

*Etude bibliographique de  
l'Azolla ou la « ramilamina »  
plante fertilisatrice d'Azote (N<sub>2</sub>)*

Rahagarison\*

**Résumé**

Cet article est une contribution à l'étude bibliographique de l'Azolla, une petite plante (fougère) aquatique qui vit en symbiose avec une algue bleue, l'anabaena.

Sa principale caractéristique est de fixer l'azote (N<sub>2</sub>) de l'air grâce à son symbiote, c'est pourquoi on l'utilise comme engrais verts en riziculture.

Cette étude nous permet de dégager d'une part la systématique, la répartition géographique mondiale, la morphologie, le cycle de vie, l'écologie et l'usage de l'Azolla et d'autre part comment l'Azolla fixe l'azote de l'air.

Mots clés : engrais verts, Azolla, Anabaena, Azote atmosphérique, Reproduction végétative (asexuée), Reproduction sexuée, Diazotrophie, Conditions écologiques.

**Abstract**

This is a contribution to the bibliographical study of the Azolla, an aquatic small plant (fern) living in symbiosis with a blue alga, the anabaena.

Its main feature consists in fixing the nitrogen (N<sub>2</sub>) in the air thanks to its symbiot which accounts for its use as a green fertilizer in rice cultivation.

This study will enable us to put forward; on the one hand the systematic, the geographical distribution in the world, the morphology, the cycle of life, the ecology as well as the use of the Azolla, and on the other hand the way the Azolla fixes the nitrogen of the air.

---

\*Enseignant-chercheur en ethno-botanique à l'ICMAA de l'Université d'Antananarivo.

## **Introduction**

Actuellement, l'autosuffisance alimentaire est un objectif prioritaire reconnu. A Madagascar, en particulier, personne n'ignore que la nourriture de base des Malagasy est le riz, c'est pourquoi la riziculture occupe plus de la moitié de la surface cultivée et constitue l'activité principale des paysans.

Il est en effet indispensable d'accroître au maximum la production de paddy car la consommation augmente constamment. A cause d'une production faible, le pays est obligé d'en importer parce que le besoin national est loin d'être satisfait..

Depuis de nombreuses années, divers expérimentateurs à Madagascar se sont penchés sur l'étude des possibilités d'accroissement des rendements par l'utilisation rationnelle des engrais minéraux. De bons résultats ont été obtenus. Cependant actuellement, l'emploi de tels engrais reste encore faible. Les causes en sont les suivantes :

- le coût des engrais n'est pas à la portée des paysans
- l'insuffisance et/ou le mauvais état des infrastructures routières se traduisent par la non disponibilité des engrais sur les lieux d'utilisation au moment opportun.

Mais il apparaît que l'Etat malagasy cherche à remédier à ce problème en instaurant un nouveau système de distribution au niveau des agriculteurs par facilitation de crédits en intrants.

En ce qui concerne l'Azote comme fertilisateur, on sait que le riz répond bien à cet élément.

Les variétés de riz de rendement élevé ont été sélectionnées sur la base de leurs réponses à de fortes quantités d'engrais azotés. Pour une récolte de 3 t/ha de paddy, 60 kg N/ha environ sont nécessaires et les variétés intensives ont besoin de 50 à 130 kg de N<sub>2</sub>/ha (Murayama 1979).

Or la consommation des pays producteurs de riz est seulement de 16 % de la production mondiale des engrais azotés, soit une quantité qui ne dépasse pas 20 kg de N<sub>2</sub>/ha (Dreier 1982).

Aussi, est-il urgent de rechercher des sources supplémentaires d'azote pour une meilleure production de riz à Madagascar.

Dans ce domaine en raison des coûts énormes de fertilisateurs azotés, on tente de remplacer partiellement les engrais minéraux par les engrais organiques.

Tout d'abord, par engrais organiques, il faut entendre non seulement le fumier des animaux de ferme, mais encore les débris végétaux, les cultures fourragères ou autres, enfouis dans le sol comme engrais verts. Mais en général, on ne peut pas procéder dans l'immédiat à la vulgarisation de telles fumures.

Le principal problème est le choix de la plante à utiliser comme engrais verts : des légumineuses, des non légumineuses, des micro-organismes libres ou symbiotiques. Pour un pays en développement comme Madagascar, l'utilisation des légumineuses à vocation alimentaire n'en est pas au premier essai. D'une part comment conseiller un paysan à cultiver une production à enfouir dans le sol, alors qu'il est déjà difficile de lui faire améliorer la culture d'où il tire sa substance (Vaille 1966). D'autre part, les conditions climatiques ne permettent pas d'avoir une bioproduction intense des légumineuses tropicales pour satisfaire le besoin en engrais verts : en exemple les résultats négatifs des essais entrepris par Roche et Velly (1961) sur le soja et les arachides sur les Hautes Terres centrales.

Parmi les plantes inférieures, les micro-organismes libres ont un intérêt agronomique peu important ; par contre ceux qui vivent en symbiose avec d'autres plantes supérieures se trouvent en meilleure place pour être utilisées : *l'Anabena-azollae*, algue bleue symbiote d'*Azolla* est un cas rare parmi d'autres. Notons que l'*Azolla* est une petite fougère aquatique que l'on rencontre un peu partout à Madagascar (Cabanis 1969). Signalons par ailleurs que cette plante a une croissance très rapide : sa masse fraîche double en 3 à 7 jours dans les pays à climats tropicaux et subtropicaux (Watanabe *et al.* 1977).

Ayant une teneur entre 3 et 5% en  $N_2$  sur la base de matière sèche (Becking 1979 ; Singh 1979), une masse de 10 à 20 t d'*Azolla* (masse atteinte en 20 à 30 jours allant d'une masse d'inoculation de 200 à 400  $g/m^2$ ) apporte après la décomposition une quantité de 30 à 60 kg  $N_2/ha$  au sol, assimilable à un taux de 60 à 75 %, après 6 semaines de minéralisation (Singh 1979).

En général, d'après Srinivasan (1983), le rendement en paddy dans une rizière azollée par 10 t d'*Azolla/ha* peut augmenter de 15 à 20 %.

