

Genèse et perspective historique sur le programme Photomorphogenèse:

de l'interception à la perception de la
lumière...
et effet sur la structure (plante/peuplement)

Chronologie des actions de recherche



INRA
Département Agronomie

RAPPORT D'ACTIVITE SCIENTIFIQUE
de la Station ou du Laboratoire

Ecophysologie des Plantes Fourragères

1986 - 87 - 88*

Lieu d'implantation... LUSIGNAN

Responsable de la Station ou du Laboratoire... Gilles LEMAIRE

* Date du rapport d'activité : l'activité porte sur la période comprise entre la date de remise du précédent rapport et juin 1988.

1988

1988



INRA
Département Bioclimatologie

RAPPORT D'ACTIVITE SCIENTIFIQUE
de la Station ou du Laboratoire

Ecophysologie des Plantes Fourragères

1986 - 87 - 88*

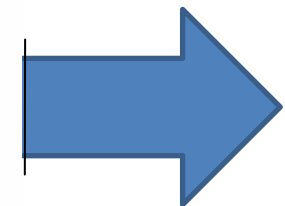
Lieu d'implantation... LUSIGNAN

Responsable de la Station ou du Laboratoire... Gilles LEMAIRE

* Date du rapport d'activité : l'activité porte sur la période comprise entre la date de remise du précédent rapport et juin 1988.

1992

recherche



Chronologie des actions de recherche

ACTIVITE 4

RELATION ENTRE LA LUMIERE ET LA CROISSANCE D'UN COUVERT VEGETAL. COMPOSITION SPECTRALE EN RELATION AVEC LA MORPHOGENESE.

Mots clés:

Lumière, Croissance et Développement, Ecophysiologie, Bioclimatologie, Microclimat.

Thèmes Bioclimatologie:

- Caractérisation du climat aux différentes échelles: phyto, micro, et mésoclimat.
- Modélisation du fonctionnement des peuplements végétaux. Intégration des processus physiques et physiologiques en milieu naturel et contrôlé.

Thèmes Agronomie:

- Fonctionnement de la plante et du peuplement.
Analyse de l'élaboration du rendement.

Description:

Généralisation de l'analyse du rendement énergétique d'un couvert végétal.
Analyse de l'effet de la lumière (qualité et quantité) sur la morphogenèse des plantes en peuplement.

Méthodes et techniques:

Courbes de croissance , bilan radiatif (mesures radiométriques et spectroradiométriques) en conditions naturelles , en chambres climatiques, et modification des conditions d'éclairément.

Collaborations Internes INRA:

P. CRUZ ; R. BONHOMME et H. SINOQUET Station Agropédoclimatique du GRAAG
G. GOSSE , M. CHARTIER ,et J.M. ALLIRAND Station de Bioclimatologie de Grignon.
J.C. SIMON Station d'Agronomie de Quimper.

Collaboration externe:

P. JACQUES CNRS Gif/Yvette.

REPARTITION ENTRE CHERCHEURS:

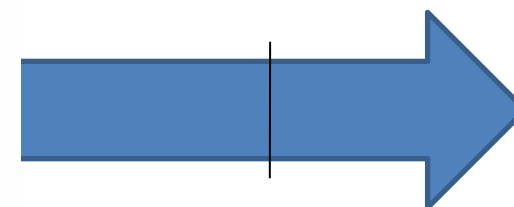
	Grades	% du temps passé
	INRA	Ext.
Claude VARLET-GRANCHER	CR2	95%

RESULTATS ACQUIS:

Généralisation d'une méthode d'analyse de la croissance d'un peuplement en condition naturelle.

1986

1992



Chron

erche

Mise en évidence de l'action du phytochrome et cryptochrome sur la Morphogénèse du Trèfle blanc, détermination des sites de perception.

RESULTATS ATTENDUS:

Modélisation de la morphogénèse des plantes en peuplement.

PUBLICATIONS:

GOSSE G.; C.VARLET-GRANCHER; R. BONHOMME; M. CHARTIER; J.M. ALLIRAND; et G. LEMAIRE 1986 Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal.

Agronomie 6, 47-56

VARLET-GRANCHER C.; M. DERIEUX; M.O. JORDAN; P. GIRARDIN; D. PICARD. 1987 Rythme d'apparition des racines primaires du maïs:

2) Variations observées sur quelques genotypes.

Agronomie 7, 695-702

VARLET-GRANCHER C. 1987 Interception des rayonnements solaires par un couvert végétal.

C. R. Acad. SCI. 73, (1) , 37-49

VARLET-GRANCHER C.; G. GOSSE; M. CHARTIER; H. SINOQUET; R. BONHOMME; J.M. ALLIRAND? 1988 Mise au point:

Rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal; définitions, méthodes de mesure et d'estimation.

Soumis à Agronomie

WELCKER C.; C. VARLET-GRANCHER; HYUGHES C.; 1988 Relationship between the photosynthetic active radiation, the dry matter accumulation and the yield of lupin.

Vème INTERN. Lupin Conf. POZNAN Pologne

VARLET-GRANCHER C.; PLUCHARD P. 1986 Blé tendre : jusqu'où améliorer la productivité?

Cultivar 195, 31-35

VARLET- GRANCHER C. et P. PLUCHARD 1986 Produire plus par la sélection : exemple du blé en Picardie.

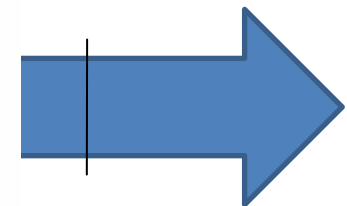
Cultivar 201 , 4-6

FORMATION

Encadrement DEA de Bruno MOULIA . Ecologie Végétale Université de Paris-Sud Orsay. Prof. B. SAUGIER

Conférence : Etude et mesure de la photosynthèse d'un couvert végétal: IUT de La Rochelle (4 heures).

1988

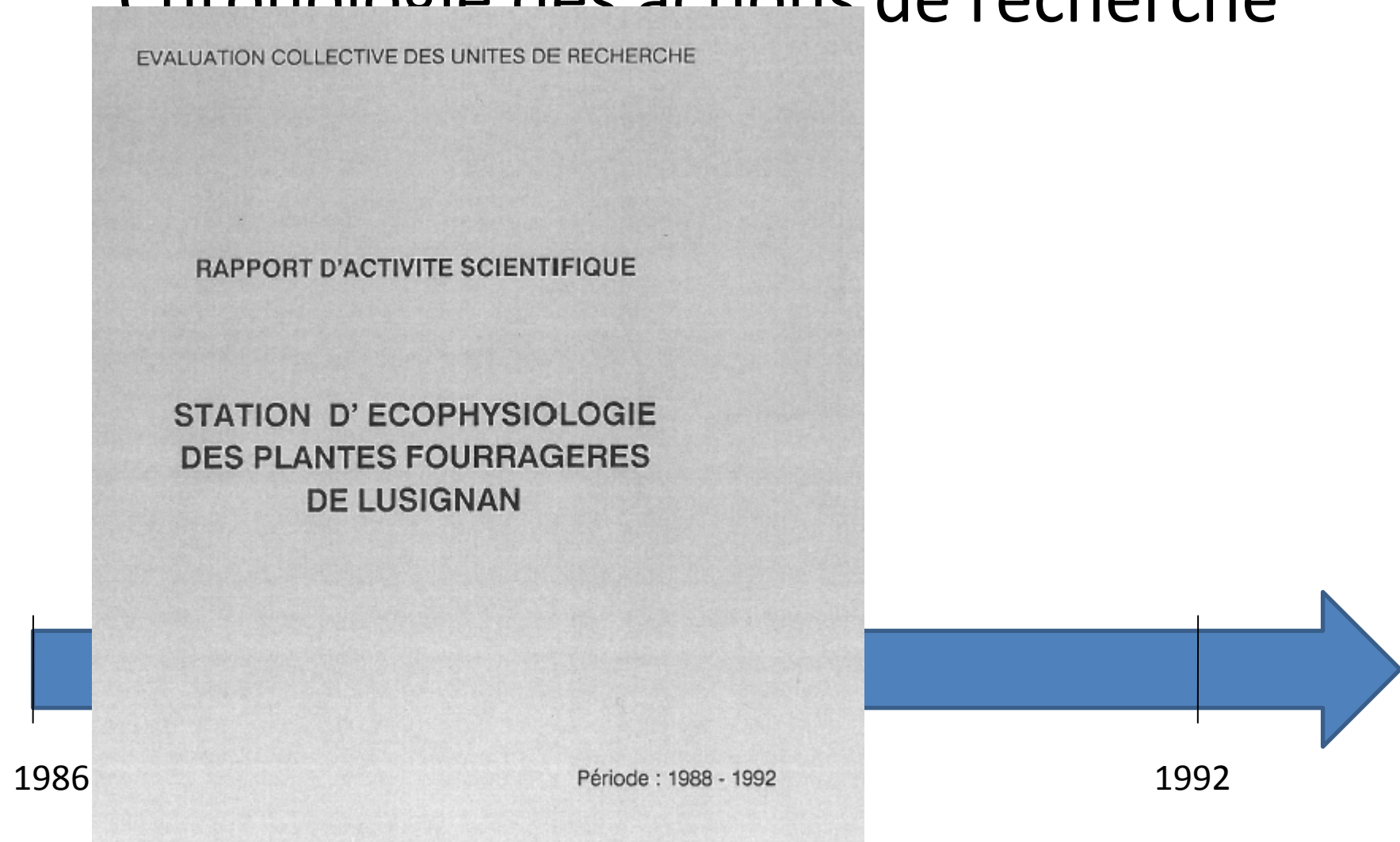


1992

Chronologie des actions de recherche



Chronologie des actions de recherche



Chr

22) Les objectifs liés au modèle végétal étudié.

Le type de peuplement étudié, **peuplement herbacé pérenne soumis à des défoliations plus ou moins fréquentes**, comporte un certain nombre de spécificité de fonctionnement qu'il est important d'identifier en termes d'objectifs scientifiques :

- **importance des mécanismes assurant la pérennité du peuplement**, mécanismes de repousse après défoliation, gestion des réserves en assimilats, saisonnalité de la croissance, arrière-effets d'une période à l'autre et interactions avec les modes d'exploitation qui déterminent les rythmes et les intensités de défoliation.

- **hétérogénéité génétique des peuplements prairiaux**. Les cultivars des espèces prairiales sont en réalité des populations ou des variétés synthétiques, ce qui engendre une très forte variabilité entre individus au sein de ces peuplements. Des associations d'espèces (graminées-légumineuses) sont souvent réalisées pour des raisons agronomiques ou zootechniques, et les prairies naturelles représentent des associations encore plus complexes.

- **importance des phénomènes de compétition inter et intraspécifiques**. La densité généralement importante dans les peuplements fourragers et l'extrême diversité de leur structure génétique donnent aux phénomènes de compétition une importance considérable : survie des individus et évolution de la structure génétique en fonction des contraintes du milieu, expression à l'échelle de la population des différences génétiques individuelles, fonctionnement des individus soumis aux contraintes du milieu telles qu'elles s'expriment au sein du peuplement.

- **prise en compte de la valeur alimentaire de la biomasse élaborée** et de sa dynamique d'évolution en relation avec la dynamique de croissance et de développement du peuplement végétal. Cet aspect est indispensable à prendre en compte si l'on veut pouvoir à terme utiliser les modèles de fonctionnement des peuplements fourragers à des fins de gestion de systèmes fourragers et d'élevage. L'objectif original de la démarche est de coupler directement les modèles d'évolution de la valeur alimentaire aux modèles de croissance, permettant **une optimisation productivité - qualité**.

Nous avons été amenés à privilégier l'étude de deux espèces : la **fétuque élevée** comme modèle de peuplement de graminée pérenne, et la **luzerne** comme modèle de peuplement de légumineuse pérenne, avec le souci de rechercher les modes de fonctionnement communs et invariants aboutissant à la conception d'un modèle unique de fonctionnement de portée suffisamment générale. Notre activité nous a amenés également à étudier des modèles de peuplements fourragers annuels tels que le **sorgho** à partir de ces mêmes modèles et donc à élargir leur gamme de généralisation.

che

1986

992

Chr

che

22) Les objectifs liés au modèle végétal étudié.

Le type de peuplement étudié, **peuplement herbacé pérenne soumis à des défoliations plus ou moins fréquentes**, comporte un certain nombre de spécificité de fonctionnement qu'il est important d'identifier en termes d'objectifs scientifiques :

- **importance des mécanismes assurant la pérennité du peuplement**, mécanismes de repousse après défoliation, gestion des réserves en assimilats, saisonnalité de la croissance, arrière-effets d'une période à l'autre et interactions avec les modes d'exploitation qui déterminent les rythmes et les intensités de défoliation.

- **hétérogénéité génétique des peuplements prairiaux**. Les cultivars des espèces prairiales sont en réalité des populations ou des variétés synthétiques, ce qui engendre une très forte variabilité entre individus au sein de ces peuplements. Des associations d'espèces (graminées-légumineuses) sont souvent réalisées pour des raisons agronomiques ou zootechniques, et les prairies naturelles représentent des associations encore plus complexes.

