

# Notion de rendement : définitions et mesures

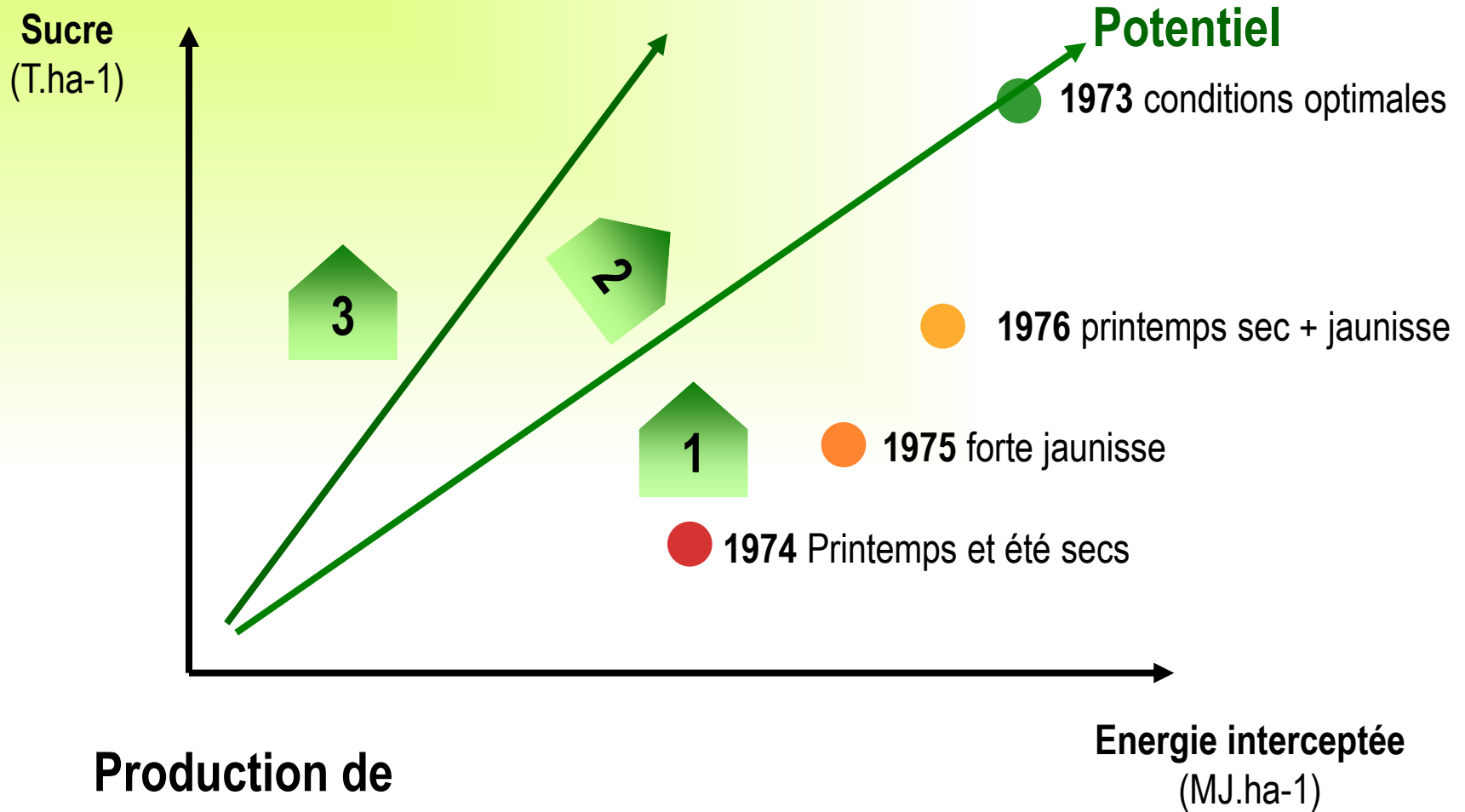
- **Rendement** : Quantité produite en fonction d'une quantité de moyens mis en œuvre (surface, ressources, travail, argent...)
  - Résultante à la récolte du programme morphogénétique de la plante et de l'équilibre des relations sources-puits
  - Ce qui est valorisé par la production en rapport à une quantité de travail et d'intrants fournis



### Comment le mesurer ?

- Quantité produite ? matière sèche, matière fraîche, quantité de protéines, de sucres, etc.
- En fonction de quoi ? Surface, matière sèche totale produite par la plante (indice de production), etc.

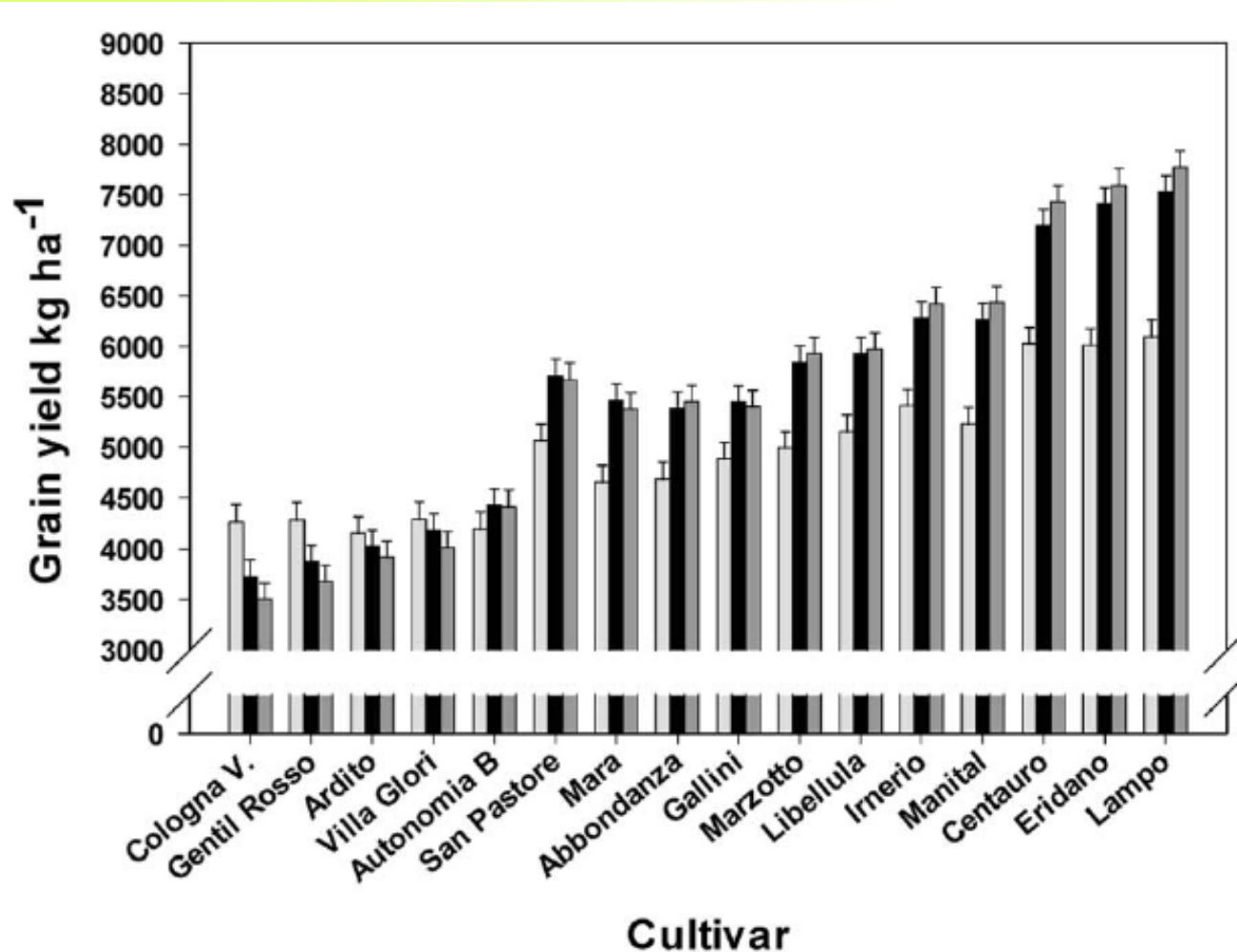
### Potentiel de rendement:



### Le sens de la sélection:

Année d'obtention	Rendement (kg.ha-1)	Indice de récolte (%)	Nombre de Grains /m <sup>2</sup>	Poids de 1000 grains (g)	Date d'épiaison (Nbre de Jours avant le 1 avril)	Hauteur de tige (cm)	Verse (score 0-9)
Avant 1930	4072	35	9211	44	41	135	7,6
1931-1980	5484	45	14245	39	34	100	2,0
Après 1980	6750	51	18052	38	33	81	0,2

### Le sens de la sélection:





### Les outils de l'agriculteur:

- L'agriculteur va utiliser les outils et techniques à sa disposition pour optimiser l'utilisation des facteurs et conditions de croissance et maximiser le rendement (et la qualité)...
- **Qualité** : Aptitude d'un produit à satisfaire les besoins d'un utilisateur
  - Qualité alimentaire : nutritionnelle, hygiénique (non toxicité des aliments), et organoleptique (tests de dégustation (subjectifs); analyses (valeur nutritionnelle, contamination, etc.))
  - Qualité technologique : liée à la récolte, le transport et la transformation du produit agricole.

