**Chapitre 5: Nutrition azotée**

# التغذية النيتروجينية la nutrition azotée

## مقدمة

يعتبر النيتروجين من أهم العناصر الموجودة على الأرض، وهو من أهم العناصر الغذائية التي تأخذها الكائنات الحية، يحتاجه النبات بكميات كبيرة و له تأثير كبير على زيادة الإنتاج لمختلف المحاصيل الزراعية و إن نقصه في التربة يؤدي إلى حدوث نقص في الحاصل إضافة إلى رداءة نوعية المحصول.

إن النيتروجين هو المكون الرئيسي الموجود في الهواء، فهو غاز عديم اللون والرائحة وغير سام (غاز خامل) يشكل ما يقارب 78٪ من حجم الغلاف الجوي مما يجعلها أكبر مصدر للنتروجين، وبشكل عام لا يمكن للنباتات استخدام غاز النيتروجين بشكل مباشر، و من أجل الاستفادة منه لا بد من تحويل هذا الغاز الخامل إلى مركبات نتروجينية تستطيع الكائنات الحية الاستفادة منها، وتُسمى عملية التحويل بتثبيت النتروجين Fixation de l'azote (يجب تحويله إلى مركب نترات بواسطة بكتيريا تعمل على تثبيت النيتروجين في التربة).

### ❖ أهمية النيتروجين

- ✓ يعتبر ضرورياً لبناء البروتينات، ومهماً للأحماض النووية والإنزيمات وبعض الهرمونات.
- ✓ يعتبر من المكونات الأساسية في بروتوبلازم الخلية.
- ✓ يدخل في تكوين الشعر والصوف والحوافر والعديد من المكونات الحيوية في الكائنات الحية.
- ✓ يستخدم في صناعة النشادر المستخدم لإنتاج الأسمدة وحمض النيتريك، كما يستخدم في صناعة الفولاذ.