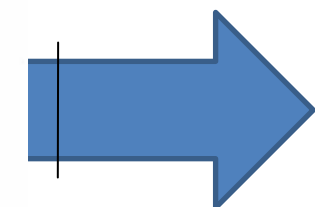
- **importance des phénomènes de compétition inter et intraspécifiques**. La densité généralement importante dans les peuplements fourragers et l'extrême diversité de leur structure génétique donnent aux phénomènes de compétition une importance considérable : survie des individus et évolution de la structure génétique en fonction des contraintes du milieu, expression à l'échelle de la population des différences génétiques individuelles, fonctionnement des individus soumis aux contraintes du milieu telles qu'elles s'expriment au sein du peuplement.

- **prise en compte de la valeur alimentaire de la biomasse élaborée** et de sa dynamique d'évolution en relation avec la dynamique de croissance et de développement du peuplement végétal. Cet aspect est indispensable à prendre en compte si l'on veut pouvoir à terme utiliser les modèles de fonctionnement des peuplements fourragers à des fins de gestion de systèmes fourragers et d'élevage. L'objectif original de la démarche est de coupler directement les modèles d'évolution de la valeur alimentaire aux modèles de croissance, permettant **une optimisation productivité - qualité**.

Nous avons été amenés à privilégier l'étude de deux espèces : la **fétuque élevée** comme modèle de peuplement de graminée pérenne, et la **luzerne** comme modèle de peuplement de légumineuse pérenne, avec le souci de rechercher les modes de fonctionnement communs et invariants aboutissant à la conception d'un modèle unique de fonctionnement de portée suffisamment générale. Notre activité nous a amenés également à étudier des modèles de peuplements fourragers annuels tels que le **sorgho** à partir de ces mêmes modèles et donc à élargir leur gamme de généralisation.

1986

992



334) L'arrêt de la croissance cellulaire

Les cellules cessent leur croissance pour des raisons encore inconnues. La pression hydraulique de la feuille mature est généralement identique, voire supérieure, à la pression dans les parties en croissance. On sait par ailleurs que la fin de la croissance cellulaire s'accompagne d'une rigidification des parois. C'est dans cette direction que l'on cherche actuellement le déterminisme de la taille finale des cellules. Une des pistes étant les liens entre le phytoclimat lumineux local (déterminé par la longueur de la gaine et l'indice foliaire) et la taille de la zone en croissance.

34) Relations entre les conditions et facteurs du milieu et le fonctionnement de la zone en croissance

341) Déficit en azote

L'effet d'une carence en azote se traduit essentiellement par une réduction du flux de cellules produites dans la zone en croissance sans effet sur leur taille finale (Figure 26). L'explication est directement reliée à une disponibilité locale en azote.

342) Déficit hydrique

Un déficit hydrique réduit fortement la taille des cellules produites, tandis que celle de la base des limbes reste inchangée. On peut observer une réduction de la vitesse de croissance. La pression hydraulique est globalement maintenue constante dans la zone en croissance dans les conditions contrôlées qu'au champ (Figure 27). Deux phénomènes peuvent intervenir :

- une chute des gradients de potentiels hydriques entre zone en croissance et zone mature;

- une modification des propriétés mécaniques des parois. Ceci n'a pas été encore mesuré mais une méthodologie d'étude a été mise au point (cf. Acquis méthodologiques).

343) Qualité de la lumière

La modification de vitesse d'allongement induite par une augmentation de la quantité de Rouge Sombre dans le spectre lumineux s'accompagne d'un accroissement de la taille finale des cellules (Tableau 1), (103). Des mesures de propriétés mécaniques des tissus de la zone en élancement sont en cours pour vérifier l'hypothèse d'une modification de l'extensibilité des parois cellulaires.

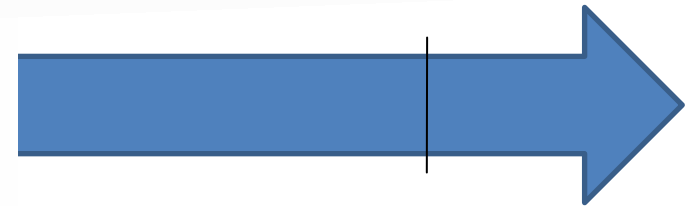
de recherche

Tableau 1 : Longueur des cellules épidermiques en μm en fonction des traitements chez le ray-grass.

Traitement	Longueur des cellules en μm
RS	290 \pm 30
RS + RC	226 \pm 17

198

1992



Chrono' recherche

121) Rôle de la qualité de la lumière sur la morphogénèse (photomorphogénèse)

Nos activités sur cette thématique vont se développer selon trois grands axes :

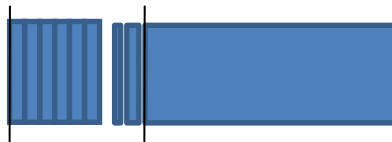
- **détermination des réponses morphogénétiques** qui sont sous photocontrôle, et des photorécepteurs impliqués dans ces réponses;
- **établissement des lois d'action** pour ces différentes réponses, c'est à dire les relations quantitatives entre l'intensité d'une réponse morphogénétique et l'état du photorécepteur induit par ces conditions lumineuses, ce qui implique :
 - * l'établissement des relations entre la *caractérisation de cet état* ($[Pfr]/[Ptot]$ par exemple pour le phytochrome) et la *caractérisation du rayonnement actif* pour le photorécepteur considéré;
 - * le *niveau d'intégration* de ces réponses (phytomère ou ensemble de phytomères...);
 - * la détermination des *sites de photoperception*.
- **modélisation de la photomorphogénèse** au niveau du couvert végétal :
 - * *cartographie* (expérimentale et/ou modèle) des *sites de photoperception* en fonction des caractéristiques de la structure du couvert utilisées dans les principaux modèles de transferts radiatifs;
 - * description et *modélisation du phytoclimat lumineux* en liaison avec les modèles de transferts radiatifs.

Dans ce programme Hélène Gautier va plus particulièrement travailler sur l'**établissement des lois d'action de la photorégulation des réponses morphogénétiques** dans un couvert végétal. La partie plus méthodologique sur la caractérisation du rayonnement actif sera conduite avec C. Varlet-Grancher qui prendra aussi en charge le point trois avec l'aide du "futur" modélisateur et en collaboration étroite avec H. Sinoquet. Les expérimentations à venir vont surtout porter sur la **morphogénèse de la féruque élevée** en relation avec les études concernant le fonctionnement de la **zone en croissance des limbes et le tallage** dans la perspective d'une explication des effets morphogénétiques induits par les **modes de défoliation**. Les travaux sur le **trèfle blanc** seront cependant poursuivis en collaboration avec C. Robin et A. Gückert (ENSAIA Nancy) afin de garder une possibilité d'analyse interspécifique. Le **sorgho** servira de support expérimental à une première approche sur l'adaptation des modèles de transferts radiatifs.

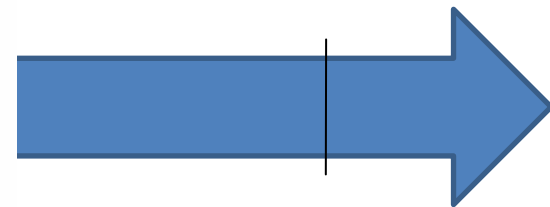
122) Morphogénèse aérienne et morphogénèse racinaire

Les recherches concernant la détermination de la **demande en assimilats liée au fonctionnement des méristèmes aériens et racinaires** vont se poursuivre en fonction des facteurs déjà étudiés **eau et l'azote**, et aussi par rapport à la **lumière** et à la **température**. Une prise en compte plus explicite de ce dernier facteur est nécessaire pour l'élaboration d'un modèle mécaniste.

L'aspect le plus important et novateur de ces travaux est de coupler une étude de la morphogénèse en terme de dynamique cellulaire avec une quantification des flux d'éléments dans la plante entière et les organes importateurs. Ils doivent permettre ainsi de mieux appréhender l'élément ou le signal qui est réellement limitant dans les processus de la croissance.



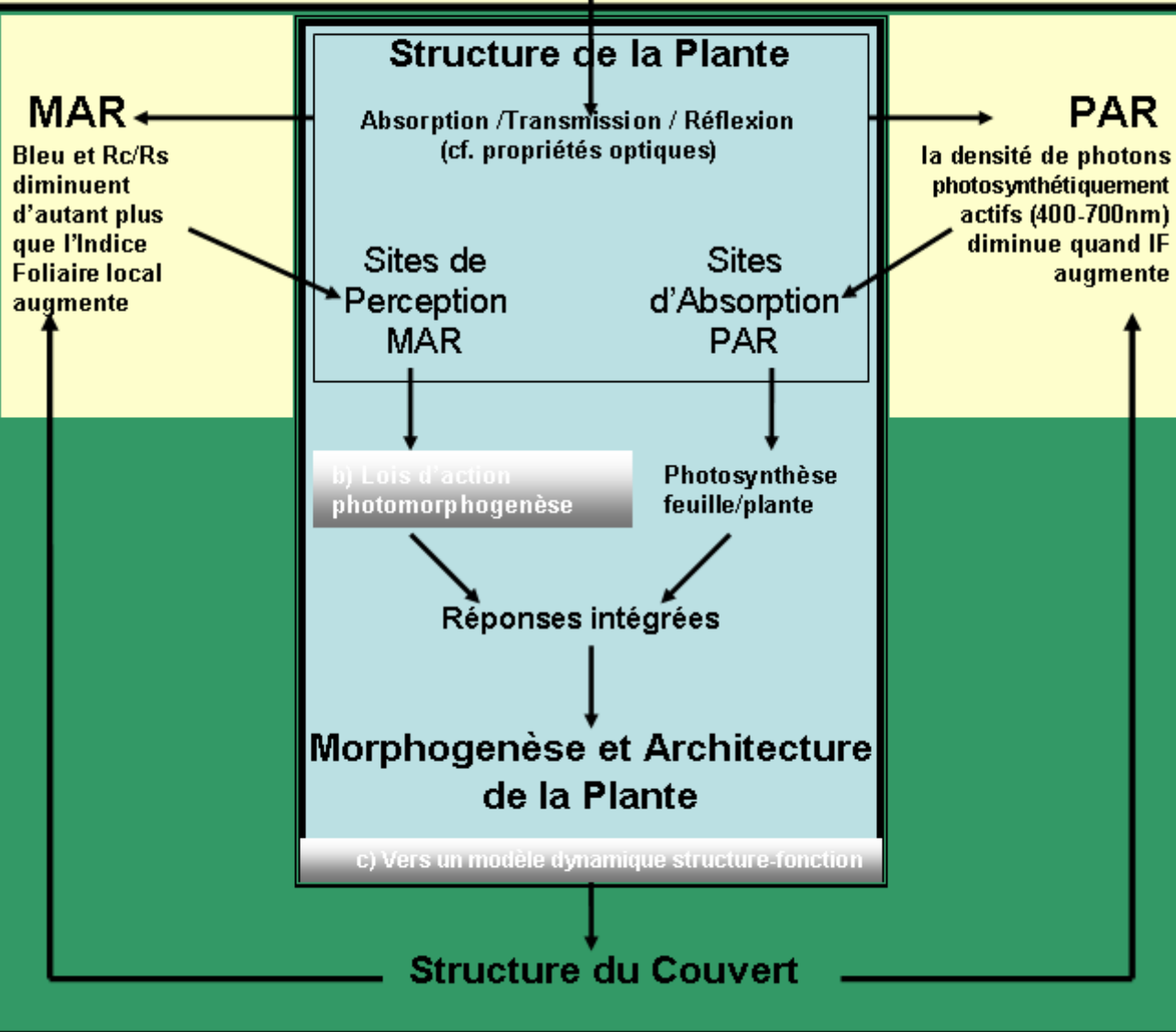
1986 1992



2001

a) Mesurer manipuler et modéliser l'environnement lumineux

Rayonnement incident



MAR

Bleu et Rc/Rs
diminuent
d'autant plus
que l'Indice
Foliaire local
augmente

Structure de la Plante

Absorption / Transmission / Réflexion
(cf. propriétés optiques)

Sites de
Perception
MAR

Sites
d'Absorption
PAR

PAR

la densité de photons
photosynthétiquement
actifs (400-700nm)
diminue quand IF
augmente

b) Lois d'action
photomorphogénèse

Photosynthèse
feuille/plante

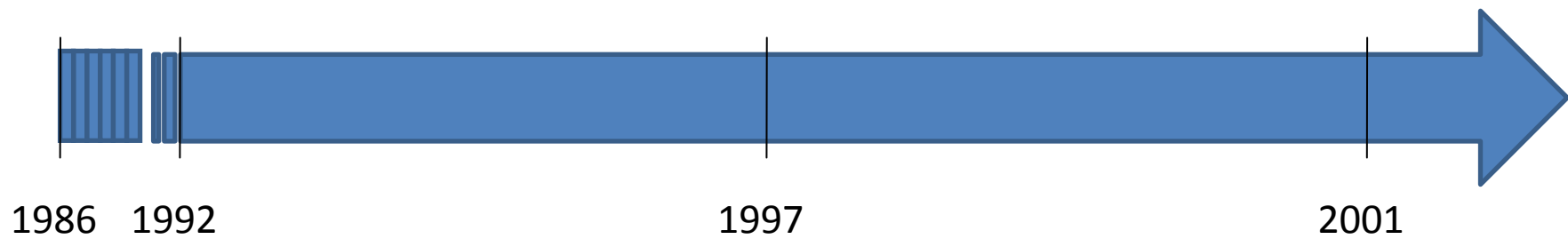
Réponses intégrées

Morphogénèse et Architecture
de la Plante

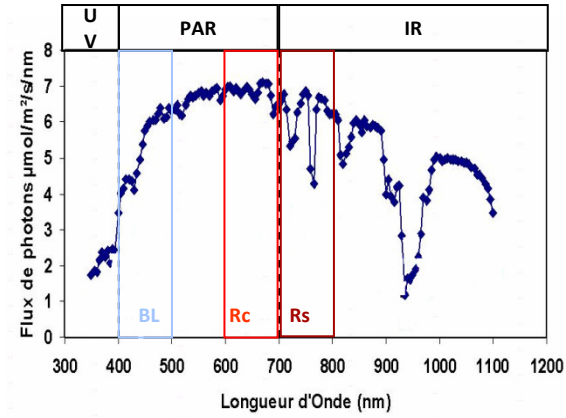
c) Vers un modèle dynamique structure-fonction