Vu cette importance de l'*Azolla* comme fertilisateur azoté, nous avons essayé de faire une étude bibliographique de cette plante appelée communément la plante miraculeuse par les pays asiatiques grands producteurs de riz.

Cette étude nous permet de dégager la systématique, la répartition géographique, l'écologie, la morphologie, le cycle de vie et les usages de la plante.

## 1 – SYSTEMATIQUE ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE DANS LE MONDE

Selon Lumpkin et Plucknett (1982) AZOLLA est une plante qui appartient à :

- l'Embranchement des PTERIDOPHYTES
- la Classe des FILICOPHYTES
- l'Ordre des SALVINIALES
- la Famille des AZOLLACEES où le genre *Azolla* est l'unique représentant de la famille (Konar et Kapoor 1974 ; Lumpkin et Plucknett 1982). Cependant, il faut noter que d'autres auteurs comme Hills et Gopal (1967) ont classé l'*Azolla* dans la famille des SALVINIACEES, qui comprend selon eux deux genres : *Azolla* et *Salvinia*.

Nous parlerons particulièrement ici d'*Azolla* et laisser de côté *Salvinia*.

*Azolla* est un genre avec six espèces, réparties en deux sections ou sous-genres qui se différencient par le nombre des flotteurs des mégaspores (Moore 1969), et qui sont :

- *Azolla* ou *Euazolla*
- *Rhizosperma*.

### 1.1 - Section *Azolla* ou *Euazolla*

Cette section est caractérisée par la présence de trois flotteurs dans les mégaspores (Hills et Gopal 1967 ; Becking 1979). Elle comporte quatre espèces et leur identification est basée principalement sur des caractères microscopiques des organes reproducteurs. C'est une section originaire d'Amérique mais actuellement distribuée dans le monde entier.

Les quatre espèces sont les suivantes :

1.11 – *Azolla caroliniana* Willd, qui est très largement répandue dans le Nord-Est des Etats-Unis jusqu'en Argentine (Ducan 1960), est en outre introduite en Asie (Svenson 1944) et en Europe (Massol 1950).

1.12 – *Azolla filiculoides* Lam, dont la distribution en Amérique est sensiblement la même que celle d'*Azolla caroliniana* est actuellement présente en Afrique du Sud (Ashton et Halmesley 1984), en Asie, en Europe et en Océanie (Svenson 1944 ; Williams 1943, 1944).

1.13 – *Azolla mexicana* Presl, exclusivement américaine, s'étend du Canada à la Bolivie (Svenson 1944).

1.14 – *Azolla microphylla* Kaulfuss est latino-américaine, sa distribution reste néanmoins encore mal définie (Svenson 1944).

## 1.2 – Section Rhizosperma

Cette section est caractérisée par de mégasporocarpes à neuf flotteurs (Hills et Gopal 1967 ; Becking 1979). Elle est par contre originaire de l'ancien Monde. Elle comprend seulement deux espèces :

1.21 – *Azolla nilotica* de Caisne, espèce endémique de l'Afrique de l'Est depuis le Soudan jusqu'au Mozambique, il se distingue aisément de toutes les autres espèces par sa grande taille, (plus de 20 cm), et le port dressé des tiges ainsi que par des racines en touffes compactes à chaque nœud (Van Hove *et al.* 1983).

1.22 – *Azolla pinnata* R. Brown est très largement répandue presque dans toute l'Afrique, en Asie, en Océanie, et à Madagascar (Cabanis *et al.* 1969). Les frondes de cette espèce ont une forme assez caractéristique, presque équilatérale (Kim Pham 1982), par opposition à celle des espèces de la section *Azolla*, qui sont plus ou moins rondes. Reynaud (1984) signale l'existence de trois variétés :

- *Azolla pinnata* – var. *pinnata*
- *Azolla pinnata* – var. *imbricata*
- *Azolla pinnata* – var. *africana*

## 2 – REPARTITION GEOGRAPHIQUE A MADAGASCAR

Parmi ces six espèces du genre *Azolla* actuellement reconnues dans le monde, une seule existe à Madagascar, l'*Azolla pinnata* R. Brown ; (Cabanis 1969). Elle est signalée presque sur toutes les Hautes Terres notamment en Imerina, au Vakinankaratra, dans le Betsileo, mais aussi dans le Nord-Ouest de Madagascar dans le lac Kinkony, et dans le Sud à Bezaha. Elle possède plusieurs noms vernaculaires : le *Ramilamina* en Imerina et au Vakinankaratra (Boiteau *et al.* 1966) ; *Manontona* dans la région du Betsileo (Descheemaeker 1975) ; *Savamikipy* dans d'autres régions de l'île (Cabanis 1969).

## 3 – MORPHOLOGIE

### 3.1 – Azolla

D'après la description faite par Van Hove *et al.* (1983) : une plante d'*Azolla*, généralement dénommée « fronde » est constituée d'une tige principale, croissant à la surface de l'eau avec des feuilles alternes ainsi que des racines adventives se formant à intervalles réguliers. A l'aisselle de certaines feuilles se

développent des tiges secondaires ayant les mêmes caractéristiques que la tige principale et pouvant porter à leur tour des tiges de troisième ordre. Chaque feuille est bilobée, le lobe supérieur, flottant, contient le pigment vert, chlorophylle, alors que l'autre inférieur, immergé est non chlorophyllien et incolore. Dans certaines conditions le lobe supérieur contient aussi de l'anthocyanine qui lui confère une couleur brun rougeâtre (Ashton et Walmsley 1976 ; Subudhi et Shing 1979). C'est le lobe supérieur avec la présence d'une cavité qui contient une « cyanobactérie », strictement symbiote, dénommée *Anabaena-azollae* (Strasburger 1873 ; Ashton et Walmsley 1976).