- Le peuplement végétal cultivé: définitions et concepts
- Modèles de représentation de son fonctionnement
  - Somme de températures
  - Notion de stade critique
  - Fonction de production et modèles de culture
- Schéma général de fonctionnement du peuplement

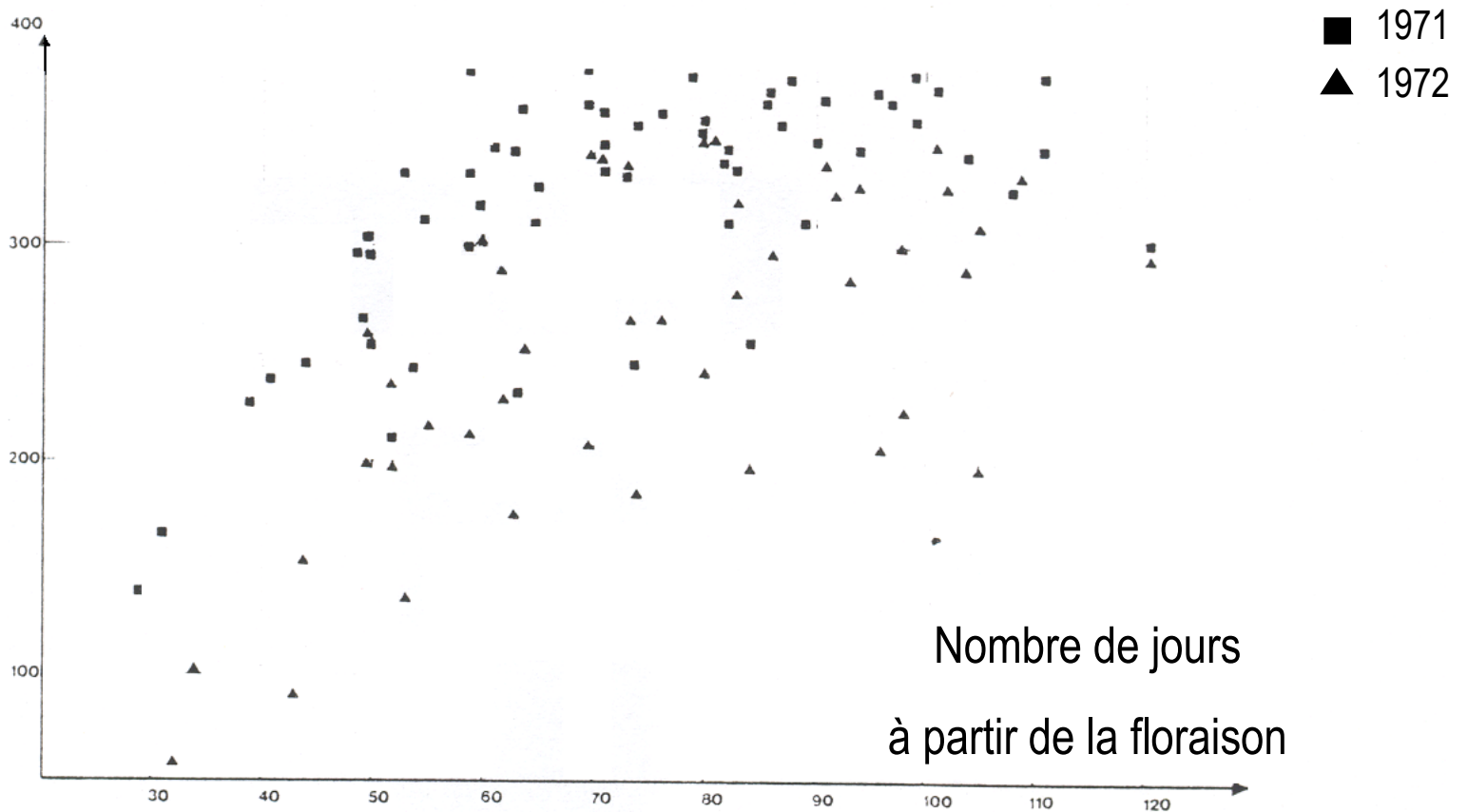


- **Modèle** : Formulation simplifiée imitant les phénomènes réels. Rend compte d'un fonctionnement.
  - Stochastiques : établis à partir de relations statistiques entre variables
  - Mécanistes : établis à partir de lois et fonctions physiologiques représentant les réactions d'un peuplement aux conditions et facteurs.

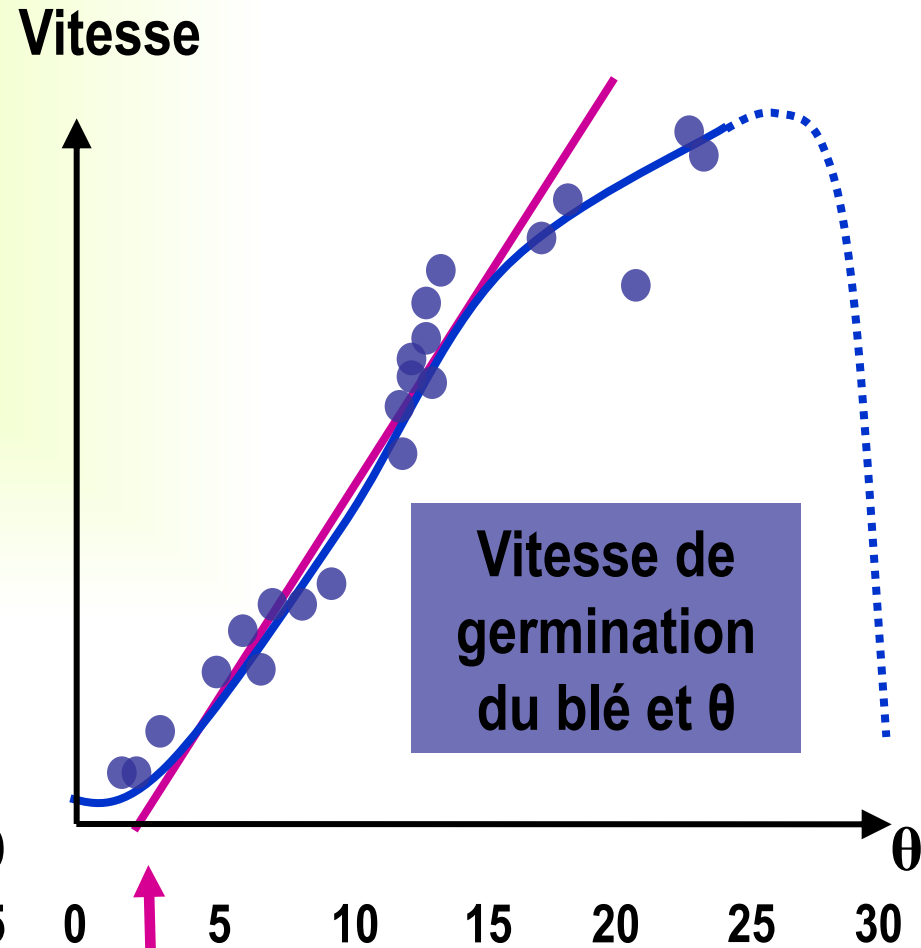
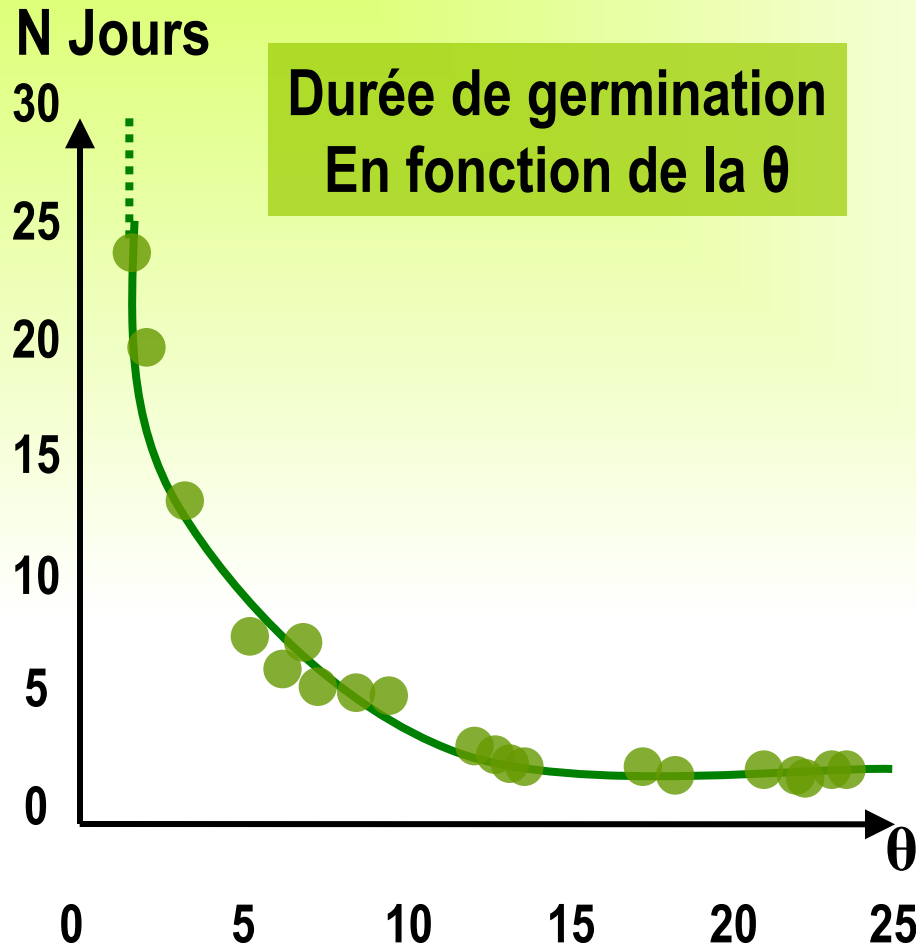


