



Intérêts du développement de la recherche sur les rhizobactéries

Bernard Digat

► To cite this version:

Bernard Digat. Intérêts du développement de la recherche sur les rhizobactéries. [0] Institut National de la Recherche Agronomique. 1990, 15 p. hal-01600990

HAL Id: hal-01600990

<https://hal.science/hal-01600990>

Submitted on 7 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

JANVIER 1990
(Document rédigé à l'intention
de la Direction Générale)

INTERETS DU DEVELOPPEMENT
DE LA
RECHERCHE SUR LES RHIZOBACTERIES

Bernard DIGAT

"Il faut être très poli avec la terre et avec le soleil"

(Jacques PREVERT)

A l'aube de l'an 2 000, l'Ecologie microbienne du sol est une discipline encore sous-développée en France et dans le monde. On ne répètera jamais assez que la complexité des interactions entre les microorganismes telluriques eux-mêmes et entre les microorganismes du sol et les plantes est telle que, pour une recherche efficace, le microbiologiste doit tenir compte des divers éléments du milieu sol, donc faire nécessairement appel à des disciplines aussi différentes que la Science du sol, l'Agronomie, la Biochimie, la Pathologie végétale, la Zoologie, la Génétique, la Bioclimatologie etc.... et les intégrer dans son étude.

Cependant, en dépit d'évidentes difficultés, l'étude des bactéries du sol présente une attraction fascinante pour le scientifique tant les connaissances sont encore partielles en ce domaine alors que chacun a conscience de l'énorme potentiel agronomique qu'il recèle et pense qu'il constituera à court terme un indispensable levier de la productivité.

*Parmi les nombreuses espèces bactériennes bénéfiques et non symbiotiques qui interagissent avec les systèmes racinaires, les **RHIZOBACTERIES** ou bactéries de la Rhizosphère possèdent des propriétés intéressantes car certaines souches "PGPR" (pour "Plant-Growth-Promoting-Rhizobacteria") non seulement stimulent la croissance des plantes mais encore protègent celles-ci des attaques d'agents pathogènes telluriques. Au sein des PGPR ce sont les **Pseudomonas** "fluorescents oxydase +" représentés par les espèces **P. fluorescens** et **P. putida** qui sont les plus étudiés dans les pays à Recherche Agronomique avancée. Mais d'autres genres parmi lesquels **Azospirillum** spp. et **Bacillus** spp. peuvent présenter des intérêts non négligeables (19).*

I - CHRONOLOGIE DES PRINCIPAUX RESULTATS AGRONOMIQUES OBTENUS DANS LE MONDE

Les premiers résultats significatifs obtenus à l'aide de *Pseudomonas* **stimulant la croissance** sont ceux dus à SCHROTH et son équipe (Université de Berkeley, USA) en 1978. De nombreuses publications depuis 1980 font part de l'intérêt agronomique croissant pour ces microorganismes non seulement à cause des gains de Rendement qu'ils apportent mais aussi pour les possibilités qu'ils offrent dans le biocontrôle des maladies.

Ainsi SUSLOW et SCHROTH (1982) (18) obtiennent des gains significatifs de Rendement allant de + 6% à + 11,6% pour la Betterave à sucre, BURR (1978) (1) et KLOEPPER (1980) (12) de + 9,5% à + 33% pour la Pomme de Terre.

Dès 1980, de multiples équipes et laboratoires dans le monde s'intéressent à ces bactéries. En Europe certains pays font un gros effort tels les Pays-Bas à BAARN avec SCHIPPERS, à LEIDEN avec LUGTENBERG, à UTRECHT avec VAN DER HOFSTAD, tels la Suisse à Zurich avec DEFAGO ou la Belgique à GAND avec P.G.S. (Plant Genetic Systems). En France, nous initions en solitaire nos premiers travaux en 1981 en montrant que l'un des principaux effets de ces PGPR s'exerce sur la stimulation des méristèmes racinaires ; par la suite nous réussissons à capter l'intérêt d'entreprises privées françaises et, grâce à leur collaboration, nous obtenons des résultats concrets chez diverses espèces (4) (Tableau 1).

D'un autre côté, de nombreuses publications (23) font état de résultats positifs obtenus dans le domaine de la **lutte biologique** avec une réduction significative des pertes dues :

- aux pourritures (*Erwinia carotovora*) et au Flétrissement bactérien (*Pseudomonas solanacearum*) chez la Pomme de terre,
- au Piétin des Céréales (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*)
- aux Fontes de semis (*Pythium* spp. et *Rhizoctonia solani*)
- aux attaques fongiques telluriques (*Fusarium oxysporum*, *Thielaviopsis* spp., *Phytophthora capsici*, *Verticillium dahliae* etc...)