Structure du Couvert

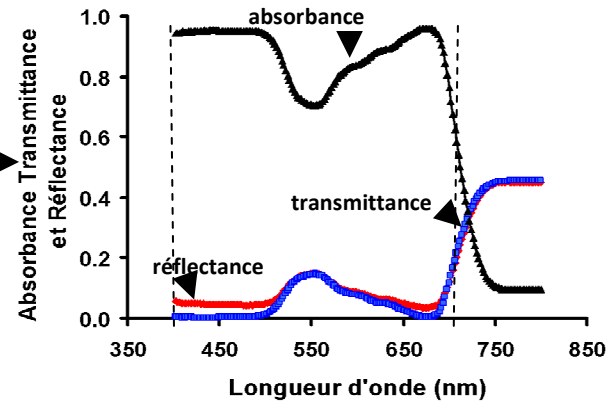
Chronologie des actions de recherche



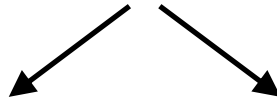
Rayonnement incident



Propriétés optiques foliaires



Rayonnement dans le couvert



MAR

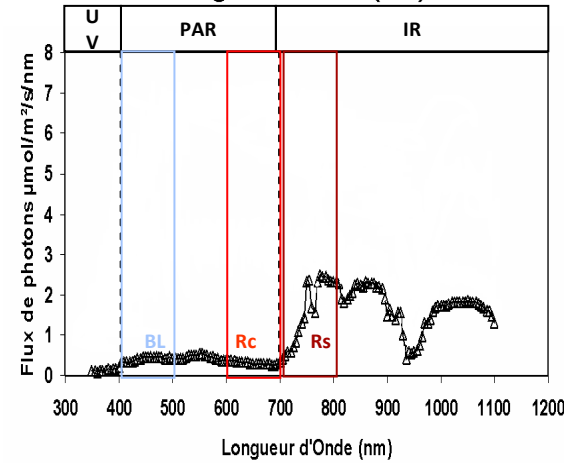
PAR



↓ bleu: 400-500nm

↓ 400-700nm

↓ Rc/Rs

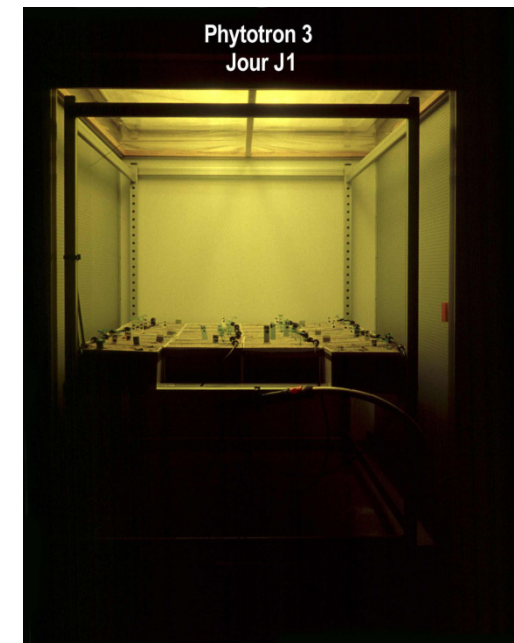
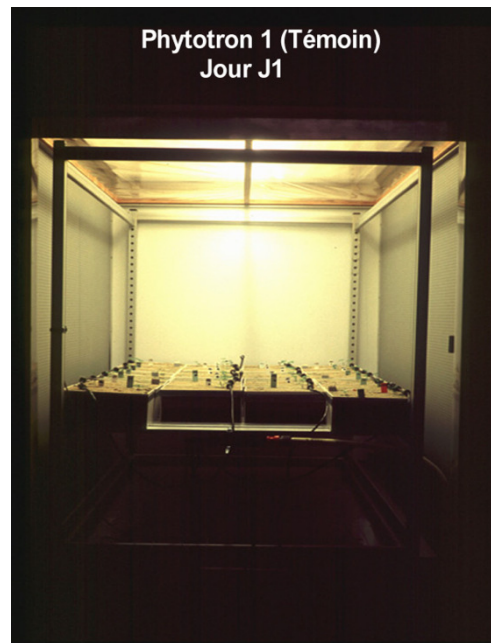




Régulation de la morphogénèse et de l'architecture

- ☐ Methods to study the light effects on plant architecture

Growth cabinets

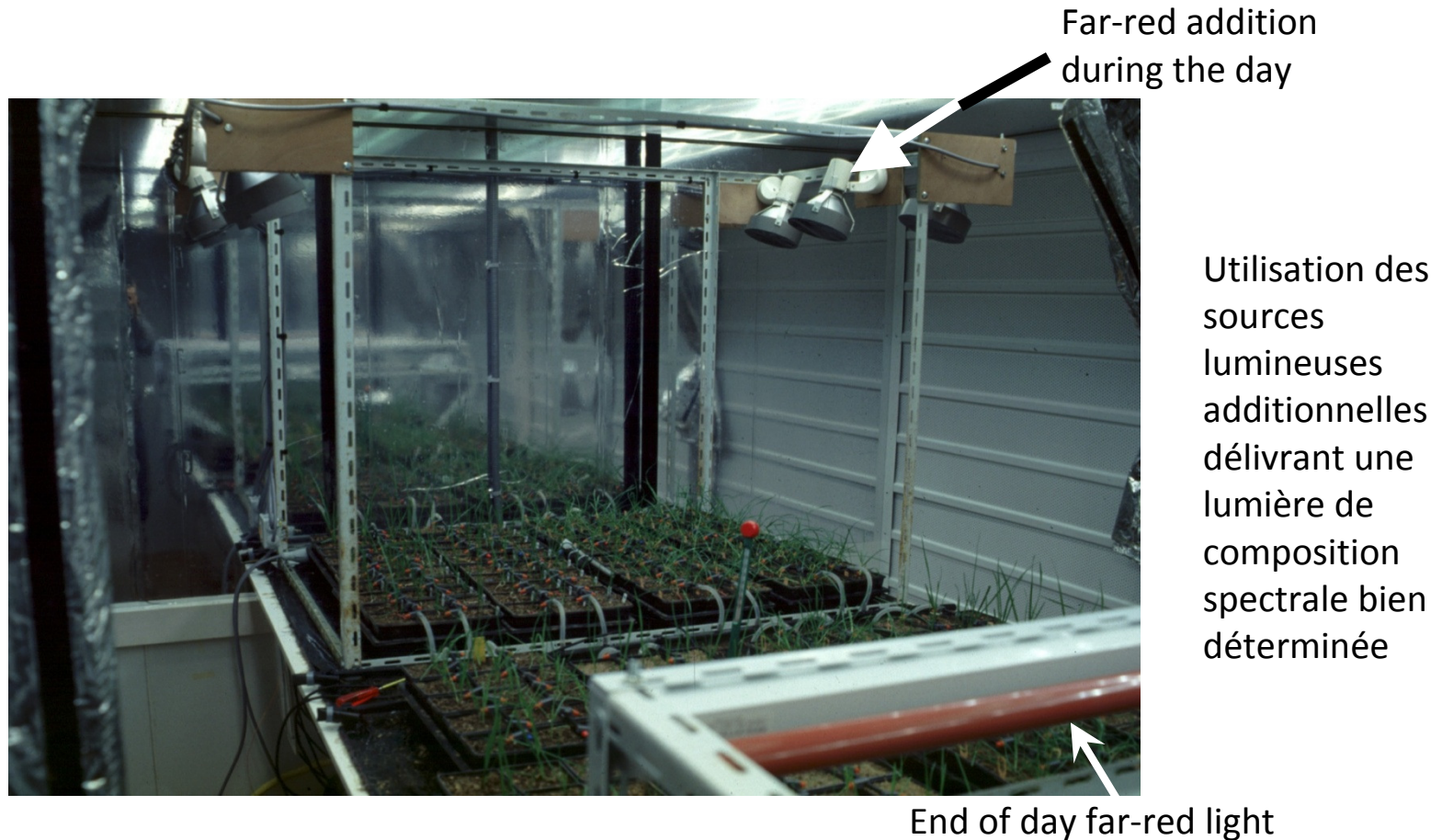


manipulation de la composition spectrale de la lumière en chambre de culture:

utilisation des filtres de transmission

Régulation de la morphogénèse et de l'architecture

☐ Methods to study the light effects on plant architecture



manipulation de la composition spectrale de la lumière en chambre de culture

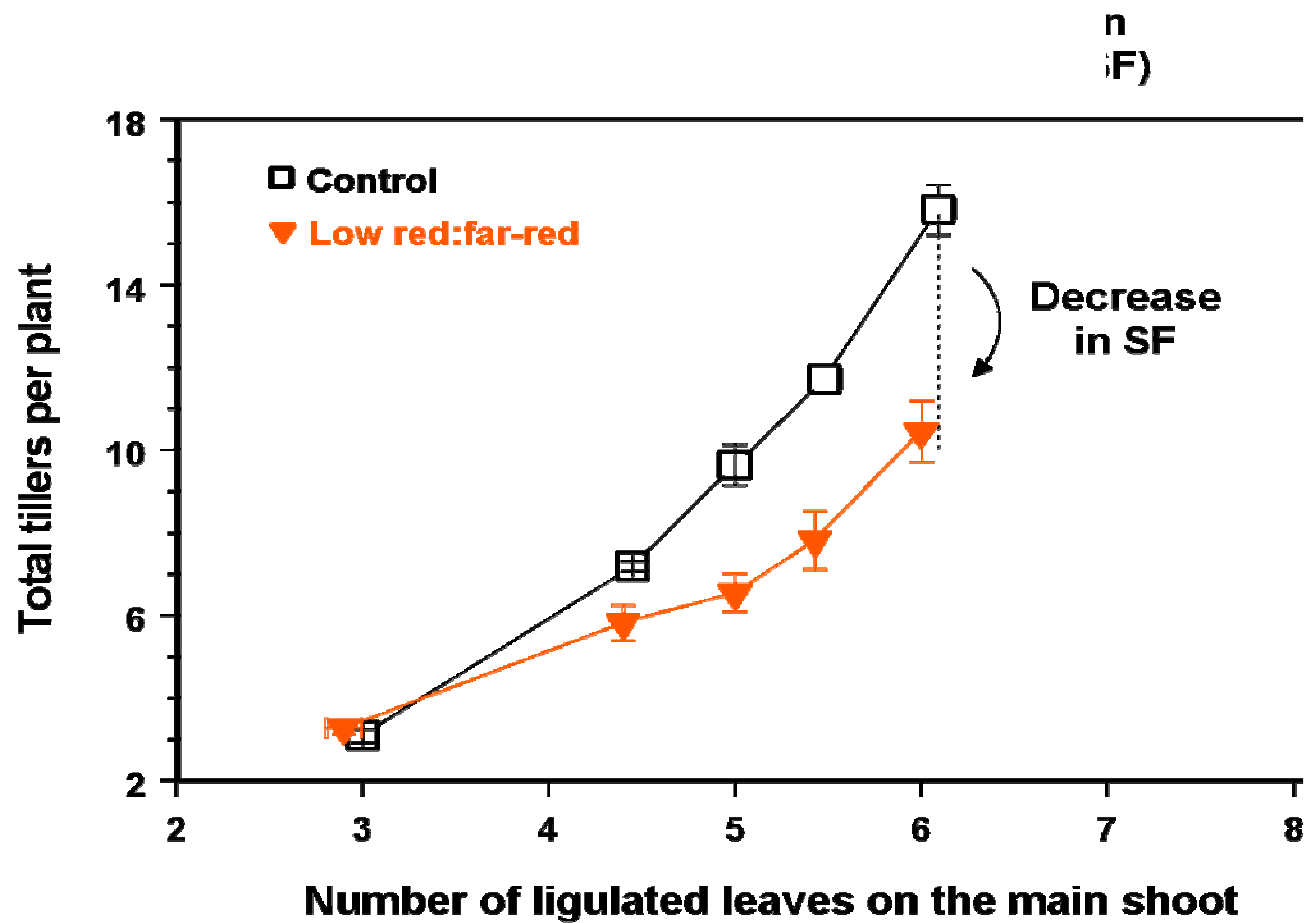
Régulation de la morphogénèse et de l'architecture

- ❑ Methods to study the light effects on plant architecture



Tests de l'influence des modifications spectrales très localisées (ombrages localisés à l'aide des filtres de transmission et de l'éclairage ponctuel à base des diodes)

