقة بالتربة تقوم بعملية تحليل للمركبات العضوية لتحويل النتروجين بها إلى الصورة  $NH_4^+$  و التي بدورها تتحول بواسطة كائنات حية دقيقة أخرى إلى الصورة  $NO_3^-$  ، و عملية التحول تلك تعتمد في كفاءتها و سرعتها على طبيعة التربة و طبيعة و نوعية البقايا العضوية المتواجدة و كذا العديد من العوامل البيئية الأخرى. و لكن إذا نظرنا على الكتلة الحيوية بالتربة ككل ، سنجد أن تلك الكائنات الحية الدقيقة و كذلك الكائنات الحية الدقيقة الأخرى بالتربة تستخدم كل من النترات و الأمونيم من أجل سد إحتياجاتها من عنصر النتروجين لبناء أجسادها و تلك العملية تسمى بعملية التثبيت.

و من المهم هنا أن نعرف أن عملية المعدنة أو التثبيت تعتمد بصورة كبيرة على محتوى المادة العضوية من كل من الكربون و النتروجين و التي يطلق عليها نسبة الكربون للنتروجين (C:N ratio) فعلى سبيل المثال نجد أنه في حالة استخدام مادة عضوية ذات محتوى منخفض من النتروجين فإن الكائنات الحية الدقيقة تلجأ إلى النتروجين المعدني الموجود بالتربة و هذا سيؤثر بالطبع على النتروجين المتاح لجذور النباتات النامية. مما سبق يمكن أن ندرك أنه باستخدام مادة عضوية ذات نسبة كربون لنتروجين مرتفعة (قش الرز أو أحطاب الذرة) فإن هذا يؤدي إلى سيادة عملية التثبيت ، بينما في حالة استخدام مواد عضوية ذات نسبة كربون لنتروجين منخفضة (بقايا محاصيل الخضر و البقوليات) فإن ذلك سينتج عنه سيادة عملية المعدنة لعنصر النتروجين. و عادة فقد وجد أن نسبة الكربون للنتروجين ما بين ٢٥ - ٣٠ : ١ تُعد نقطة التحول الحرجة ما بين المعدنة و التثبيت. و الرسم البياني التالي يوضح باختصار العلاقة بين نسبة الكربون للنتروجين و عمليتي التثبيت و المعدنة مع مرور الوقت ، و أخذَ مثال لذلك مادة عضوية ذات نسبة كربون لنتروجين مرتفعة (قش الأرز):



نجد أن هذا الرسم البياني مقسم إلى ثلاثة حالات أو مراحل. الأولى يكون فيها سيادة لعملية التثبيت حيث تتميز بأن الكائنات الحية الدقيقة بالتربة تقوم باستهلاك النتروجين ( $\text{NH}_4^+$  على صورة  $\text{NH}_4^+$ ) متسبباً في نقصه و تتميز هذه المرحلة بانبعث غاز ثاني أكسيد الكربون. أما الحالة أو المرحلة الوسطى فتكون الكائنات الحية الدقيقة قد استهلكت النتروجين المتاح و تم استهلاك المواد الكربونية مخلفةً عنها غاز ثاني أكسيد الكربون. ننهي بالمرحلة الثالثة والأخيرة والتي يحدث بها سيادة لعملية المعدنة حيث تموت تلك الكائنات الحية الدقيقة و التي يصاحبها زيادة مستوى  $\text{NH}_4^+$  - حيث أنه كان جزءاً من أجسام تلك الكائنات الحية الدقيقة - المتاح بالتربة ، و المركبات الكربونية قد تم تحللها و انخفض لذلك مستوى إنتاج ثاني أكسيد الكربون و أصبحت نسبة الكربون للنتروجين منخفضة.

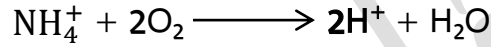
## النترتة Nitrification:

تتم عملية النترتة على مرحلتين. في المرحلة الأولى يتم فيها تحول الأمونيم ( $\text{NH}_4^+$ ) إلى نيتريت  $\text{NO}_2^-$  عن طريق مجموعة من البكتريا ذاتية التغذية إجبارياً و هي عبارة عن أنواع من جنس Nitrosomonas. المرحلة الثانية من عملية النترتة تقوم بها مجموعة أخرى من البكتريا ذاتية التغذية إجبارياً و هي عدة أنواع من جنس Nitrobacter و التي تعمل على تحويل النيتريت ( $\text{NO}_2^-$ ) إلى نترات ( $\text{NO}_3^-$ ). إضافة إلى ذلك ، هناك القليل من الكائنات الحية الغير ذاتية التغذية و التي يمكنها أن تقوم بعملية النترتة و لكن عادةً ما تكون بمعدلات أقل بكثير ممن البكتريا ذاتية التغذية. و من الجدير بالذكر أن هناك كميات بسيطة من أكسيد النيتروز ( $\text{N}_2\text{O}$ ) و أكسيد النيتريك ( $\text{NO}$ ) يتم تكوينها أثناء تلك العملية.

