



LA RHIZOSPHERE

Interface sol-plante

Armand GUCKERT
Professeur émérite
ENSAIA INPL

LES **RACINES** REPRESENTENT

LA « **FACE CACHEE** »

DU SYSTEME VEGETAL

LES PARTIES AERIENNES DES VEGETAUX :

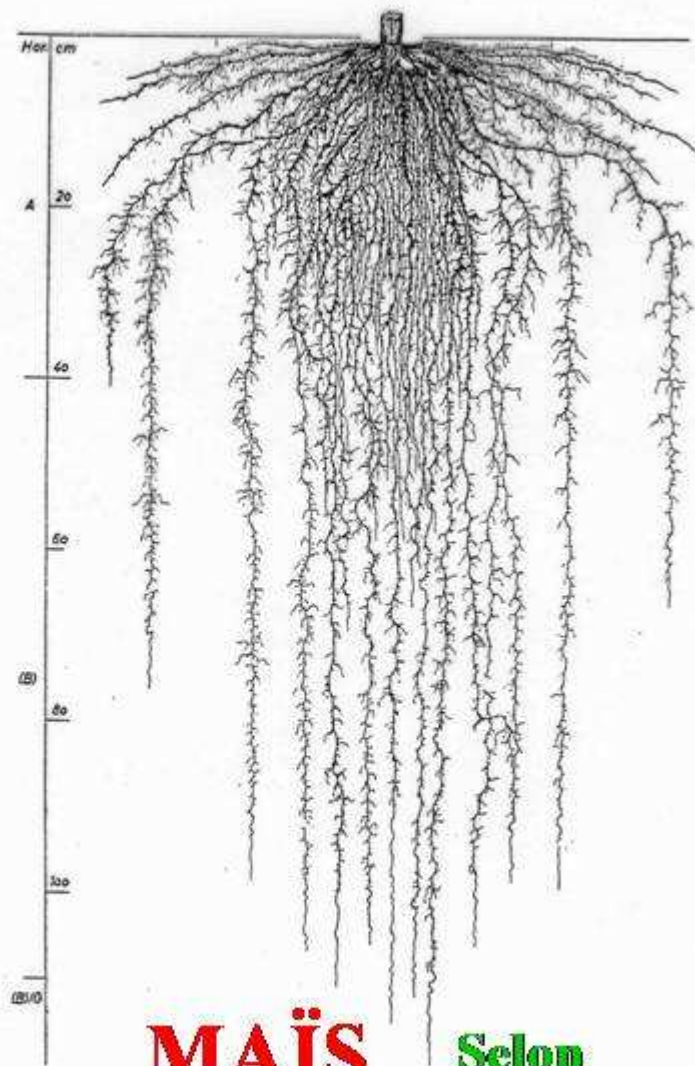
FEUILLES, FLEURS, FRUITS

SONT BIEN CONNUES

QUE SAVONS NOUS DES RACINES ?

***DE LEUR DEVELOPPEMENT**

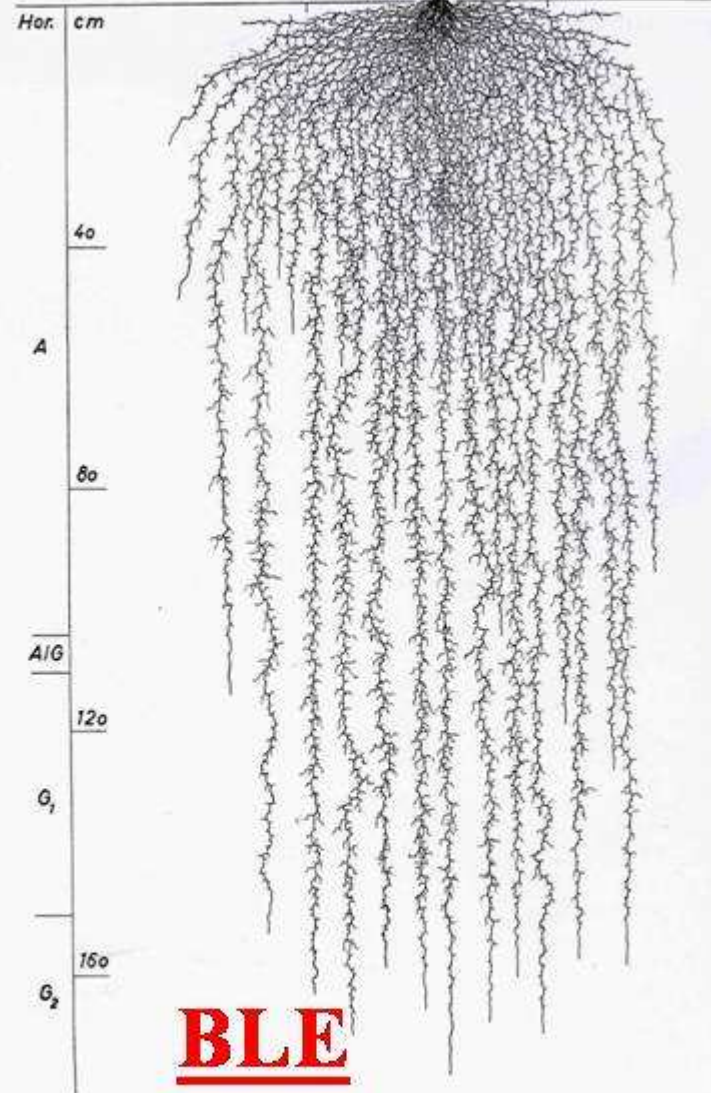
***DE LEURS FONCTIONS**



MAÏS

Selon

KUTSCHERA



BLE

ARCHITECTURE du SYSTEME RACINAIRE

Quelques chiffres

Dittmer évalue sous un **plant de seigle** :

13.800.000 : RACINES et
RAMIFICATIONS

Pour un plant de maïs, la longueur des
racines atteint

15 à 30 km

Suivant **les plantes et types de sol** :

20.000 à 100.000 km / ha

LES FONCTIONS CLASSIQUES DES RACINES :

* **ABSORPTION DE L'EAU**

* **ABSORPTION DES ELEMENTS
NUTRITIFS**

* **ANCRAGE ET FIXATION
DE LA PLANTE**

AUTRES FONCTIONS

***ORGANE DE STOCKAGE
ET DE RESERVE**

***LIEU DE SYNTHESSES DE
NOUVELLES MOLECULES**

**LES RACINES S'INSTALLENT ET
SE
DEVELOPPENT**

DANS LE SOL

QUELLES SONT LES RELATIONS

ENTRE LES RACINES

ET LE SOL?

Que se passe-t-il au niveau de
la zone de contact
entre le sol et la racine?

Zone appelée :

RHIZOSPHERE

Rhizosphère?



**LA RHIZOSPHERE EST LE
LIEU**

DE

RENCONTRE ENTRE

« Le BIOLOGIQUE

et le MINERAL »