Effet du rouge clair / rouge sombre sur le tallage



Lumière et les plantes

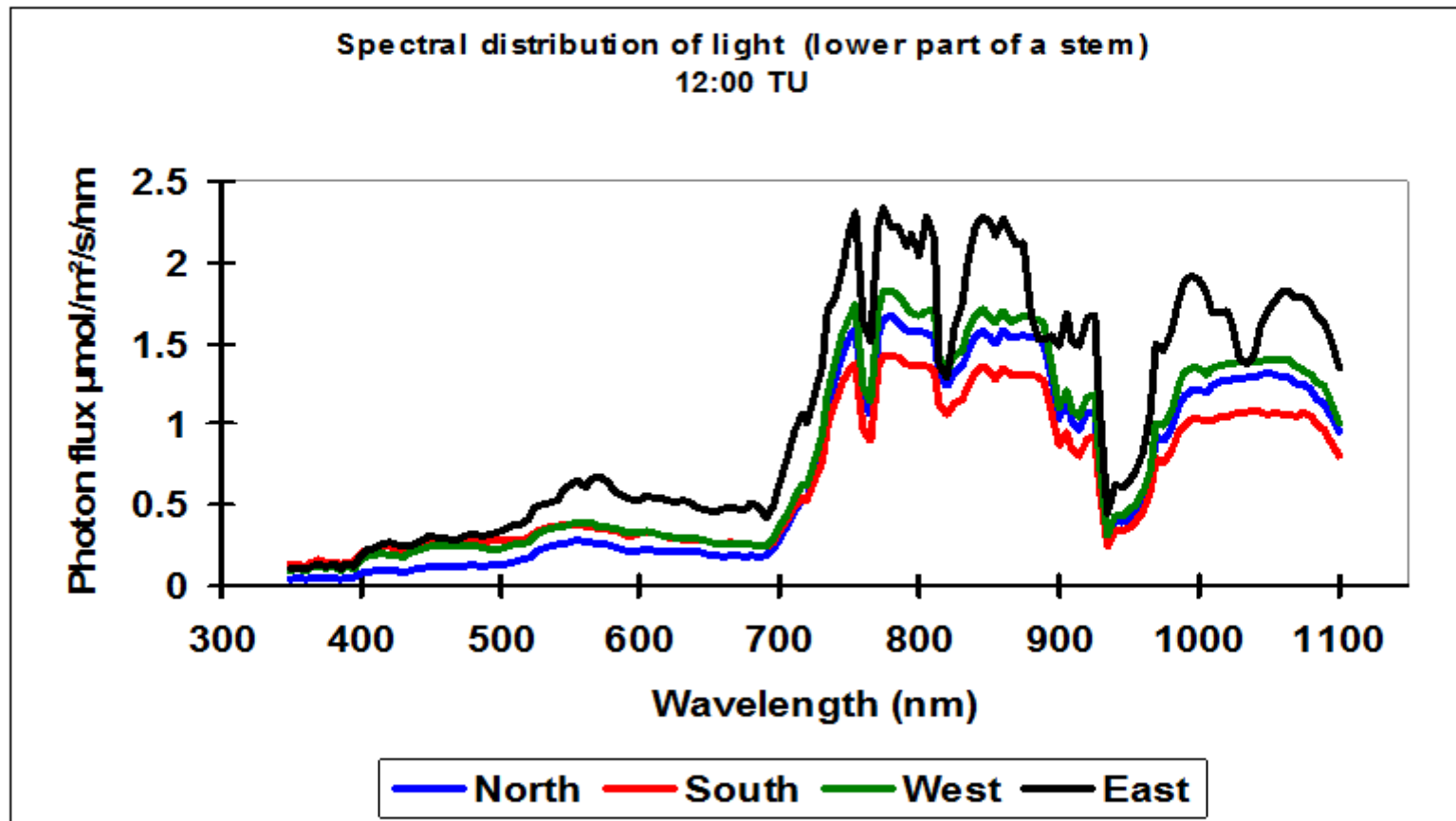
- ❑ Distribution spectrale du rayonnement dans les couvert: effets du positionnement et de la géométrie du capteur



Spectral measurements at the whorl level of a sorghum plant within the canopy

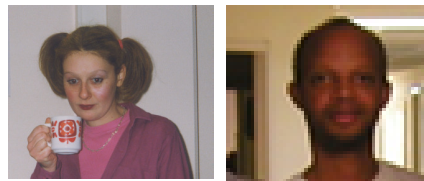
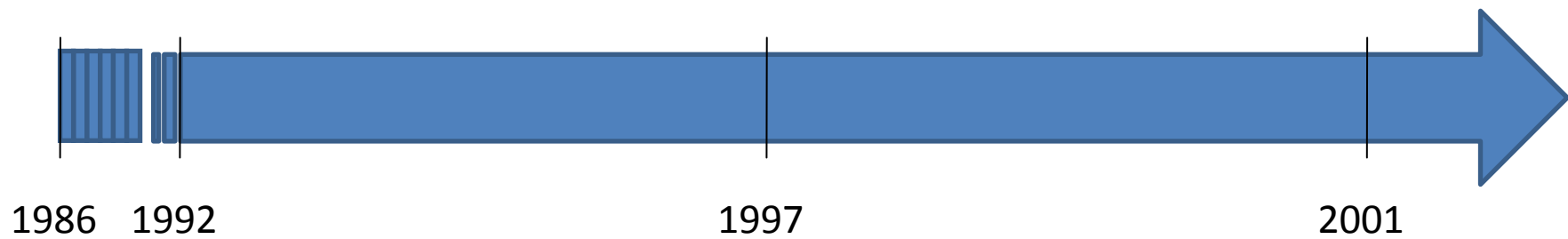
Lumière et les plantes

- ☐ Spectral distribution of light on the lower part of a stem within a crop sorghum from the cardinal orientations

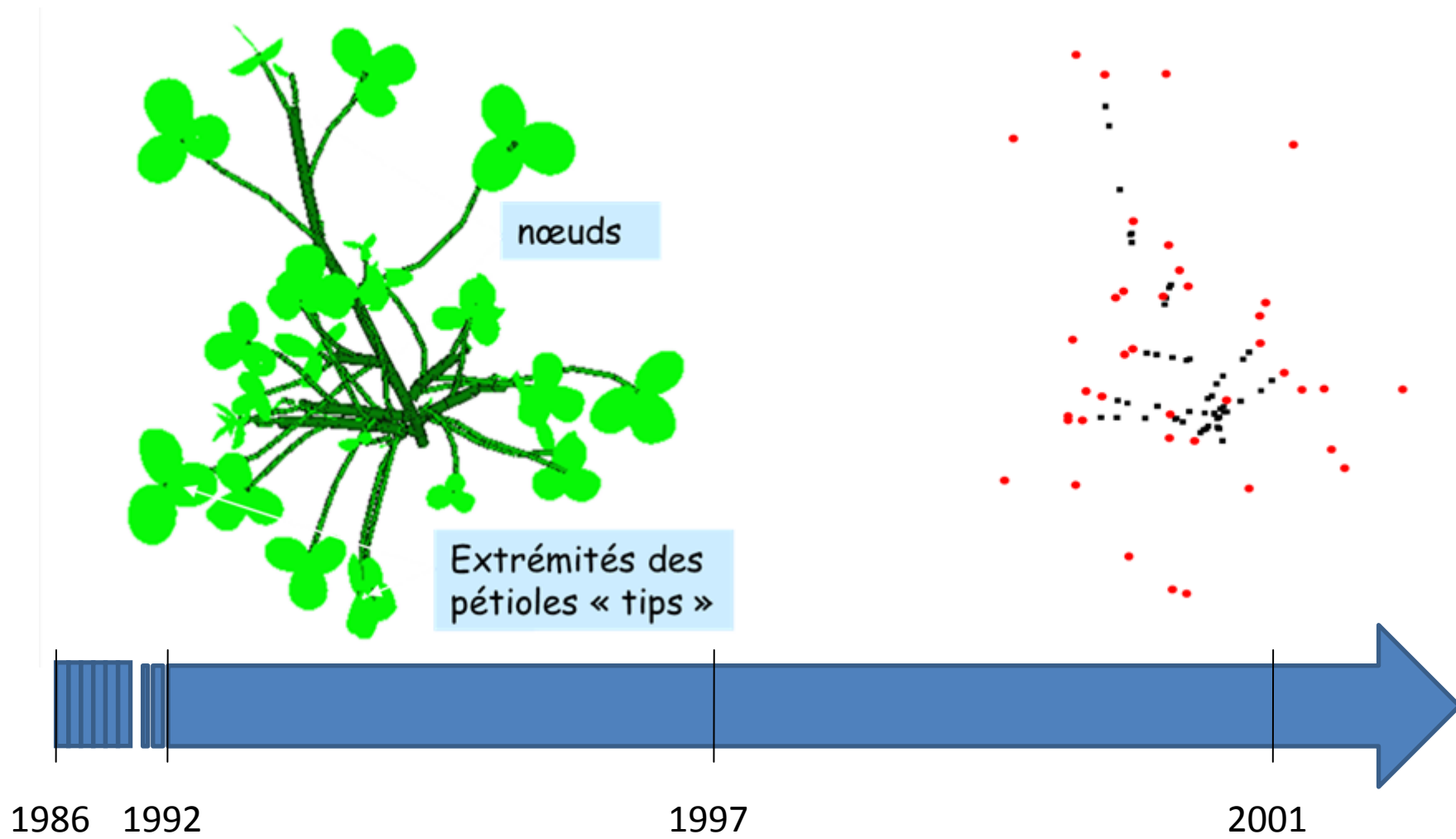


Distribution spectrale du flux de photons au niveau de la gaine varie selon les directions cardinales