# Sommes de températures

## Evolution du poids de mille grains



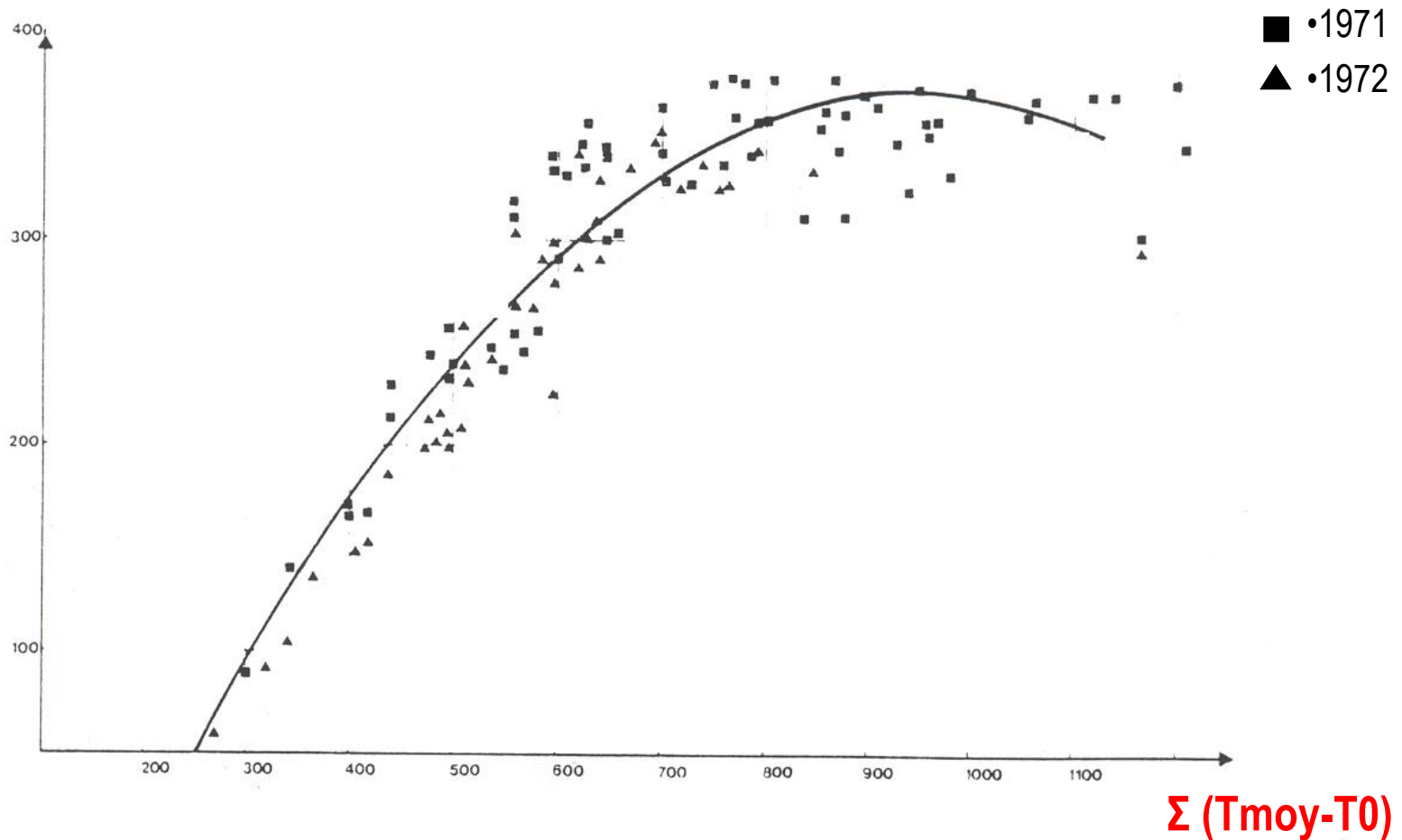




**$T_0$  = zéro de végétation**

- Zéro de végétation  $T_0$  : température pour laquelle la croissance est nulle
- Variable selon les espèces : blé  $0^{\circ}\text{C}$ ; maïs/sorgho  $8^{\circ}\text{C}$  ;  
pdt  $6-8^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{moy}} - T_0$  = température efficace journalière ( $T_{\text{ej}}$ )

## Evolution du poids de mille grains



- Zéro de végétation  $T_0$  : température pour laquelle la croissance est nulle
- Variable selon les espèces : blé  $0^{\circ}\text{C}$ ; maïs/sorgho  $8^{\circ}\text{C}$  ;  
pdt  $6-8^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{moy}} - T_0$  = température efficace journalière ( $Te_j$ )
- allongement journalier d'un organe :  $DI = k(T_{\text{moy}} - T_0) = k(Te_j)$
- longueur totale :  $L = \Sigma(DI)$   
 $= k \Sigma (T_{\text{moy}} - T_0) = \text{constante}$

Phases Blé tendre	$\Sigma Te_j$
Semis – levée	150 °C
Levée – fin tallage	500 °C
Montaison – floraison	850 °C
Floraison – maturation	850 °C
Semis – maturation	2350 °C

$\Sigma (T_{\text{moy}} - T_0)$  nécessaire pour atteindre  $L$  est constante et espèce-dépendante

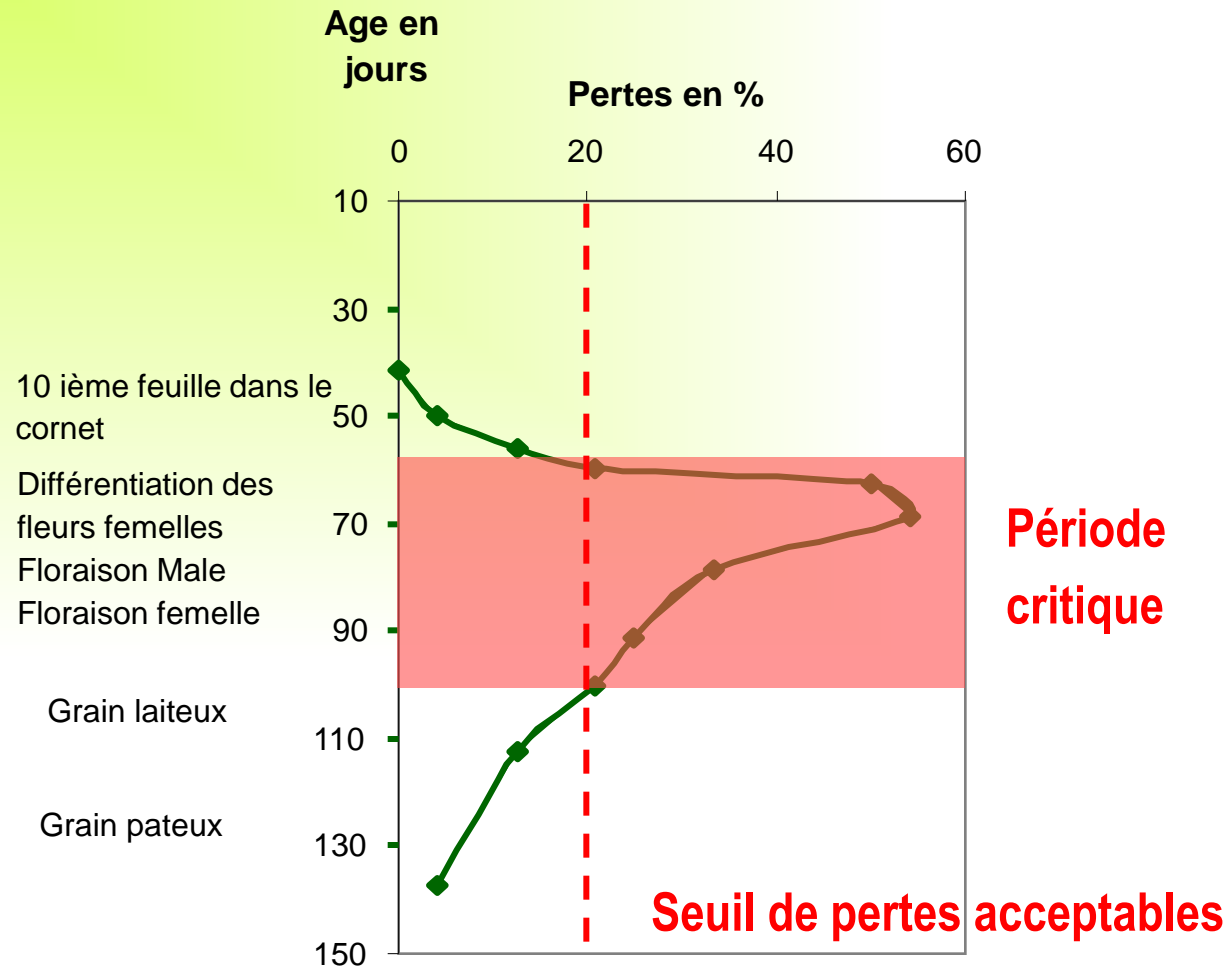


## Limites de l'approche:

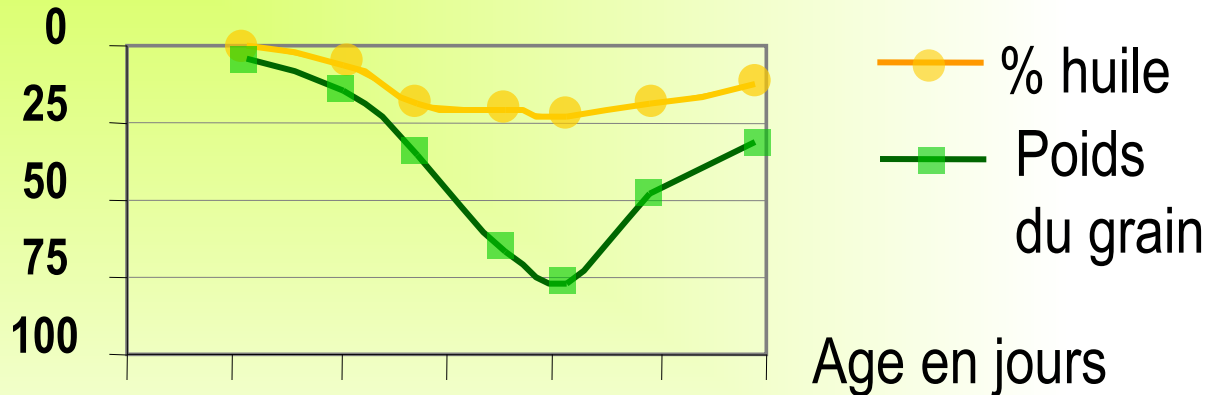
- Variations valables dans certaines gammes de températures
- Vitesse réelle des phénomènes est différente de celle modélisée (température réelle du peuplement)
- Température moyenne sur la journée
- Notion de 0 de végétation (zéro apparent de végétation est légèrement différent)
- Quid de la prise en compte des fortes températures ?



# Notion de stade critique et sensibilité du couvert



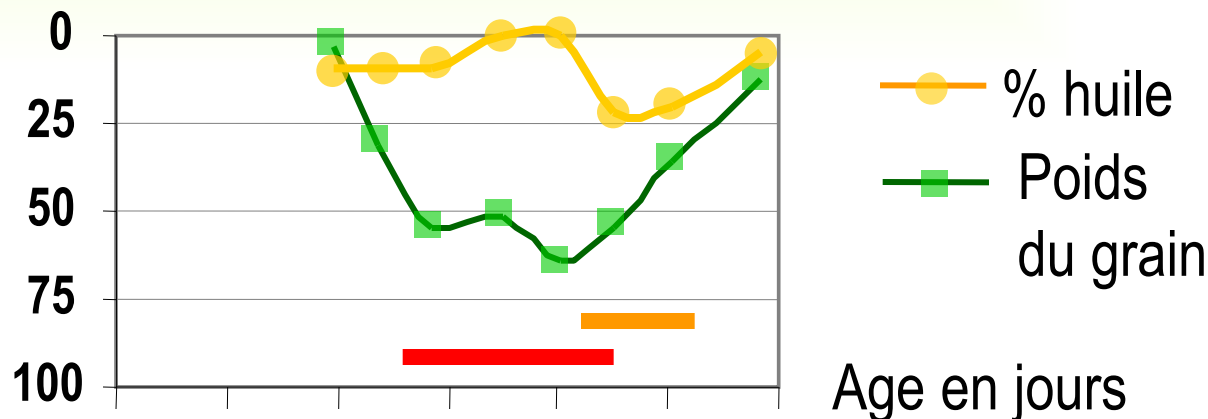
Pertes en %



Sensibilité du colza de printemps

Source : Mingeau 1974

Pertes en %



Sensibilité du tournesol

Source : Robelin 1967

**Permet les adaptations culturelles**

## Evolution des zones de culture du soja en France

En 1974

En 1986

A, D, C, D, E

Zones de conseil  
(précocité, techniques  
de cultures)