En 1982, le rôle des PGPR dans la résistance des sols vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lini* est démontré (SCHER et BAKER, 1982) (16).

En 1987, se tient au Canada le premier Congrès international sur les PGPR (15) et certains phytopathologistes de l'INRA (LUCAS et TIVOLI à Rennes, ALABOUVETTE et LEMANCEAU à Dijon) s'intéressent à ces bactéries pour les biocontrôles du Piétin des Céréales et de Fusarioses respectivement.

A cette date, nous déposons au nom de l'INRA un brevet d'encapsulation permettant la fabrication de granulés de PGPR pouvant être utilisés dans les domaines précités (5). En 1988, la Société ECOGEN (USA) met au point et commercialise pour la première fois une formulation granulaire à base de *P. fluorescens* afin de lutter contre le Pythium et le Rhizoctone du Coton et d'autres plantes. En 1989, nous déposons au nom de l'INRA un second brevet sur l'encapsulation de ces bactéries sous forme de granulés à multicouches (6) et nous orientons une partie de nos travaux sur la méthodologie de la bactérisation des semences (8), des substrats (7) et des sols.

Le développement rapide des recherches en Biologie moléculaire fait que ces *Pseudomonas* ubiquistes, colonisateurs des racines de toutes les espèces végétales sous toutes les latitudes (on en a trouvé du Pôle Nord à l'Equateur), deviennent à présent la cible de divers transferts génétiques à haut intérêt agronomique aboutissant par exemple à la mise au point de souches productrices de toxines insecticides de *Bacillus thuringiensis* (14).

II - LES PGPR ET LA STIMULATION DE LA CROISSANCE

On ne sait pas encore exactement comment agissent les PGPR sur la croissance du végétal quoique le rôle de certains facteurs biostimulants ait pu être démontré.

1. Déplacement de la microflore résidente délétère

Dans certains sols, la microflore résidente, bien que non pathogène, exerce à la longue un effet dépressif sur le végétal. Cet effet sera d'autant plus marqué que la culture reviendra plus souvent dans le même sol. L'exemple extrême est celui des cultures en place pour une longue période (vergers par exemple) et dans ce cas on parle de "fatigue des sols". Dans l'exemple du Pommier, cet effet de fatigue peut persister même après une replantation. Mais le problème se pose également pour les cultures intensives (cultures maraîchères par exemple) dans des sols où les fréquences de rotation sont insuffisantes (cas des cultures de Pomme de Terre dans les polders hollandais ou de Tomate en Israël).

Les effets bénéfiques de la **Solarisation** sur la microflore délétère sont connus depuis longtemps dans les pays méditerranéens mais restaient inexplicables. Récemment, les gains de rendement obtenus après solarisation des sols ont pu être expliqués par le fait que des populations de *Pseudomonas fluorescens-putida* se mettent à pulluler en prenant la place des souches bactériennes concurrentes et délétères, en raison notamment de leur temps de génération plus court (10).

L'établissement des populations de PGPR dans la rhizosphère est également facilité par l'effet dissuasif nutritionnel qu'elles exercent sur les microorganismes compétiteurs du fait de l'excrétion de sidérophores (Pseudobactine) capables de chélater puissamment le Fer ferrique, privant ainsi les germes concurrents de ce précieux cation indispensable au bon fonctionnement du métabolisme respiratoire.

Enfin, le groupe *Pseudomonas fluorescens-putida* est réputé pour la production de puissants antibiotiques (Pyolutéorine, Pyrrolnitrine, Tropolone, Phénazine, Oomycine etc...) qui s'intègrent parfaitement dans l'environnement et confèrent une activité antagoniste aux souches productrices.

2. Amélioration de la nutrition de la plante-hôte

Certaines souches de *Pseudomonas* sont capables de **solubiliser les Phosphates** fréquemment bloqués dans le sol (19 et 11). De plus, il semble que la formation de **chélates de fer**, grâce à la production de sidérophores en excès, puisse faciliter la nutrition ferrique de la plante colonisée. Enfin, **l'augmentation de la surface racinaire et de son activité** due à la stimulation de croissance a pour conséquence une augmentation de la puissance d'absorption des nutriments présents dans le sol.