**RHIZOSPHERE = 3 types de
constituants en interaction :**

***LA RACINE**

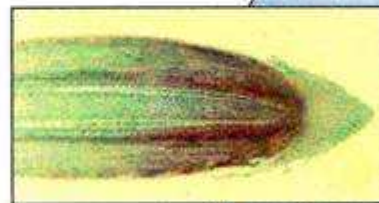
***LE SOL**

***LES MICRO-ORGANISMES
OU
MICROFLORE DU SOL**

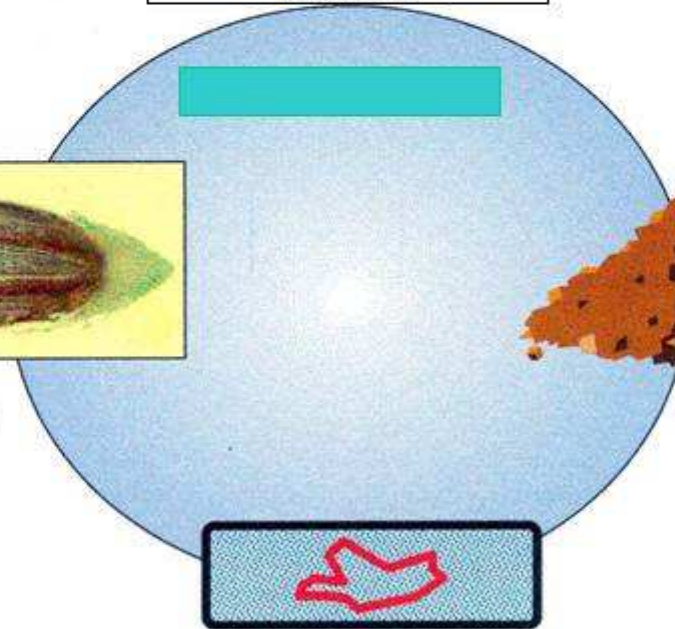
RHIZOSPHERE



**Zone de contact
entre**



RACINE



SOL

MICRO-ORGANISMES

L'ACTIVITE de la RHIZOSPHERE

EST DETERMINEE

PAR LE FONCTIONNEMENT DES RACINES

**ET PLUS PARTICULIEREMENT PAR
UN PHENOMENE PEU CONNU**

L'EXSUDATION RACINAIRE

L'EXSUDATION RACINAIRE

CORRESPOND

A

L'EMISSION PAR LES RACINES

DE PRODUITS ORGANIQUES

DIFFUSANT DANS LE SOL

**COMMENT PEUT-ON
METTRE EN EVIDENCE
CETTE
EXSUDATION RACINAIRE?**

OBSERVATIONS
à l' OEIL NU
de

l'EXSUDATION
RACINAIRE

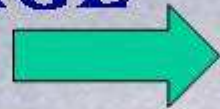
**MAÏS
en germination**

**Radicule
avec
goutte de
mucilage**



Grain de maïs

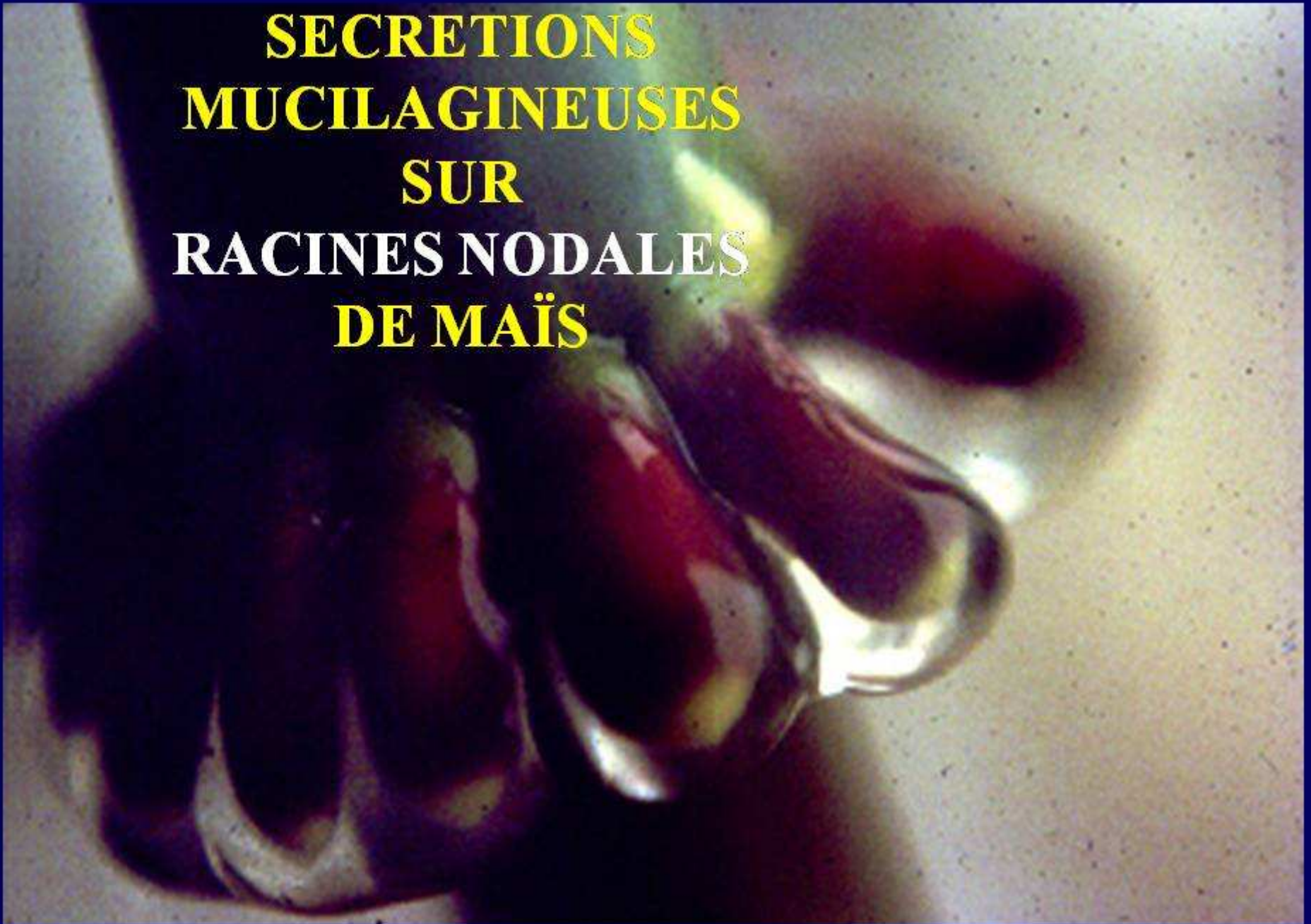
**GOUTTE
DE
MUCILAGE**



RACINE SEMINALE



**SECRETIONS
MUCILAGINEUSES
SUR
RACINES NODALES
DE MAÏS**

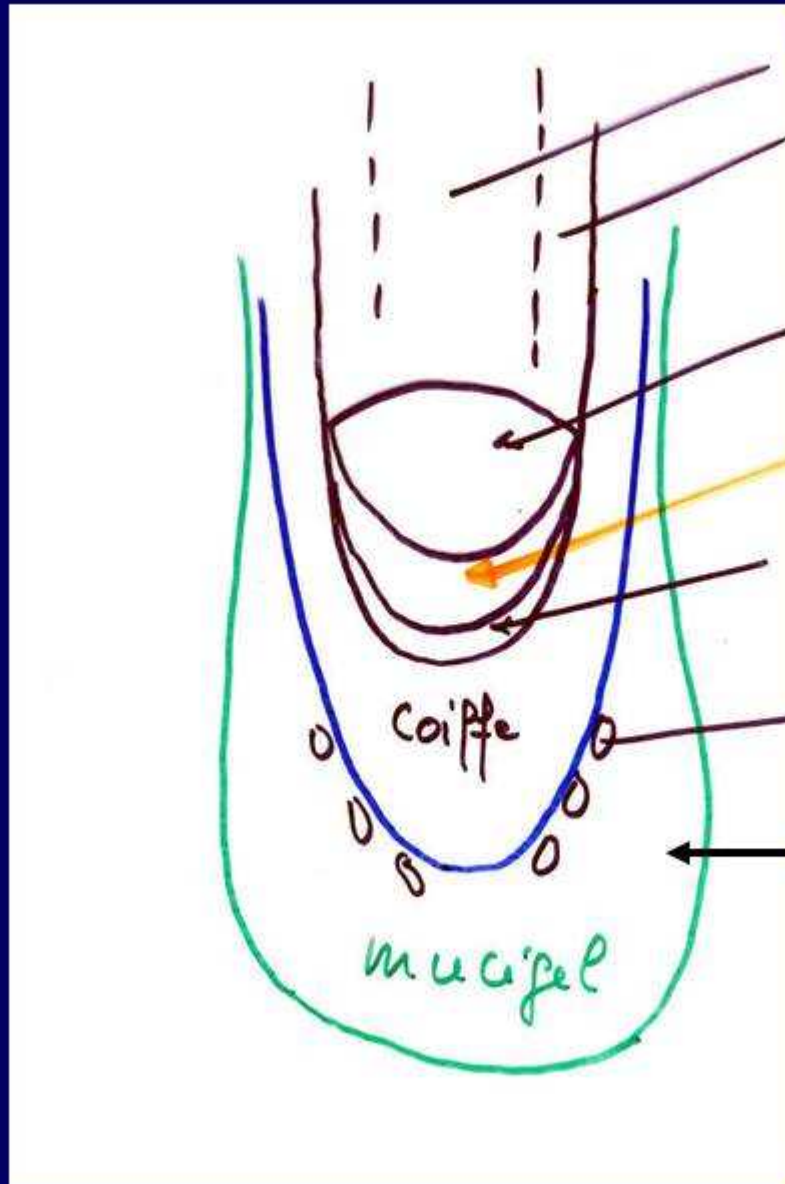




Mucilage sur racine de sorgho

Mucilage sur racine de sorgho

SCHEMA DE L'APEX RACINAIRE



Cylindre central

cortex

meristème

Centre quiescent

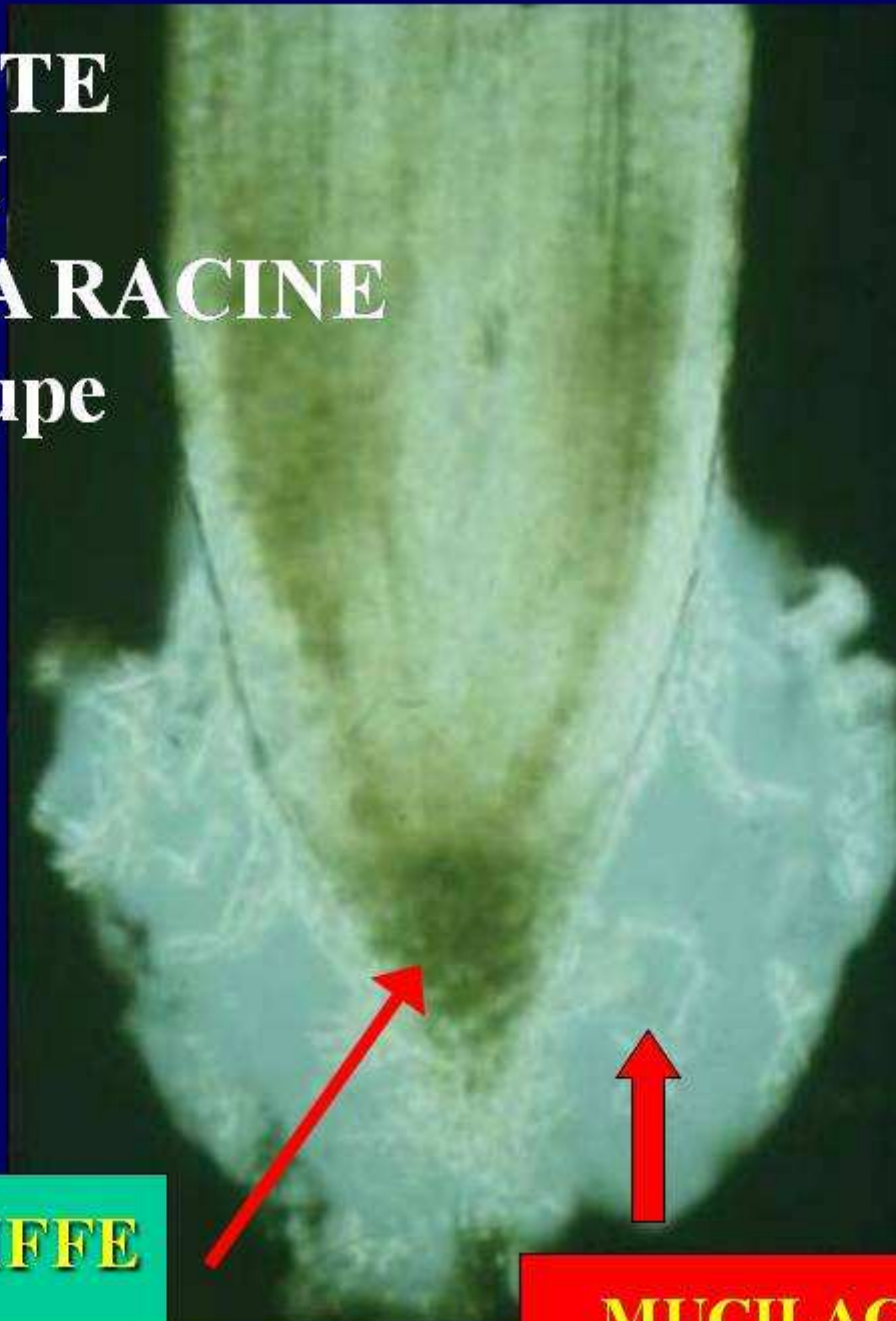
Zone d'entretien de la coiffe

Cellules de la coiffe exfoliées

mucilage



**POINTE
OU
APEX DE LA RACINE
en coupe**



COIFFE

MUCILAGE

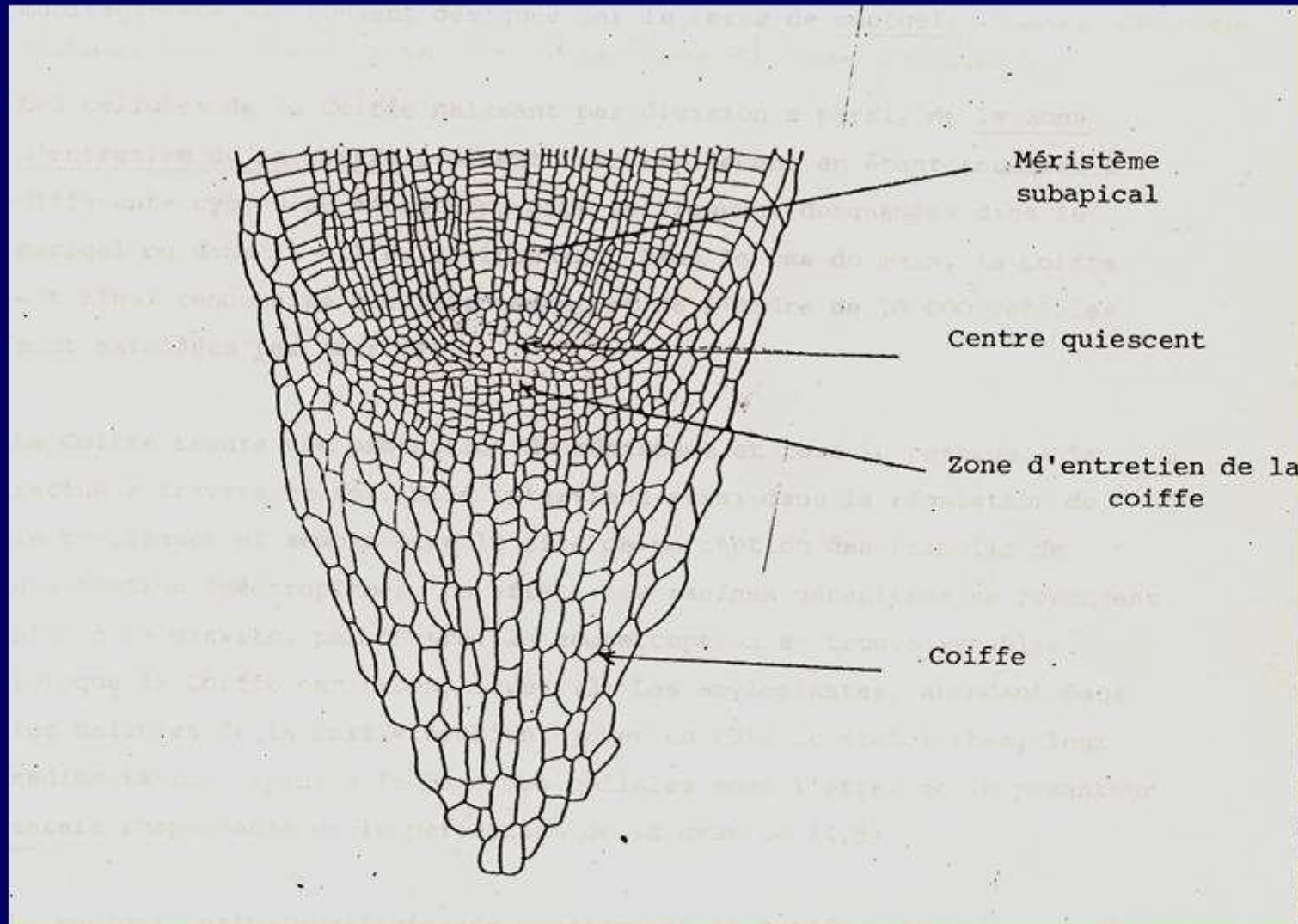
APEX DE RACINE EN COUPE

MUCILAGE

MUCILAGE

COIFFE





SECTION de l'APEX DE LA RACINE DE MAÏS

APEX DE RACINE



MERISTEME APICAL

ZONE DE LA COIFFE

**DETAIL
DES CELLULES
DE LA COIFFE**

STATOLITHES

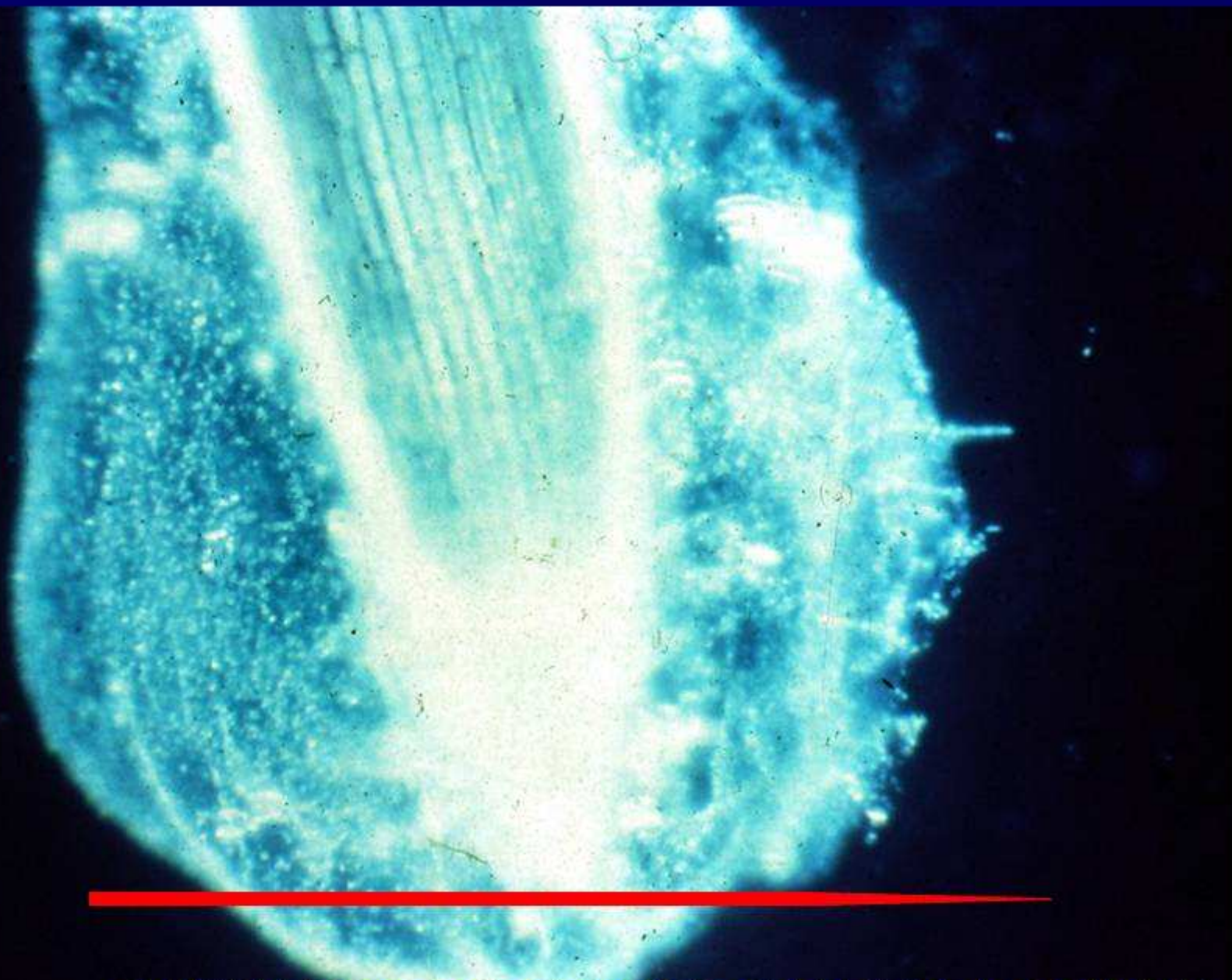
**GRAINS d'AMIDON
(perception gravité)**



**ETUDE
AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE**

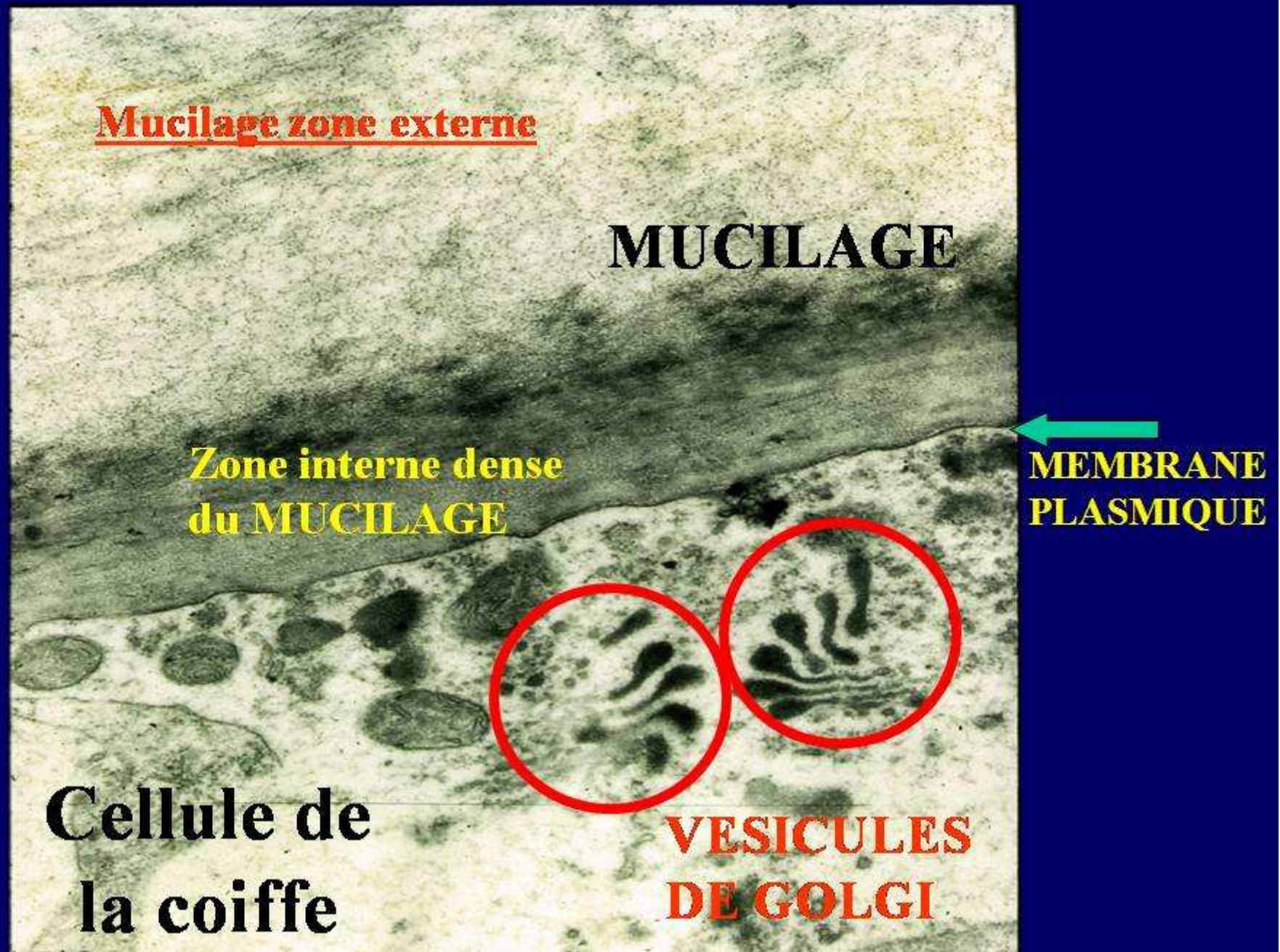
DE LA

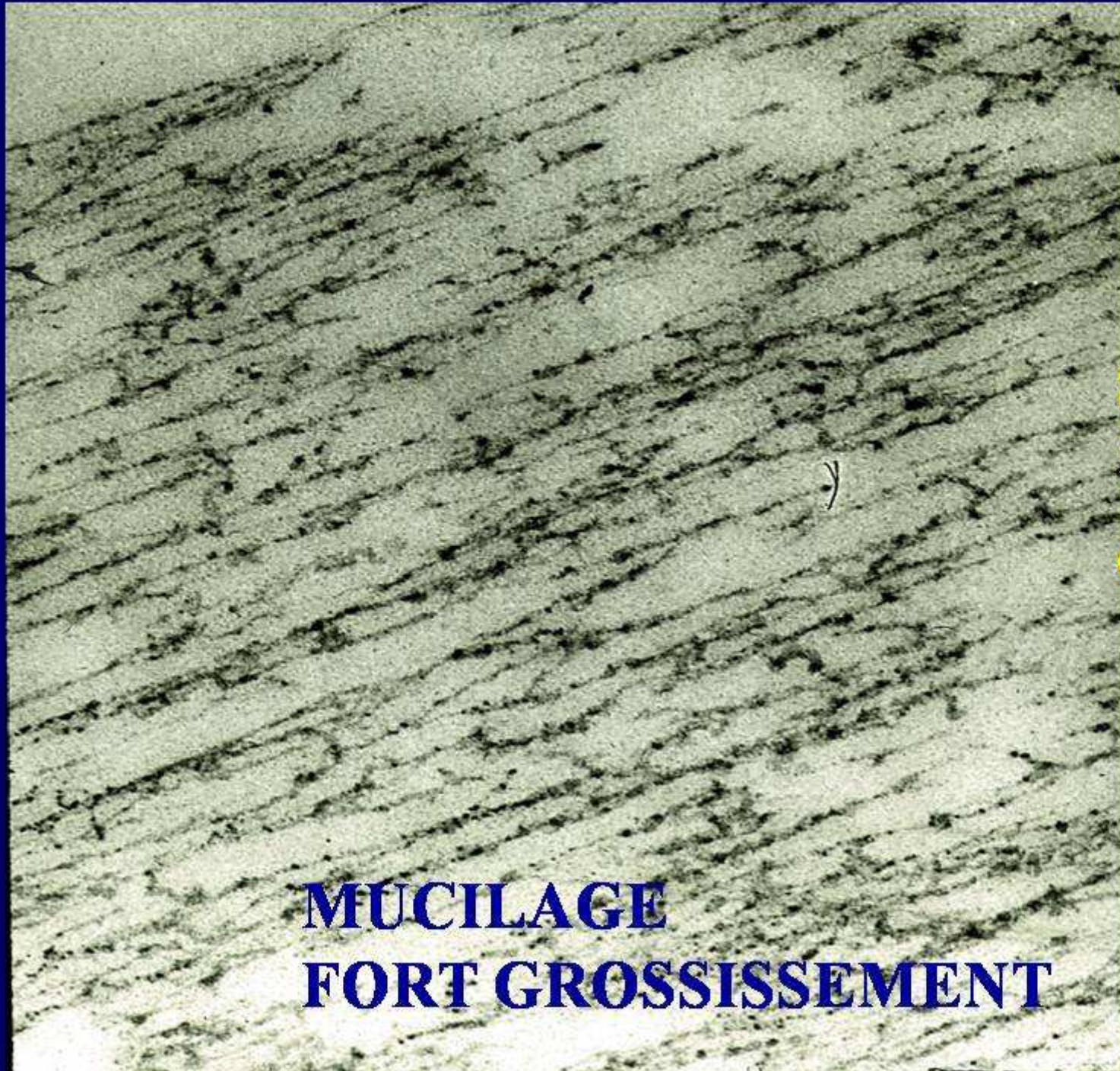
STRUCTURE DU MUCILAGE



COUPE POUR MICROSCOPE ELECTRONIQUE

ULTRASTRUCTURE DU MUCILAGE





**Structure
fibrillaire
du mucilage**

**MUCILAGE
FORT GROSSISSEMENT**

EXSUDATS RACINAIRES

CONSTITUES DE **2** FRACTIONS MAJEURES

*LES MUCILAGES

Fraction visible (macromoléculaire)

*LES EXSUDATS SOLUBLES :

en solution

COMMENT ETUDIER CES

EXSUDATS RACINAIRES?