# Fonction de production et modèles de culture

### ● Fonctions de production

- Relie rendement et disponibilité d' un facteur
- Faible valeur prédictive
- Utiliser pour conduire la culture

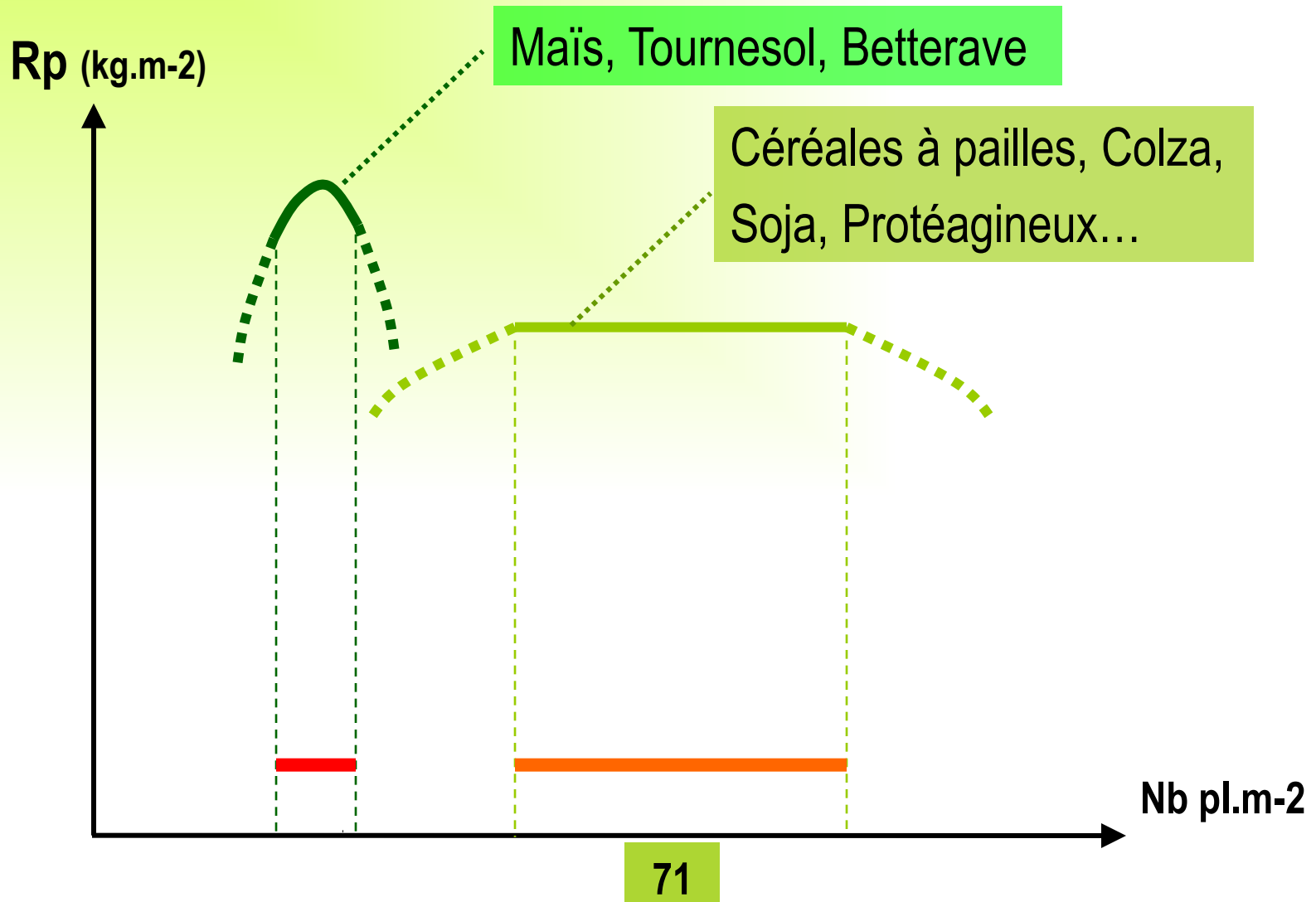
*Ex:  $D$  et rendement ou  $Q$  d'engrais et rendement*

### ● Modèle de culture

- Relie les fonctions de productions
- Cherche à prendre en compte les interactions
- Représente le fonctionnement du peuplement