3. Autres effets biostimulants

Aux effets précédents s'ajoutent des mécanismes de stimulation directs encore peu connus. Bien qu'il soit logique de penser que les effets hormonaux (AIA, Cytokinines) soient en cause, aucune preuve formelle à ce jour n'a été apportée quant à leur intervention directe. Et surtout on ignore la nature des messages délivrés par les bactéries pour déclencher le phénomène. Jusqu'à présent, aucun médiateur n'a pu être identifié en tant qu'intervenant direct ou indirect dans l'interaction bactérie/plante-hôte. Chez le *Pelargonium*, dans le cas de fortes inoculations par le *P. fluorescens*, on obtient un tassement des entre-noeuds, et un débourrement précoce de certains bourgeons axillaires (données non publiées).

4. Résultats agronomiques obtenus

A) Par notre laboratoire

- Sur la base de l'expérience acquise depuis plusieurs années, on peut affirmer que les gains de Rendement obtenus seront d'autant plus marqués que les plantes seront cultivées en conditions défavorables. Ainsi, dans le cas des cultures hors-sol où l'alimentation des plantes est optimale (Concombre, Tomate), on observera une nette stimulation de croissance à certaines périodes du cycle cultural mais les témoins finiront parfois par rattraper leur retard de croissance sur les plantes bactérisées de telle manière que les gains totaux de rendement en fruit puissent être moins élevés que ceux escomptés (Tableau 1).

- L'ensemble des résultats chiffrés significatifs concernant les gains maximum de rendement que nous avons obtenus chez diverses espèces par la bactérisation sont résumés dans le Tableau 1. Nous avons sollicité la collaboration des professionnels dans les expérimentations effectuées. Dans la plupart des cas, il s'agit donc d'essais de grande envergure portant sur un nombre conséquent de plantes (plusieurs milliers) ou sur une surface expérimentale agronomiquement significative soit en serre, soit au champ. Et les résultats ont été généralement obtenus dans les conditions culturales habituellement utilisées par les professionnels eux-mêmes.

B) A l'étranger

Les résultats spectaculaires obtenus ces dernières années à l'étranger et en particulier aux USA (Tableau 2) sont souvent critiqués car insuffisamment reproductibles année sur année.

TABLEAU 1

**GAINS SIGNIFICATIFS DE RENDEMENT OBTENUS PAR
LA BACTERISATION (*P. fluorescens-putida*) EN FRANCE
(INRA ANGERS avec la Collaboration de Spécialistes professionnels reconnus)**

Plante	Substrat	Gain de Rendement (% Max./Témoin)	Age Plante (Jours)	Année	Collaboration
<i>Pelargonium x hortorum</i> - Poids frais feuilles - Nombre de boutures - Nombre de boutures	T 66% + S 33% id. T 20% + e 60% + HF 20%	16.0 31.4 47.4	100 100 100	1983 1983 1986	CHAUBERT id. ENTAH
Laitue (<i>Lactuca sativa</i>) - Poids frais feuilles - Poids frais feuilles - Poids frais feuilles - Précocité de Pommaison	T 100% T 100% Te 50% + Tr 50% id.	36.5 21.0 19.0 113.0	22 45 53 53	1988 1984-85 id. id.	CLAUDE VILMORIN id. id.
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>) - Levée des plantules - Longueur des vraies feuilles - Hauteur tige principale - Nombre de Fleurs - Poids de Fruits	T 100% T 100% LR 100% id. id.	49.8 29.7 10.6 23.2 7.7	7 18 80 80 270	1989 1989 1989 id. id.	CLAUDE id. Lycée Agr. et Hort. de St Germain en Laye
<i>Chrysanthemum</i> - Hauteur de plante - Nombre de feuilles adultes	E 45% + t 35% + 20% id.	30.4 26.9	36 36	1985-86 id.	CHALLET-HERAULT id.

TABLEAU 1 (suite)

Pommier (<i>Malus</i> x 'Evereste')	T 75% + S 25% id. id. id.	44.0 73.0 12.0 20.4	45 102 480 480	1982 id. 1982-83 id.	INRA-ANGERS id. id. id.
Pommier ('Golden Smoothee')	Sol sablo-limoneux id.	15.2 11.5	480 1460	1984-85 id.	CTIFL id.
Betterave à sucre (<i>Beta vulgaris</i>)	T 66% + S 33% id.	16.1 22.5	57 57	1983-84 id.	CERES id.
Concombre (<i>Cucumis sativus</i>)	LV 100% HF 100% LR 100% HF	11.6 7.6 3.0 11.3	30 30 240 240	1989 id. id. id.	CTIFL Carquefou id. id. CVETMO Orléans