PEUT- ON LES RECOLTER?

PRODUCTION DE MUCILAGE

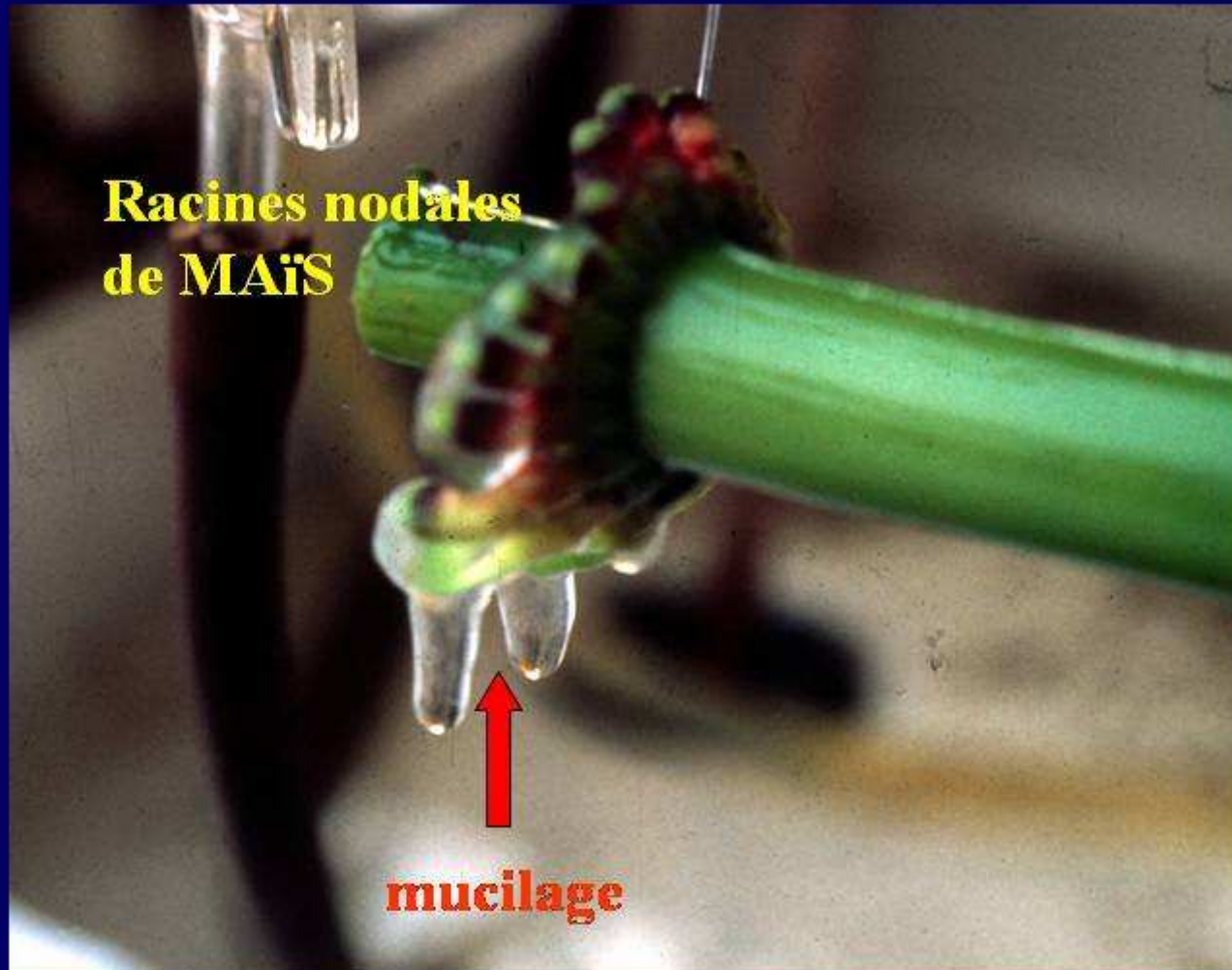
PAR LES RACINES

NODALES DE
MAÏS



RECOLTE DU MUCILAGE

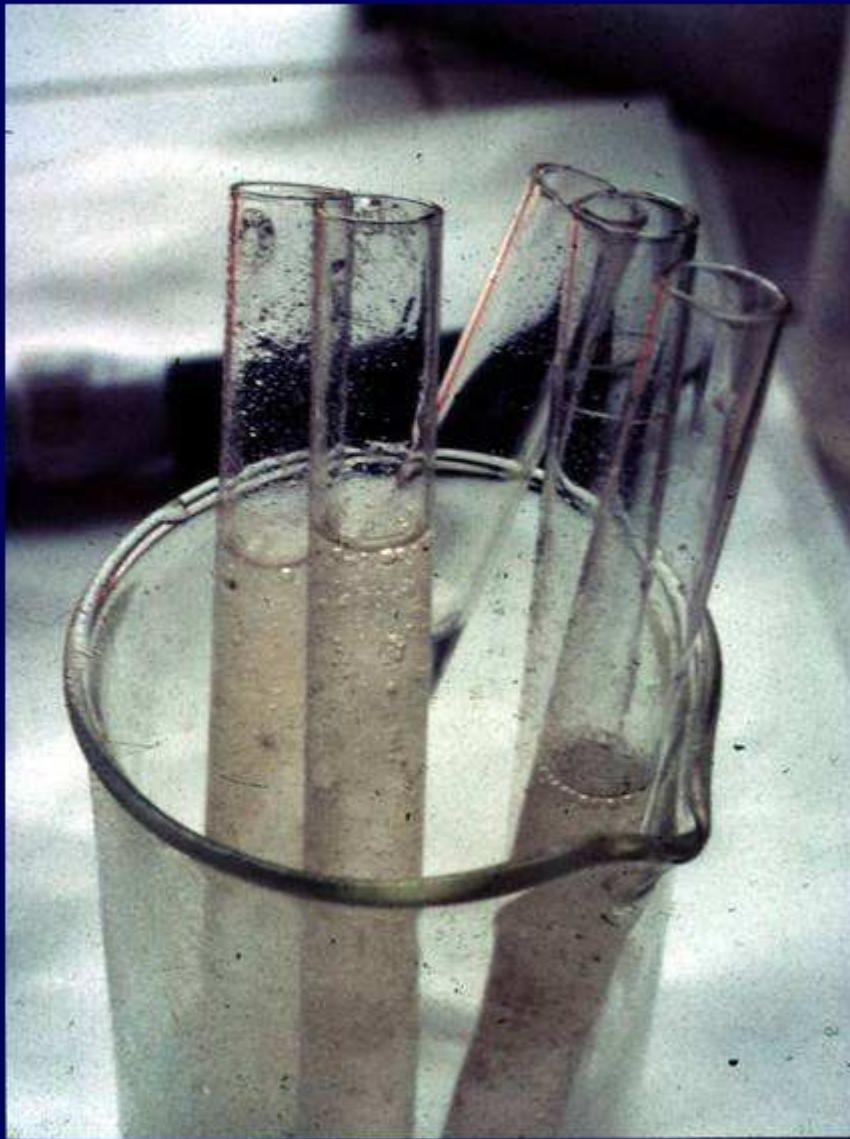
en conditions **non stériles**



ASPIRATION PAR TROMPE A VIDE



**ASPIRATION DU MUCILAGE
SUR LES RACINES NODALES
par TROMPE A VIDE**



mucilage récolté
sur racines nodales
de maïs

RECOLTE D'EXSUDATS EN CONDITIONS STERILES



**Grains de maïs
stérilisés**

**Billes de verre
avec solution nutritive**



**Croissance du
maïs en tube
stérile**

EXSUDATS RECOLTES :

***MUCILAGES :**

OBTENUS PAR SUCCION (TROMPE A VIDE)

***EXSUDATS SOLUBLES :**

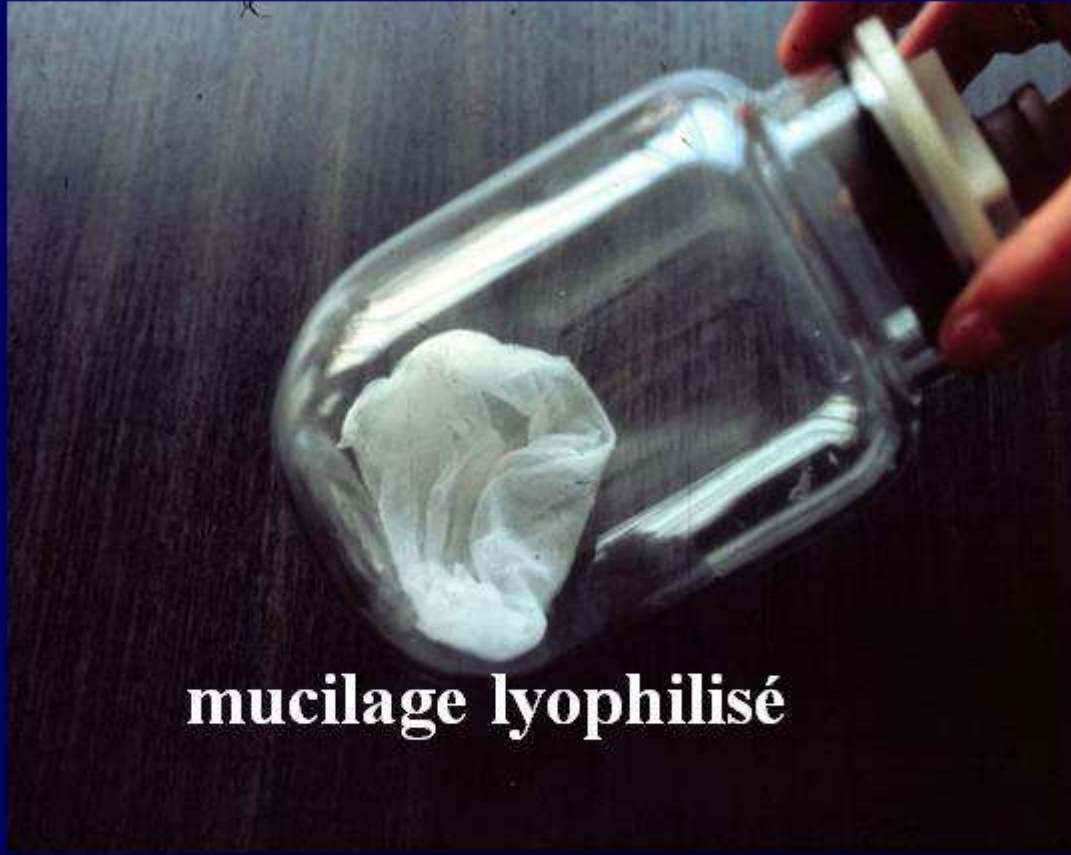
OBTENUS

DANS LA SOLUTION NUTRITIVE

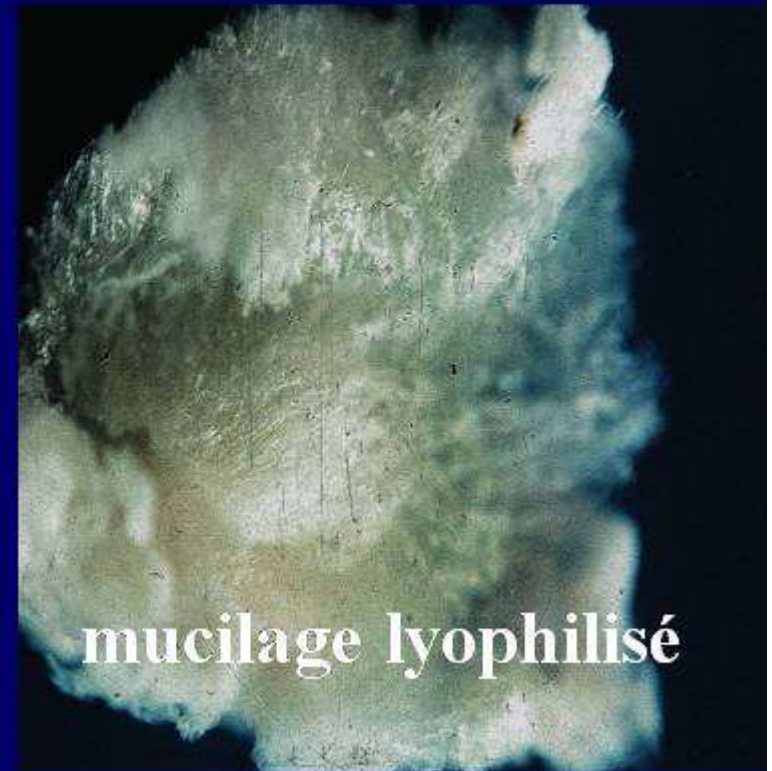
COMMENT CONSERVER CES

COMPOSES ?

CONSERVATION PAR LYOPHILISATION



mucilage lyophilisé



mucilage lyophilisé

Vue en gros plan

COMPOSITION DES EXSUDATS

MUCILAGES

*SUCRES

POLYSACCHARIDES : 95%

ACIDES URONIQUES

FUCOSE, GALACTOSE

GLUCOSE, MANNOSE, XYLOSE

*PROTEINES 3-4%

COMPOSITION DES EXSUDATS SOLUBLES

***Sucres simples**

***Acides aminés**

***Acides organiques**

***Enzymes**

***Phénols**

***Divers : vitamines, stérols...**

PEUT-ON CHIFFRER,

QUANTIFIER

CETTE

EXSUDATION

RACINAIRE ?