### 1. أشكال النتروجين

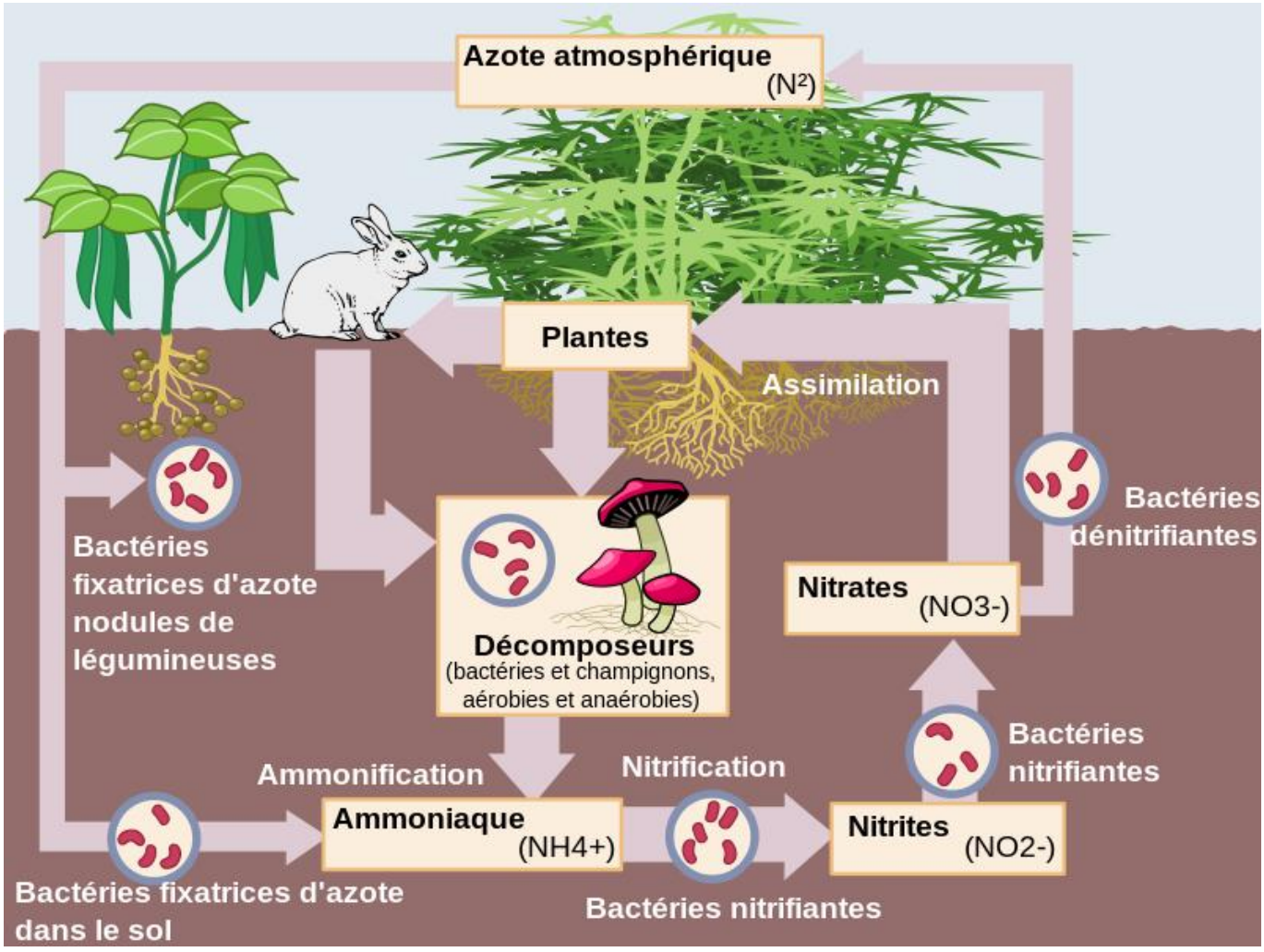
يوجد النيتروجين في البيئة في مجموعة متنوعة من الأشكال:

- ثنائي النيتروجين diazote ($N_2$).
- نترات Nitrates ($NO_3^-$).
- النتريت Nitrites ($NO_2^-$).
- أمونيوم Ammonium ($NH_4^+$).
- أمونيا Ammoniac ($NH_3$).
- أكاسيد النيتروجين الغازية oxydes d'azote gazeux (أكسيد النيتروز Oxyde nitreux ($N_2O$) ، أحادي أكسيد النيتروجين monoxyde d'azote (NO) ، ثاني أكسيد النيتروجين dioxyde d'azote ($NO_2$)) ،
- المركبات العضوية النيتروجينية (AA، البروتينات، ...).
- النفايات النيتروجينية (اليوريا urée) ، ...

**Chapitre 5: Nutrition azotée**

## 2. دورة النتروجين

دورة النيتروجين عبارة عن دورة متكررة من العمليات التي يتحرك خلالها النيتروجين عبر الكائنات الحية وغير الحية مثل الغلاف الجوي والتربة والماء والنباتات والحيوانات والبكتيريا. و هذه العمليات هي تحويل النيتروجين من شكل إلى آخر، حيث يوجد النيتروجين في الغلاف الجوي كغاز ($N_2$)، ولكنه موجود في التربة كأكسيد النيتروجين (NO)، وعند استخدامه كسماد يمكن العثور عليه في أشكال أخرى مثل الأمونيا ($NH_3$). يتم تنفيذ هذه العمليات بواسطة الميكروبات، إما في جهودها لحصاد الطاقة أو لتراكم النيتروجين في بول الحيوانات عن طريق البكتيريا الآزوتية في التربة لتستخدمها النباتات.