### 3.2 – Anabaena-azollae

C'est une cyanobactérie appartenant à la famille des NOSTOCACEES (Peters *et al.* 1982). Elle se présente sous forme de filaments non ramifiés, constitués de deux types de cellules : les cellules végétatives qui sont plus nombreuses et plus petites que le deuxième type de cellules appelées hétérocystes. Ces dernières se reconnaissent facilement grâce à leur pigmentation jaunâtre et aux granules polaires très réfringents situés au point de jonction avec les cellules végétatives et elles possèdent en outre une paroi épaisse. Les hétérocystes sont le siège de la fixation de l'Azote atmosphérique (Haselkorn 1978 ; Peters *et al.* 1979 ; Blondeau 1980 ; Van Hove *et al.* 1983). Hill (1977) a noté que le développement d'*Anabaena* est synchrone avec celui de l'*Azolla* durant la formation de la cavité de la feuille. Au départ les filaments d'*Anabaena* générateurs de la colonie dans le méristème apical de la fougère sont formés uniquement de cellules végétatives. Lorsque le développement de la cavité foliaire commence, les hétérocystes commencent aussi à se différencier des cellules végétatives (Peters *et al.* 1982). Les deux types de cellules d'*Anabaena* communiquent entre eux par l'intermédiaire d'un pore (Blondeau 1980).

Dans l'association *Azolla-Anabaena*, des échanges mutuels entre les deux partenaires s'effectuent comme suit : l'*Azolla* fournit à l'algue des composés carbonés, par contre l'*Anabaena* approvisionne son hôte en composés azotés (Ashton et Walmsley 1976). Ces échanges entre hôte et endophyte se font grâce aux poils bi- et/ou pluricellulaires provenant des cellules épidermiques qui bordent la cavité foliaire de l'*Azolla* où loge *Anabaena* (Peters *et al.* 1982 ; Van Hove *et al.* 1983 ; Calvert *et al.* 1985).

### 3.3 – Reproduction

Pour l'*Azolla*, on rencontre 2 types de mode de reproduction : la reproduction sexuée ou générative et la reproduction asexuée ou multiplication végétative.

La figure suivante schématise le cycle de reproduction d'Azolla

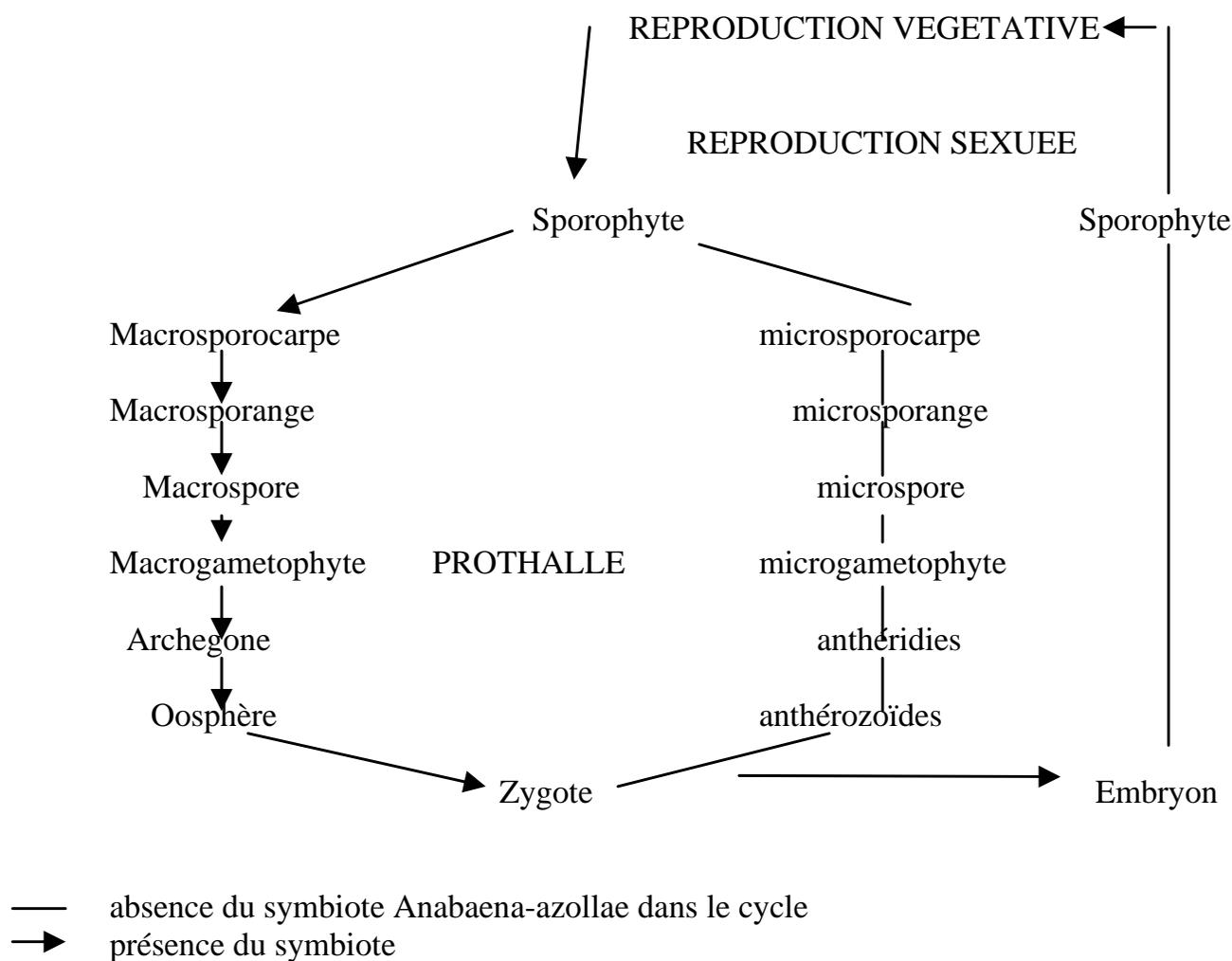


Fig. 1 : Schéma du cycle de reproduction d'Azolla (Ashton et Walmsley 1976 et Becking 1979)

La reproduction se fait par voie végétative pendant les conditions climatiques favorables et par voie générative avant la saison défavorable caractérisée par une forte chaleur ou un froid intense (Becking 1979). Azolla est hétérospore. La symbiose est maintenue durant le cycle sexuel (Ashton et Walmsley 1976 ; Peters *et al.* 1982). Les cellules d'Anabaena, notamment les akinètes (akinétospores) sont enfermées à l'intérieur des macrosporocarpes. Elles sont enfoncées dans une cavité sous le chapeau de l'indusie du macrosporangie. Après fécondation de l'oosphère, un zygote se forme et se développe en sporophyte avec son algue associée.