Légende : T Tourbe noire E Ecorce de Pin
S Sable de Loire t Tourbe blonde
Te Terreau de jardin HF Fibr de bois
Tr Terre végétale LR Laine de Roche
LV Laine de Verre

TABLEAU 2

**GAINS SIGNIFICATIFS RECENTS DE RENDEMENT OBTENUS
PAR LA BACTERISATION (*P. fluorescens-putida*) AUX ETATS-UNIS**

Plante	Souche Bactérienne n°	Gain de Rendement* (% Moy./Témoin)	Référence
Radis	?	100.0	KLOEPPER <i>et al</i> (1978)
Pomme de Terre	TL 3	17.0	BURR <i>et al</i> (1978)
Pomme de Terre	BK 1	14.0	KLOEPPER <i>et al</i> (1980)
Pomme de Terre	TL 10	33.0	BURR <i>et al</i> (1978)
Pomme de Terre	A 1	9.5	KLOEPPER <i>et al</i> (1980)
Pomme de Terre	B 10	12.5	KLOEPPER <i>et al</i> (1980)
Pomme de Terre	E 6	10.0	KLOEPPER <i>et al</i> (1980)
Betterave à Sucre	?	11.0	SUSLOW et SCHROTH (1982)
Betterave à Sucre	?	6.0	SUSLOW et SCHROTH (1982)
Betterave à Sucre	SH 5	11.6	SUSLOW et SCHROTH (1982)
Betterave à Sucre	RV 3	10.2	SUSLOW et SCHROTH (1982)
Betterave à Sucre	B 4	11.0	SUSLOW et SCHROTH (1982)
Brassica campestris (Canola)	?	15.0	KLOEPPER <i>et al</i> (1987)
Blé	?	14.1	WELLER et COOK (1986)

* Les gains de rendement ont été obtenus dans des essais au champ.
Les valeurs sont basées sur les données présentées dans chaque publication. Aucune distinction n'a été faite entre les cultivars pour une espèce donnée, les types de sols, les régimes de fertilisation, les variables dues à l'environnement ou aux systèmes de plantations.

Dans ce pays, la plupart des expérimentations ont été menées directement au champ. Plusieurs paramètres expérimentaux, tels que les critères de sélection des souches, sont méconnus et certaines étapes de la bactérisation, comme la mise au point de formulations adaptées de l'inoculum ou le suivi des populations bactériennes introduites, sont délaissées. Ce manque de rigueur dans la méthodologie a eu pour conséquence de provoquer dans certains cas une perte de crédibilité dans l'effet "stimulation de Croissance par les Rhizobactéries" dont on attendait beaucoup, trop peut-être.

Cependant le Congrès international de 1987 (15) au Canada a permis de souligner ces lacunes et de tirer des leçons pour l'avenir. On peut penser que celles-ci seront retenues et que les expérimentations seront désormais effectuées d'une façon plus rationnelle malgré les connaissances encore fragmentaires que l'on possède en écologie microbienne du sol.

III - LES PGPR ET LA LUTTE BIOLOGIQUE

On sait que de nombreuses bactéries et Actinomycètes ont révélé des propriétés antagonistes vis-à-vis des agents pathogènes telluriques. Certains microorganismes (*Bacillus*, *Azotobacter*, *Clostridium*, *Arthrobacter*, *Serratia*, *Streptomyces*) ont déjà été utilisés au champ et ont permis d'obtenir des résultats positifs mais ponctuels dans ce domaine (23).

1. Les effets d'antibioses produits par les PGPR

Ces dernières années, on note un intérêt soutenu pour l'utilisation des *Pseudomonas* "fluorescents oxydase +" dans la lutte biologique contre les maladies fongiques transmises par le sol, devant lesquelles la lutte chimique et parfois la résistance variétale sont inopérantes (21). Le rôle des *Pseudomonas* dans la résistance des sols vis-à-vis de *Fusarium oxysporum* f. spp. lini a été démontré par plusieurs chercheurs (16). Les mécanismes de l'antagonisme se situeraient d'une part au niveau de l'inhibition du développement du tube germinatif des chlamydospores à causes de la carence en Fer ferrique provoquée dans l'environnement des *Pseudomonas* (SCHER et BAKER 1982), d'autre part au niveau d'une classique antibiose reposant sur la compétition intense pour l'occupation des "sites" rhizosphériques et sur l'excrétion active d'antibiotiques (voir paragraphe II - 1).