Chronologie des actions de recherche

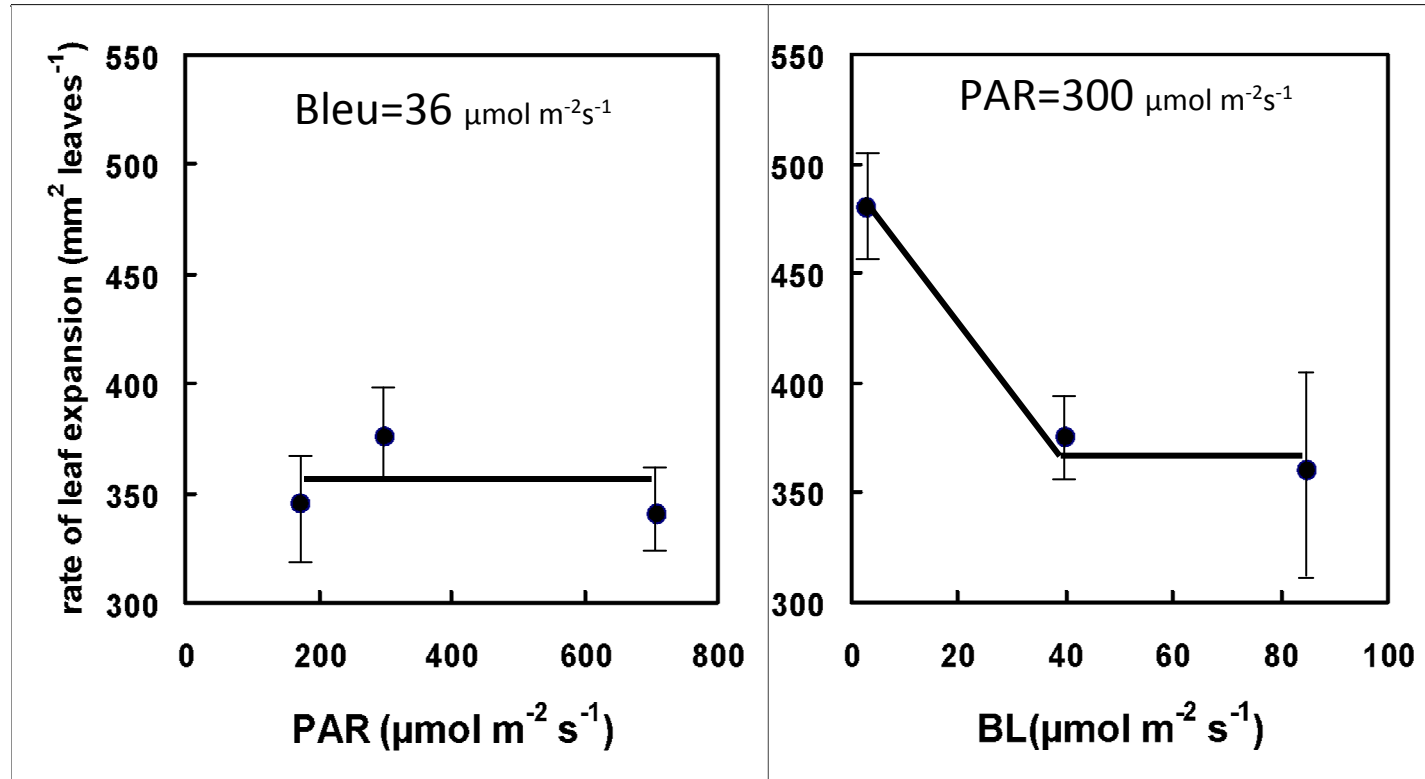


Chronologie des actions de recherche



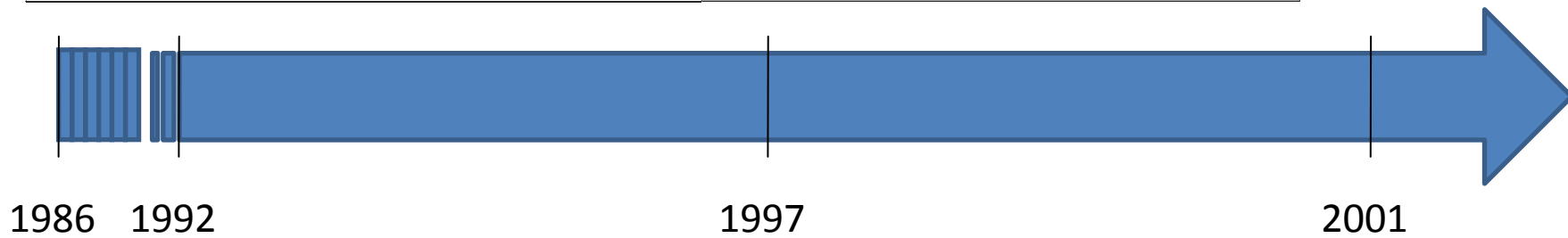
Chronologie des actions de recherche

Trèfle blanc



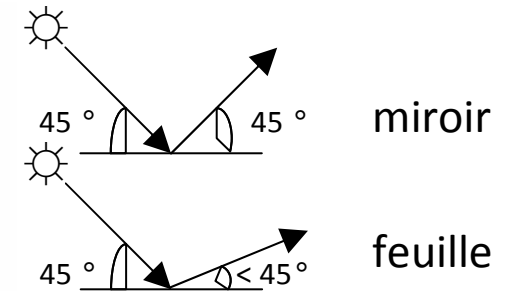
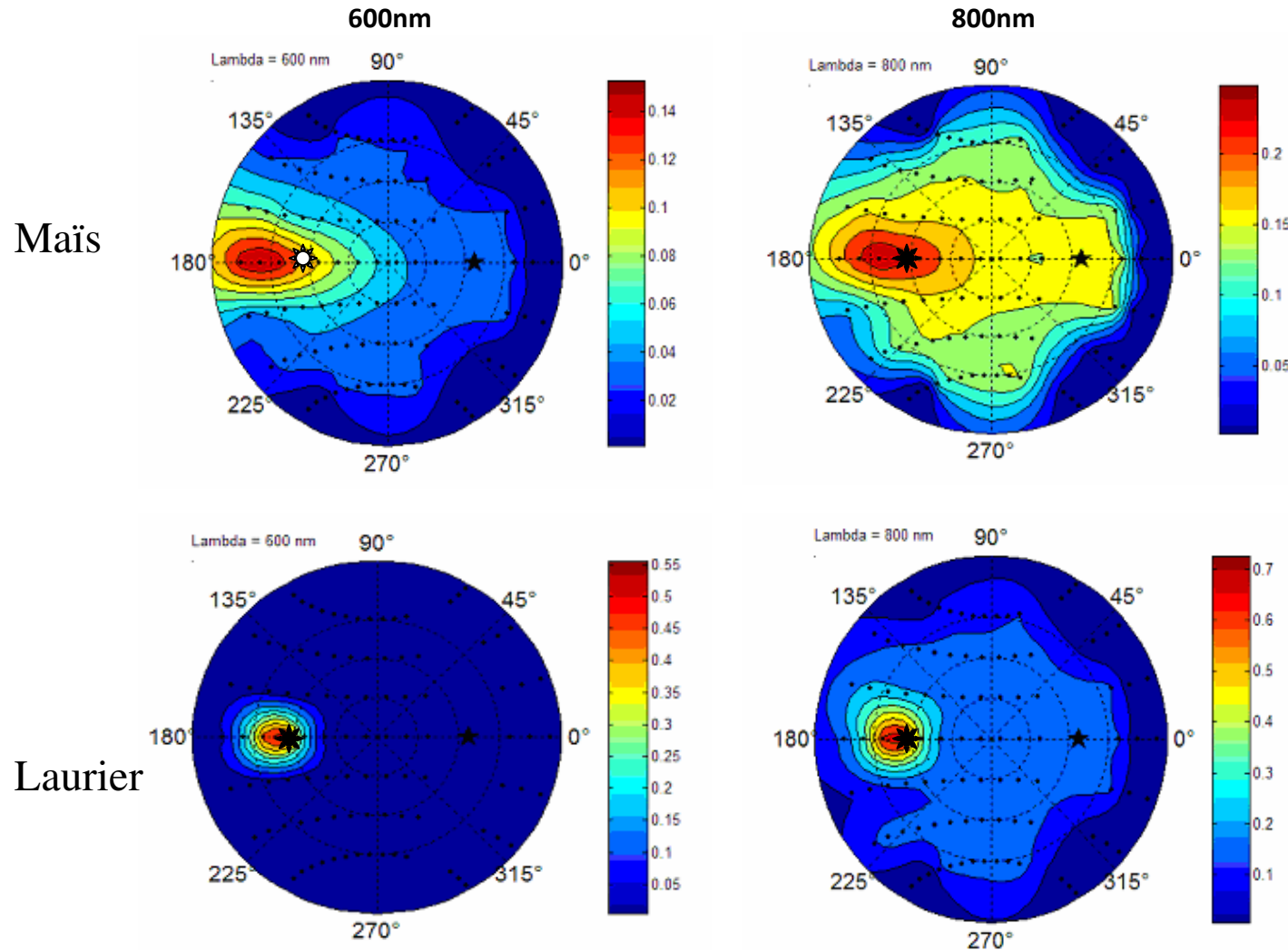
✓ Pas d'effet du PAR sur l'expansion foliaire

✓ Effet majeur du bleu sur l'expansion foliaire



Caractérisation de la variabilité du MAR

☐ Propriétés optiques directionnelles:



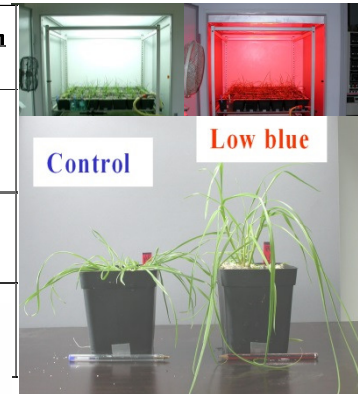
✓ Différences de réflectances directionnelles entre espèces

✓ Et au sein de l'espèce différences selon λ

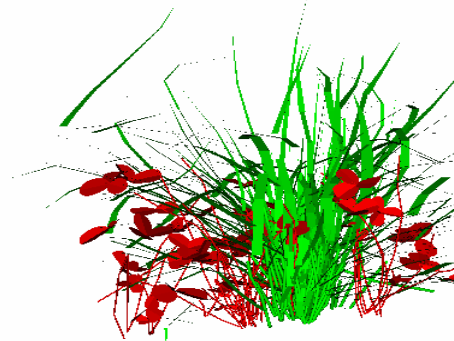
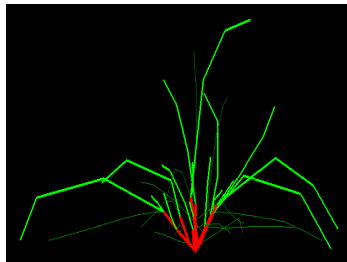
Chronologie des actions de recherche

De nombreux acquis :
réponses de la plante isolée
à Rc/Rs, au Bleu et à
éclairage global (PAR)

	Phyllo- chrone	LER	LED	Long. finale Gaine/Limbe	Site Filling	Colonisation spatiale
↓ RC / RS	=	?	?	↑	↓	↑
Ombrage Bleu	↑ ou =	↑	↑ ou =	↑	=	↑
Ombrage PAR	↑	?				

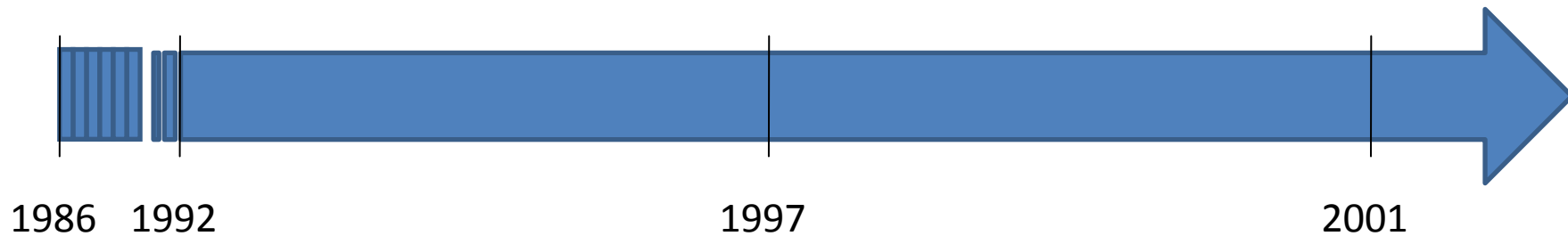


mais passage

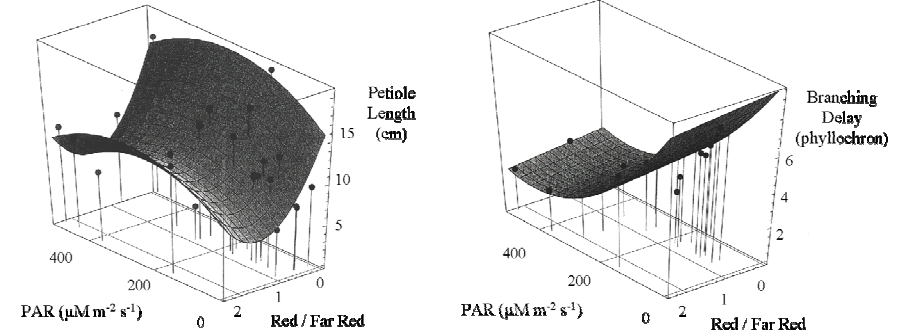
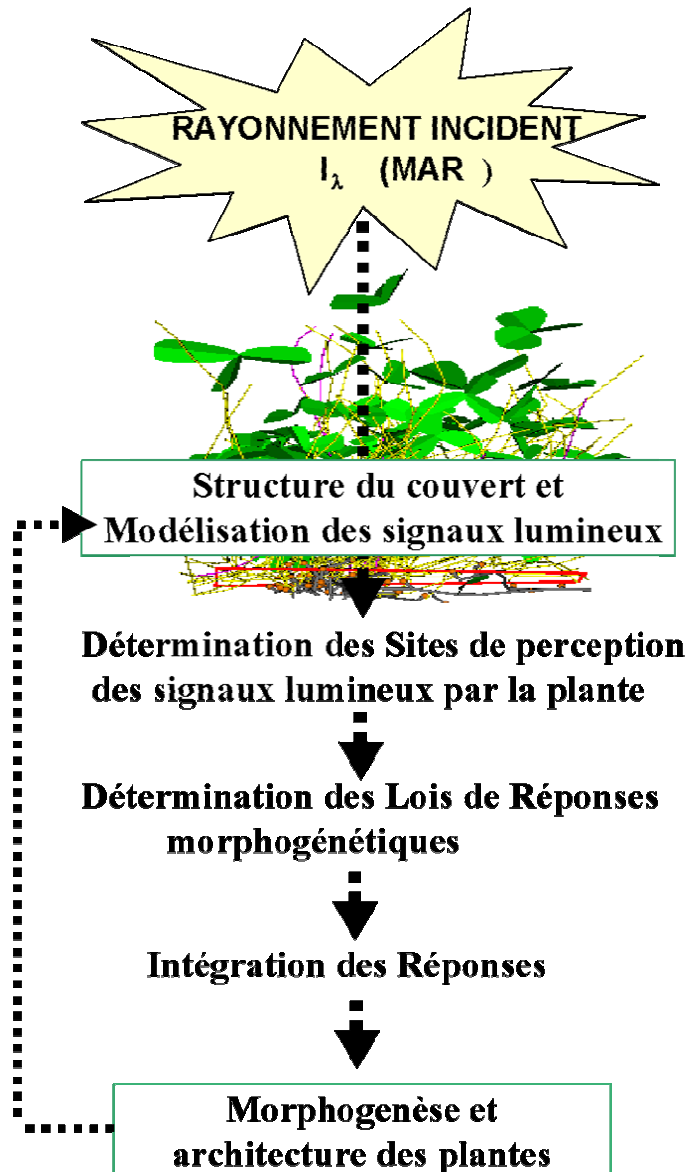


nécessite

Un modèle...