## 4 – CONDITIONS ECOLOGIQUES

Azolla est une plante fragile qui exige un certain nombre de facteurs pour vivre, pour se développer et pour croître. Parmi ces facteurs on peut citer : l'eau, la température, la lumière, le pH de l'eau.

### 4.1 – Besoin en eau

#### 4.11 – Taux d'humidité

Etant une plante purement aquatique, Azolla ne peut pas résister à un taux d'humidité inférieure à 60 %. C'est une plante fort sensible à la sécheresse qui meurt en quelques heures si le sol s'assèche (Becking 1979).

#### 4.12 – Hauteur d'eau

Selon Van Hove *et al.* (1983), la croissance d'Azolla est favorisée par une couche d'eau n'excédant pas quelques centimètres : 5 à 10 cm. Cela favorise la nutrition minérale puisque les racines sont proches du sol.

#### 4.13 – Salinité

Comme étant une plante d'eau douce, Azolla ne supporte qu'un certain degré de salinité, allant de 0,05 à 0,1 % (Nandabalan et Kannaiyan 1986). Sa croissance s'arrête dans une solution contenant 1,3 % de sels (Haller *et al.* 1974).

### 4.2 – Température ; intensité lumineuse

La répartition géographique du genre Azolla indique que celui-ci s'adapte à des conditions climatiques extrêmement variées.

- Pour la température l'optimum se situe entre 20° C et 30° C dans une couche d'eau de 5 cm à 10 cm d'épaisseur (Singh 1979 ; Watanabe *et al.* 1979) et Azolla peut survivre entre 15° C et 40° C (température ambiante de l'air) (Becking 1979).
- Pour l'intensité lumineuse, en conditions thermiques optimales, la saturation est atteinte à environ 50 % de l'intensité maximale. La croissance reste toutefois bonne, même aux intensités lumineuses maximales (Becking 1979 ; Van Hove *et al.* 1983).

### 4.3 – Le pH

Azolla est particulièrement tolérant en ce qui concerne le pH du milieu. Il survit dans une gamme allant de pH 3,5 à 10 et sa croissance est pratiquement

identique de pH 4,5 à 7 (Ashton 1974 ; Watanabe *et al.* 1977 ; Peters *et al.* 1980 ; Lumpkin et Plucknett 1980 ; 1982).

## 5 – BESOINS NUTRITIONNELS

Le besoin en minéraux de l'Azolla comprend les macroéléments P, K, Ca, Mg et Mn et les microéléments Fe, Mo, Co (Tuan et Thuyet 1979 ; Becking 1979 ; Lumpkin et Plucknett 1980 ; 1982).

Selon Becking (1979), les carences en ces éléments entraînent les diminutions des croissances indiquées dans le tableau 1.

CARENCE EN N <sub>2</sub>							
Eléments	Témoin	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe
Taux de diminution de la croissance	100 % en poids frais Croissance minimum	22 %	30 %	5 %	82 %	23 %	11 %

Tab. 1 : Taux de diminution de la croissance d'Azolla dans les conditions de carence (Becking 1979)

Et comme seuil de croissance minimum dans le milieu de culture les valeurs suivantes ont été déterminées par Yatazawa *et al.* (1980) : P (0,03 mm/litre) ; K (0,4 m M/litre) ; Mg (0,4 m M/litre) ; Ca (0,5 mM/litre) mn (20 µg/l) sur des frondes poussant 3 semaines dans la même solution.

Mais la caractéristique la plus remarquable dans ce domaine nutritionnel est l'indépendance totale à l'égard de la source d'Azote. Azolla croît parfaitement en absence d'azote combiné (Van Hove *et al.* 1983 ; Reynaud 1984).