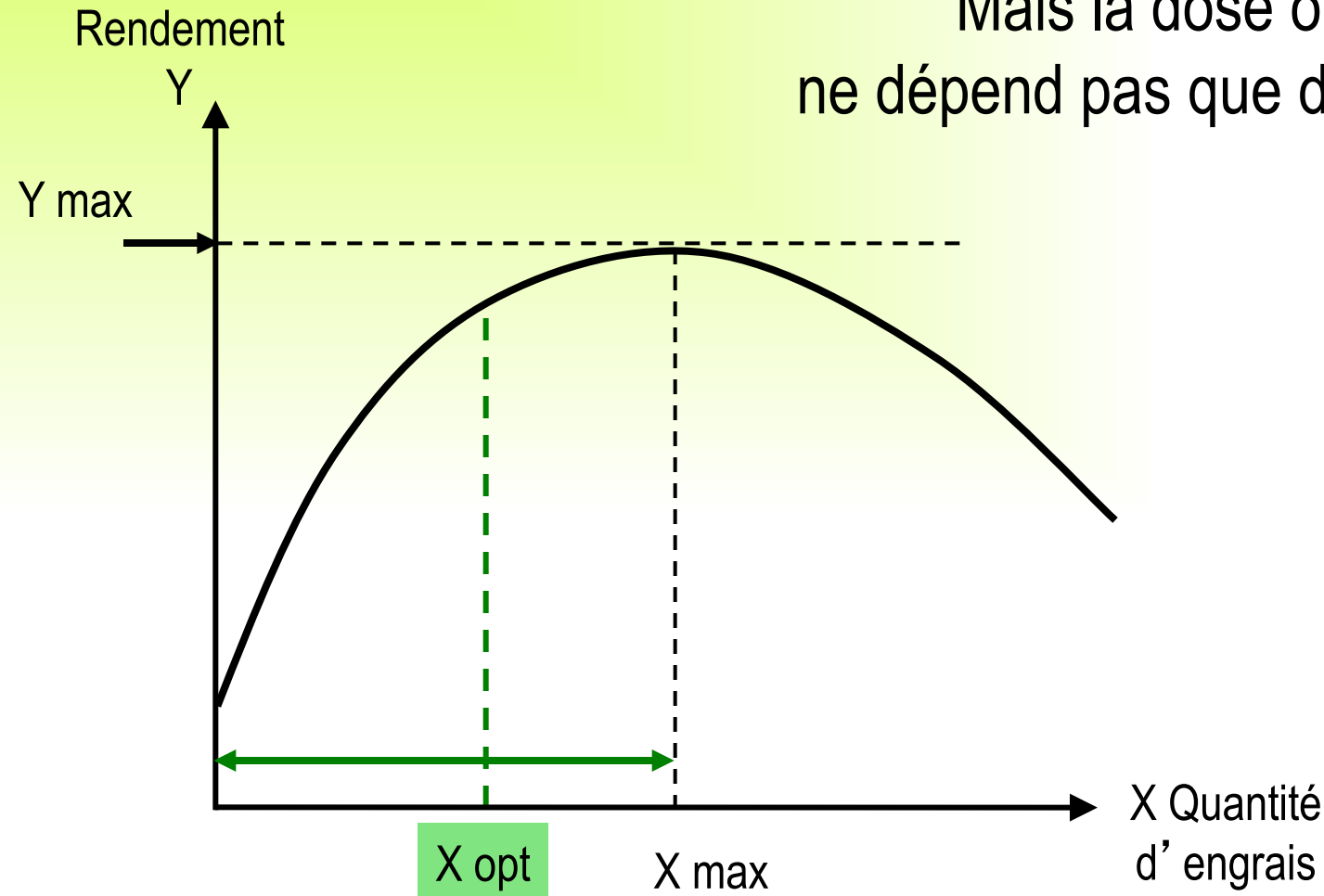


### Densité optimale et rendement



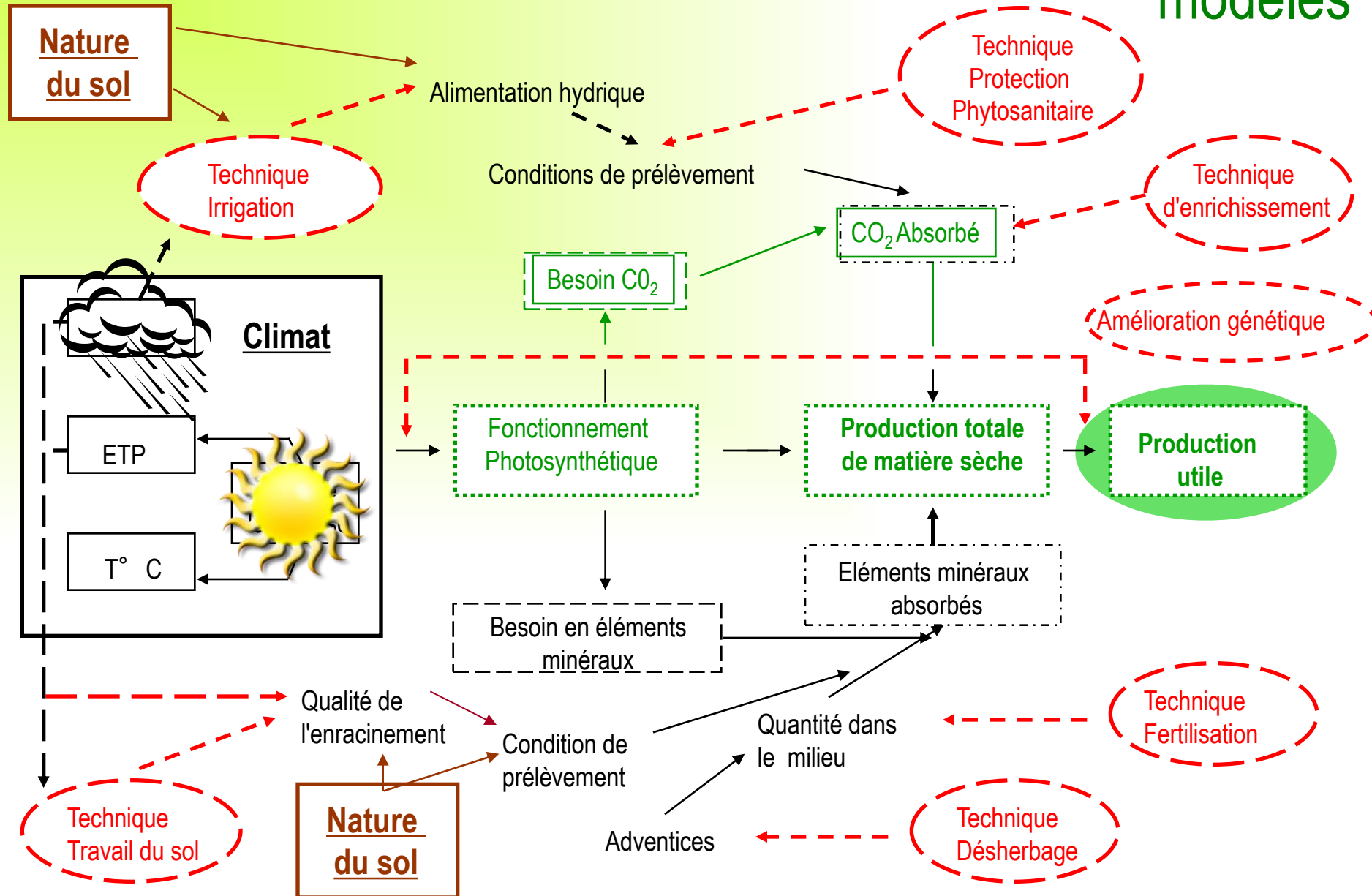
### Quantité d'engrais et rendement

Mais la dose optimale ne dépend pas que du rendement !

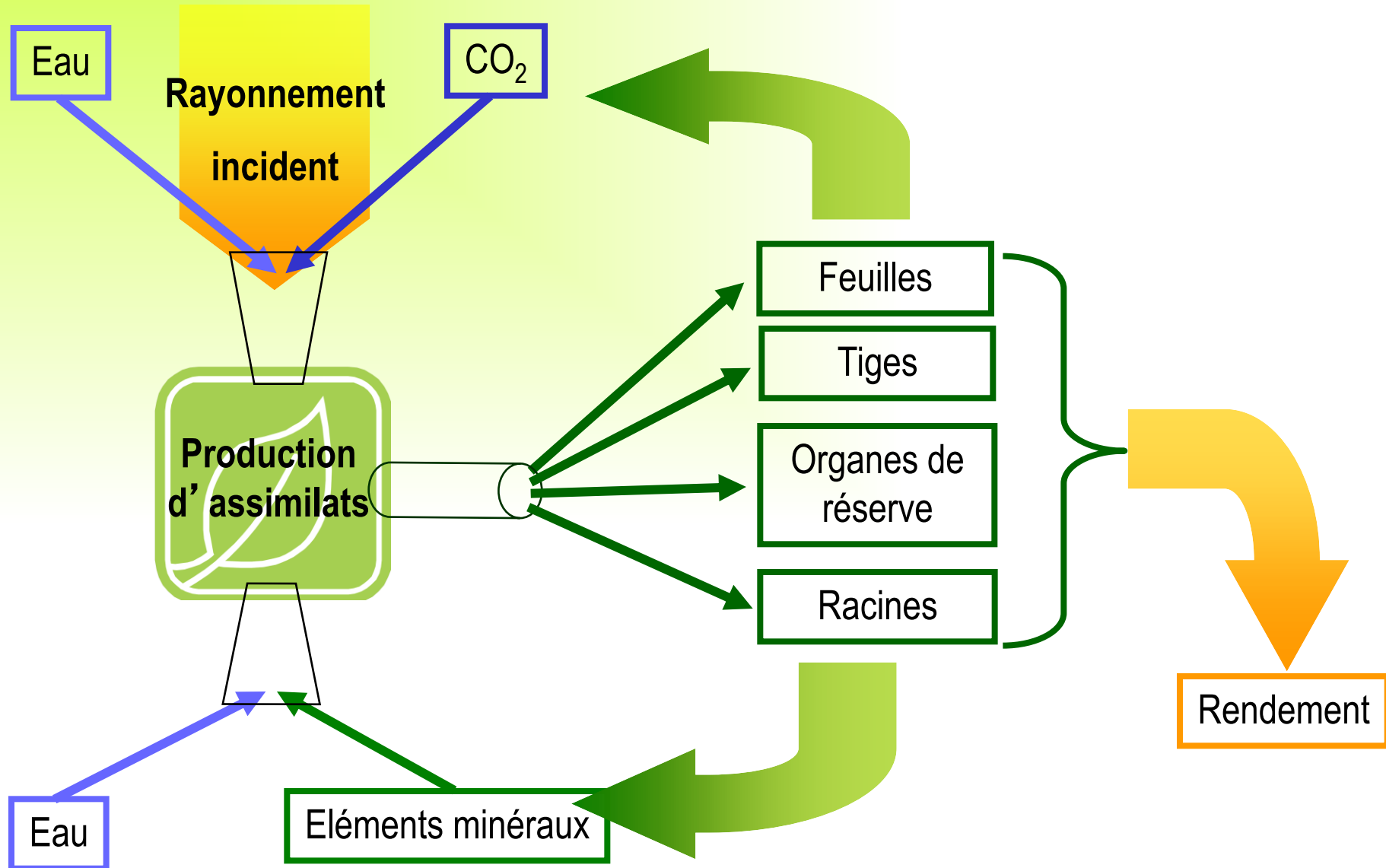


## Quantité d'engrais et rendement

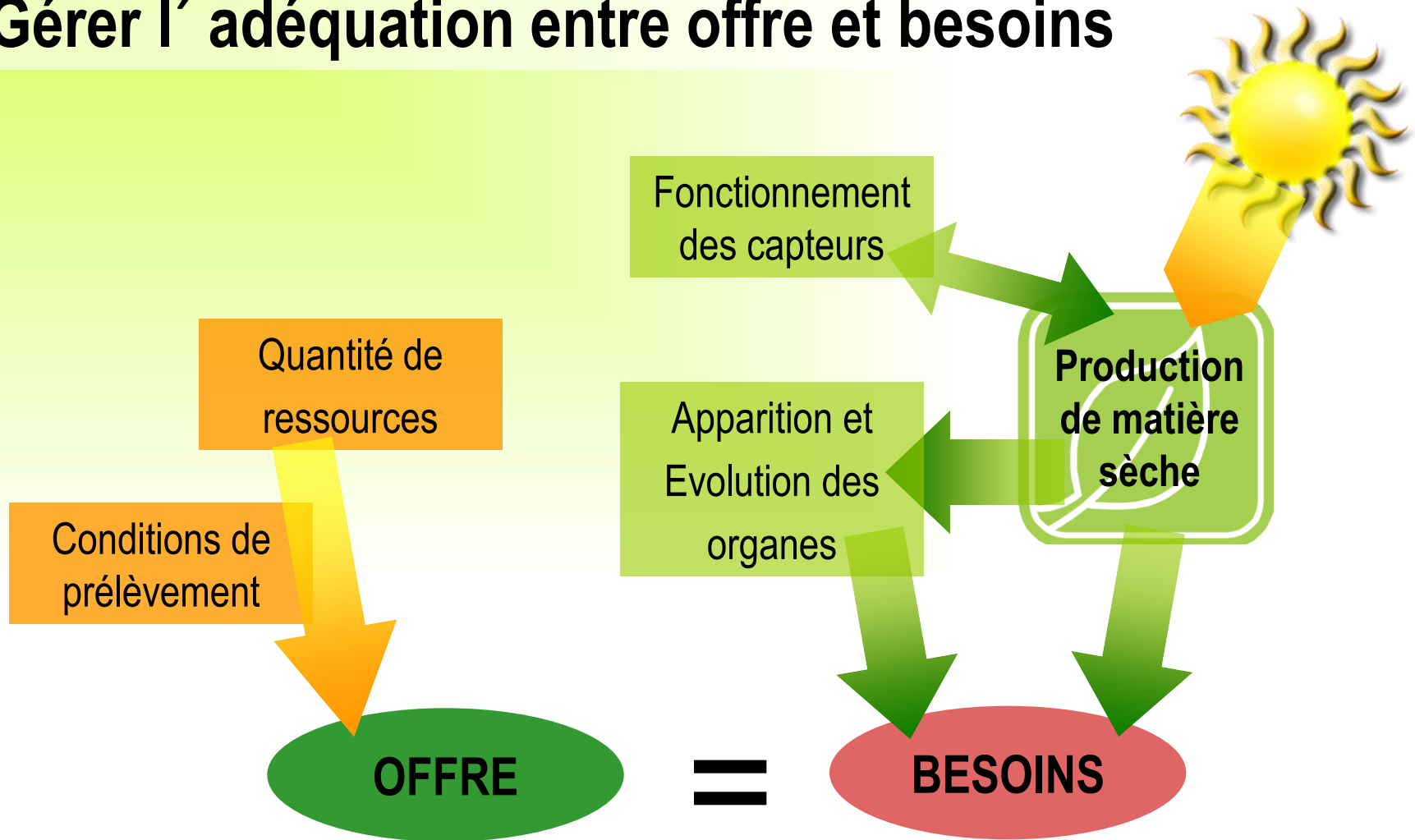
- **Attention !** La relation rendement – quantité d' engrais peut varier en fonction des conditions de milieu
  - Tassement du sol
  - Croissance du peuplement (en sortie d' hiver)
  - Autres facteurs limitant (eau, nutriments...)