Photomorphogenèse: la démarche de recherche écophysiological



Un modèle L-systems intégrant signaux lumineux dans la touffe de trèfle blanc et réponses morphogénétiques (Gautier *et al.*, 2000)

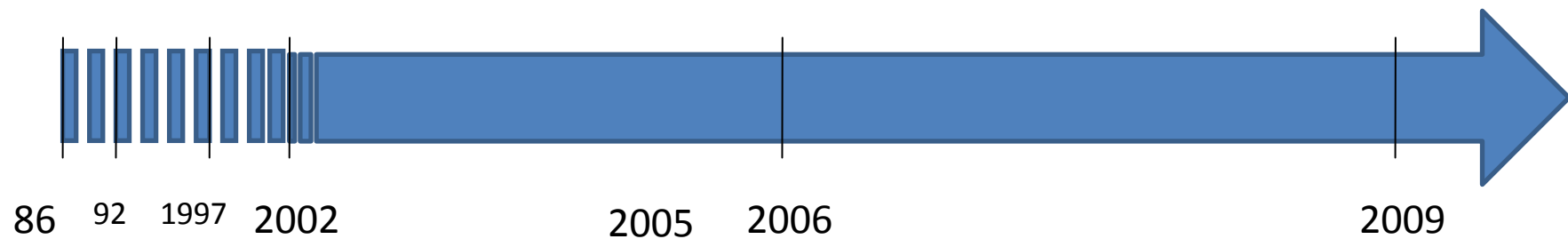


Simulation de trèfle blanc sous éclairage témoin



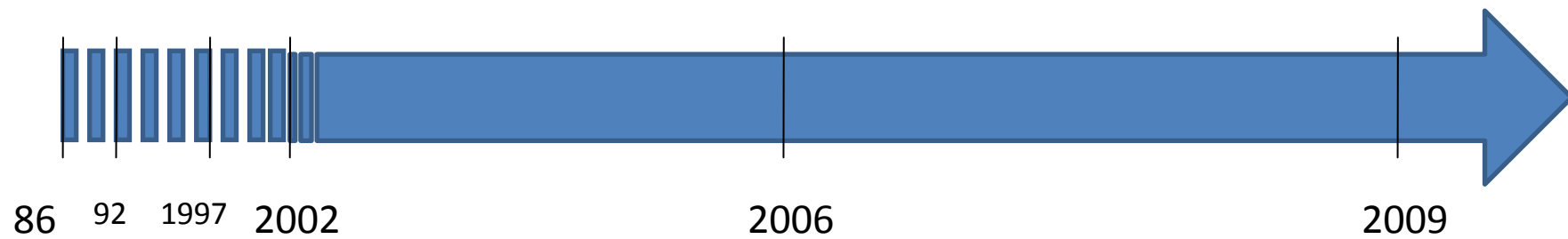
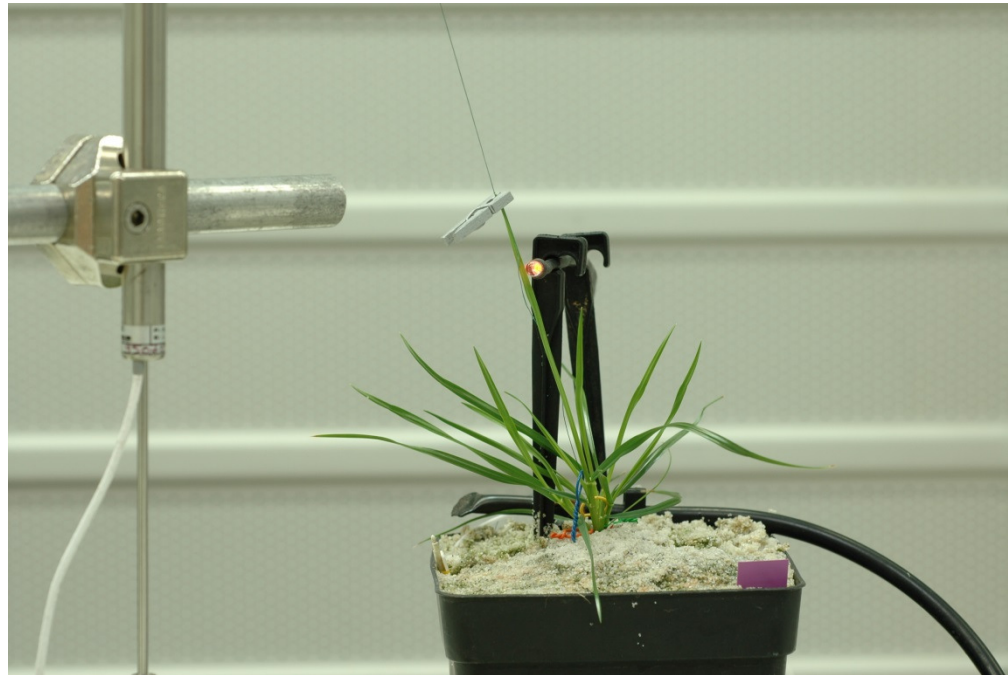
Simulation de trèfle blanc sous ombrage « vert »

Chronologie des actions de recherche



Chronologie des actions de recherche

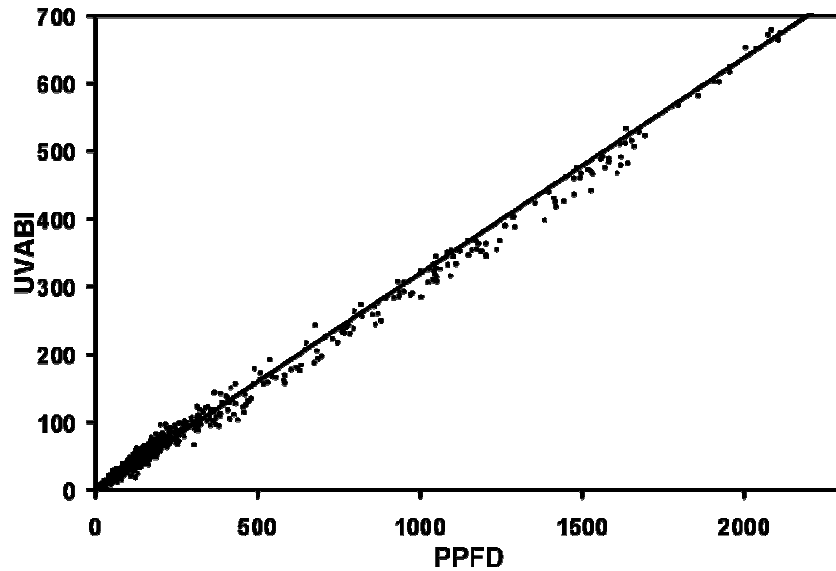
- Recherche de sites de perception



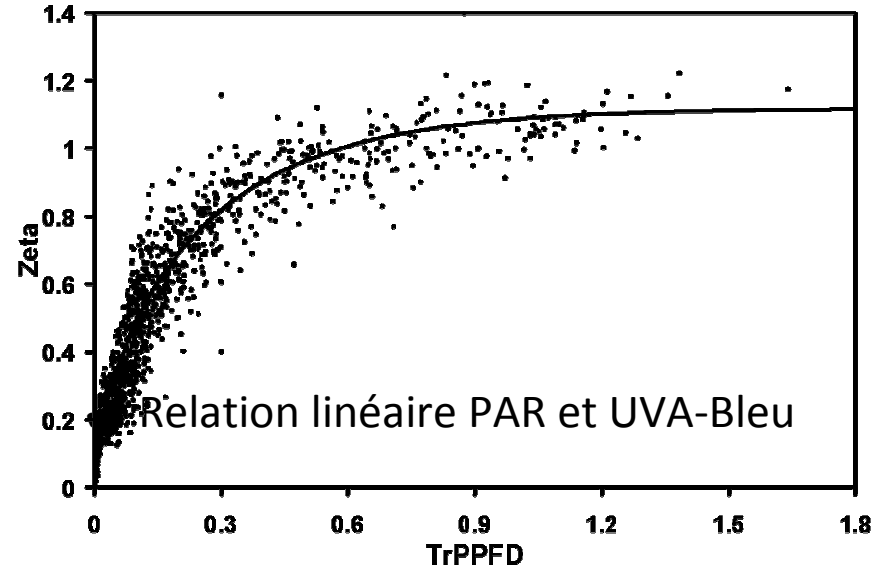
Chronologie des actions de recherche

Caractérisation de la variabilité du MAR

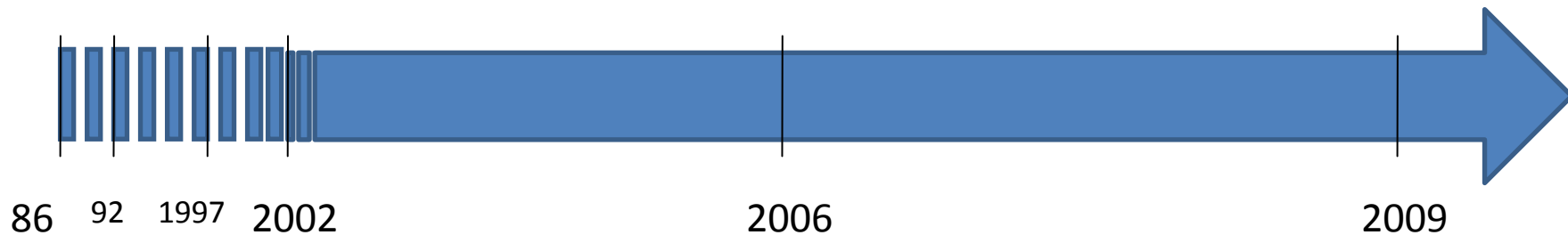
□ Des modèles simplifiés:

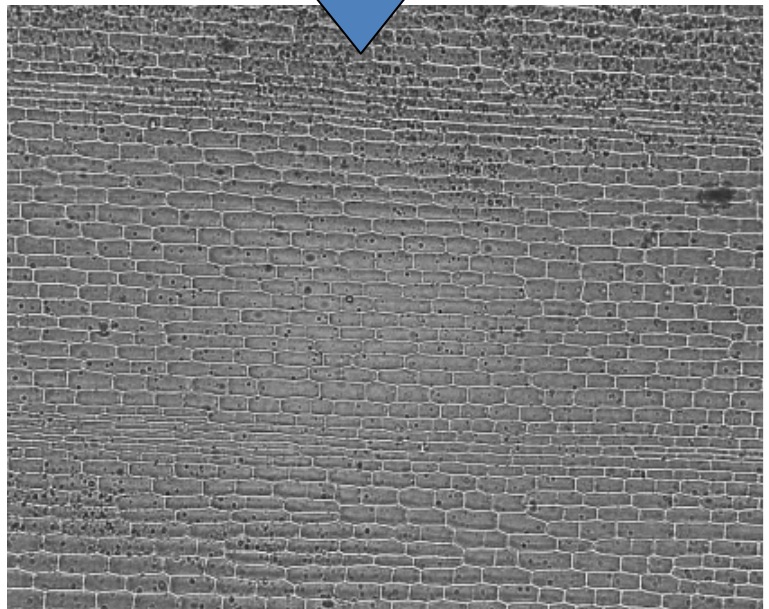
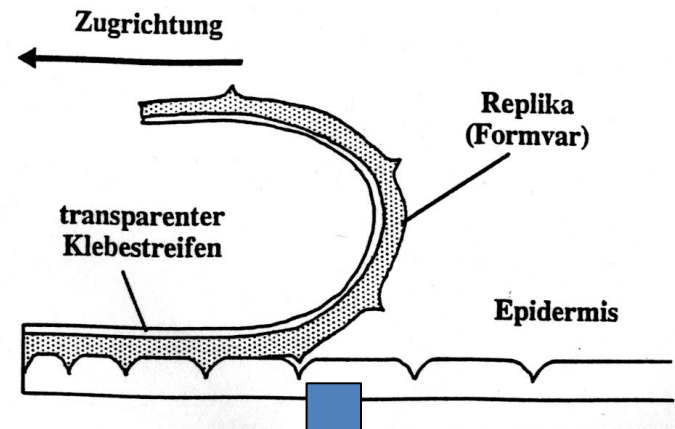


Simulation des variables du MAR à partir des relations avec le PAR transmis dans le couvert

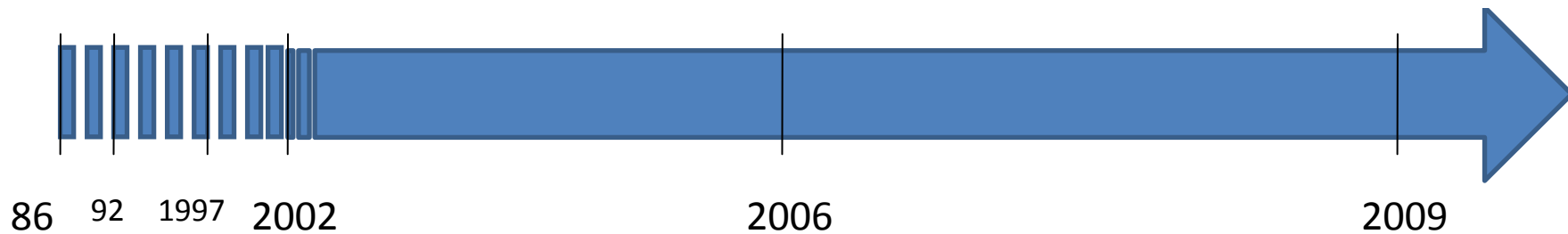
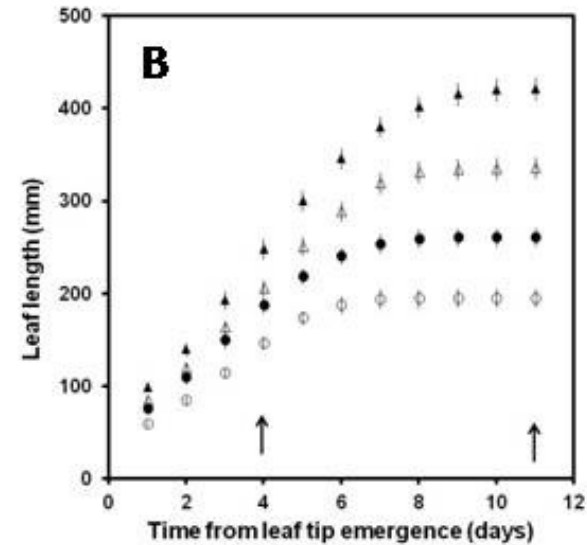