Récemment, de nets succès dans la lutte contre la grave maladie mondiale du Piétin des Céréales (Ggt) ont été obtenus (22). Dans ce cas, la souche efficace de *P. fluorescens* est productrice de Phénazine-1-Carboxylate, molécule considérée comme l'antibiotique responsable dans l'effet suppressif (20 et 23). Récemment encore, certaines souches de *P. fluorescens* produisant de l'Acide cyanhydrique se sont révélées être antagonistes in situ du *Thielaviopsis basicola* chez le Tabac (2).

Des effets protecteurs vis-à-vis des fontes de semis provoquées par le *Pythium* spp. et le *Rhizoctonia solani* chez le Coton et vis-à-vis des pourritures à *Erwinia carotovora* chez la Pomme de Terre ont aussi été obtenus par divers chercheurs (Tableau 3).

2. L'induction de résistance produite par les PGPR

La majeure partie des déterminants fondamentaux de l'induction reste encore peu connue. La synthèse de **Phytoalexines** chez la plante-hôte colonisée est parfois invoquée (17). La production d'**Acide cyanhydrique** dans les tissus racinaires et à leur surface sous l'effet de *P. fluorescens* paraît être aussi un facteur d'induction de la résistance à *Thielaviopsis basicola* chez le Tabac (DEFAGO et al. 1989) (2).

TABLEAU 3

**RESULTATS SIGNIFICATIFS RECENTS OBTENUS EN LUTTE BIOLOGIQUE
PAR UTILISATION DE RHIZOBACTERIES**

Bactérie	Agent pathogène	Hôte	Référence
Alcaligenes + Arthrobacter + Bacillus + Bacillus + Bacillus Bacillus Enterobacter Hafnia Pseudomonas Pseudomonas + Pseudomonas + Pseudomonas + Pseudomonas Pseudomonas Pseudomonas Pseudomonas Pseudomonas + Pseudomonas + Pseudomonas Rhizobium Serratia	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Gaeumannomyces</i> <i>Phytophthora cactorum</i> <i>Sclerotium cepivorum</i> <i>Sclerotium rolfsii</i> <i>Phytophthora cactorum</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>F. oxysporum</i> <i>Erwinia carotovora</i> <i>Gaeumannomyces graminis</i> <i>Pythium</i> spp. <i>Pythium</i> spp. <i>Rhizoctonia solani</i> <i>Phytophthora capsici</i> <i>Thielaviopsis basicola</i> <i>Microorganismes délétères</i> <i>Microorganismes délétères</i> <i>Microorganismes délétères</i> <i>Phytophthora megasperma</i> <i>Fusarium oxysporum</i>	Oeillet Oeillet Blé Pommier Oignon Arachide Pommier Oeillet Oeillet, Lin Pomme de Terre Blé Blé Coton Coton Poivron Tabac Pomme de Terre Pomme de Terre Betterave Soja Oeillet	YEN et SCHROTH (1986) SNEH (1981) CAPPER et CAMPBELL (1986) GUPTA et UTKHEDE (1986) UTKHEDE et RAHE (1983) TURNER (1987) GUPTA et UTKHEDE (1986) SNEH <i>et al</i> (1985) BAKER <i>et al</i> (1986) XU et GROSS (1986), RHODES et LOGAN (1986) WELLER et COOK (1986) WELLER et COOK (1986) HOWELL et STIPANOVIC (1979) HOWELL et STIPANOVIC (1980) OKAMOTO (?) AHL <i>et al</i> (1986), DEFAGO (1987) KLOEPPER <i>et al</i> (1980) SCHIPPERS <i>et al</i> (1986) SUSLOW (1982) TU (1978) SNEH <i>et al</i> (1985)

Légende : + Un résultat significatif a été obtenu aussi dans des essais au champ.

Des variations du métabolisme respiratoire comparables à celles qui sont connues dans les systèmes de défense vis-à-vis des bactéries phytopathogènes (cf. *Pseudomonas solanacearum*) pourraient aussi entrer en jeu et constituer un facteur de résistance. En fait au début tout se passe comme si le système racinaire colonisé par les PGPR réagissait à une agression par un agent pathogène.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

On conçoit que bien des progrès restent à accomplir avant de pouvoir maîtriser l'utilisation agronomique des PGPR. Dans certains domaines cependant, en fonction des résultats déjà obtenus, on est en droit d'attendre à court terme :

1. Sur le plan agronomique :

- au niveau des semences (8)

- . une utilisation industrielle de la bactérisation sous forme d'enrobage
- . une germination accélérée
- . une levée plus rapide des jeunes plantules
- . une croissance améliorée des racicules
- . une réduction des fontes de semis (*Pythium*, *Rhizoctonia*).