- Le peuplement végétal cultivé: définitions et concepts
- Modèles de représentation de son fonctionnement
- Schéma général de fonctionnement du peuplement

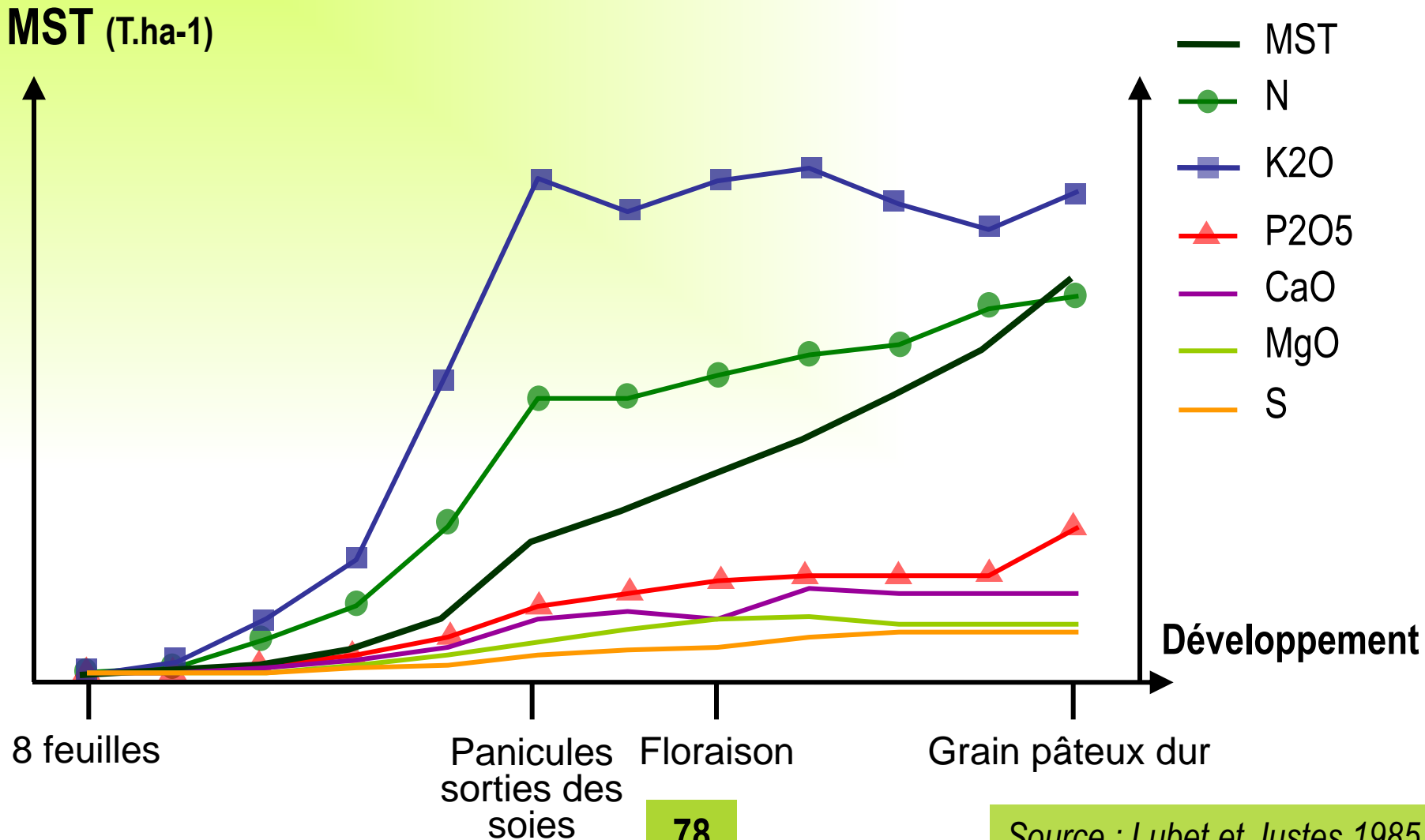


## Gérer l'adéquation entre offre et besoins





## Des besoins variables au cours du cycle



# Plan de la présentation

- Introduction
- Etude du peuplement végétal cultivé
- Peuplement végétal et utilisation des ressources
- L'élaboration du rendement et son analyse

# Peuplement végétal et utilisation des ressources

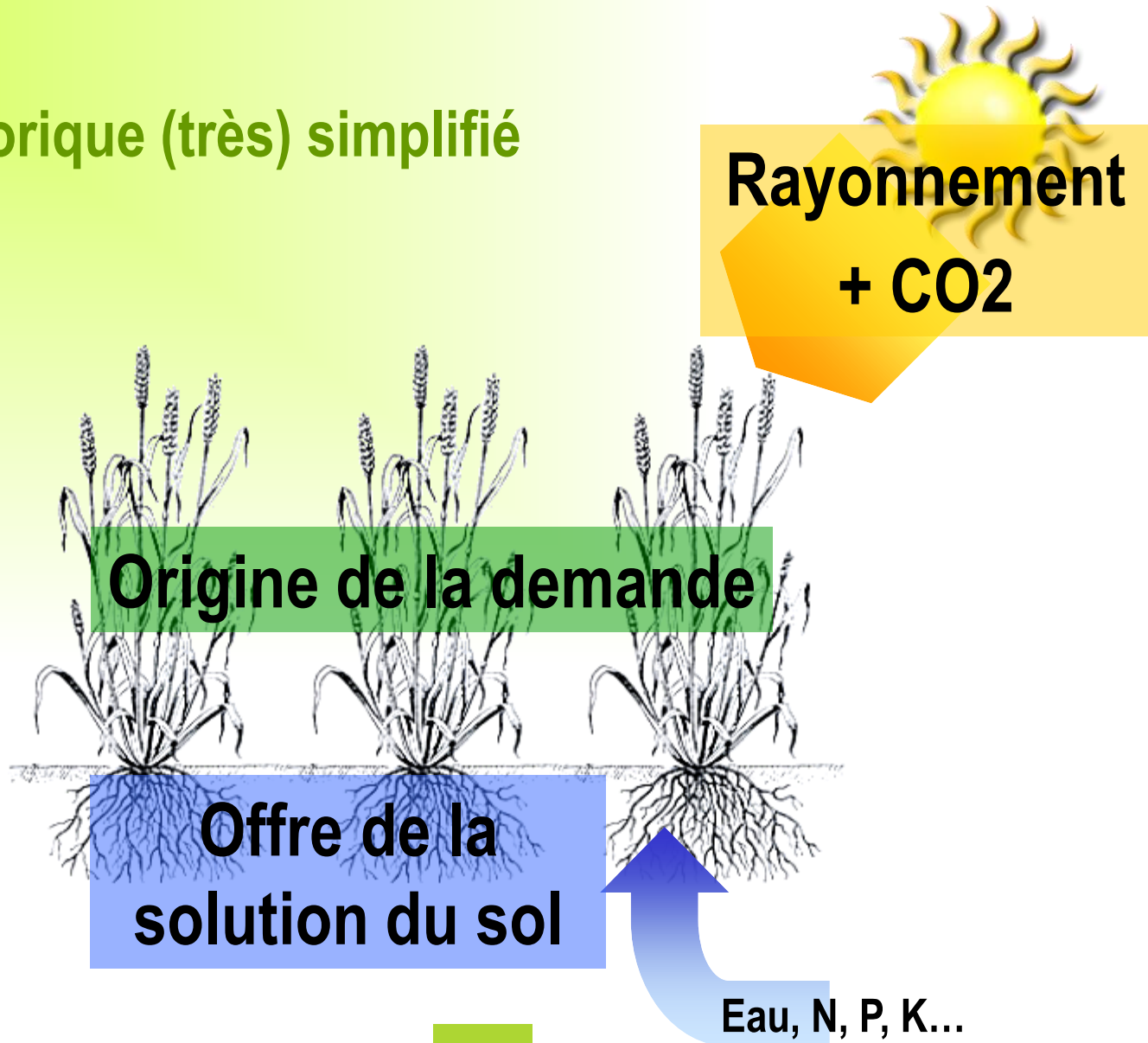
- Nutrition carbonée d'un peuplement végétal
  - Interception du rayonnement et photosynthèse
  - Facteurs de photosynthèse nette
  - Photosynthèse nette à l'échelle du peuplement
  - Conséquences sur les techniques agricoles
- Alimentation hydrique d'un peuplement
- Peuplement végétal cultivé et nutrition minérale
- Le partage des ressources au sein d'un peuplement