✓ Relation non linéaire avec Zeta un estimateur de φ_c

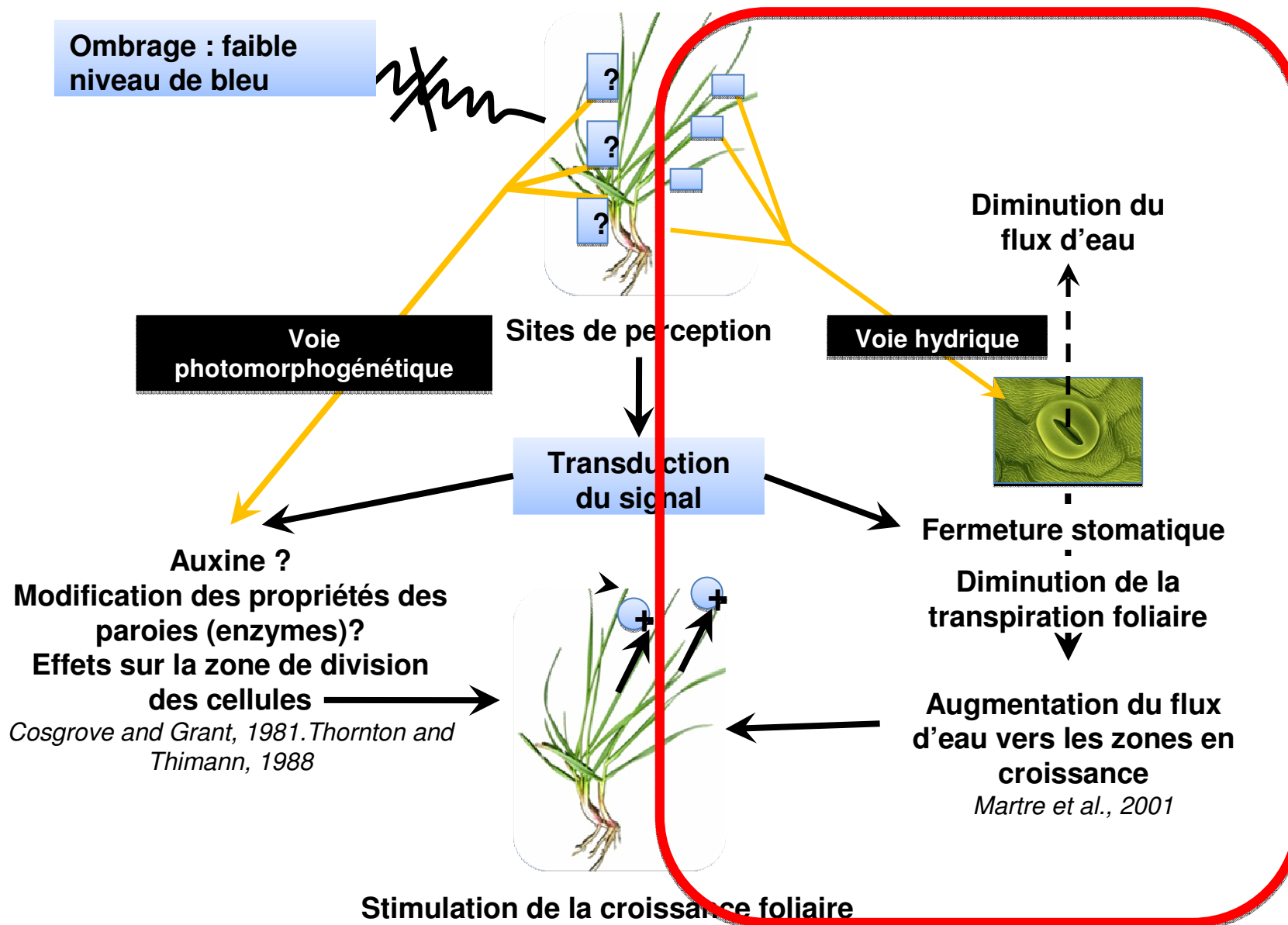




Chronologie des actions de recherche

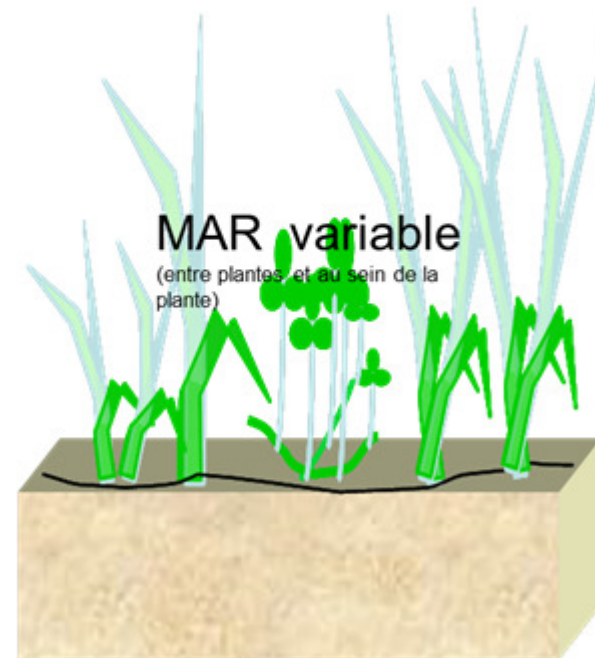


Signal Bleu - Hypothèse





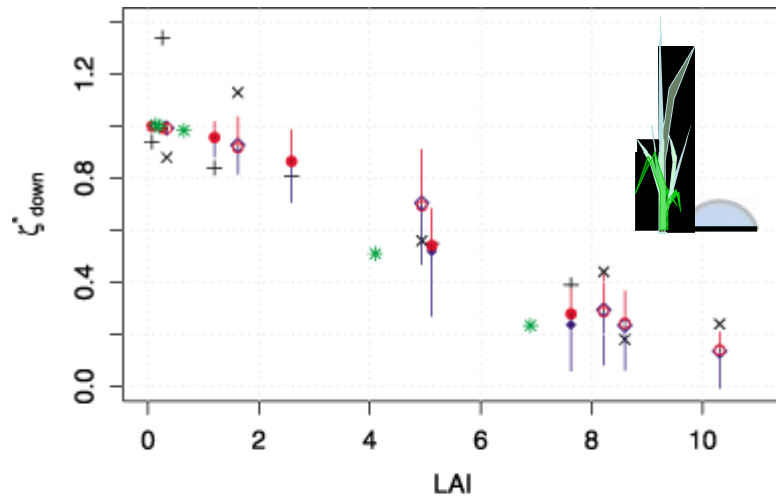
≠



Questions de recherche

- Comment la plante perçoit et intègre-t-elle la variabilité spatiale des signaux ?
- Quelle est l'importance de la photomorphogenèse dans la compétition pour la lumière ?

Bases bibliographiques



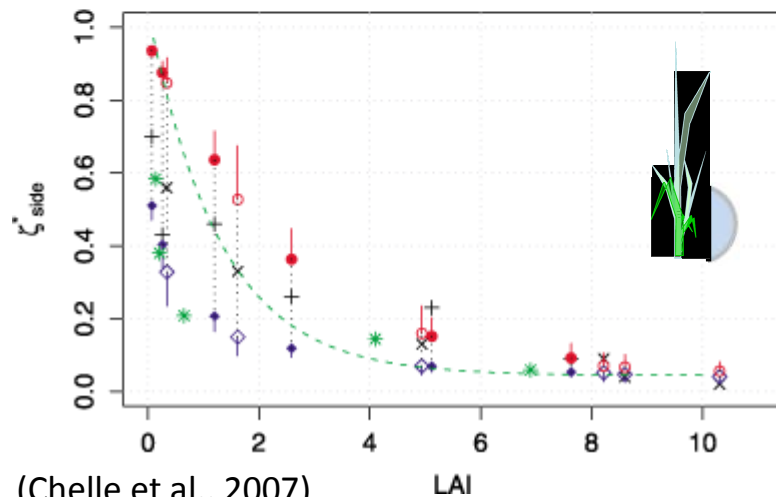
Voici ce qu'on connaît sur les variations de R_c/R_s
 \approx zeta ζ en fonction des conditions de culture,
de ciel et de l'orientation du capteur

mesures

(*) *Satin et al. 1994*

(- - -) *Sparkes et al. 2006*

(+ ; x) points mesurés respectivement à faible et à forte densité, Wageningen 2004



(Chelle et al., 2007)

simulations

○ ● ciel couvert/ 2 niveaux de densité

◇ ◆ ciel clair entre 11h et 13h TU / 2 niveaux de densité

➤ si capteur hémisphérique pas d'effet ni de ciel ni de densité

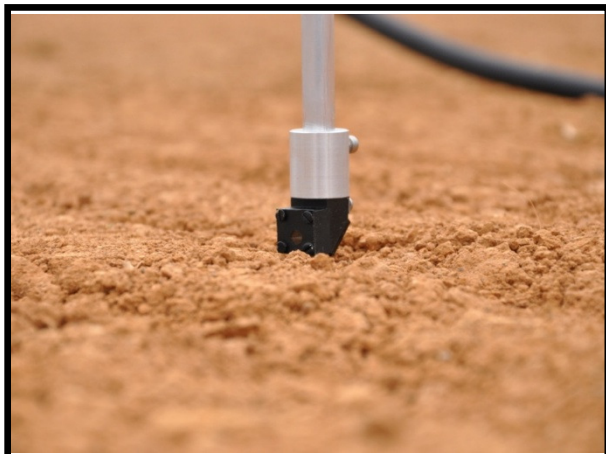
➤ si capteur vertical effet de ciel significatif à faible LAI

Dispositif au champ

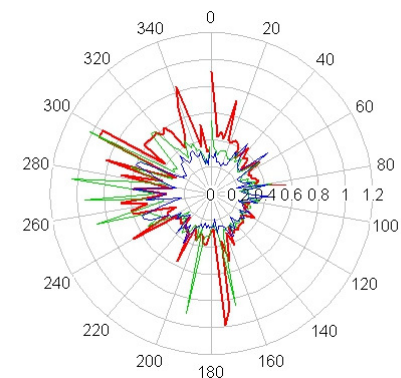
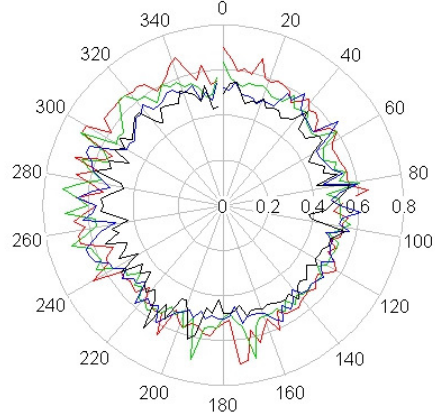
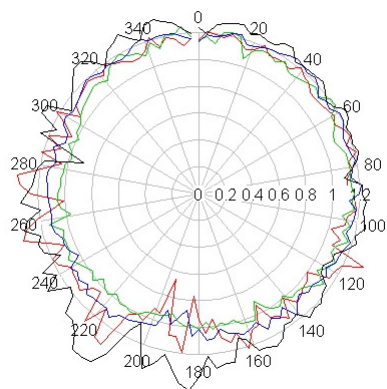


Extension possible jusqu'à 15 mats de mesures

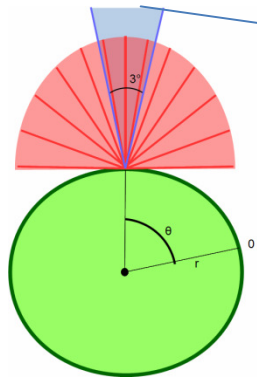
Suivi de modifications des signaux lumineux au cours du temps