QUELLE PART REPRESENTE-T-ELLE

PAR RAPPORT A LA

PRODUCTION DE LA PLANTE

EXPRIMEE PAR

LA PHOTOSYNTHESE

PHOTOSYNTHESE

Assimilation de CO_2

marquage au ^{14}C



^{14}C

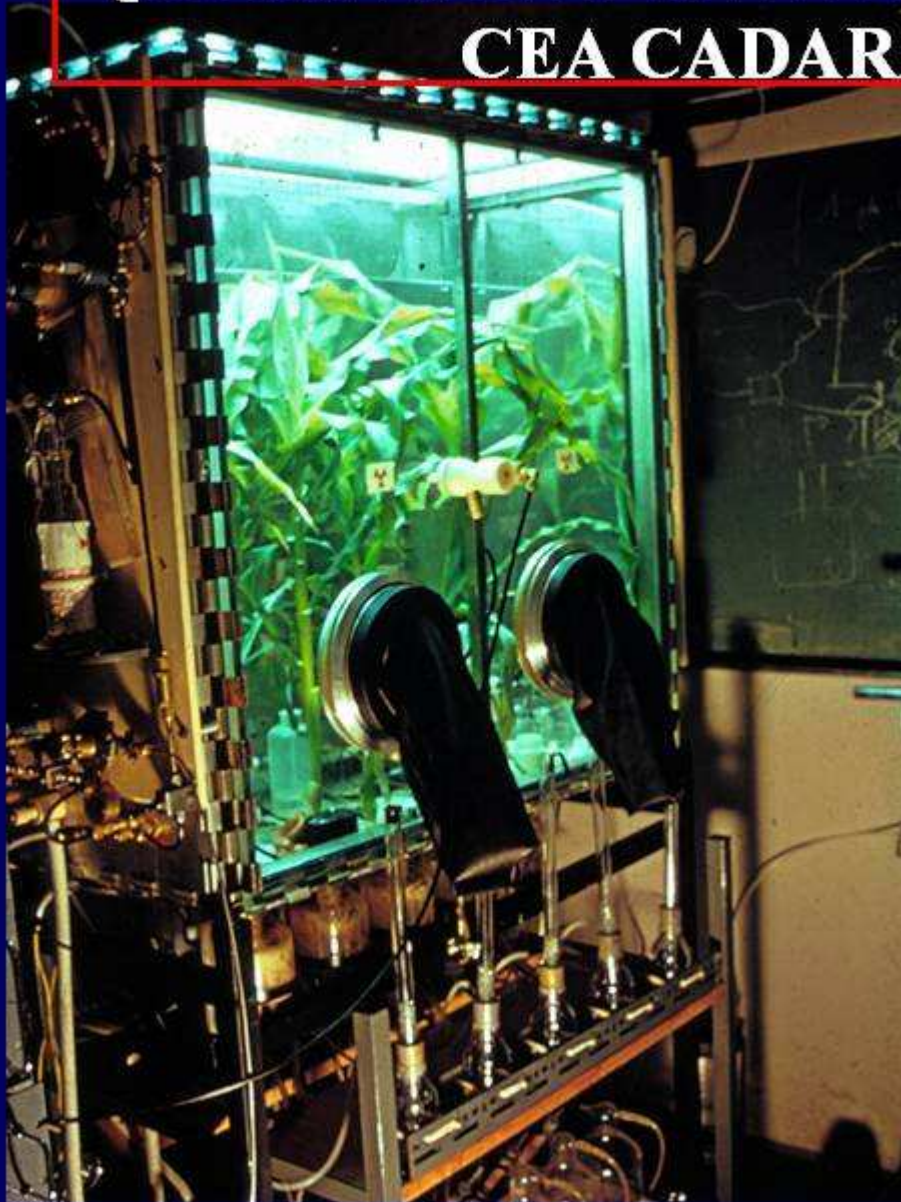


Transfert vers les
Racines et la Rhizosphère

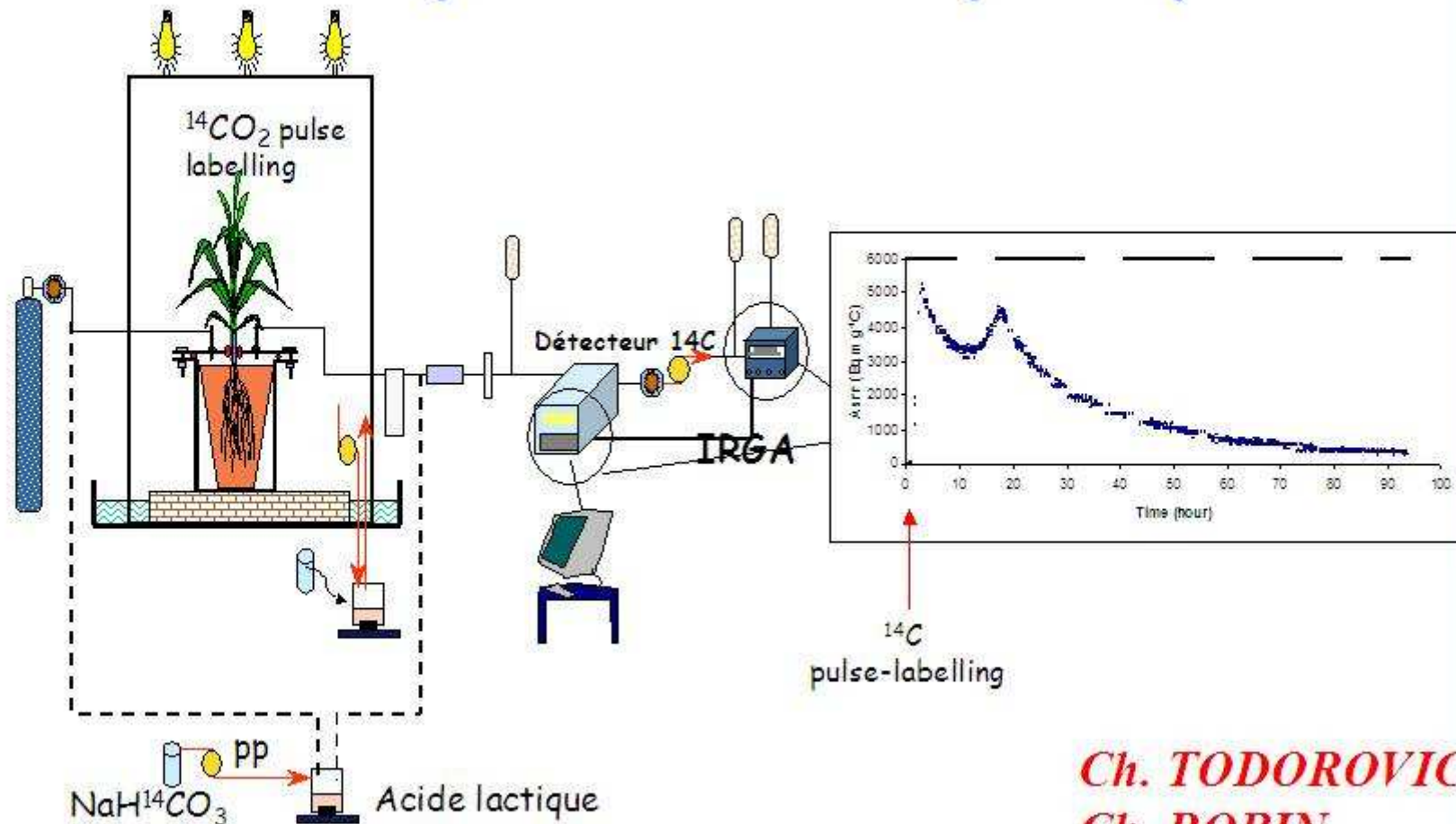


Dosage du ^{14}C = évaluation de la RHIZODEPOSITION

QUANTIFICATION DE L'EXSUDATION CEA CADARACHE



Respiration rhizosphérique



Ch. TODOROVIC
Ch. ROBIN
Ch. NGUYEN

RHIZODEPOSITION :

**ENSEMBLE DES COMPOSES
ORGANIQUES LIBERES DANS LE
SOL PAR LES RACINES :**

***MUCILAGES**

***EXSUDATS SOLUBLES**

***CELLULES DESQUAMEES
de la COIFFE**

LA RHIZODEPOSITION

CORRESPOND A

*5 à 30 % de la photosynthèse

ce qui représente sensiblement

*1 à 3 tonnes de Carbone par ha
et par an

QUELS ROLES JOUENT CES EXSUDATS RACINAIRES?

*PROTECTION DE LA COIFFE DE LA RACINE

*FOURNITURE DE « CARBURANT »
(COMPOSES CARBONES)
A LA MICROFLORE DU SOL

AYANT POUR CONSEQUENCE
LA

STIMULATION DE LA VIE MICROBIENNE

INTERACTIONS ENTRE
EXSUDATS RACINAIRES
et
MICRO-ORGANISMES du SOL

- *Biodégradation des exsudats**
- *Chimiotactisme**
- *Stimulation de l'exsudation**

LES EXSUDATS SERVENT DE SUBSTRAT

aux **MICRO-ORGANISMES** du SOL :

* **BACTERIES**



* **CHAMPIGNONS**



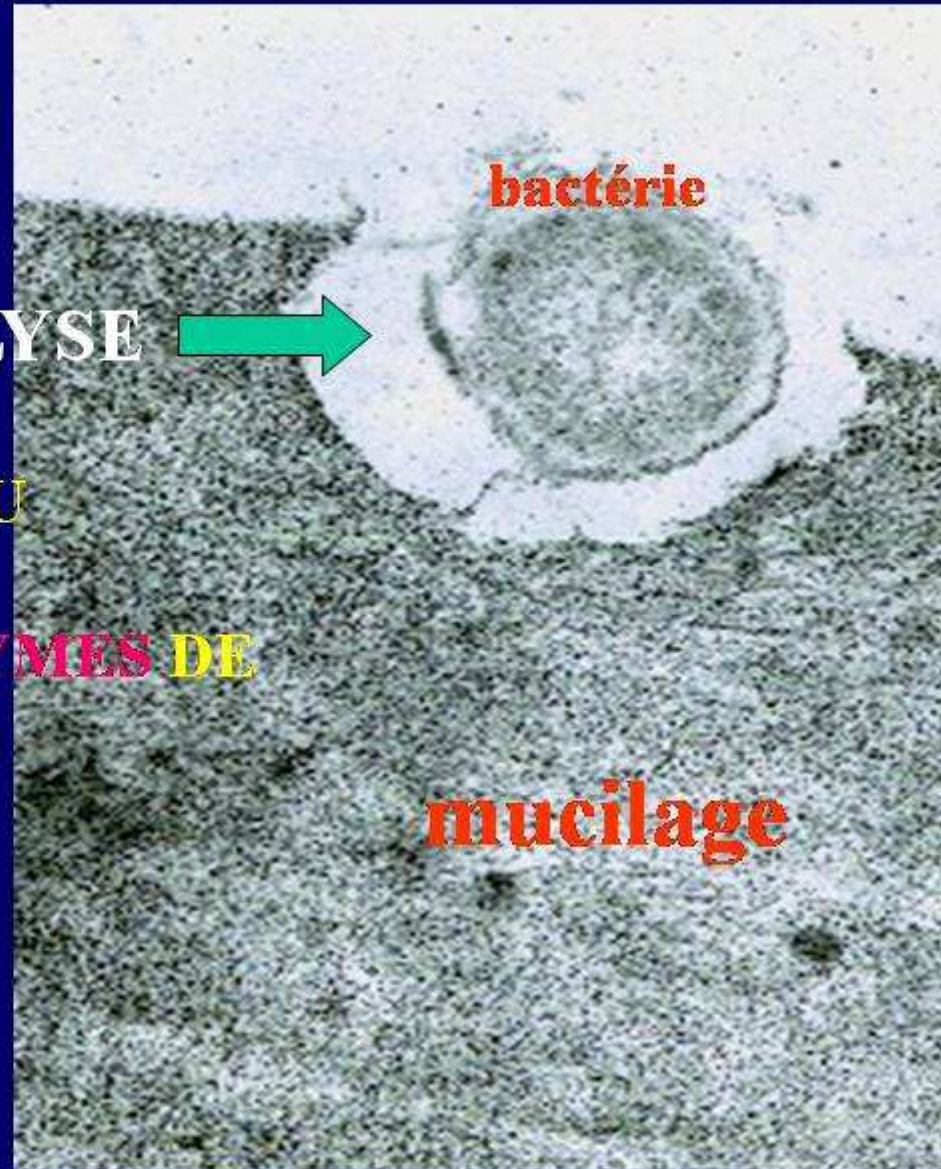
PROCESSUS DE BIODEGRADATION

BIODEGRADATION DU MUCILAGE

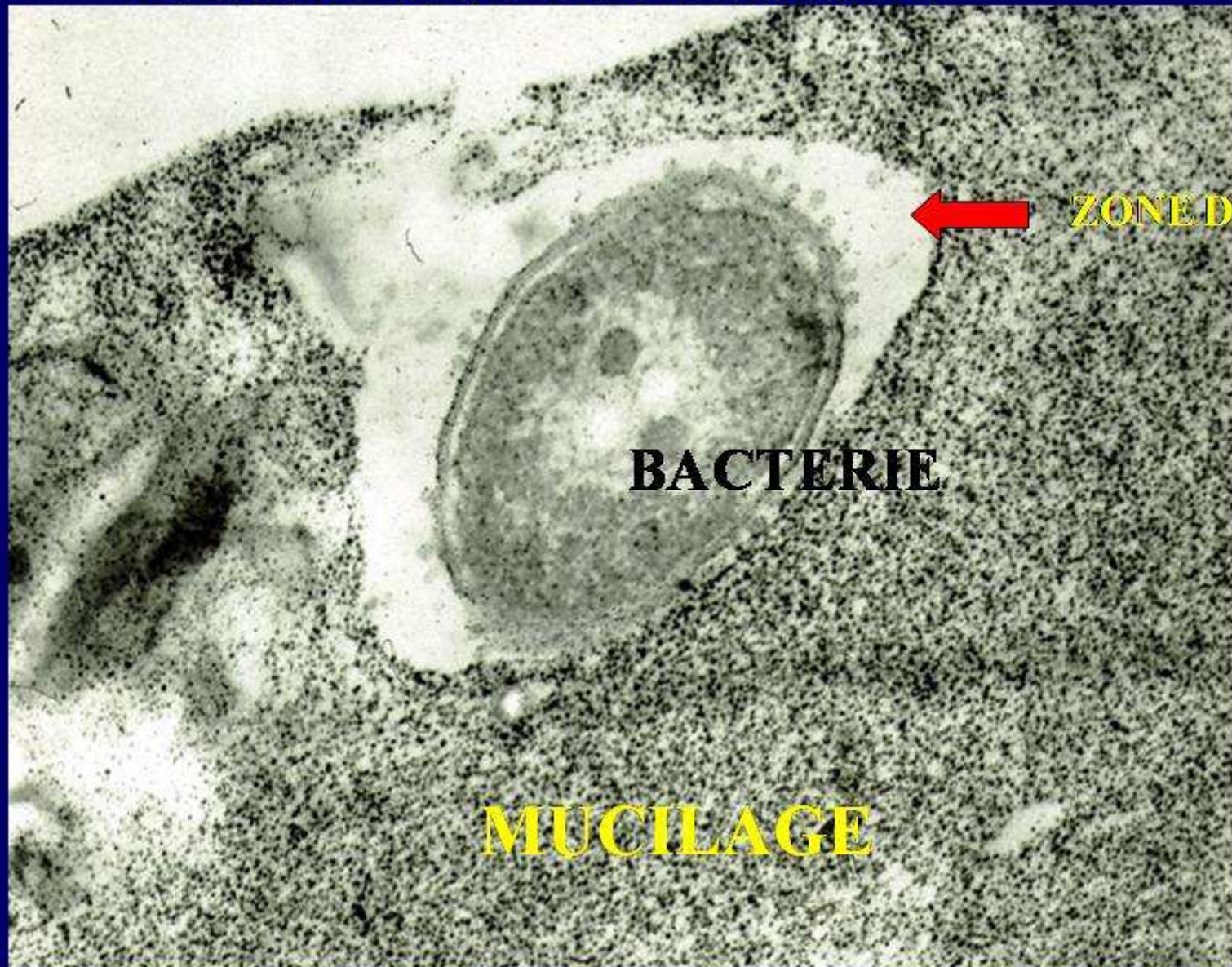
ZONE DE LYSE



DIGESTION DU
MUCILAGE
PAR LES ENZYMES DE
LA BACTERIE



BIODEGRADATION

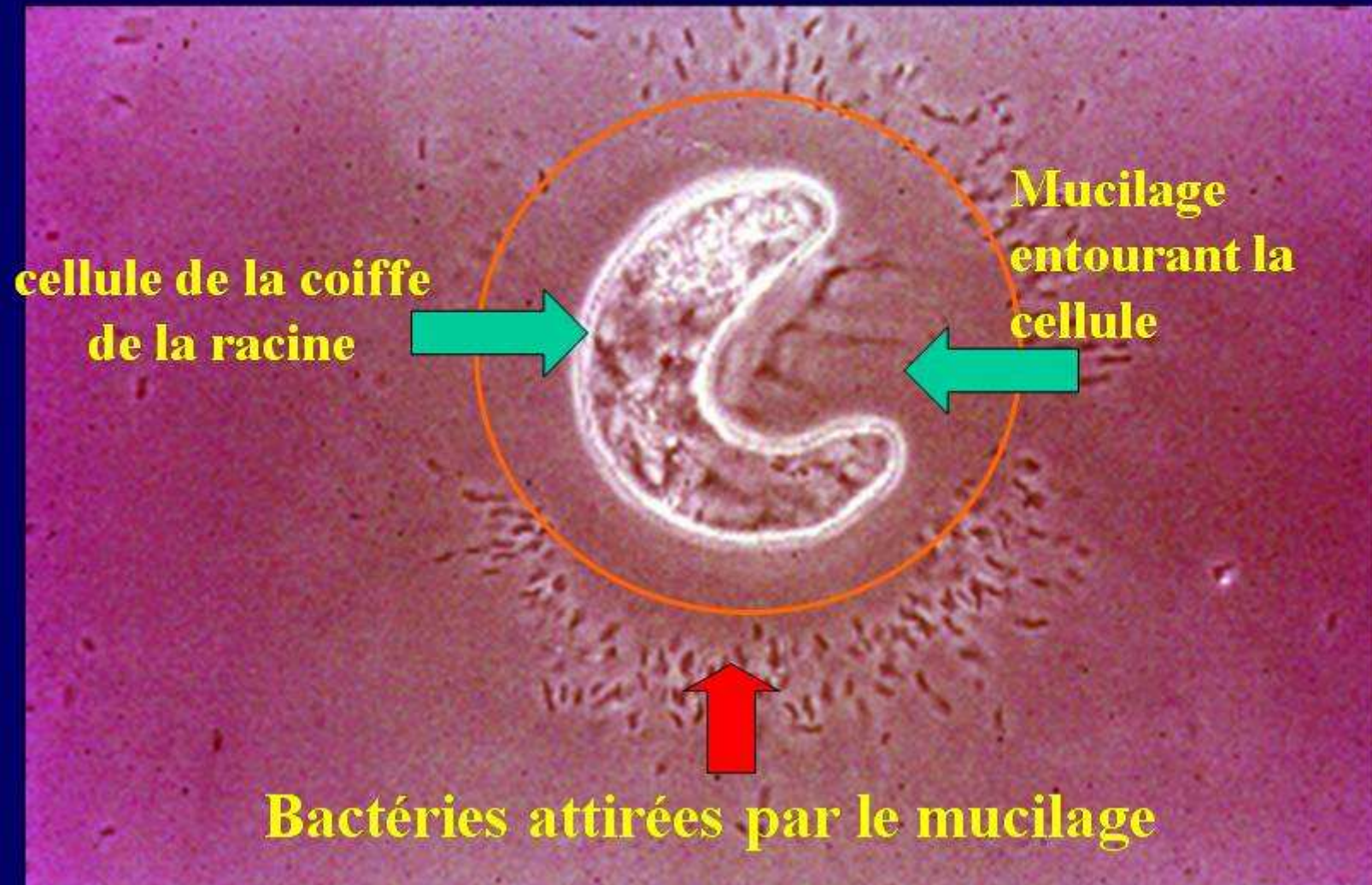


ZONE DE LYSE

BACTERIE

MUCILAGE

ATTRACTION DES BACTERIES
PAR LE MUCILAGE
= CHIMIO-TACTISME



CES PHENOMENES :