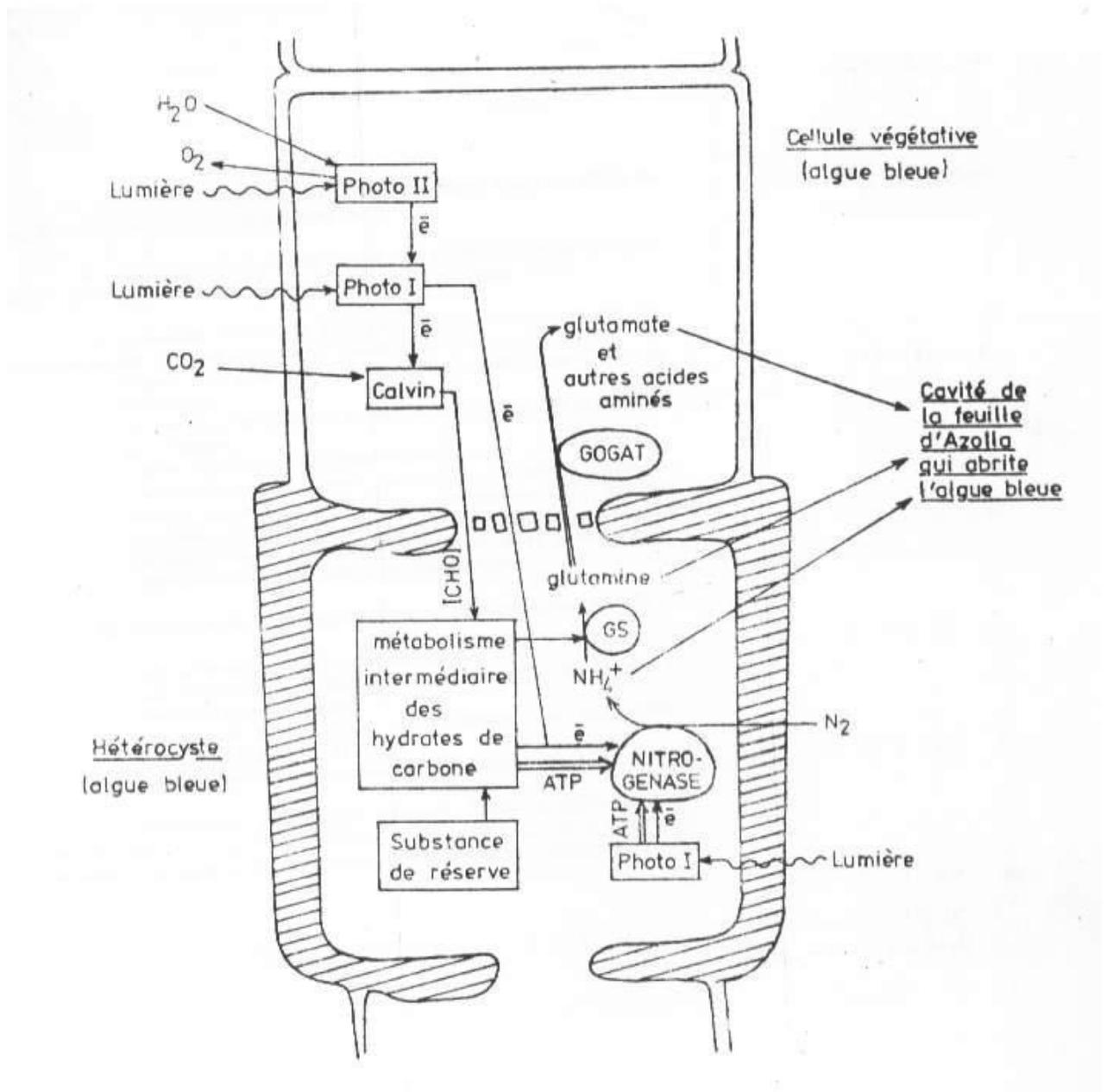


Fig. 3 : Schéma du mécanisme de la réduction de  $N_2$  dans les hétérocystes d'*Anabaena-azollae* et des relations avec les cellules végétatives (Hazelkorn 1978 et Blondeau 1980)

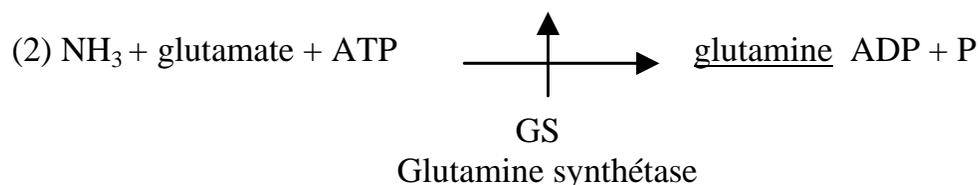
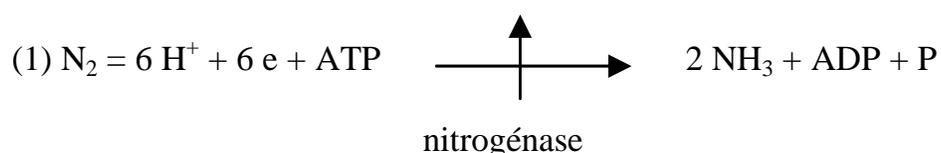
## 6 – DIAZOTROPHIE ou FIXATION BIOLOGIQUE D'AZOTE

On sait qu'un certain nombre d'organismes procaryotes possèdent la propriété d'utiliser comme source d'azote pour leur métabolisme l'Azote atmosphérique, alors que les végétaux supérieurs en sont incapables et dépendent des composés azotés, tels que nitrates ( $\text{NO}_3$ ), ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), ammoniacque [ $\text{NH}_4(\text{OH})$ ], urée, présents dans le sol ou fournis par les symbiotes.

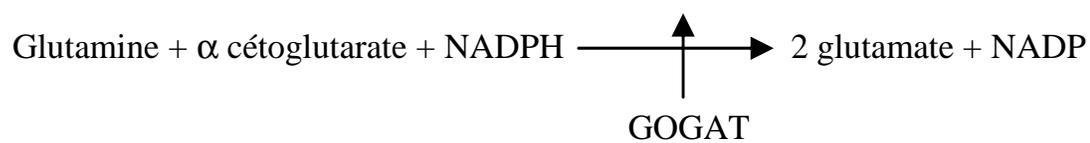
Pour *Azolla*, son principal intérêt agronomique réside dans son association avec la cyanobactérie, *Anabaena azollae* qui lui permet de fixer l'azote atmosphérique par un mécanisme voisin de celui de la bactérie *Rhizobium* dans les légumineuses (Peters *et al.* 1979), comme le soja.

Selon Haselkorn (1976) et Blondeau (1980), ce mécanisme se présente suivant le schéma de la figure 3.

A l'intérieur des hétérocystes, l'azote est réduit en  $\text{NH}_3$  en présence de l'enzyme nitrogénase, puis entre dans la formation de la glutamine, suivant les réactions globales (1) et (2) :



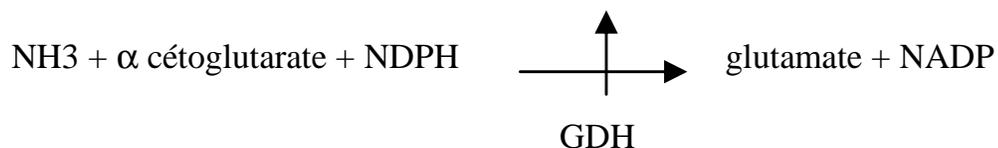
La glutamine passe dans les cellules végétatives voisines où elle se transforme en glutamate et ultérieurement en acides aminés divers, grâce à l'action de l'enzyme, la glutamine cétoglutarate amino transférase (GOGAT) :



Comme la GS est beaucoup plus concentrée dans les hétérocystes que dans le reste des filaments alors que la Gogat y est pratiquement absente, on pense que la glutamine synthétisée dans les hétérocystes est rapidement exportée vers les cellules végétatives voisines (Blondeau 1980).