- au niveau des plantes adultes

- . un meilleur développement des systèmes racinaires
- . une meilleure croissance par une meilleure nutrition
- . des gains substantiels de rendement (supérieurs à 10%).

- au niveau du biocontrôle

- . une réduction des pertes dues aux bactéries (*E. carotovora*) et aux champignons pathogènes du sol (*Verticillium*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Thielaviopsis* etc...) par utilisation de formulations de mieux en mieux adaptées.

- au niveau de la Symbiose Rhizobium/Légumineuses

- . un effet synergique dans la nodulation (13).

- au niveau de la pollution des sols et des eaux

- . une contribution à la réduction de la consommation des produits phytosanitaires et des fertilisants chimiques (mise au point de nouvelles formulations de biofongicides et d'engrais microbiologiques à base de PGPR).

- au niveau de l'amélioration des plantes

- . une sélection de génotypes sensibles à l'effet des PGPR (9).

2. Sur le plan scientifique

- **une meilleure connaissance des conditions de colonisation :**

- . notamment par l'utilisation de mutants (Sidérophores -, Elongation racinaire -, Antibiotiques - etc...) et par la création d'associations symbiotiques artificielles (3).

- **une meilleure compréhension :**

- . de la biostimulation en général ; du rôle exact des sidérophores bactériens et des exsudats racinaires ; de la détermination des effets stimulants des PGPR sur les méristèmes racinaires et sur le métabolisme hormonal de la plante entière.

- **des précisions concernant :**

- . les éventuels messages délivrés par les PGPR et l'existence de récepteurs correspondants chez l'hôte, la présence effective de gènes de sensibilité vis-à-vis des PGPR (9).

- **une meilleure maîtrise du Biocontrôle et une meilleure connaissance des mécanismes mis en jeu, notamment dans l'induction de la Résistance.**

Ces résultats ne pourront être acquis que grâce aux progrès accomplis dans le domaine de la Biologie moléculaire (création de mutants, identification de médiateurs) et de l'Ecologie microbienne du sol (facteurs abiotiques et biotiques conditionnant la colonisation et le devenir des populations de PGPR introduites).

Puisqu'au niveau du sol, les innovations de la Biologie moléculaire ne trouveront d'applications agronomiques fiables que si des études d'Ecologie microbienne sont entreprises parallèlement, un réajustement de l'équilibre entre ces deux disciplines paraît être judicieux sinon nécessaire.

A l'étranger comme en France, les demandes de nos partenaires industriels de l'Agriculture et de l'Horticulture (CLAUSE, VILMORIN, CERES, ELF, GOEMAR, LIMAGRAIN etc...) sont actuellement pressantes en ce domaine et ne feront que croître dans l'avenir. Nous entrons dans l'ère d'une Agriculture novatrice qui, pour satisfaire les exigences alimentaires de l'An 2 000, ne peut plus ignorer l'importance de l'Ecologie microbienne du Sol.