*** BIODEGRADATION**

*** ATTRACTION (CHIMIOTACTISME)**

EXPLIQUENT

LA FORTE CONCENTRATION

DE

**MICRO-ORGANISMES DANS
LA RHIZOSPHERE**

**INTENSE VIE MICROBIENNE
DANS LE SOL
RHIZOSPHERIQUE**

**10^8 à 10^{10} cellules bactériennes
par gramme de sol**

**ENORME RESERVOIR DE
BIODIVERSITE**

LA MICROFLORE RHIZOSPHERIQUE EST IMPLIQUEE DANS DIVERS MECANISMES

***FIXATION D'AZOTE**

***SOLUBILISATION DES ELEMENTS
NUTRITIFS**

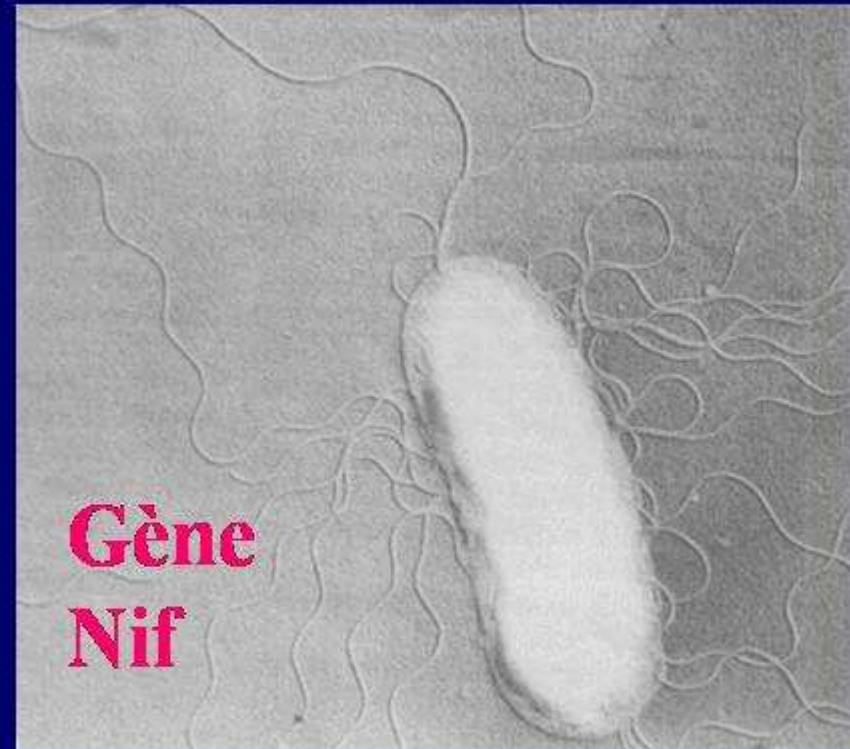
***SYNTHESE DE SUBSTANCES DE
CROISSANCE**

***BIOCONTROLE : ANTIBIOSE**

FIXATION D'AZOTE PAR LES BACTERIES RHIZOSPHERIQUES



NODOSITES DE HARICOT
FIXATION SYMBIOTIQUE



**Gène
Nif**

FIXATION LIBRE
AZOSPIRILLUM
AZOTOBACTER

**SOLUBILISATION
DES ELEMENTS NUTRITIFS
NECESSAIRES A LA PLANTE
PAR
LES EXSUDATS RACINAIRES**

***PHOSPHORE**

***SOUFRE**

***OLIGO-ELEMENTS**

***ELEMENTS TRACES: POLLUANTS**

SOLUBILISATION DES PHOSPHATES

LE PHOSPHORE DEVIENT
RAPIDEMENT INSOLUBLE DANS
LE SOL : liaison avec Calcium, Fer,
Aluminium...

FORMATION DES DIVERS TYPES DE
PHOSPHATES + ou - insolubles

Ions phosphates assimilables = 10% du
PHOSPHORE TOTAL

LA NUTRITION DES PLANTES EN **PHOSPHORE**

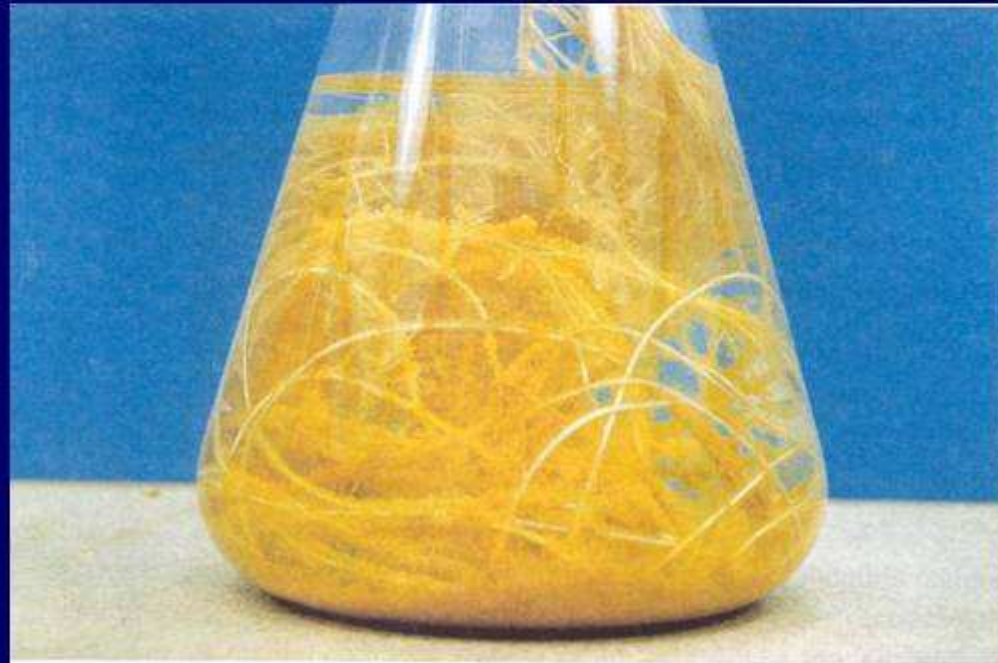
DEPEND ALORS DE DIVERS
MECANISMES :

- *acidification du sol par la Racine
(**excrétion de protons**)
- *exsudation d'acides organiques
(**citrique,malique,oxalique...**)
- *émission de phosphatases racinaires

Mobilisation par les mucilages racinaires
de **phosphates** fixés sur la **goethite**
(oxyhydroxyde de fer)
Prélèvement jusqu'à 23% du P adsorbé



SYTEME STERILE



**goethite adhérente aux MUCILAGES
des racines**

Dynamique du

SOUFRE

dans la rhizosphère

du COLZA



LE SOUFRE EST RAPIDEMENT

IMMOBILISE
DANS LE SOL

SOUS FORME ORGANIQUE

NON UTILISABLE PAR LES
VEGETAUX

**CETTE IMMOBILISATION EST
FONCTION**

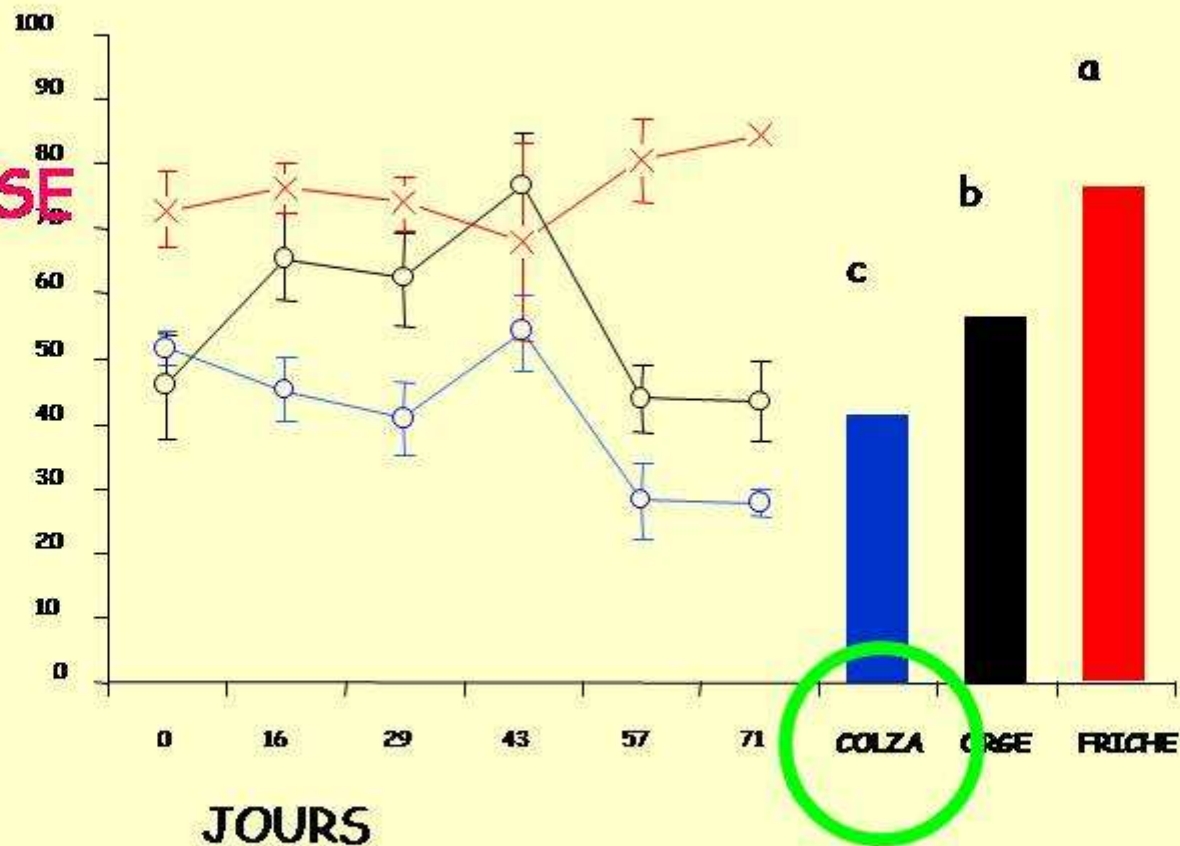
**DU TYPE DE PLANTE
ET DE SA RHIZOSPHERE**

**IMMOBILISATION PLUS LENTE SOUS
COLZA**

COMPAREE A L'ORGE

Dynamique du S dans la rhizosphère

SOUFRE
IMMOBILISE



MOINS DE SOUFRE IMMOBILISE SOUS COLZA

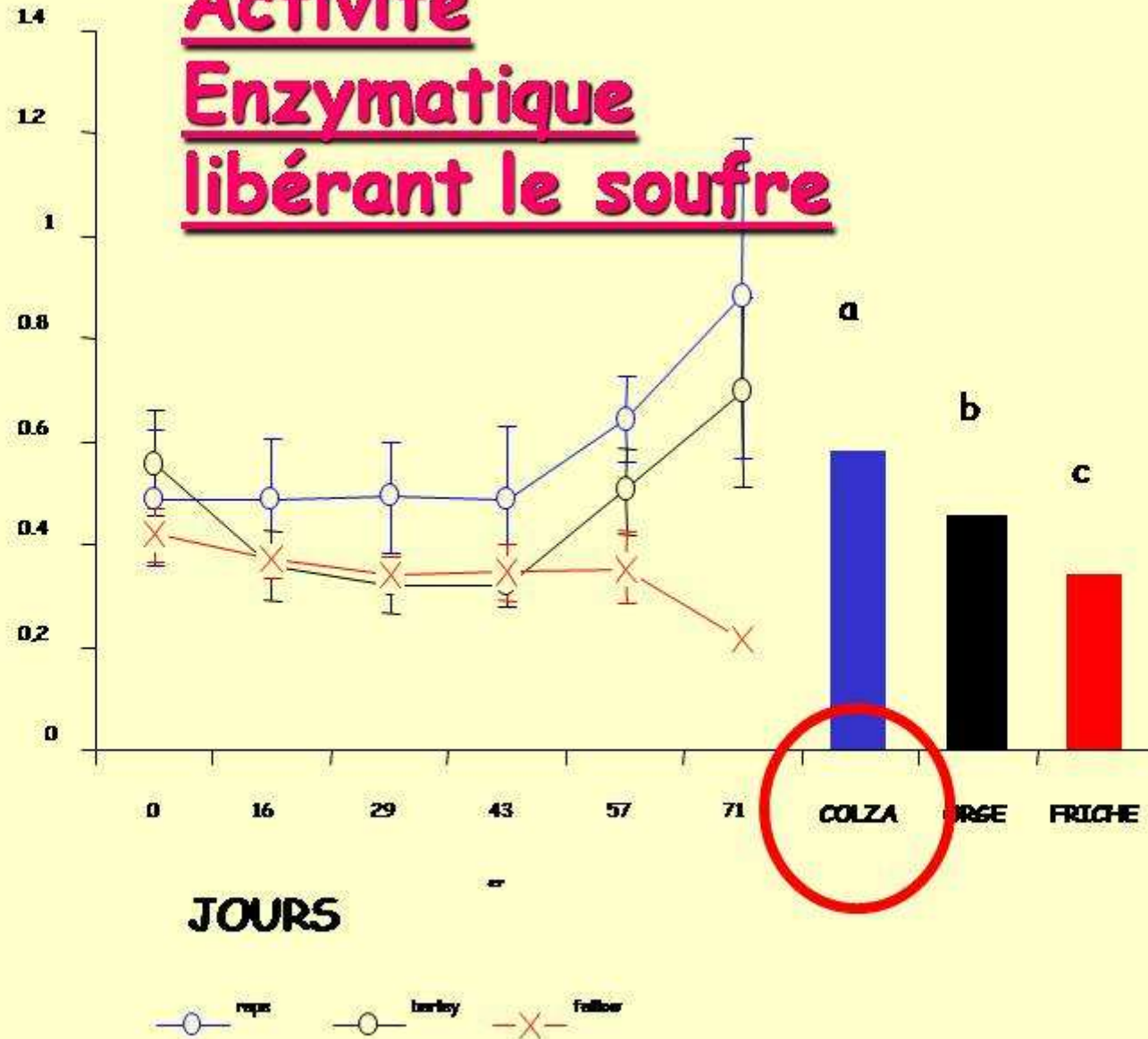
**LES EXSUDATS RACINAIRES DU COLZA
STIMULENT UNE**

**ACTIVITE ENZYMATIQUE
PARTICULIERE
DE LA MICROFLORE**

L'ACTIVITE ARS

**Libérant le soufre sous forme assimilable
par le colza**

Activité Enzymatique libérant le soufre



INTERACTIONS

ENTRE

Les MICRO-ORGANISMES

DE LA RHIZOSPHERE

et

EFFETS SUR LES RACINES

EFFETS FAVORABLES DES BACTERIES DE LA RHIZOSPHERE :