*Etude bibliographique de l'Azolla*

Plusieurs auteurs comme Blondeau (1980), Lumpkin et Plucknett (1982), ont préconisé que si  $\text{NH}_3$  se trouve en concentration élevée, il est incorporé dans un acide organique, le cétooglutarate pour donner le glutamate impliquant ainsi l'enzyme la glutamate déshydrogénase (GDH), avec la réaction globale suivante :



Mais tout récemment Meeks *et al.* (1985) ont démontré que c'est la voie métabolique GS/GOGAT qui est la plus importante par rapport à la voie GDH, étant donné la faible concentration en GDH dans les hétérocystes et la faible affinité de cette enzyme vis-à-vis du  $\text{NH}_3$ . En effet, ces auteurs ont trouvé que l'affinité de GS est 8 à 10 fois plus élevée que celle de GDH vis-à-vis du même substrat  $\text{NH}_3$ .

En bref, l'algue (*Azolla*) assimile l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) par l'intermédiaire de GS/GOGAT (Glutamine Synthétase/Glutamine Oxaloglutarate Amino-Transférase). Il y a d'abord synthèse de la glutamine dans les hétérocystes où il y a une forte proportion de GS. La glutamine synthétisée passe de la cellule végétative pour se transformer en glutamate par l'enzyme GOGAT et les réactions de transamination s'effectuent aussi dans la dite cellule pour conduire à la formation des molécules azotées.

Pour avoir une vue générale sur les différentes exigences biologiques de l'association *Azolla*-*Anabaena*, Ashton et Walmsley (1976), et Becking (1979) ont établi le schéma suivant.

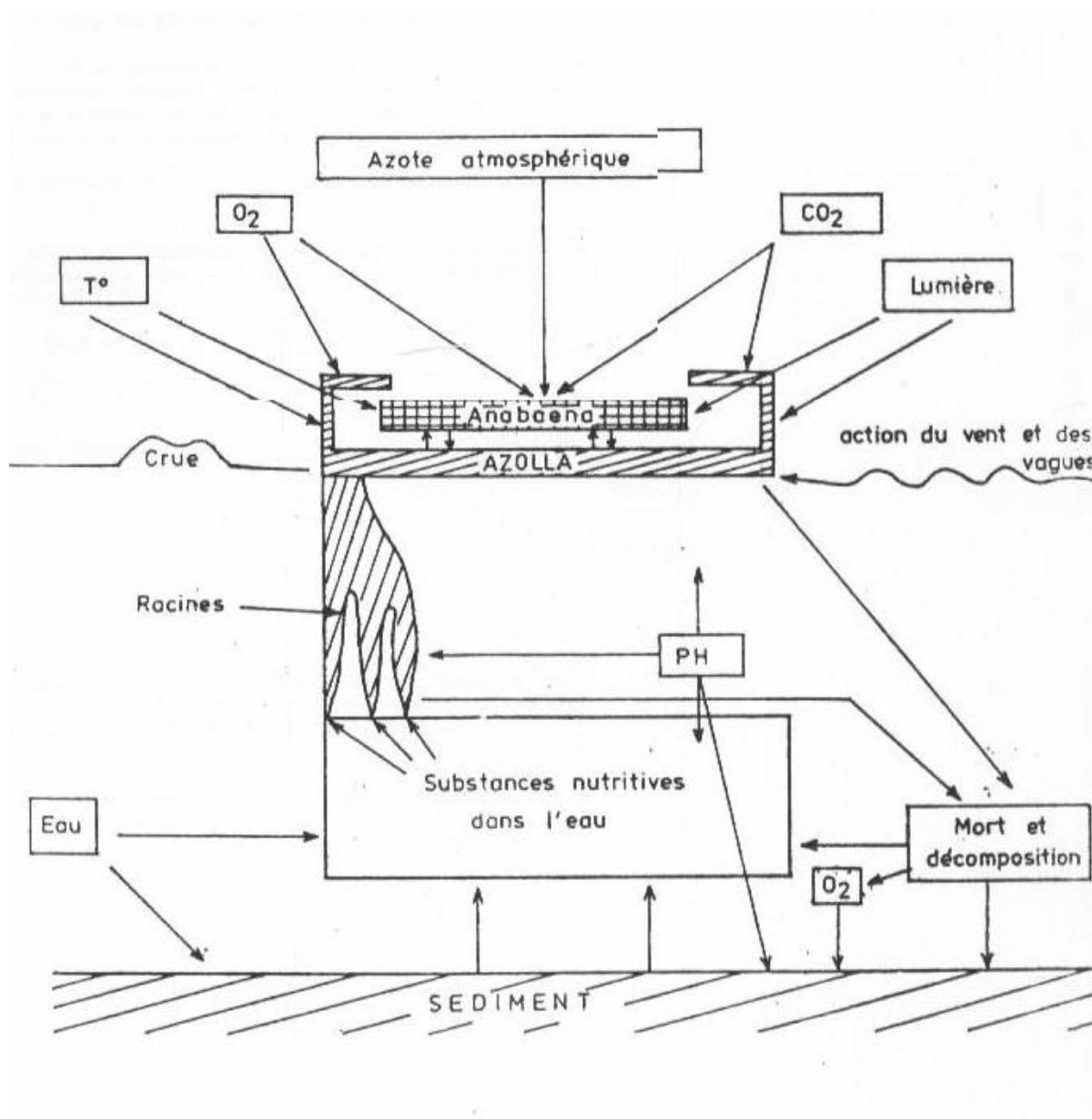


Fig. 2 : Représentation schématique de l'influence des facteurs externes sur la croissance d'Azolla et le symbiose Anabaena (Ashton & Walmsley 1976 ; Becking 1979)

## 7 – USAGES

Comme engrais azoté pour le riz, *Azolla* est cultivé depuis des siècles au Sud de la Chine et au Vietnam (Kim Pham 1982).

En outre, il est cultivé comme aliment pour animaux d'élevage tels que : canards, poules, porcs et même poissons (F.A.O. 1978 ; Reynaud 1984).

Ces applications ne sont pas les seules possibles, et des recherches sont entreprises en vue d'évaluer le potentiel d'utilisation d'*Azolla* comme :

- engrais verts pour des cultures sur terre ferme après fanage ou compostage ;
- aliment pour des animaux autres que ceux mentionnés ci-dessus et pour l'homme ;
- matière première pour digesteur à biométhane.
- Comme aliment pour l'homme, notons bien qu'*Azolla* ne semble pas toxique, et certaines préparations culinaires sont fort agréables (Lumpkin et Plucknett 1982) ; son utilisation en alimentation humaine se heurte cependant à la difficulté de se débarrasser des impuretés souvent associées au système racinaire.