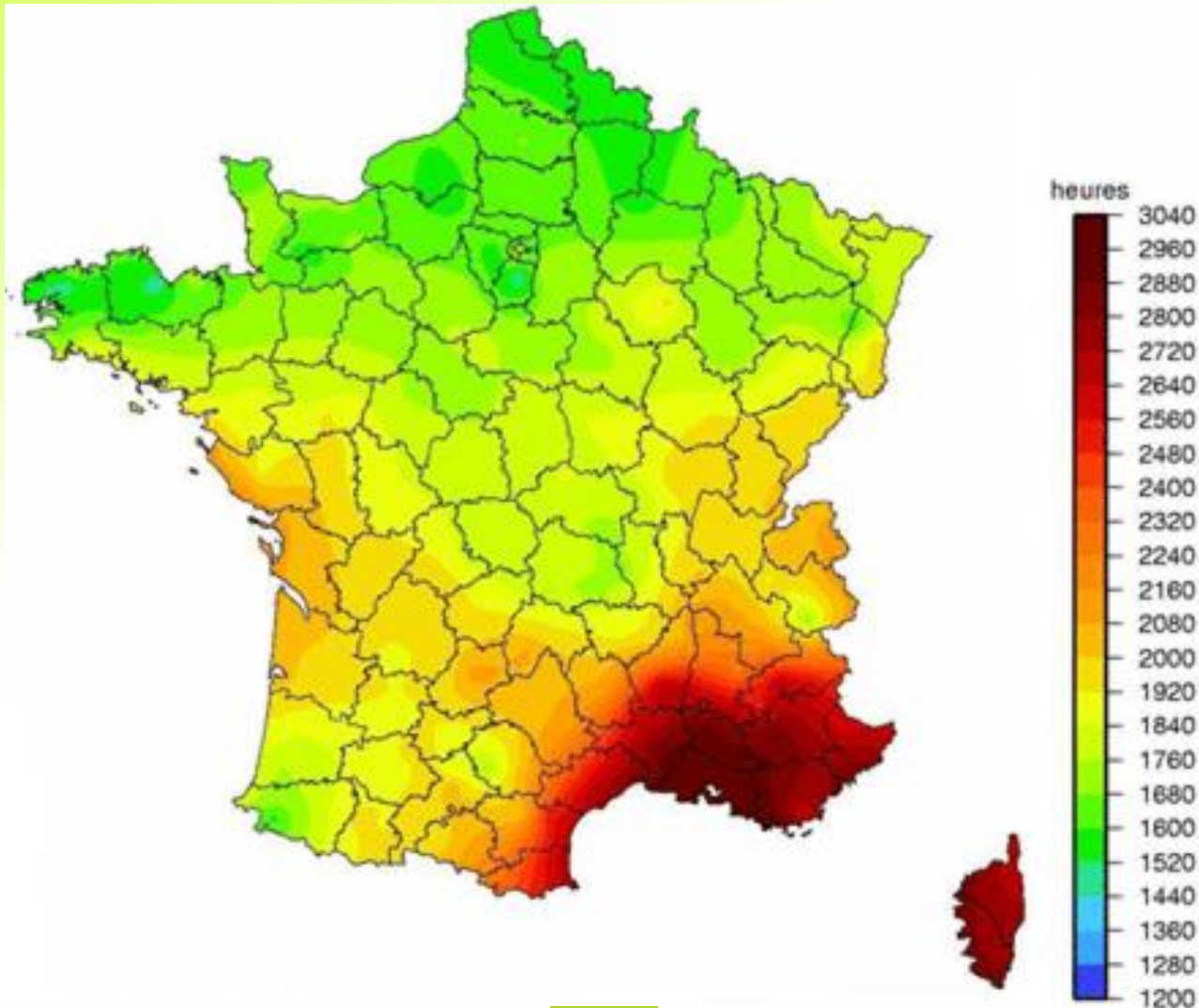


# Interception du rayonnement et photosynthèse

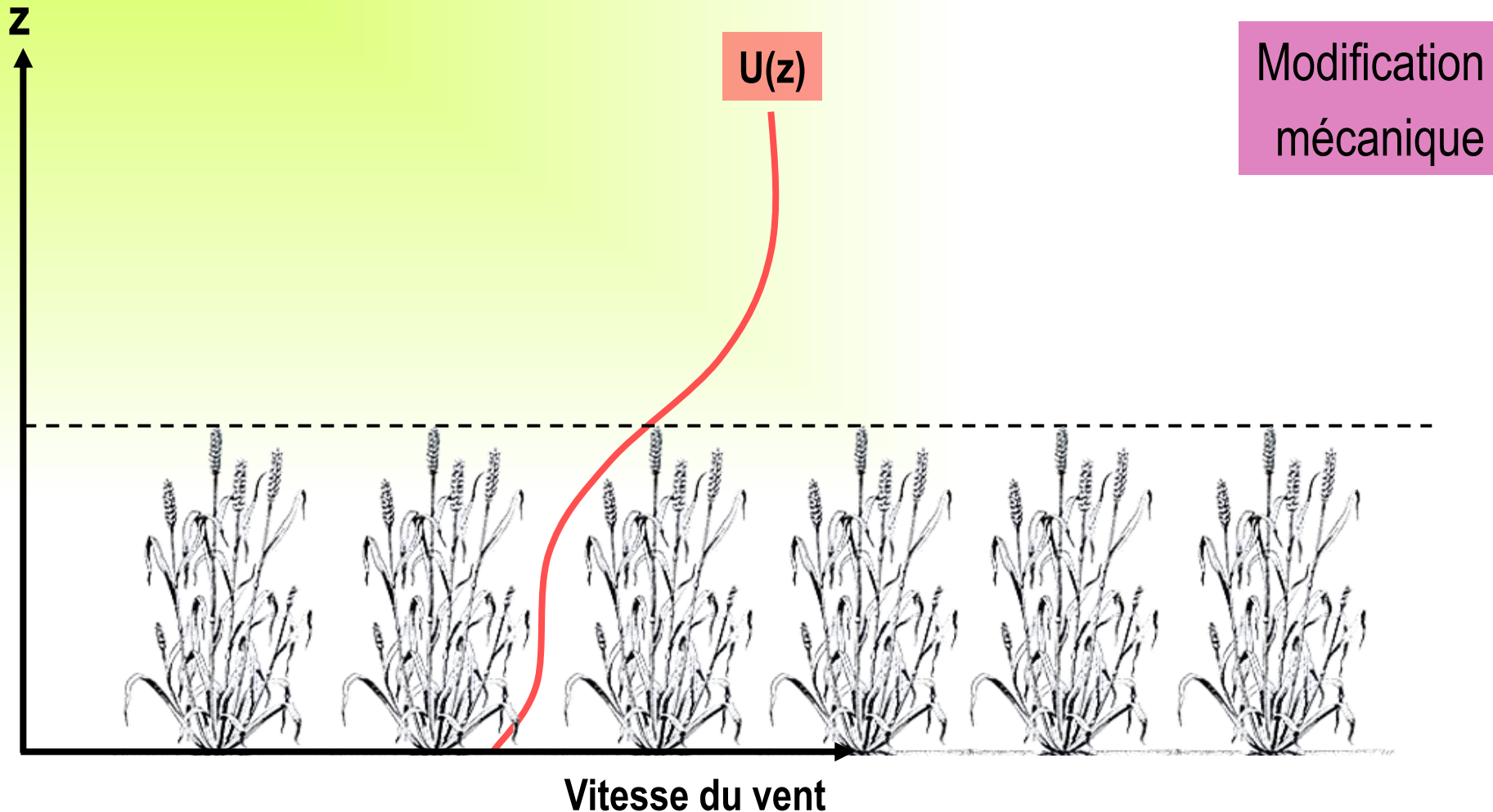
### Schéma théorique (très) simplifié



### Une offre variable

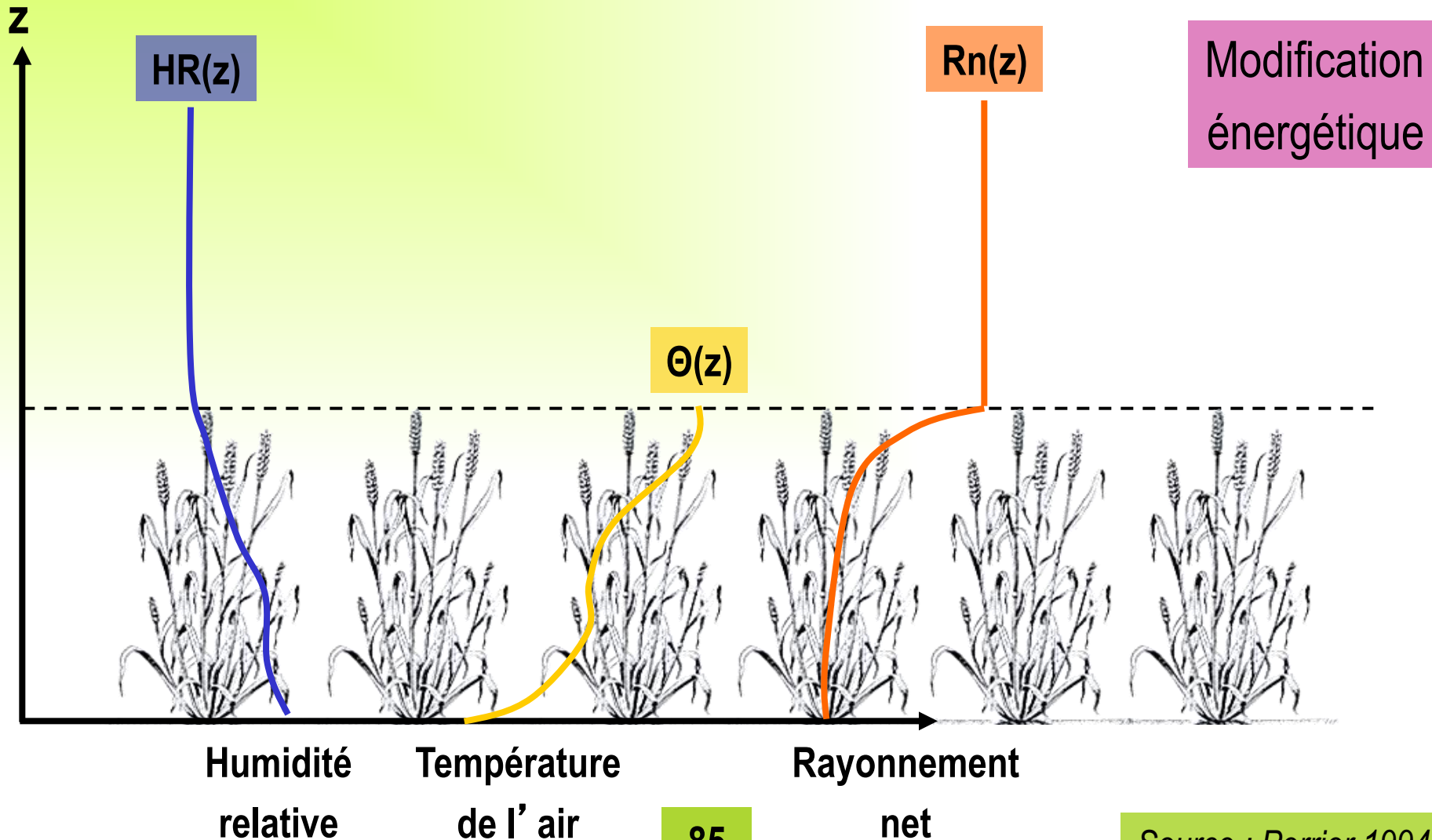


## Notion de microclimat du couvert

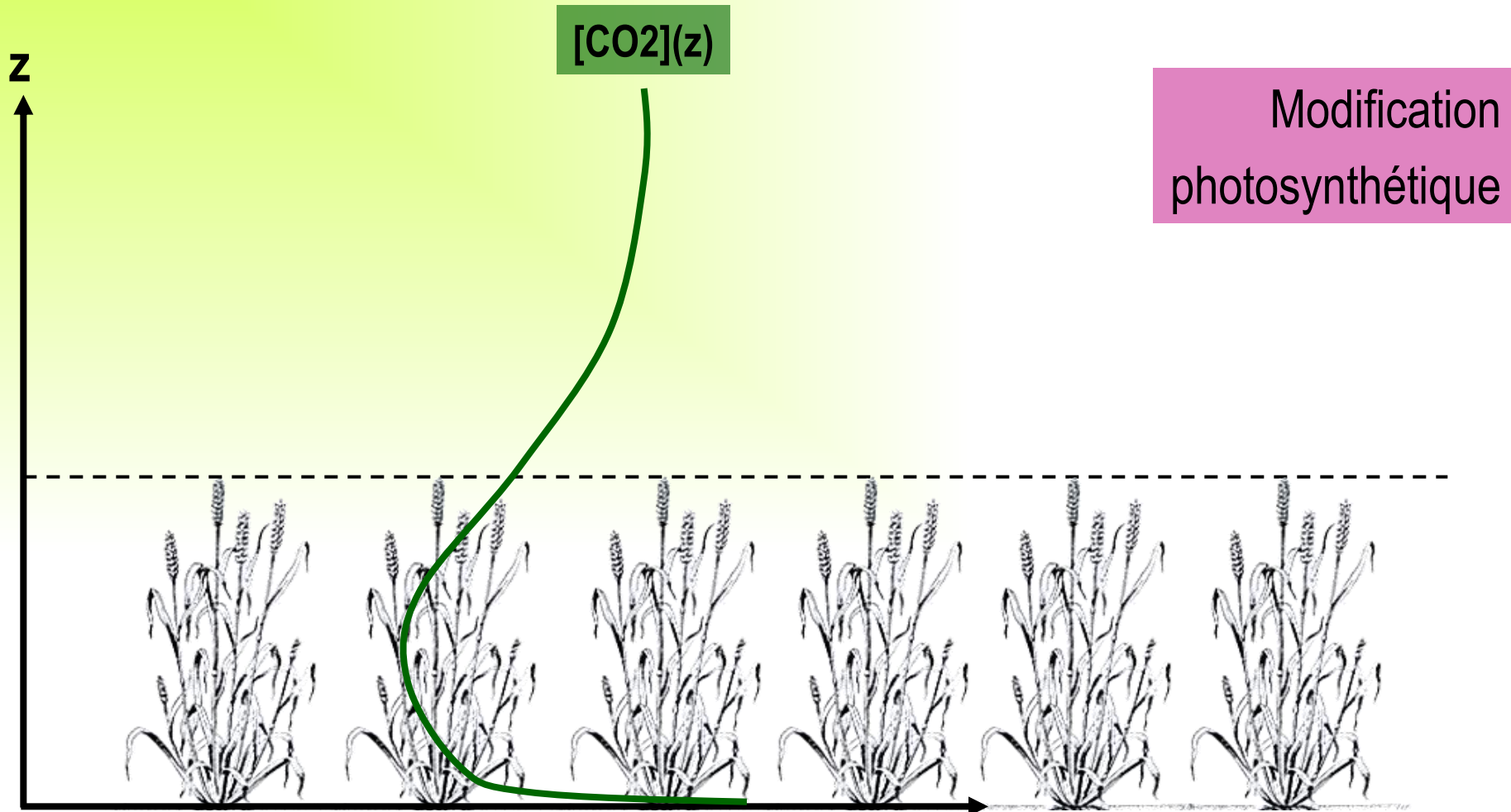




## Notion de microclimat du couvert



### Notion de microclimat du couvert



## Rayonnement disponible pour le peuplement

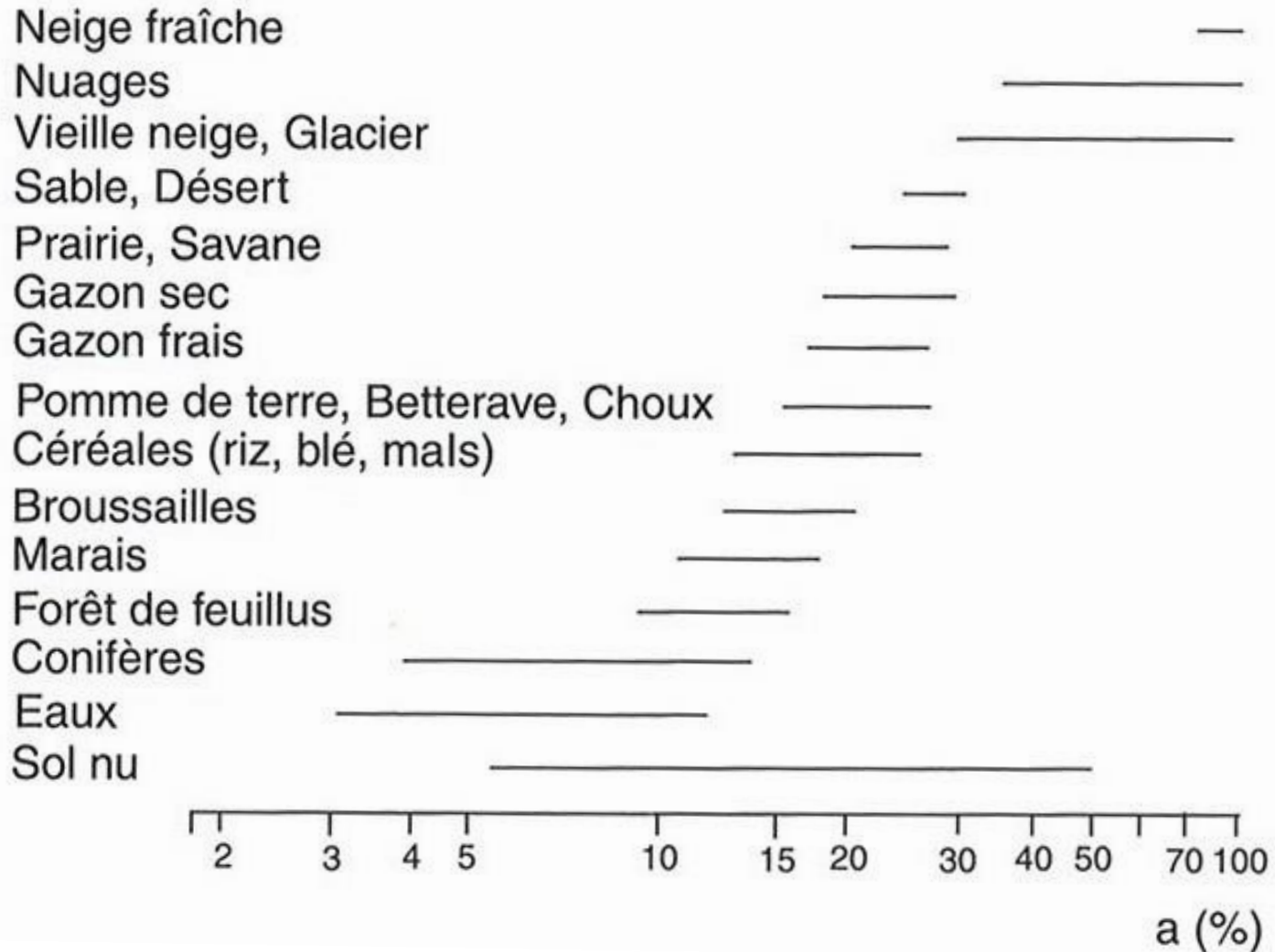