**شكل 1:** دورة النيتروجين

**Chapitre 5: Nutrition azotée**

تنقسم دورة النيتروجين إلى خمس عمليات رئيسية كما يوضح الشكل (1)، وهذه العمليات هي:

- تثبيت النيتروجين **la Fixation**
- الاستيعاب **Assimilation**
- التموين **Ammonification**
- النترجة **la Nitrification**
- نزع النتروجين l**a Dénitrification**

كل منها تلعب دورًا مهمًا في حركة النيتروجين عبر النظم البيئية المختلفة على الأرض:

**1.2 تثبيت النيتروجين la fixation:**

غاز النيتروجين الموجود في الغلاف الجوي غير صالح للاستعمال بالنسبة لأغلبية الكائنات الحية في العالم، ولكي تمتص الكائنات النيتروجين يجب أولاً تحويلها إلى شكل كيميائي آخر، ويتم تحقيق ذلك من خلال عملية عضوية تعرف باسم تثبيت النيتروجين. يتم تثبيت النتروجين الجوي **بطريقتين:**

**التثبيت الفيزيائي (الجوي) Fixation Physique**

هي عملية فيزيائية تنتج عن التأثير المؤين للبرق على غاز $N_2$ الذي يتحول إلى نترات $No_3$ والتي بدورها تتساقط مع مياه الأمطار على التربة والمياه السطحية . وتتوقف الكمية المثبتة بهذه الطريقة على الظروف المناخية و تتراوح عموما بين 10-20 كغ/ه.

**التثبيت الحيوي Fixation Biologique**

تعيش في التربة والمياه بعض أنواع البكتيريا والطحالب التي تدعى مثبتات النتروجين الجوي الخامل ($N_2$) إلى مركبات تستطيع النباتات الخضراء الاستفادة منها مثل النترات $No_3$ الذي يعتبر أهم مصدر نتروجيني للنبات على الإطلاق وذلك لسهولة امتصاصه. ومن أهم الكائنات الحية المثبتة للآزوت:

✓ كائنات حية تعيش حرة في التربة والمياه:

ومن أهمها **بكتريا Azotobacter** و **كلوستريديوم Clostridium** و يتبع هذه المجموعة أيضاً بعض أنواع الطحالب الخضراء المزرقة التابعة للأجناس: نوستوك Nostoc و انابينا Anabaena و Claoth rix والكمية التي تقوم بتثبيتها هذه الأنواع هي حوالي 5-10 كلغ/ه.

✓ البكتيريا تكافلية المعيشة:

مثل **الريزوبيوم rhizobium** المسؤولة عن التكافل مع البقوليات حيث تقوم بتحويل غاز النتروجين إلى أيونات الأمونيوم $NH_4$ وتتم العملية في العقد الجذرية لهذه النباتات والكمية المثبتة بهذه الطريقة حوالي 200-500كغ/ه/سنة آزوت.

**Chapitre 5: Nutrition azotée**

تقوم البكتيريا التكافلية باختراق شعيرات جذور النبات محدثة عقداً جذرية لتعيش فيها وتقدم للنبات النتروجين في حين تقدم النبتة لها المواد العضوية اللازمة لحياتها وتعتمد الكمية المثبتة على عدة عوامل تشمل: البكتيريا والظروف البيئية السائدة لذلك لا تحتاج البقوليات لأسمدة آزوتية وعند استعمال الأسمدة الآزوتية تكون النتائج سلبية على عملية التثبيت. وتلعب عملية التثبيت الآزوتي في البقوليات دورًا هاماً في إنتاج البروتين في العالم لاسيما أن الأسمدة النتروجينية مكلفة و تساهم في تلوث البيئة.

- ✓ أنواع من الفطريات البسيطة التي تعيش في تكافل مع بعض أنواع أشجار الغابات التابعة للفصائل التالية Salicaceae, Casuarinaceae, Fagaceae : و الزيزفون Elaegnus و النغت Alnus.