A Angers, le 2 Janvier 1990

B. DIGAT

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. BURR T.J., SCHROTH M.N., SUSLOW T.V., 1978. Increased potato yields by treatment of seed pieces with specific strains of *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida*. *Phytopathology* 68 : 1377-1383.
2. DEFAGO G., 1989. Suppression of black root rot of Tobacco by a *Pseudomonas* strain : potential applications and mechanisms.
in *Biological control of soil-borne plant pathogens*. D. HORNBLY and R.Y. COOK edit (in press).
3. DESSAUX Y., GUYON P., DIGAT B., PETIT A. et TEMPE J., 1987. Installation de populations bactériennes sur le système racinaire du Lotier (*Lotus corniculatus*). Intérêt des techniques de culture "in vitro" (Abstract).
Proc. Interactions plantes-Microorganismes en culture in vitro. 32e Colloque SFP-INRA Angers : C23.
4. DIGAT B., 1983. Modes d'action et effets des Rhizobactéries promotrices de la croissance et du développement des plantes.
in "*Les Antagonismes microbiens*" 24e Colloque SFP-INRA edit 18 : 239-253.
5. DIGAT B., 1988. Structure for including active substances.
Brevet international d'invention. PCT n° WO 88/08876. pp 30.
6. DIGAT B., 1989. Granules à multicouches contenant des substances actives enrobées, leur procédé de fabrication, dispositif pour la mise en oeuvre de ce procédé et utilisation des granules obtenus.
Brevet français d'invention. n° 89/10736. pp 33. PCT en cours.
7. DIGAT B., 1988. Stratégies de la Bactérisation par les Rhizobactéries.
Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 18 : 29-35.
8. DIGAT B., 1989. Strategies for seed bacterization.
Acta Horticulturae 253 : 121-129.
9. DIGAT B., GAUDILLAT M., LABADIE J.M., 1989. Susceptibility of various Tomato and Lettuce genotypes to plant-growth-promoting *Pseudomonas*.
Proc. Internat. Conf. on the Mechanisms of the relationship between soil-plant microorganisms in the rhizosphere. Montpellier (in press).
10. GAMLIEL A., HADAR E. and KATAN J., 1987. Microbial phenomena related to increased response in solarized soils and to monoculture systems.
Proc. 7th Congress of the Medit. Phytopath. Union. Espagne : 72-73.
11. KAVIDMANDAN S.K. and GUAR A.C., 1971. Effect of seed inoculation with *Pseudomonas* sp. on Phosphate uptake and yield of maize.
Curr. Sci. 40 : 439-440.
12. KLOEPPER J.W., LEONG J., TEINTZE M., SCHROTH M.N., 1980. Enhanced plant growth by siderophores produced by plant-growth-promoting-rhizobacteria.
Nature 286 : 885-886.

13. KLOEPPER J.W., LIFSHITZ R. and ZABLOTOWICZ R.M., 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity.
Trends in Biotechnol. 7 (2) : 39-44.
14. OBUKOWICZ *et al.*, 1987. IS 50 L as a non-self transposable vector used to integrate the *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin gene into the chromosome of root-colonizing Pseudomonads.
Gene 51 : 91-96.
15. Proceedings of the First International workshop on Plant-growth-promoting-Rhizobacteria. Sept. 13-16 1987. Canada pp 49. ALLELIX edit.
16. SCHER F.M., BAKER R., 1982. Effects of *Pseudomonas putida* and a synthetic iron chelator on induction of soil suppressiveness to *Fusarium* wilt pathogens.
Phytopathology 72 : 1567-1573.
17. SCHIPPERS B., 1988. Biological control of pathogens with rhizobacteria.
Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 318 : 283-293.
18. SUSLOW T.V. and SCHROTH M.N., 1982. Rhizobacteria of sugarbeets : effects of seed application and root colonization on yield.
Phytopathology 72 : 199-206.
19. SUSLOW T.V., 1982. Role of root-colonizing bacteria in plant growth.
in *Phytopathogenic Prokaryotes* Acad. Press 1 : 187-223.
20. THOMASHOW L.S. and WELLER D.M., 1988. Role of a Phenazine antibiotic from *Pseudomonas fluorescens* in biological control of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*.
J. of Bact. 170 (8) : 3499-3508.
21. TOUSSOUN T.A., 1975. Fusarium-Suppressive soils.
in *Biology and Control of soil borne plant pathogens*. G.W. BRUEHL edit.
Am. Phytopathol. Soc. Part VI. Elucidation and exploitation of natural biological control : 145-151.
22. WELLER D.M. and COOK R.J., 1983. Suppression of take-all of wheat by seed treatments with fluorescent pseudomonads.
Phytopathology 73 : 463-469.
23. WELLER D.M., 1988. Biological control of soil-borne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria.
Ann. Rev. Phytopathol. 26 : 379-407.