***1 SYNTHÈSE DE SUBSTANCES DE CROISSANCE (HORMONES : AUXINES)**

Stimulation de la **croissance des racines**

***2 PRODUCTION DE « SIDÉROPHORES »**

Agents de transport (chélation) du Fer

***3 PRODUCTION D'ANTIBIOTIQUES**



LUTTE BIOLOGIQUE

LUTTE BIOLOGIQUE

UTILISATION DE BACTERIES
RHIZOSPHERIQUES

DU TYPE PSEUDOMONAS

CONTRE

CHAMPIGNONS PARASITES

ex : FUSARIUM

ANTIBIOSE



A



PSEUDOMONAS



B

FUSARIUM

+

PSEUDOMONAS



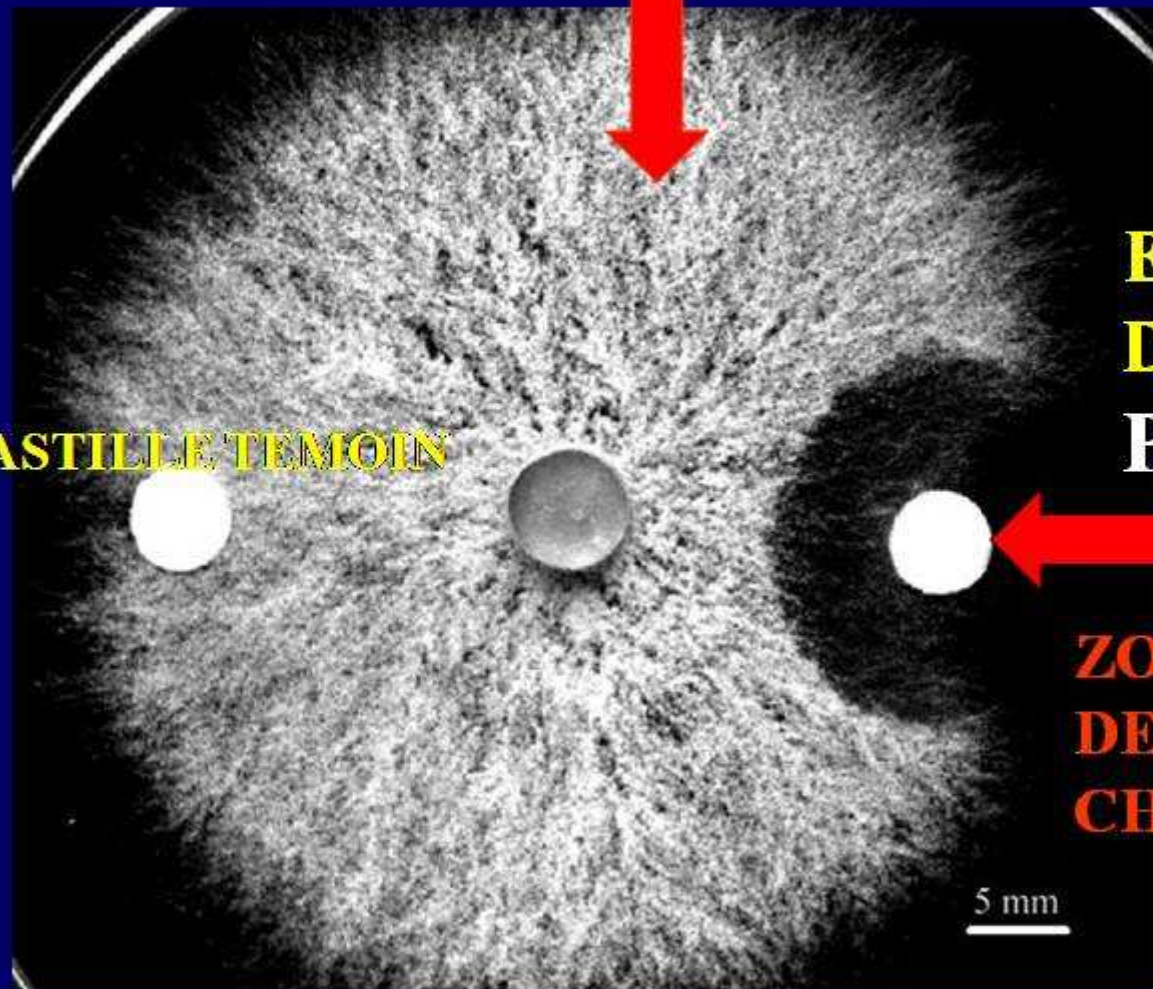
C



FUSARIUM

PSEUDOMONAS LIMITE LA CROISSANCE
DU FUSARIUM

RHIZOCTONE DE LA PDT



PASTILLE TEMOIN

**EXTRAIT
DE
PSEUDOMONAS**

**ZONE D'INHIBITION
DE CROISSANCE DU
CHAMPIGNON**

5 mm

UTILISATION DE

PSEUDOMONAS

POUR

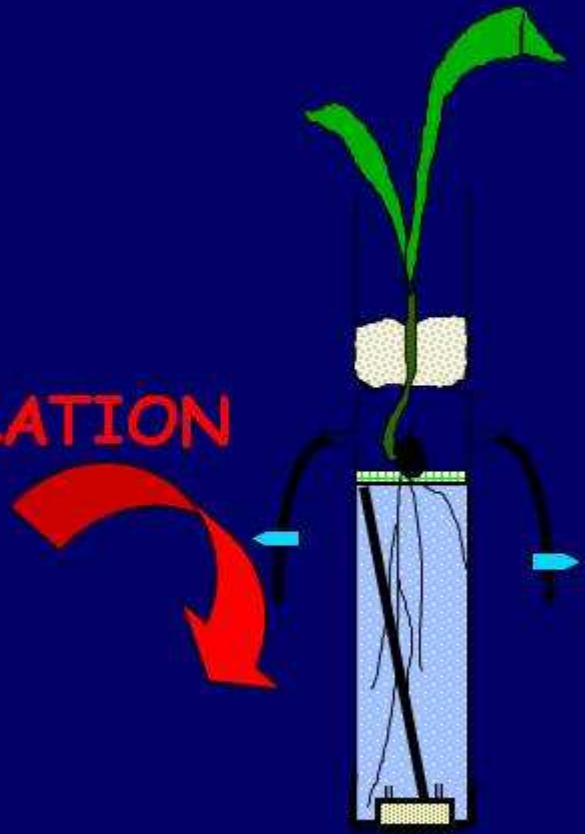
L' INOCULATION DE

SYSTEMES RACINAIRES

ANTIBIOSE

→ PSEUDOMONAS-FUSARIUM

INOCULATION

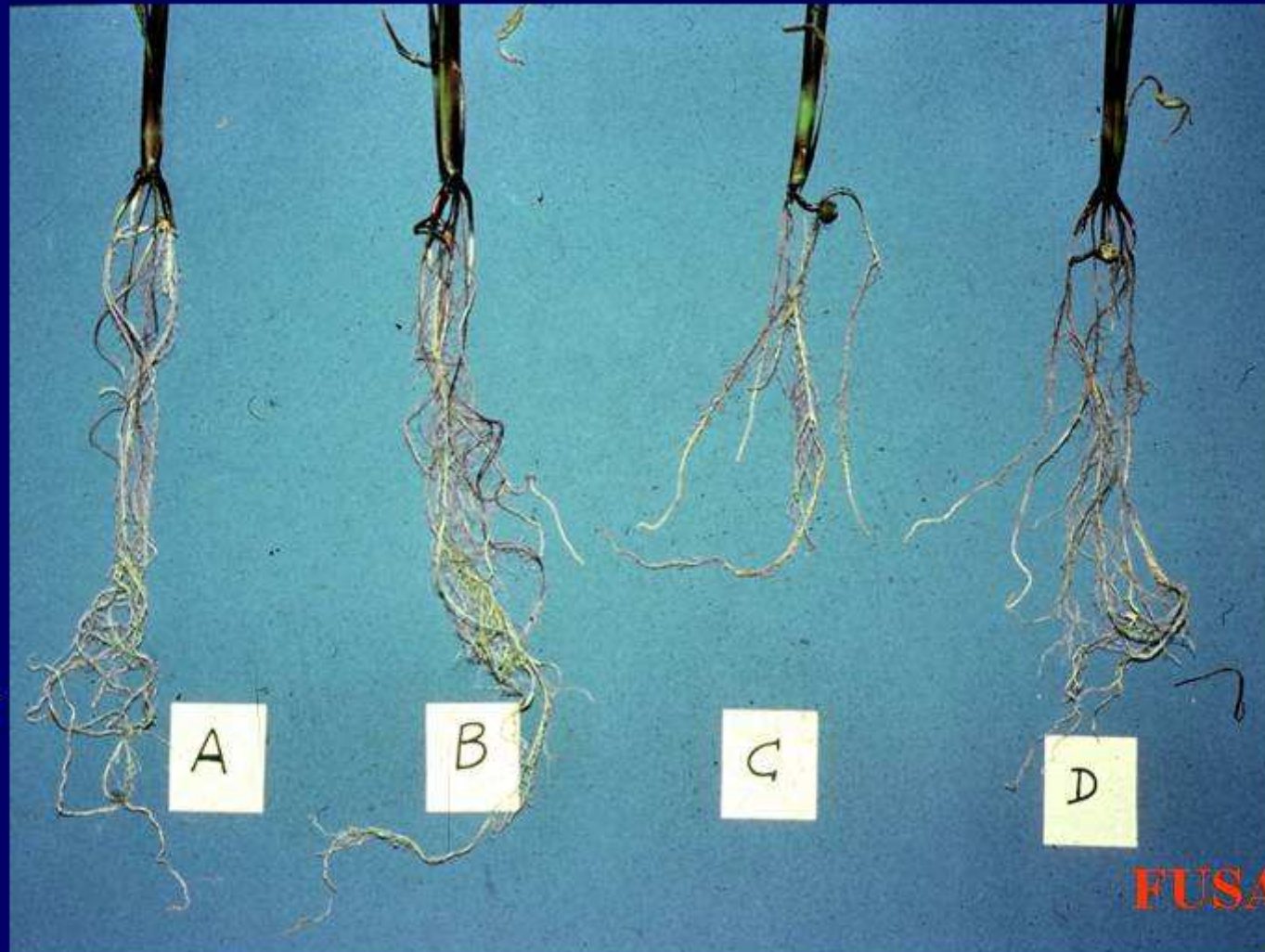


PRELEVEMENT



INTERACTIONS **PSEUDOMONAS FUSARIUM** SUR RACINES DE MAÏS

TEMOIN



PSEUDOMONAS

FUSARIUM

PSEUDOMONAS

FUSARIUM

+

PRODUCTION de :

SUBSTANCE DE CROISSANCE

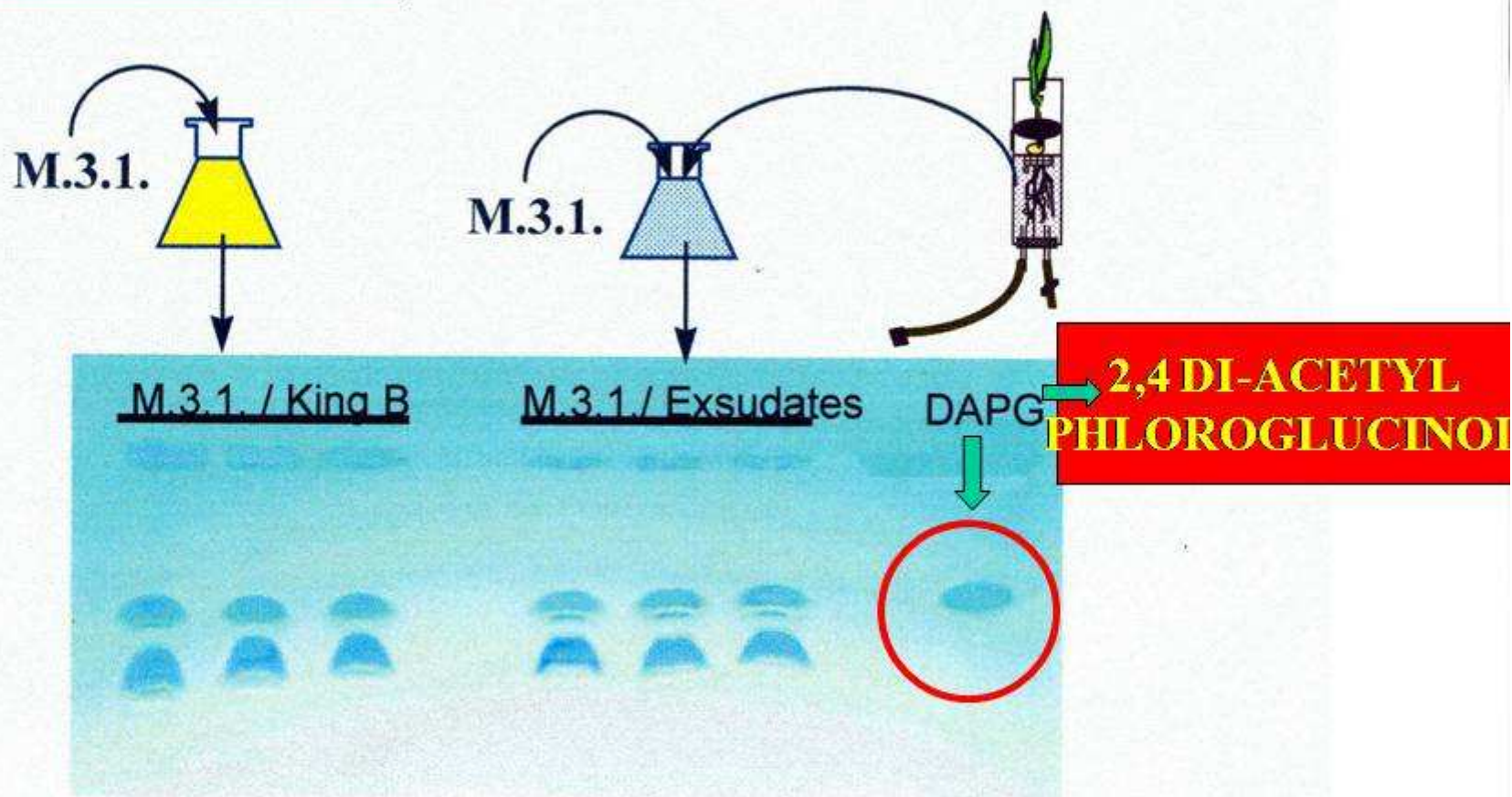
AIA = ACIDE INDOLACETIQUE

d'ANTIBIOTIQUES

***DAPG : 2,4 Di-acetyl phloroglucinol**

Production d'ANTIBIOTIQUES par

Pseudomonas graminearum M.3.1



**QUEL EST LE ROLE DES
EXUSUDATS RACINAIRES
A L'EGARD DES
PROPRIETES PHYSIQUES DU SOL
et
notamment la
STRUCTURE DU SOL ?**

**LA STRUCTURE DU SOL EST
DETERMINEE PAR L'AGENCEMENT
D'UNITES ELEMENTAIRES
appelées AGREGATS**



**STRUCTURE
en
GRUMEAUX
très meuble**

**LES MUCILAGES RACINAIRES
SONT CAPABLES**

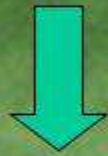
DE LIER LES PARTICULES MINERALES

« EFFET DE COLLAGE »