Un certain nombre d'avantages secondaires a enfin été attribué à *Azolla* :

- diminution des pertes d'eau par évaporation,
- effet herbicide dû au tapis d'*Azolla* qui empêche les plantules de mauvaises herbes de croître,
- réduction de la prolifération des moustiques (Kim Pham 1982 ; Lumpkin et Plucknett 1982),
- amélioration de la texture des sols ... (Van Hove *et al.* 1983).

En pharmacopée traditionnelle malagasy, *Azolla* est utilisée comme dépuratif contre les hémorroïdes (Cabanis 1969) et pour faciliter la délivrance, c'est-à-dire l'expulsion du placenta lors d'un accouchement (Descheemaeker 1975).

## 8 – PERSPECTIVES

Depuis fort longtemps et compte tenu de l'intérêt de l'*Azolla* en riziculture, plusieurs recherches sur la physiologie de la croissance de cette fougère aquatique ont été faites dans les principaux pays producteurs de riz, notamment les pays asiatiques et quelques pays africains de l'Ouest.

A Madagascar, la présence d'une espèce endémique d'*Azolla* qui pousse spontanément presque partout sur les Hautes Terres et dans d'autres régions de l'Ile a suscité en nous l'idée de faire cette étude bibliographique et de projeter des travaux de recherches sur la bioproduktivité de cette petite plante « miraculeuse » en vue d'améliorer le rendement en riziculture malagasy. Dans la mesure du possible, on pourra travailler sur différentes souches importées d'*Azolla*.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Andrianjaka Ranoroosa A.**

1984. *Contribution à l'étude de l'efficacité des phosphorites des Iles Barren dans des sols de rizières de Madagascar utilisation du 32 P043-*. Thèse. E.E.S.S. Antananarivo.

**Ashton P.J.**

1974. The effect of some environmental factors on the growth of *Azolla filiculoides* Lam, *The Orange River* E.M.V. Zinderen-Bakker (ed.), Progress Report, Bloemfontein, South Africa, 123-138.

**Ashton P.J. & R.D. Walmsley**

1976. The aquatic fern *Azolla* and its *Anabaena* symbiot. *Endeavour* 35, 124 : 39-43.

**Ashton P.J. & R.D. Walmsley**

1984. The taxonomy and distribution of *Azolla* species in South Africa. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 239-247.

**Becking, J.H.**

1979. Environmental requirements of *Azolla* fr use in tropical rice production, *Nitrogen and Rice*. International rice Research Institute. Los Banos, Laguna, Philippines, 345-374.

**Bondeau, R**

1960. Fixation biologique de l'Azote atmosphérique. ISBN : 2

**Boiteau P., R. Capuron, H. Andriantsiferana & Rarimampianina**

1966. *Dictionnaire des noms malgaches des végétaux*. Institut Malgache de Recherches appliquées – Avarabohitra Itaosy Antananarivo.

**Boyer J.**

1976. L'aluminium échangeable : indices agronomiques, évaluation et correction de sa toxicité dans les sols tropicaux. *Cahiers ORSTOM sur Pédologie*, vol. XIV, 4 : 259-269.

**Brady C.N.**

1984. *The nature and properties of Soils*. New york: Mac Millan Publishing Company, 9<sup>th</sup> ed.

**Cabanis Y., L. Chabouis & F. Chabouis**

1969. *Végétaux et groupements végétaux de Madagascar et des Mascareignes*. Tome 1. B.D.P.A. Antananarivo.

**Calvert H.E., M.K Pense & G.A. Peters**

1985. Ultrastructural ontogeny of leaf cavity trichomes in *Azolla* implies a functional role in metabolite exchange. *Protoplasma* 129, 10-27.

*Etude bibliographique de l'Azolla*

- Chaminade R.**  
1985. Technique des essais en vase de végétation. *Agronomie tropicale*, Vol. XX, 11: 1100-1162, Paris.
- Dabin B.**  
1979. *La déficience en phosphore dans les sols tropicaux en tant que contrainte de la production agricole*. ORSTOM.
- Descheemaeker A.**  
1975. *Ravi-maitso*, 4<sup>e</sup> ed., Ambositra Fianarantsoa.
- Dreier W.**  
1982. Contribution à l'utilisation des engrais verts pour la production rizicole, *Bulletin de l'Académie Malgache*, Nouvelle série, Tome LX/1-2.: 63-72 Antananarivo.
- Ducan W.H.**  
1960. *Azolla caroliniana* Willd, *Georgia Amer. Fern. Jour*, 50 : 266-267.
- Duchaufour P.**  
1970. *Précis de Pédologie*. 3<sup>e</sup> édition. Paris VI : Masson et Cie 120, 78 – 79 – 80, 126-134.
- F.A.O.**  
1978. La multiplication de l'Azolla et son utilisation dans l'agriculture. *Bulletin pédologique* 41.
- Fried M. & R.E. Shapiro**  
1962. Soil plant relationships in on uptake. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 12, 91-112.
- Gachon L.**  
1973. Vieillessement de divers engrais phosphatés en relation avec le type de sol étudié par la méthode Chang et Jackson . *Ann. Agron.* 24, 5, 585-613.
- Haller W.T., D.L. Sutton & W.C. Barlome**  
1974. Effects of salinity on the growth of several aquatic macrophytes. *Ecology* 55: 891-894.
- Haselkorn R.**  
1978. Heterocysts. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29 : 319-344.
- Hills L.V. & B. Gopal**  
1967. *Azolla primaeva* and its phylogenetic significance. *Can. Jour. Bot.* 45 : 1179-1191.
- Isma**  
1981. *Handbook on phosphate fertilization*. Gembloux: Imprimerie J. Duculot. Belgium.

**Kim Pham**

1982. L'Azolla pinnata plante miracle des rizières du Vietnam. *Biofutur* : 11-21.

**Konar R.N. & R.K. Kapoor**

1974. Anatomical studies of Azolla pinnata. *Phytomorphology*, 22: 211-223.

**Lumpkin T.A. & D.L. Plucknett**

1980. Azolla : Botany, physiology and use as a green manure. *Economic botany* 34 ; 2 : 111-153.  
1982. Azolla as a Green Manure : Use Management in crops production. *Westview Tropical Agriculture* 5. Boulder, Colorado.