ANNEXE

- I -

THEMES PRINCIPAUX DES RECHERCHES PUBLIQUES ET PRIVEES EN COURS* EN FRANCE CONCERNANT LES RHIZOBACTERIES

RESPONSABLE	THEMES EN COURS
• INRA ANGERS (B. DIGAT)	- Isolement, Caractérisation, Collection et Sélection de souches de <i>Pseudomonas</i> PGPR - Production, Formulation des inoculums - Méthodologie de la Bactérisation des Semences, des Substrats et des Sols - Comportement physiologique et biologique des populations de <i>Pseudomonas</i> dans les substrats et dans les sols - Interactions <i>Pseudomonas/Pythium</i> spp - Interactions <i>Pseudomonas/Génotypes</i> plantes - Catabolisme des Opines par les <i>Pseudomonas</i> - Associations symbiotiques artificielles entre les <i>Pseudomonas</i> et les systèmes racinaires
• INRA DIJON (ALABOUVETTE - LEMANCEAU)	- Interactions <i>Pseudomonas/Fusarium</i> spp - Rôle des <i>Pseudomonas</i> dans la Résistance des Sols aux Fusarioses - Lutte biologique contre les <i>Fusarium</i> spp.
• INRA RENNES (LUCAS - SARNIGUET)	- Interaction <i>Pseudomonas/Goeumannomyces graminis tritici</i> (Ggt) - Lutte biologique contre le Ggt
• CNRS NANCY (HEULIN <i>et al.</i>)	- Interactions <i>Bacillus, Azospirillum/Céréales, Riz, Graminées</i> dans la Stimulation de la Croissance. Solubilisation des Phosphates par les Rhizobactéries
• ELF-AQUITAINE (Filiale ELF-ANTARGAZ) (THEUVENY - ACKER)	- Bactérisation d'un substrat ligno-cellulosique par les <i>Pseudomonas</i>
• CERES-Groupe RPA (VERGNAUD)	- Collection de souches de <i>Pseudomonas</i> PGPR - Enrobage des semences par les <i>Pseudomonas</i>
• CLAUSE (GAUDILLAT)	- Bactérisation des jeunes plants par les <i>Pseudomonas</i> - Sensibilité des génotypes de Laitue et de Tomate à l'effet PGPR
• FRANCE-MAIS (FAGES)	- Bactérisation du Maïs par <i>Bacillus, Azospirillum</i> - Effets sur la Croissance. Enrobage des Semences
• BIOSEM (CANDELA - GADILLE)	- Enrobage des Semences de Laitue par les <i>Pseudomonas</i> spp - Interactions <i>Bacillus</i> spp./Maïs

* La plupart des thèmes indiqués dans ce tableau ont déjà donné lieu à une ou plusieurs publications.

THEMES PRINCIPAUX DES RECHERCHES POUVANT
ETRE ENTREPRISES OU DEVELOPPEES A L'INRA D'ANGERS

• AU SEIN DE L'ÉQUIPE EXISTANTE MAIS SOUS CONDITION DE RENFORTS ET/OU DE COLLABORATIONS AVEC UNE ORIENTATION TOURNÉE VERS :

* *la Phytobactériologie générale*

- Gestion d'une collection mondiale de Rhizobactéries (collaboration internationale)
- Taxinomie des Rhizobactéries du groupe *Pseudomonas fluorescens-putida*
- Affinement des critères de Sélection des souches de *Pseudomonas* PGPR

* *l'Ecologie Microbienne du Sol*

- Gestion de l'environnement microbiologique des Semences
- Détermination des conditions de colonisation des systèmes racinaires par les *Pseudomonas* PGPR (collaboration Biologie moléculaire)
- Mise au point de nouvelles formulations d'inoculums, notamment pour la constitution d'engrais microbiologiques et d'enrobages bactériens des semences (collaboration avec industriels)
- Recherche de génotypes sensibles à l'effet PGPR des *Pseudomonas* chez la Laitue, la Tomate, le Maïs, les Céréales, les Oléagineux (collaboration Amélioration des Plantes et Semenciers)
- Lutte Biologique contre les *Erwinia carotovora* (Pomme de Terre etc...)

* *la Biologie moléculaire*

- Modes d'action des *Pseudomonas* PGPR. Modélisation des interactions entre les *Pseudomonas* et les systèmes racinaires (collaboration Biologie moléculaire). Utilisation de la Mutagenèse
- Création d'associations symbiotiques artificielles : au niveau des semences ; au niveau des systèmes racinaires (collaboration Biologie moléculaire). Transformation de souches PGPR de *Pseudomonas*

• EN COLLABORATION

* *avec INRA DIJON*

- Intervention des *Pseudomonas* dans la Résistance des sols aux champignons telluriques (*Fusarium*, *Pythium*)

* *avec INRA RENNES*

- Lutte Biologique contre le Piétin des Céréales (Ggt)

* *avec INRA TOULOUSE, MONTPELLIER, DIJON*

- Etude de la Synergie *Pseudomonas/Rhizobium* dans la nodulation des Légumineuses

* *avec GROUPES INDUSTRIELS*

- Contribution à la mise au point d'inoculants industriels à base de *Pseudomonas* : Rhône-Poulenc, LIPHA, PROTEX
- Contribution à la mise au point d'enrobages industriels des Semences : CERES, BIOSEM, CLAUSE.