يوجد العديد من الأبحاث التي تحاول تطوير حياة تكافلية بين الأنواع المثبتة للنتروجين والمحاصيل الاقتصادية مثل القمح وفي حال نجاح هذه المحاولات ستقل حاجة الإنسان إلى الأسمدة النتروجينية وسيزداد معها إنتاج الغذاء في العالم ويقل التلوث.

### 2.2 الاستيعاب Assimilation:

تقوم النباتات الخضراء بامتصاص النتروجين المثبت على شكل أيونات النترات $NO_3$ السالبة أو أيونات الأمونيوم $NH_4$ الموجبة بواسطة الأوبار الماصة حيث تستعملها في بناء الأحماض الأمينية ثم البروتينات ومن ثم تأتي المستهلكات وتتغذى على المنتجات فتتحول البروتينات النباتية إلى بروتينات حيوانية.

$NO_3 \longrightarrow NO_2 \longrightarrow NH_3 \longrightarrow$ أحماض أمينية $\longrightarrow$ بروتينات

↓ نترات ↓ نتريت ↓ أمونيا

### 3.2 تكوين الأمونيا و النشدرة Ammonification:

بعد موت هذه الكائنات أو تفرز نفايات يكون الشكل الأولي للنيتروجين عضويا. و بذلك يجري تفكك البقايا العضوية إلى عناصرها الأولية فتتحول فيها الامينات إلى أحماض عضوية لتعدين النتروجين العضوي إلى أمونيا $NH_3$ نشادر بوجود الماء و تحت تأثير الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن النشدرة تكون تابعة للأجناس **Pseudomonas، Bacillus**. حسب المعادلة التالية:

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \longrightarrow NH_3 + RO_4 + E \text{ طاقة}$$

و الأمونيا الناتجة تكون الأمونيوم $NH_4^+$ وهي عملية تسمى التمعدن (Minéralisation). حسب المعادلة التالية:

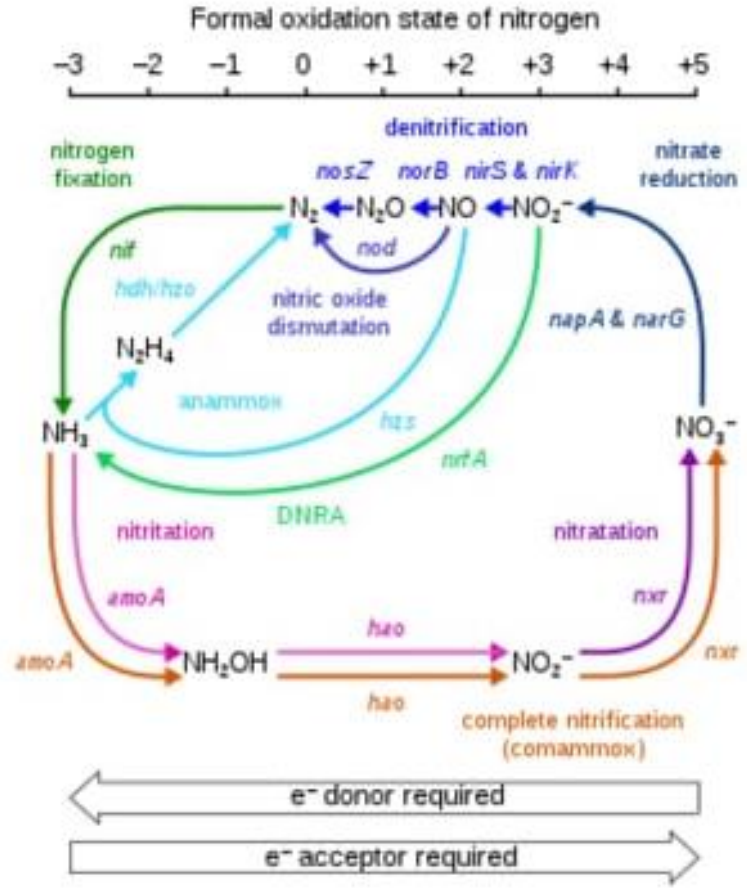
$$NH_3 + H_2CO_3 \longrightarrow (NH_4)_2\,CO_3$$

$$(NH_4)_2\,CO_3 \longrightarrow 2NH_4 + CO_3$$

**Chapitre 5: Nutrition azotée**

الإنزيمات المعنية (شكل 2) هي:

- GS : Gln Synthétase
- GOGAT : Glu 2-oxyglutarate aminotransférase
- GDH : Glu déshydrogénase




### 4.2 النترجة:

النترجة هي جزء أساسي من دورة النيتروجين، حيث يتم تحويل الأمونيا $NH_3$ إلى حمض نتريت $HNO_2$ ثم إلى حمض نترات $HNO_3$، وهي عملية أكسدة ويتم تنفيذ هذا على مرحلتين هما:

- النترزة Nitrition: تتمثل في تحويل الأمونيا إلى حمض النتريت ثم إلى نتريت، باتحاد مع قواعد التربة والبكتيريا المسؤولة عن النترزة من جنس nitrosomonas و ذلك حسب المعادلة:

$$NH_3 + 3/2O_2 = HNO_2 + H_2O$$

- النترتة Nitratation: تتضمن أكسدة حمض النتريت و النتريت الناتج في الخطوة الأولى إلى حمض النتريك و النترات، البكتيريا التي تقوم بذلك تابعة للجنس Nitrobacter حسب المعادلة:

$$O_2 + 2HNO_2 = 2HNO_3$$

**Chapitre 5: Nutrition azotée**

هناك **شروط تتحكم في عملية النترجة**

- توافر التهوية الجيدة يساهم في الإسراع في عملية النترجة
- توافر رقم هيدروجيني متعادل يساهم في الإسراع في عملية النترجة
- توافر درجات حرارة دافئة (حتى 40 م) تساعد على زيادة سرعة النترجة وتقل سرعتها كلما انخفضت درجة الحرارة وهذا يلاحظ في المناطق الشمالية الباردة والجبال العالية حيث البقايا العضوية تبقى مكدسة فوق سطح التربة ولا تتحلل إلا ببطء شديد ولذلك تجد النباتات صعوبة في التغذية الآزوتية.

### 5.2 نزع النيتروجين dénitrification:

وهي عملية اختزال بيولوجي للنترات والنتريت الى غازات متطايرة وتقوم بهذه العملية الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة تحت ظروف لاهوائية و يستخدم هذه الكائنات النترات و النتريت كمصدر للأوكسيجين محولا إياه إلى أوكسيد النتروز($N_2O$) أو غاز النتروجين و هذه الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن هذه العملية تتبع الفصائل Pseudomonas, Micrococcus, Bacillus و هناك أنواع أخرى من البكتيريا ذاتية التغذية و لها القدرة على القيام بذلك منها Thiobacillus thiobories, Thiobacillus, denitrification.

تقوم عملية نزع النتروجين بإزالة النترات والنتريت من النظم البيئية وإعادتها إلى الغلاف الجوي كغاز ثنائي النيتروجين وهو الشكل الأكثر وفرة فيه، ومن هنا يخضع النيتروجين المعاد توزيعه للخطوات الأخرى في الدورة من أجل إبقائه ينتقل من النظام البيئي، مما يغذي نمو الكائنات الحية حول العالم.

### 3. العوامل التي يمكن أن تغير دورة النيتروجين:

بعض العوامل الطبيعية التي يمكن أن تغير دورة النيتروجين تشمل درجة الحرارة والرطوبة ودرجة الحموضة ... ومع ذلك سيكون من المفهوم أن النشاط البشري هو للأسف العامل الأكثر تأثيرًا على تعديل دورة النيتروجين. فالأسمدة التي ننشرها غنية بالأمونيا ($NH_3$) والأمونيوم ($NH_4^+$) والنترات($NO_3^-$)

فالإنسان من خلال أنشطته المختلفة يدخل مصادر نتروجينية جديدة إلى دورة الأزوت مثل:

الملوثات الهوائية وخاصة الناتجة عن حرق الوقود الحفري، تنتج كميات كبيرة من أكاسيد النتروجين قد تصل إلى حوالي 50 كغ/ه /سنة في المناطق الصناعية وهذا ما يساهم في زيادة حدة الأمطار الحامضية.