ET DE CONTRIBUER AINSI

A LA FORMATION D'AGREGATS

**RACINE COUVERTE DE
MICRO-AGREGATS DE TERRE**



**LIAISON DES PARTICULES MINERALES
PAR LES MUCILAGES**

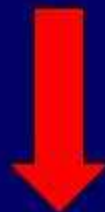


**COMMENT METTRE EN EVIDENCE
CES LIAISONS ENTRE**

PARTICULES MINERALES

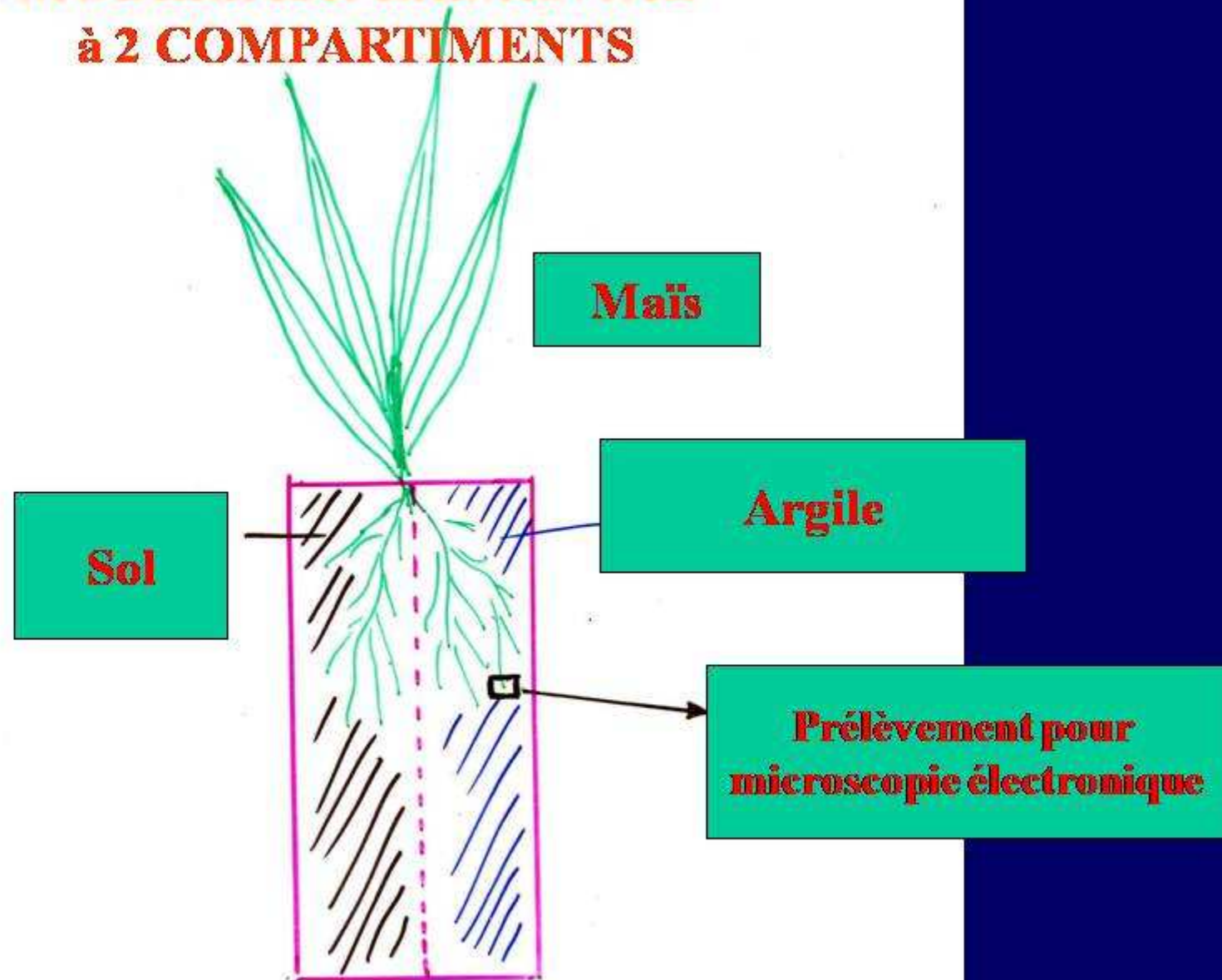
ET

MUCILAGES RACINAIRES

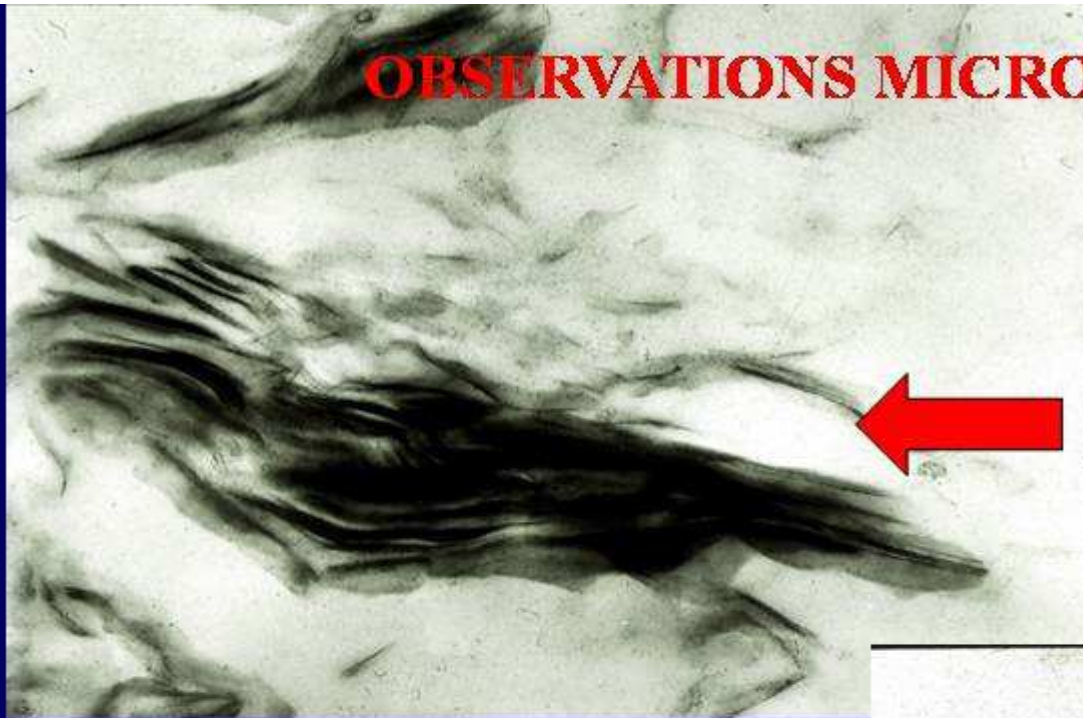


MODELE EXPERIMENTAL

MODELE EXPERIMENTAL à 2 COMPARTIMENTS

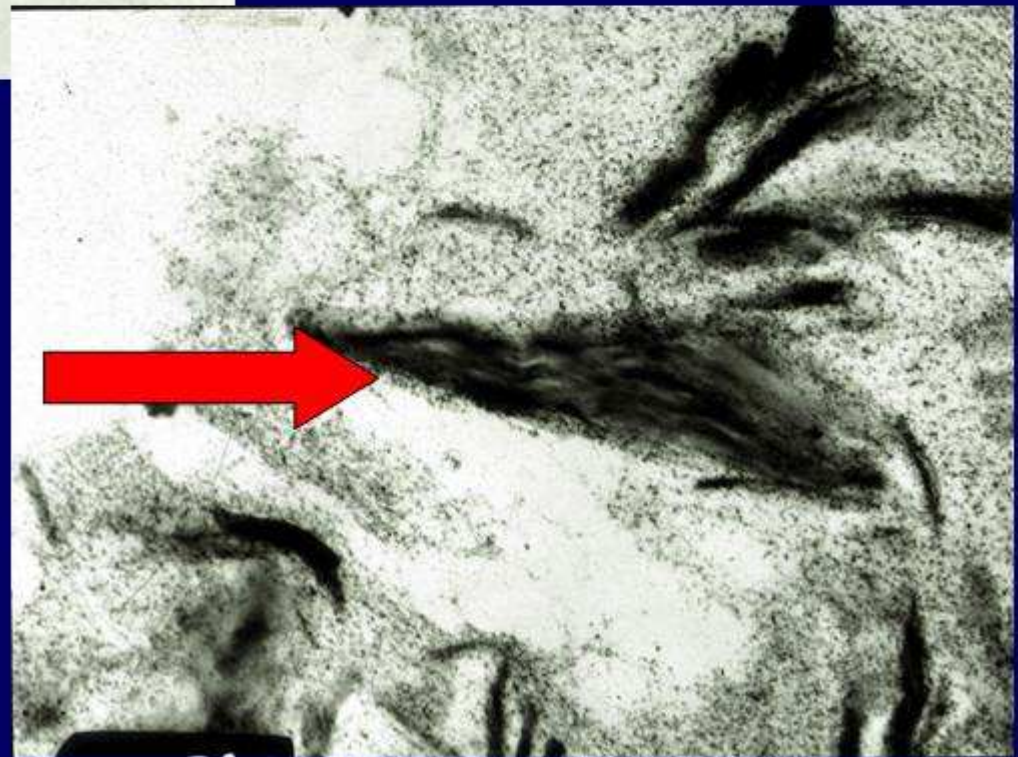


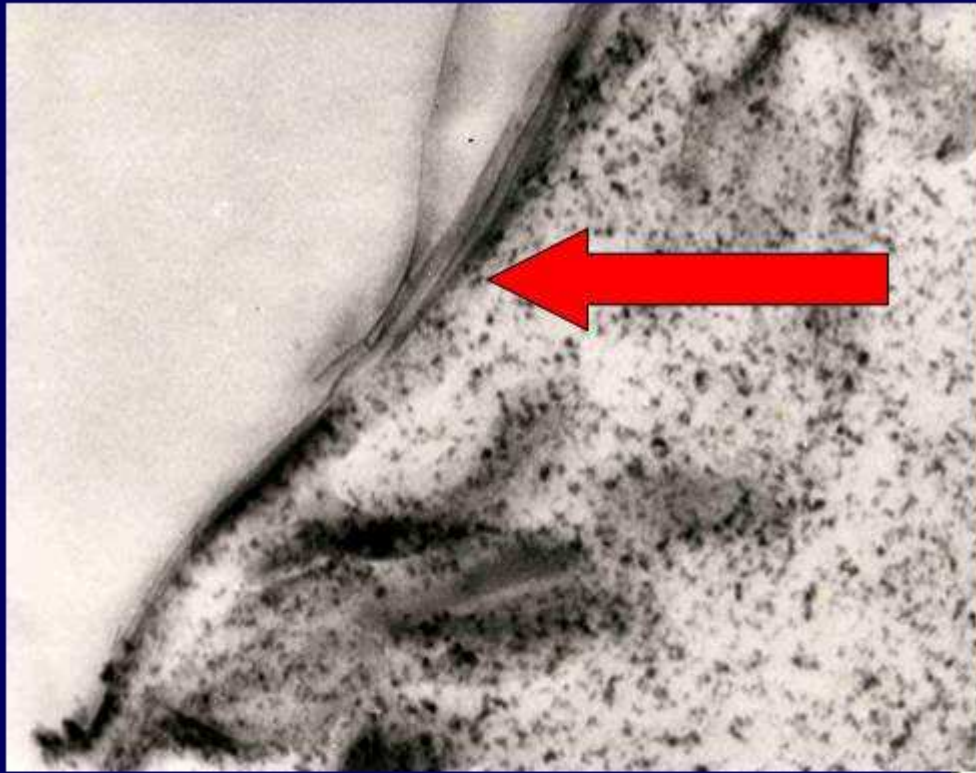
OBSERVATIONS MICROSCOPE ELECTRONIQUE



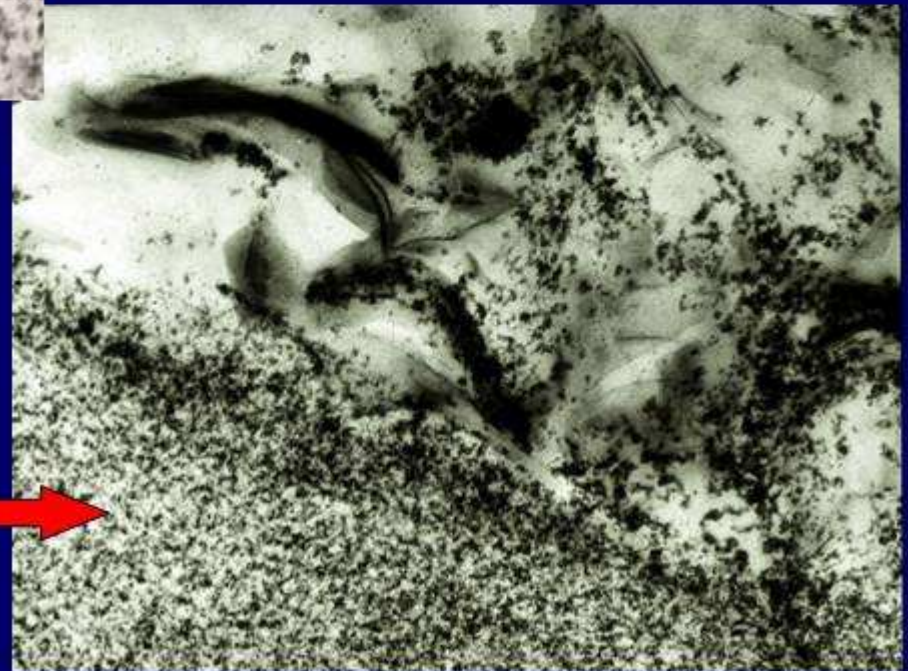
**FEUILLETS D'ARGILE
TEMOINS**

**FEUILLETS D'ARGILE
INCLUS DANS
LE MUCILAGE RACINAIRE**



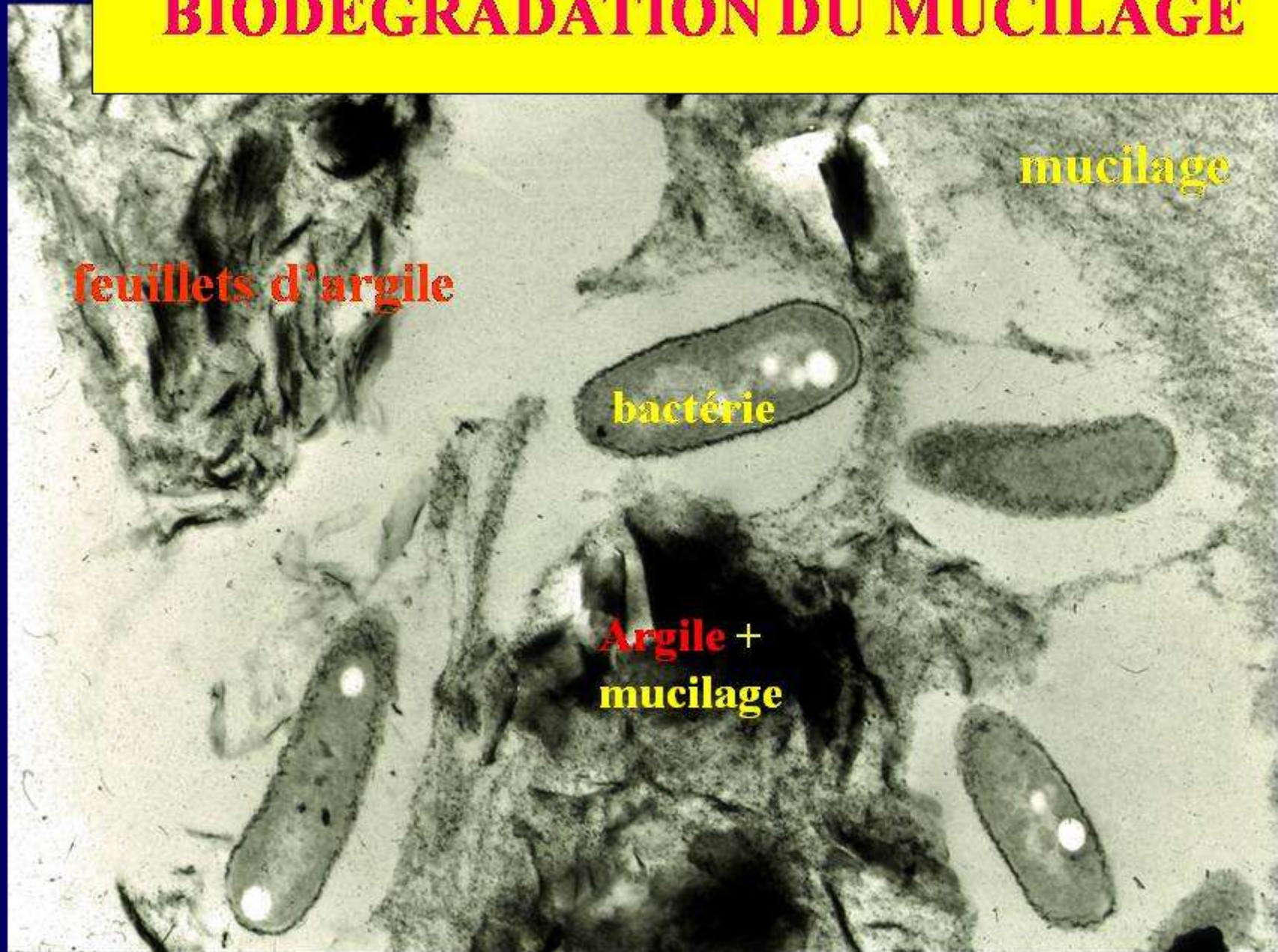


**Feuillets d'argile
liés au mucilage**



MUCILAGE

LIAISONS MINÉRALES ET BIODEGRADATION DU MUCILAGE



EXEMPLES D'APPLICATION DES CES TRAVAUX

***Effet des substances de croissance sur blé**

***Production de composés à usage cosmétique ou
pharmacologique par les végétaux
Brevet PAT**

APPLICATIONS

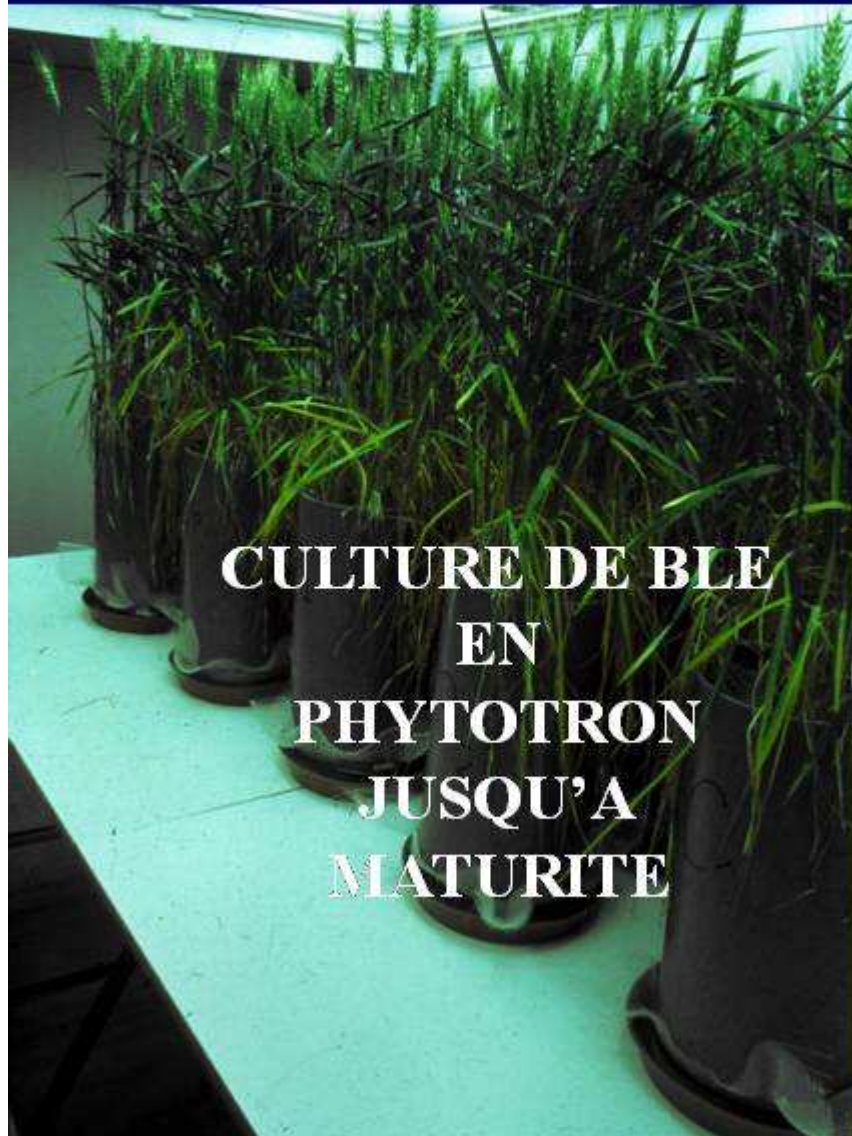
ETUDE DU MODE D'ACTION DE SUBSTANCES DE CROISSANCE SUR BLE

RACCOURCISSEURS DE PAILLE

effet anti-verse

Raccourcisseurs de paille

CYCOCEL CL



témoin

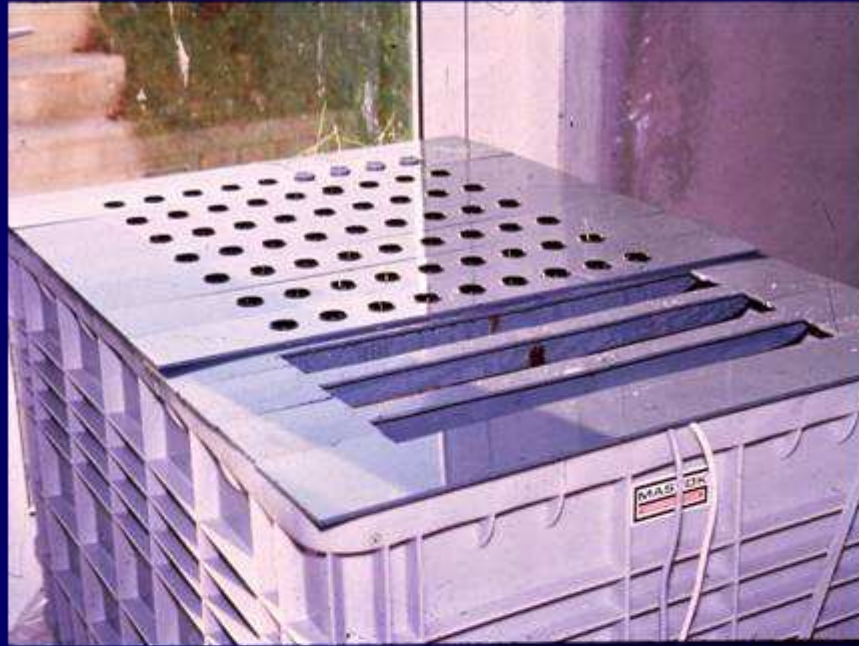
blés traités

paille raccourcie

**LE PRODUIT REGULATEUR
EXERCE-T-IL**

**UN EFFET SUR LA CROISSANCE
DES RACINES ?**

**Utilisation d'un dispositif
aéroponique**



DISPOSITIF DE CULTURE AEROPONIQUE

BRUMISATEURS



CROISSANCE DU BLE

en **AEROPONIE**

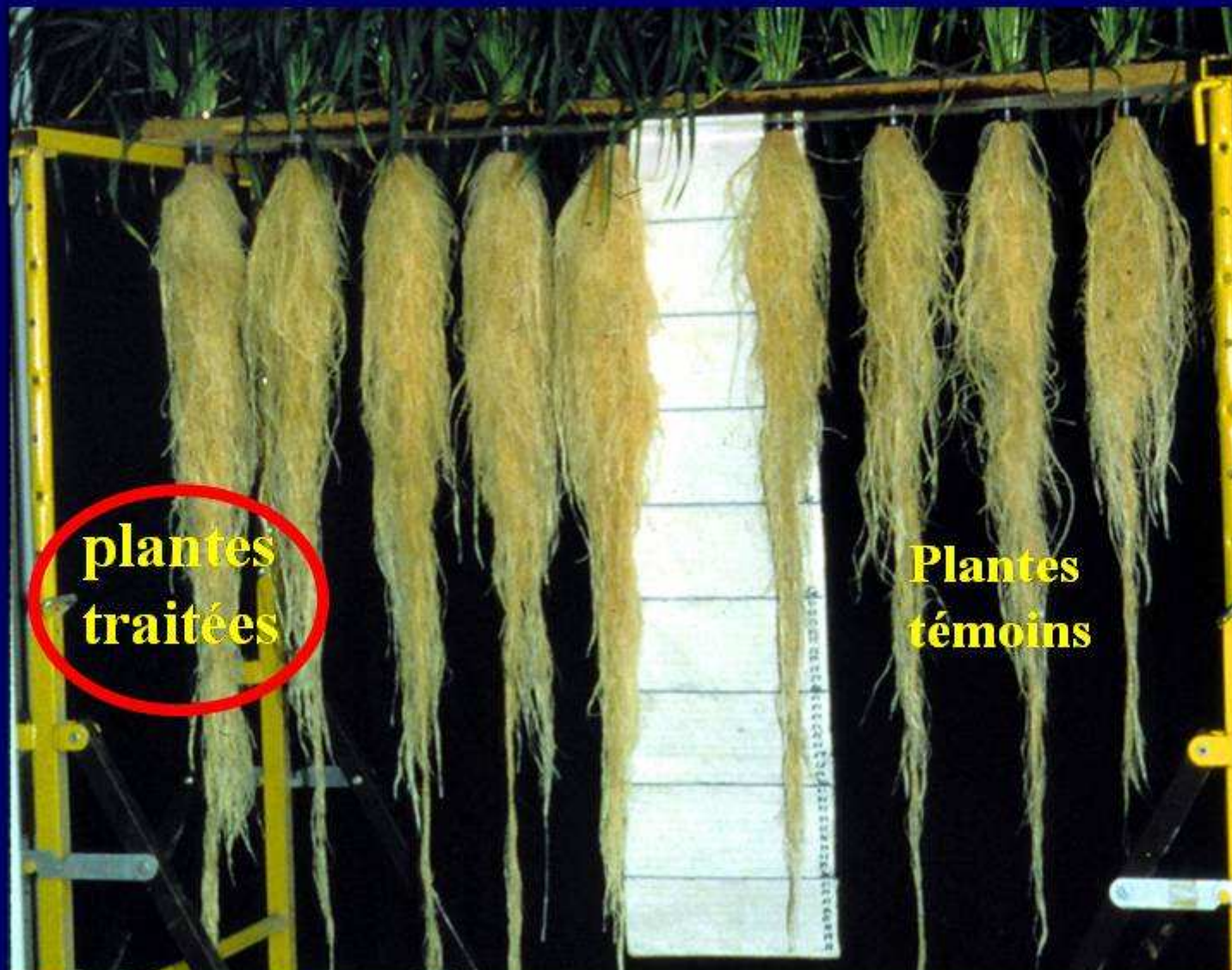


BIOMASSE RACINAIRE DE BLE EN AEROPONIE



DEBUT MONTAISON

EFFET DU CYCOCEL CL SUR LES RACINES DE BLE



**plantes
traitées**

**Plantes
témoins**

**PRODUCTION DE
METABOLITES SECONDAIRES
VALORISABLES**

COSMETOLOGIE

PHARMACOLOGIE

BREVET N° 9914204

dépôt : 09/11/1999

**« Procédé de production de métabolites à partir de
végétaux en culture hors sol »**

PAT

**Gontier E. Clément A. Bourgaud F. et
Guckert A.**