**Mandal B.K. & A.K. Bharati**

1983. Studies on multiplication of Azolla. *International Rice Research Newsletter*, Vol. 8, 1: 21-22.

**Massol M.**

1950. L'Azolla caroliniana contre les moustiques. Acad. Sci. et Let. Montpellier : *Bull.* 74/77 : 20-22.

**Meeks J.C., N. Steinberg, C.M. Joseph, C.S. Enperlin, P.A. Jorgensen & G.A. Peters**

1985. Assimilation of exogenous and dinitrogen derived  $^{13}\text{NH}_4^+$  by Anabaena-azollae separated from Azolla caroliniana. *Arch. Microbiol* 142, 229-233.

**Mengel K.**

1979. *Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze*. Verlag : VEB G. Fischer, Jena.

**Moore A.W.**

1969. Azolla : biology and agronomic significance. *Botanical Review*, New-York. 35 : 17-34.

**Morard P. & J.L. Gullo**

1970. *Minéralisation du matériel végétal en vue du dosage du phosphore, du potassium, du magnésium et du calcium au spectromètre à absorption atomique*. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, Physiologie végétale Appliquée.

**Murayama N**

1979. The importance of nitrogen for rice production In *Nitrogen and Rice*. International Rice Research Institute. Los Banos, Languna, Philippines ; 5-23.

**Nandabalan K. & S. Kannaiyan**

1986. Effect of salinity on Azolla pinnata. *International Rice Research Newsletter*, vol. 11, 3 : 9.

**Olivier R.**

1972. *Etude du statut phosphorique des sols de Madagascar*, 3è partie, IRAT Madagascar. Rapport de recherche 1971, doc. 313.

*Etude bibliographique de l'Azolla*

**Parker F.P.**

1973. Aluminium In *Diagnostic criteria for plants and soils* 3-11.

**Peters G.A., R.E. Toia Jr., W.R. Evans, D.K. Crist, B.C. Mayne & R.E. Poole**

1980. Characterization and comparisons of five N<sub>2</sub> fixing azolla-Anabaena associations. I. Optimizatón of growth conditions for biomass increase and N content in a controlled environment. *Plant, Cell and Environment*, 3 : 261-269.

**Peters G.A., H.E. Calvert, D. Kaplan, O. Ito & R.E. Toia Jr**

1982. The Azolla-Anabaena symbiosis : morphology, physiology and use. *Israel J. Botany* 31 : 305-323.

**Pettersson A., L. Hallbom & B. Bergman**

1985. Physiological and structural responses of the cyanobacterium Anabaena cylindrica to aluminium. *Physiol. Plant.* Copenhagen, 63 : 153-158.

**Reynaud P.**

1984. *Ecophysiologie des Cyanobactéries fixatrices d'Azote, libres ou en symbiose (Azolla) dans la zone tropicale sèche, perspectives agronomiques.* Thèse. Université d'Aix Marseille II. Faculté des Sciences de Luminy.

**Roche P.**

1967. Contribution à l'étude du statut phosphorique des sols de Madagascar. Influence sur les problèmes de fertilité. *Agron. Trop.*, 3 : 249-308.

**Roche P. & J. Velly**

1961. Efficacité des cultures d'engrais verts dans le maintien de la fertilité de quelques types de sols à Madagascar. *Agron. Trop.* 1 : 7-51.

**Singh P.K.**

1979. Use of Azolla in rice production in India. In : *Nitrogen and Rice* International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philipines, 407-418.

**Srinivasan S.**

1988. Effect of Azolla manuring with nitrogen fertilization. *International Rice Research Newsletter* 8 : (2), 18.

**Strasburget, E.**

1873. *Veber Azolla.* Hermann Davis, Jena.

**Subudhi, B.P.R. & I. Watanabe**

1981. Differential phosphorus requirement of Azolla species and strains in phosphore limited continuous culture. *Soil Sci. Plant. Nutr.*, 27, 2 : 237-247.

**Subudhi B.P.R. & P.K. Singh**

1979. Effect of macronutrients and pH on the growth, nitrogen fixation and soluble sugar content of water fern Azolla pinnata, *Biol. Plant.* 21, 1 : 66-70.

**Tuan D.T. & T.Q. Thuyet**

1979. Use of Azolla in rice production in Vietnam. In : *Nitrogen and Rice*. international Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 395-405

**Tung H.F. & I. Watanabe**

1983. Differential response of Azolla-Anabaena associations to high temperature and minus phosphorus treatments. *New. Phytol.* 93 : 423-431.

**Vaille J.**

1966. *Rapport de stage I.R.A.T. – Technique d'étude pour l'amélioration de la fertilité des sols tropicaux*. I.R.A.M., Antananarivo, document N° 84.

**Van Hove C., H.F. Diara & P. Godard**

1983. *Azolla en Afrique de l'Ouest* (ADRAO).

**Watanabe I., C.R. Espinas, N.S. Berja & B.V. Alimagno**

1977. Utilization of the Azolla-Anabaena complex as a nitrogen fertilizer for rice. *I.R.P.S.* 11. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

**Watanabe I. & C.M. Ramirez**

1984. Relationship between soil phosphorus availability and Azolla growth. *Soil. Sci. Plant. Nutr.*, 30, 4 : 595-598.

**Weber E.**

1980. *Grundriss der Biologischen Statistik*, 8, Aufl., VEB G. Fischer, Jena.

**Williams E.G.**

1943. Further notes on Azolla filiculoides. *Lam. Northw. Nat.* 18 : 326-327.

**Williams E.G.**

1944. Further notes on the occurrence in Cheshire of Azolla filiculoides. *Lam. Northw. Nat.* 19 : 303.

**Yatazawa M., N. Tomomatsv, N. Hosoda & K. Nunome**

1980. Nitrogen fixation in Azolla-Anabaena symbiosis as affected by mineral nutrient status. *Soil, Sci. Plant. Nutr.* 26, 3 : 415-426.