الإنتاج الزراعي المكثف لسد حاجات العالم من الغذاء وهذا يعني إضافة كميات كبيرة من الأسمدة النتروجينية المصنعة للتربة، تقوم الأسمدة الآزوتية بتلويث التربة مرتين وتستنزف كميات كبيرة من الطاقة عند تصنيعها وخروج ملوثات بيئية، وعند استعمال هذه الأسمدة في الزارعة يترتب على ذلك غالباً تلوث المياه السطحية والجوفية وهذا يعود لسرعة ذوبان الأسمدة في المياه.

**Chapitre 5: Nutrition azotée**

إضافة كميات كبيرة من المركبات النيتروجينية مع المياه العادمة المعالجة وغير المعالجة إلى التربة ومصادر المياه، واضافتها لبعض الأغذية .حيث تعتبر النترات إحدى الملوثات المائية المهمة وذلك لأن النترات تسبب عدة أمراض.

**4. الأهمية الحيوية لدورة النيتروجين في النظام البيئي**

- ✓ توفر النيتروجين اللازم لبناء المواد النيتروجينية الضرورية لتغذية الكائنات الحية، وبناء الإنزيمات وبروتوبلازم الخلية، وبعض القواعد النيتروجين في المادة الوراثية وتأثيرها ونقل الصفات الوراثية، وإتمام عمليات الأيض .
- ✓ تؤدي إلي ثبات نسبة النيتروجين في الجو، وبالتالي تساعد على عدم انتشار الحرائق في النظام البيئ.
- ✓ تلعب دوراً أساسياً في عملية الاتزان البيئي، حيث إنّ أي زيادة في نسبة المركبات النيتروجينية تؤدي إلى حدوث تلوث حيوي.

**5. تأثير الزيادة في النيتروجين على النظام البيئي**

مثل معظم الدورات والعمليات الطبيعية الأخرى تتعطل دورة النيتروجين بشدة بسبب النشاط البشري، حيث يؤدي استخدام بعض الأسمدة القائمة على النيتروجين وحرق الوقود الأحفوري إلى زيادة كمية النيتروجين القابل للاستخدام بيولوجيًا الموجود عادةً في النظام البيئي في أي وقت، وغالبًا ما يكون هذا النيتروجين عاملاً مقيدًا مهمًا للنظم البيئية، وبالتالي فإن النشاط البشري الذي يزيد من تثبيت النيتروجين في نيتروجين قابل للاستخدام له تأثير عميق على نمو النظم البيئية في جميع أنحاء العالم .يمكن للكثير من النيتروجين أن يسمم بالفعل العديد من النظم البيئية، مما قد يؤدي إلى اختلال التوازن في العناصر الغذائية الموجودة في النباتات والأشجار، مما له تأثير عميق ليس فقط على دورة النيتروجين والنظام البيئي ولكن أيضًا على دورة الكربون . وبالمثل فإن الوفرة المفرطة للنيتروجين الثابت الموجود في التربة يمكن أن تتسبب في تسرب النترات إلى النظم البيئية القائمة على الماء، وكذلك إيجاد طريقها إلى مياه الشرب للإنسان والحيوان على حد سواء، كما يمكن أن تؤدي الزيادة في النيتروجين إلى انخفاض مستويات الأكسجين في الماء، مما يتسبب في موت النباتات والحيوانات على حد سواء، ويمكن أن يحفز نمو الطحالب الضارة، ويمكن أن يغير بشكل كبير توازن النظام البيئي ككل.