عملية النترتة هي عملية هوائية أي تحتاج إلى عنصر الأكسجين و لأن الماء الموجود بالتربة يحد من انتشار الهواء بداخل التربة ، فإن الممحتوى الرطوبي للتربة له تأثير كبير على معدل حدوث عملية النترتة ، فعند وصول الأرض لمرحلة التشبع فيكون هناك قدر ضئيل من الهواء بما يؤدي لتوقف عملية النترتة ، و لكن نجد أن عملية النترتة تكون في أعلى معدلاتها عندما تقترب الرطوبة في

الأرض إلى مستوى السعة الحقلية. و على الجانب الآخر نجد أنه في الأراضي الجافة يحدث تراكم ملحوظ لكل من الأمونيم ( $\text{NH}_4^+$ ) و أحياناً النيتريت ( $\text{NO}_2^-$ ) و ذلك بسبب حساسية أنواع جنس Nitrobacter للإجهاد الرطوبي بصورة كبيرة.

عملية النترة تكون كذلك منخفضة في حالة الأراضي الحامضية و تزداد تدريجياً بزيادة رقم الحموضة (pH) ، و في الأراضي القلوية نجد أيضاً تراكم للنيتريت ( $\text{NO}_2^-$ ) و ذلك لأن أنواع جنس Nitrobacter يتم تثبيط نشاطها عن طريق الأمونيم و التي تكون متواجدة تحت ظروف الأراضي القلوية. و من الجدير بالذكر أن عملية النترة في حد ذاتها تزيد من حموضة التربة لأن تلك العملية تتضمن إطلاق أيون الهيدروجين ( $\text{H}^+$ ):

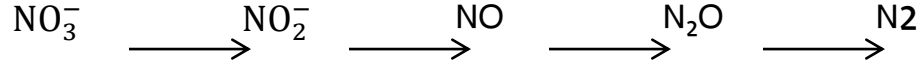


و للحد من عملية النترة في التربة الزراعية فإنه يمكن استخدام مواد تسمى في مجملها بمضادات أو مثبطات النترة (Nitrification inhibitors) و ذلك مثل الداى سيناميد أميد (DCD) و النيترابايرين و كُسب بذور النيم ، و التي يُقترح استخدامها لإعاقة عملية النترة في حال استخدام الأسمدة الأمونيومية ، و بالرغم ممن ذلك نجد أن تلك المواد على المستوى التطبيقي متباينة في نتيجتها المرجوة و يختلف تأثيرها باختلاف الظروف الجوية المحيطة و قوت إجراء التسميد.

## عكس النترة Denitrification:

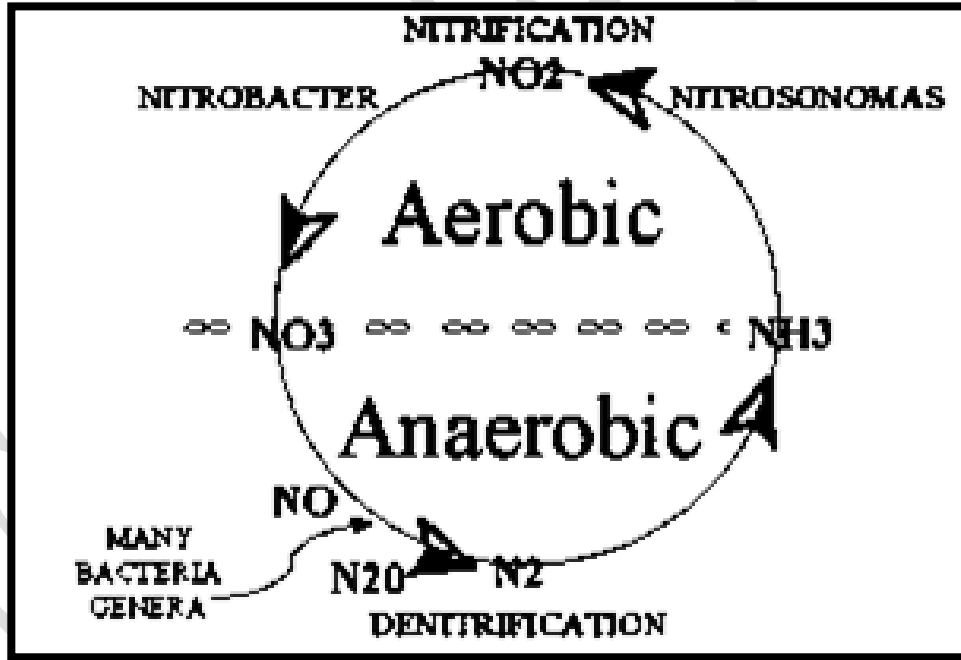
على النقيض من عملية النترة السابقة الذكر فإن عملية عكس النترة تتم في ظروف لا هوائية ، و تلك العملية لها نوعان. النوع الأول عكس نترة حيوية ، و النوع الثاني هي عكس النترة الكيميائية.