Rc/Rs

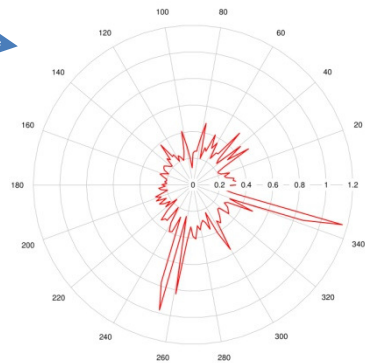


Du capteur à l'intégration des signaux lumineux par la plante

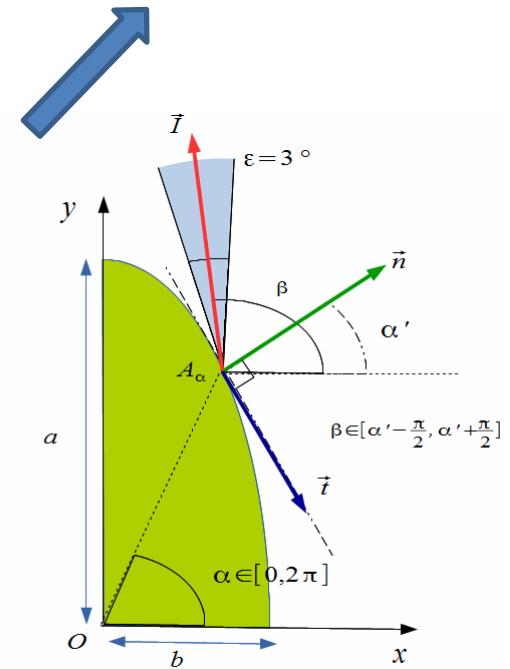
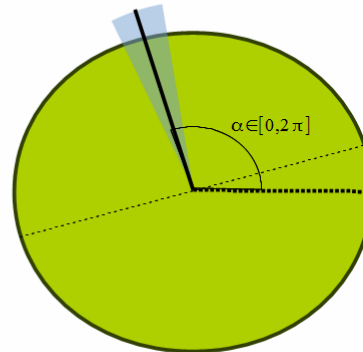
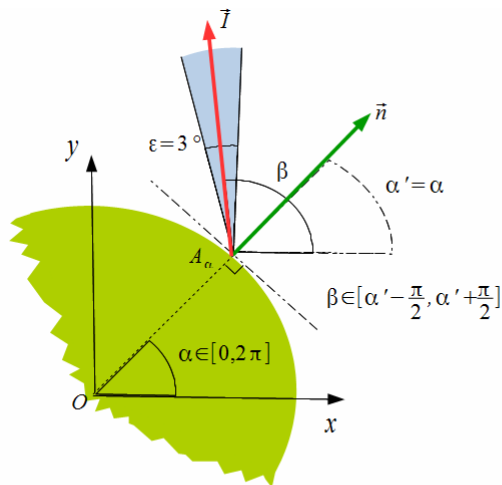
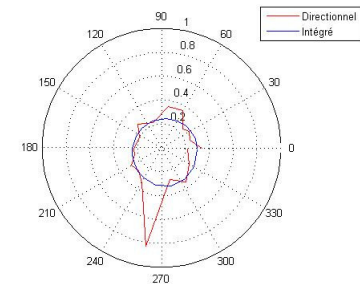


Lumière reçue en 1 point de la gaine

Zéta incident horizontal



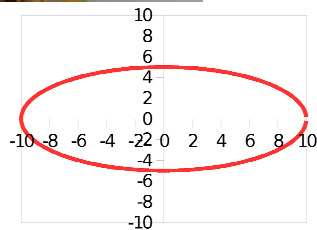
Mesuré avec le capteur de 3° et tous les 3°



Du capteur à l'intégration des signaux lumineux par la plante



dactyle

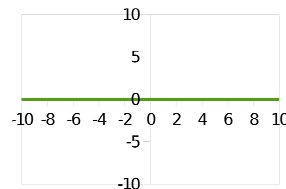


Forme elliptique

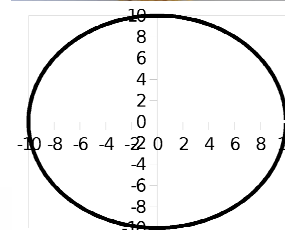
Importance des formes géométriques des organes récepteurs pour la répartition de l'éclairage reçu



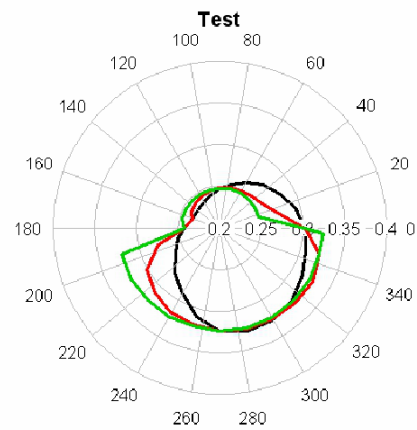
ray-grass



Forme plane



Forme sphérique



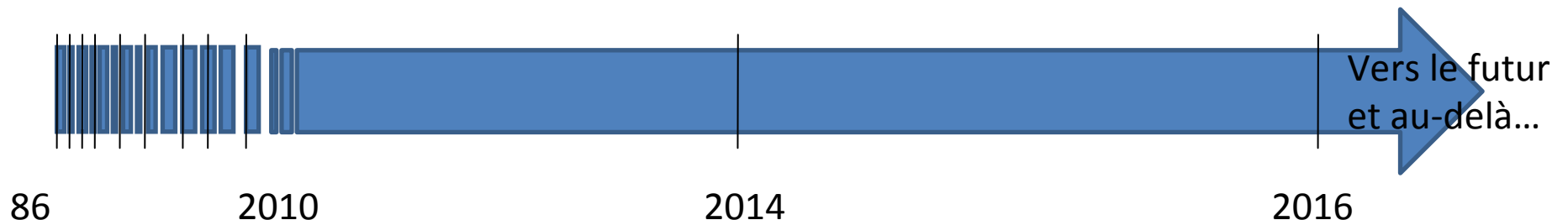
Chronologie des actions de recherche



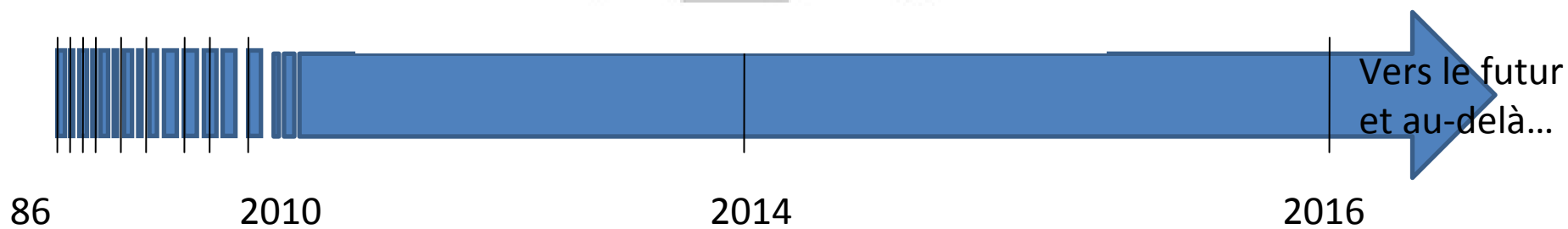
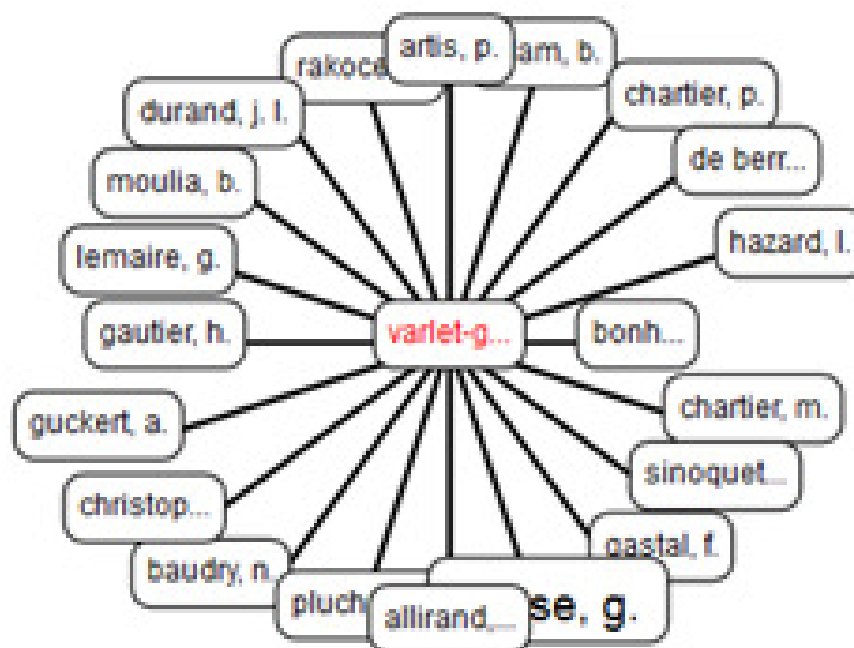
Xavier VARLET-GRANCHER
Cofondateur – Président
Ingénieur Microbiologiste

Didier COMBES
Cofondateur – Consultant scientifique
Docteur en Sciences de l'Atmosphère
Ingénieur de Recherche à l'INRA

- Start-up créée en Juin 2015
- Issue du transfert technologique réalisé à partir de travaux de recherches effectuées au sein de l'INRA de Lusignan et en partenariat avec TERENCEVI
- **Propose un accompagnement global d'assistance à la gestion des pelouses, terrains sportifs et espaces verts**



Chronologie des actions de recherche



Que la dream team continue de rayonner !!!!!

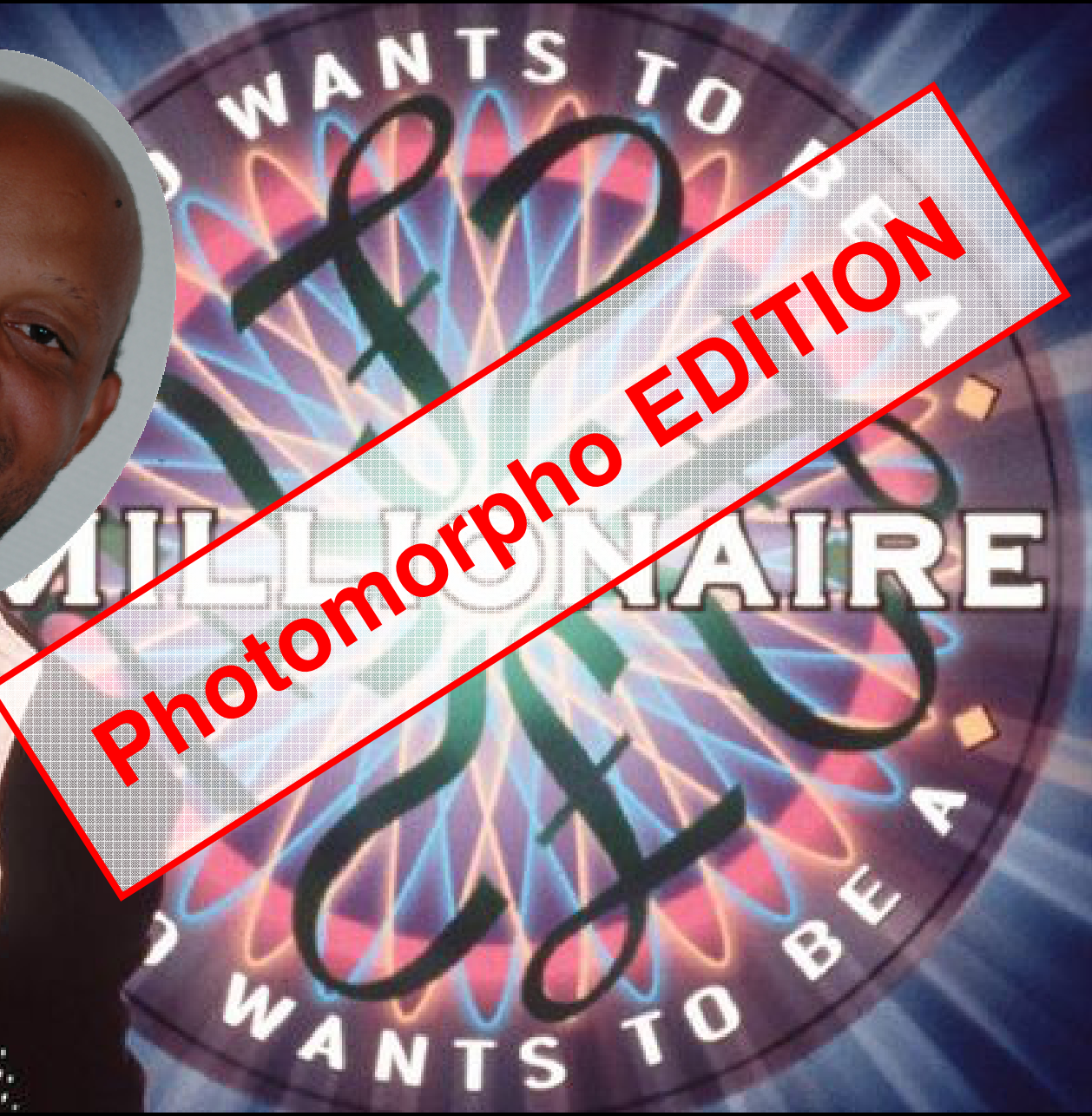


Vers le futur
et au-delà...

2016



PHOTOMORPHO EDITION





Quel instrument permet de mesurer le rapport Rouge Clair/Rouge Sombre

50:50



A. Thermocouple

B. Quantumètre

C. Violon

D. Spectroradiomètre



Quel était le point
commun entre Claude et
Angélique ?

50:50



A. La coupe de cheveux

B. Le jour de naissance

C. Dysfonctionnement de leur
ordinateur

D. La marque de voiture



Quelle était l'application
d'origine
des filtres de lumière utilisés
pour le programme
photomorphogenèse ?

50:50



A. Préparation du café

B. Gérer les SPAMS

C. Traitement du signal

D. Décors de théâtre



Quel est le temps d'intégration
du spectroradiomètre LICOR
1800 ?

50:50



A. 2 jours

B. 1 mn

C. 8 ms

D. pluvieux

LICORNE 1800





FÊTE DE LA SCIENCE

du 9 au 17 décembre 2016

www.fetedelascience.fr
www.facebook.com/fetedelascience

22^e ÉDITION EN POITOU
→ Animations, conférences, visites, stands... dans



Chronologie des (réalisations?) idées et des faits

- ❑ Caser les 2 ETK : 2007 à Lusignan et 2011 st nectaire
- ❑ Ecole chercheur 2001 ?