**BREVET AYANT GENERE LA
CREATION D'UNE « START UP »:**

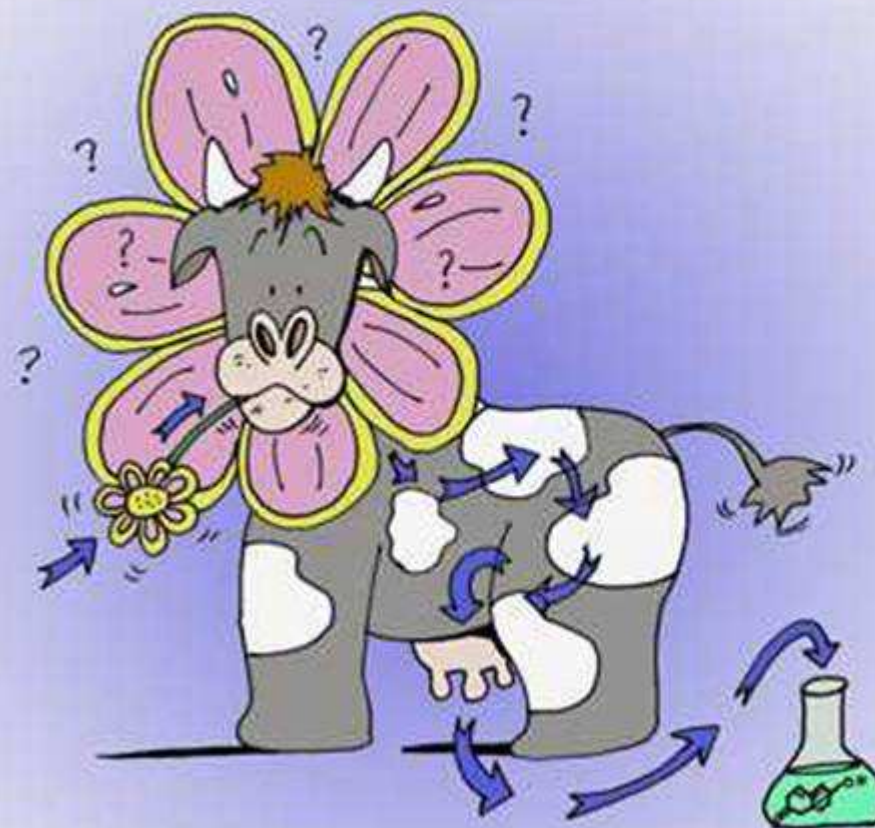
**PLANT ADVANCED TECHNOLOGIES
(PAT SA)**



**« launched in july 2005 in Nancy - France, is
a life sciences company focusing on
innovative plant extracts production for
pharmaceutical and cosmetic companies. »**

DISPOSITIF

« PLANTES A TRAIRE »





**Cultures hydroponiques de
Datura innoxia
et Perméabilisation des
racines**

Datura innoxia



Production d'acaloïdes

tropaniques : scopolamine

hyoscyamine



Biomasse racinaire

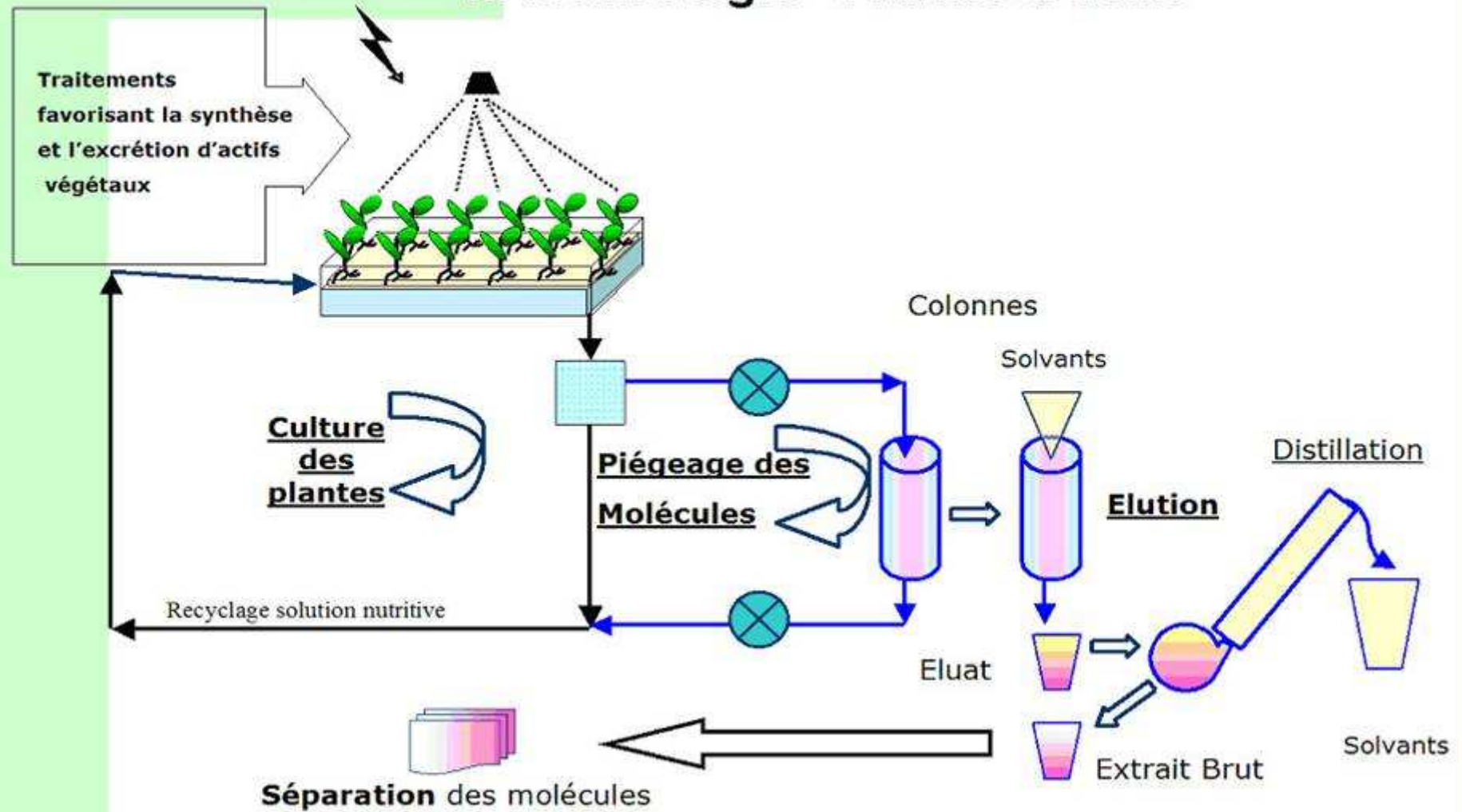
soumise à

PERMEABILISATION

et extraction des molécules

valorisables

Pilote de production suivant la technologie "Plantes à traire"



PLANTES A TRAIRES

SYSTEME NON DESTRUCTIF

**REUTILISATION DES
PLANTES**

pour divers cycles

**CULTURES EN CONDITIONS
CONTROLEES**

**NOUVEAUX
DEVELOPPEMENTS**

(mécanismes d'excrétion)

**PLANTES CARNIVORES
TRANSFORMEES**

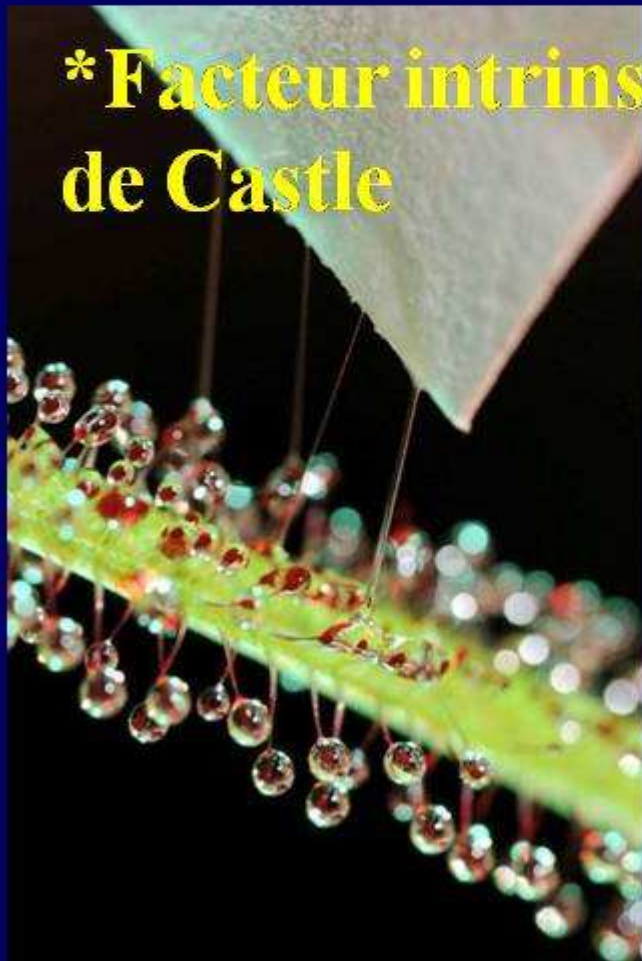
Drosera, Nepanthes

Cf EST MAGAZINE 25/10/09

Récolte de sécrétions de DROSERA MODIFIEE

*Interferon gamma

*Facteur intrinsèque
de Castle



Photos A. Marchi

Récolte des sécrétions à partir des urnes de **NEPANTHES**



Photos A. Marchi

CONCLUSIONS

LA RHIZOSPHERE

« volume du sol entourant la racine »

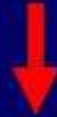
représente une

ZONE CLE DE LA BIOSPHERE

LIEU DE CONTACT ENTRE

« le BIOLOGIQUE et le MINERAL »

**LA RACINE LIBERE DANS LE SOL
DES QUANTITES NON
NEGLIGEABLES DE
COMPOSES ORGANIQUES**



**MECANISME D'EXSUDATION
RACINAIRE**

**CES EXSUDATS RACINAIRES JOUENT
UN **ROLE** DETERMINANT
DANS DIVERS PROCESSUS :**

*** PROTECTION DE LA COIFFE DE
LA RACINE**

*** STRUCTURE DU SOL**

*** SOLUBILISATION DES ELEMENTS
NUTRITIFS**

*** STIMULATION DES
COMMUNAUTES MICROBIENNES**

APPLICATIONS DE CES CONNAISSANCES :

***FIXATION D'AZOTE**

***ASSIMILATION
DES ELEMENTS NUTRITIFS**

***ANTIBIOSE**

***PRODUCTION DE
METABOLITES VALORISABLES
(COSMETIQUES, PHARMACOLOGIE)**



Merci pour
votre attention