عكس النترة الحيوية تشير إلى عمليات بيوكيميائية تتم على النترات ( $\text{NO}_3^-$ ) محمولة إياه إلى مركبات غازية ، خلال عملية عكس النترة تتم عملية إختزال لكل من النترات و النيتريت إلى أكاسيد نتروجين ( $\text{NO}$  و  $\text{N}_2\text{O}$ ) و كذلك إلى جزئ نتروجين ( $\text{N}_2$ ) و ذلك عن طريق الكائنات الحية اللدقيقة ، تلك المكونات اغازية تكون - بطبيعة الحال - تكون غير متاحة للإمتصاص بواسطة جذور النباتات.



هناك العديد من العوامل التي تؤثر في حجم عملية عكس النترتة ألا وهي الأكسجين و مستوى الرطوبة و تواجد النترات و كذلك الإمداد بالكربون و رقم الحموضة (pH) و قوام التربة ... و من الجدير بالذكر أن طبيعة المخلفات العضوية المحتوية على الكربون من حيث جودتها و توزيعها المكاني بالتربة ذات أهمية أيضاً في كفاءة عملية عكس النترتة.

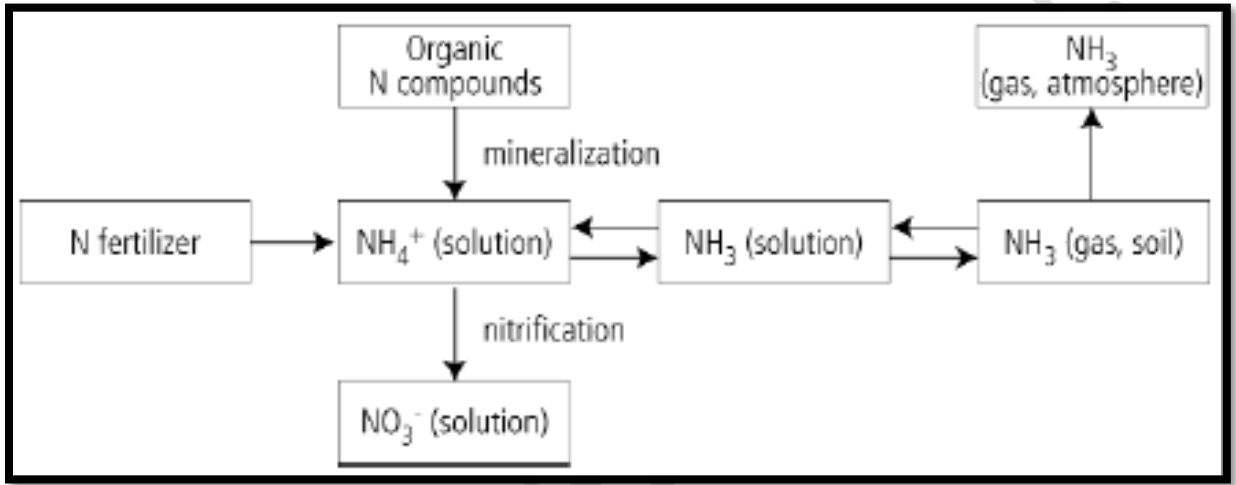
عكس النترتة الكيميائية تشير إلى نفس السلوك التفاعلي للنترات بل و نفس نواتج التفاعل أيضاً ، ولكنها تتم بدون وجود أي كائنات حية دقيقة. تلك العملية الغير بيولوجية من الأهمية بمكان في ظروف الأراضي الحامضية ، فتلك العملية تتم في الطبقات السفلى من التربة حيث ينخفض مستوى الأكسجين و الذي يتم الحصول عليه من النترات و ذلك من دخولة في سلسلة من تفاعلات الإختزال كما سبق الإيضاح. والرسم الإيضاحي التالي يعطي صورة مختصرة لكل من عمليتي النترتة و عكس النترتة.



شكل توضيحي لعمليتي النترتة و عكس النترتة

## تطاير الأمونيا :Ammonia volatilization

الأمونيم ( $\text{NH}_4^+$ ) الموجودة بالتربة تتكون إمام من خلال معدنة المادة العضوية بالتربة أو من خلال إضافة أسمدة كيميائية نيتروجينية بالتربة أو التحلل المائي لسماذ اليوريا. إن الأمونيا يمكنها أن تمر بعدة تحولات مثل الإمتصاص للكيميائي في غرويات التربة أو التثبيت على أسطح حبيبات اللطين أو دخولها في عملية النترية أو التثبيت داخل لأجسام الكائنات الحية الدقيقة بالتربة ، أو يحدث لها تطاير. فالأمونيم المتواجدة بالتربة تكون في حالة توازن مع الأمونيا ( $\text{NH}_3$ ) المتواجدة بالطور الغازي و ذلك كما في الشكل التالي:



و من هذا الرسم التوضيحي يمكن إيضاح عملية تطاير الأمونيا في ثلاث خطوات:

- 1- التوازن بين الأمونيم و الأمونيا في محلول التربة.
- 2- التوازن بين الأمونيا في محلول التربة و الطور الغازي بالتربة.
- 3- الإنتقال الكُتلي للأمونيا للهواء الجوي.