**Rayonnement net** : est le bilan instantané des rayonnements

$$R_n = (1-a)G + \varepsilon(R_a - \sigma T_s^4)$$

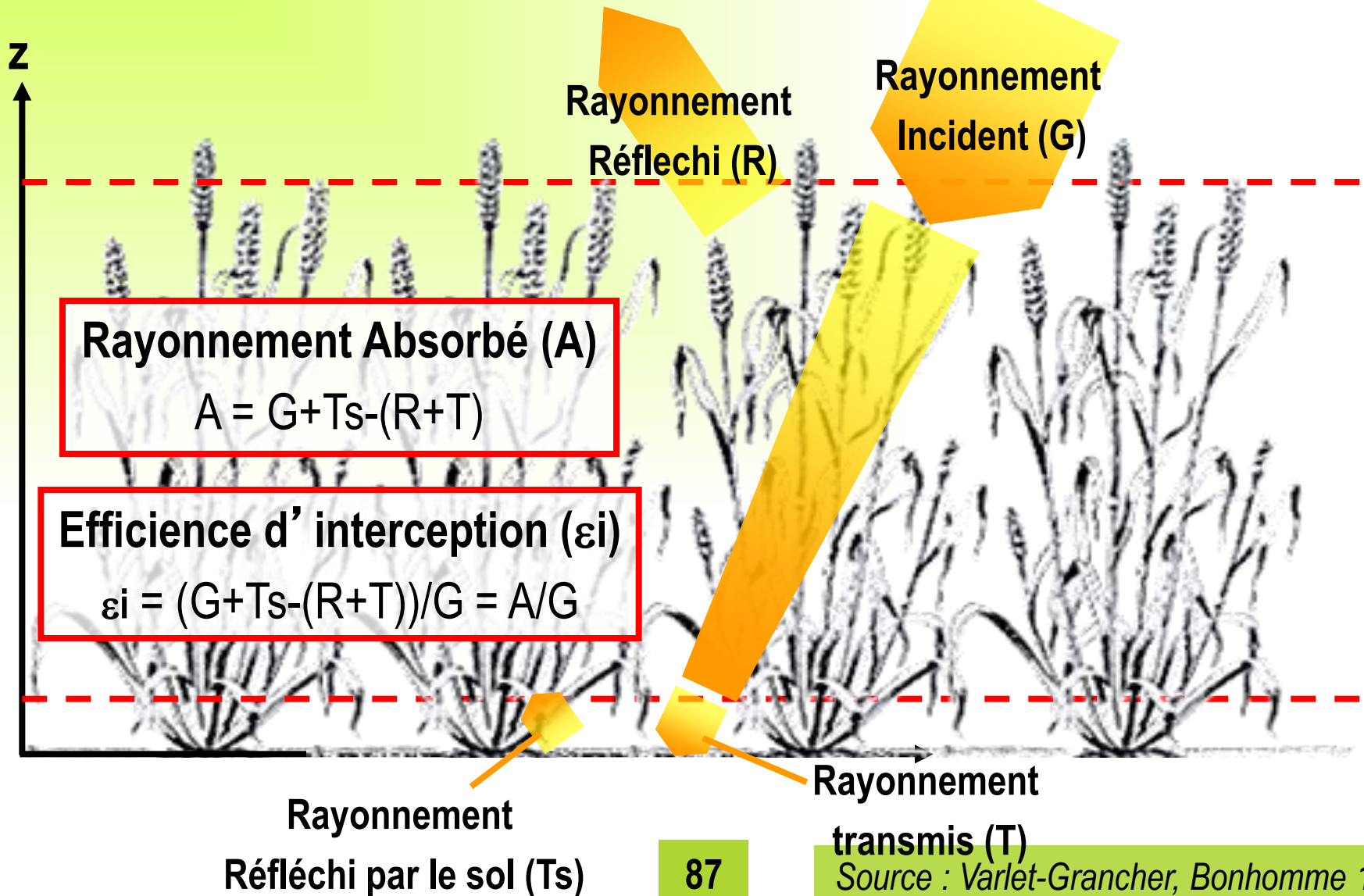
- a: albédo
- G: rayonnement global
- $\varepsilon$ : émissivité de la surface du sol (=0,95)
- $R_a$ : rayonnement atmosphérique
- $\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann
- $T_s$ : température de surface du sol



### Albedo de quelques surfaces



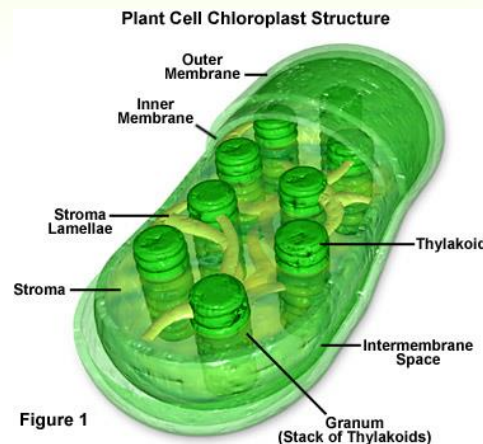
### Interception du rayonnement par le peuplement



## Utilisation pour la photosynthèse

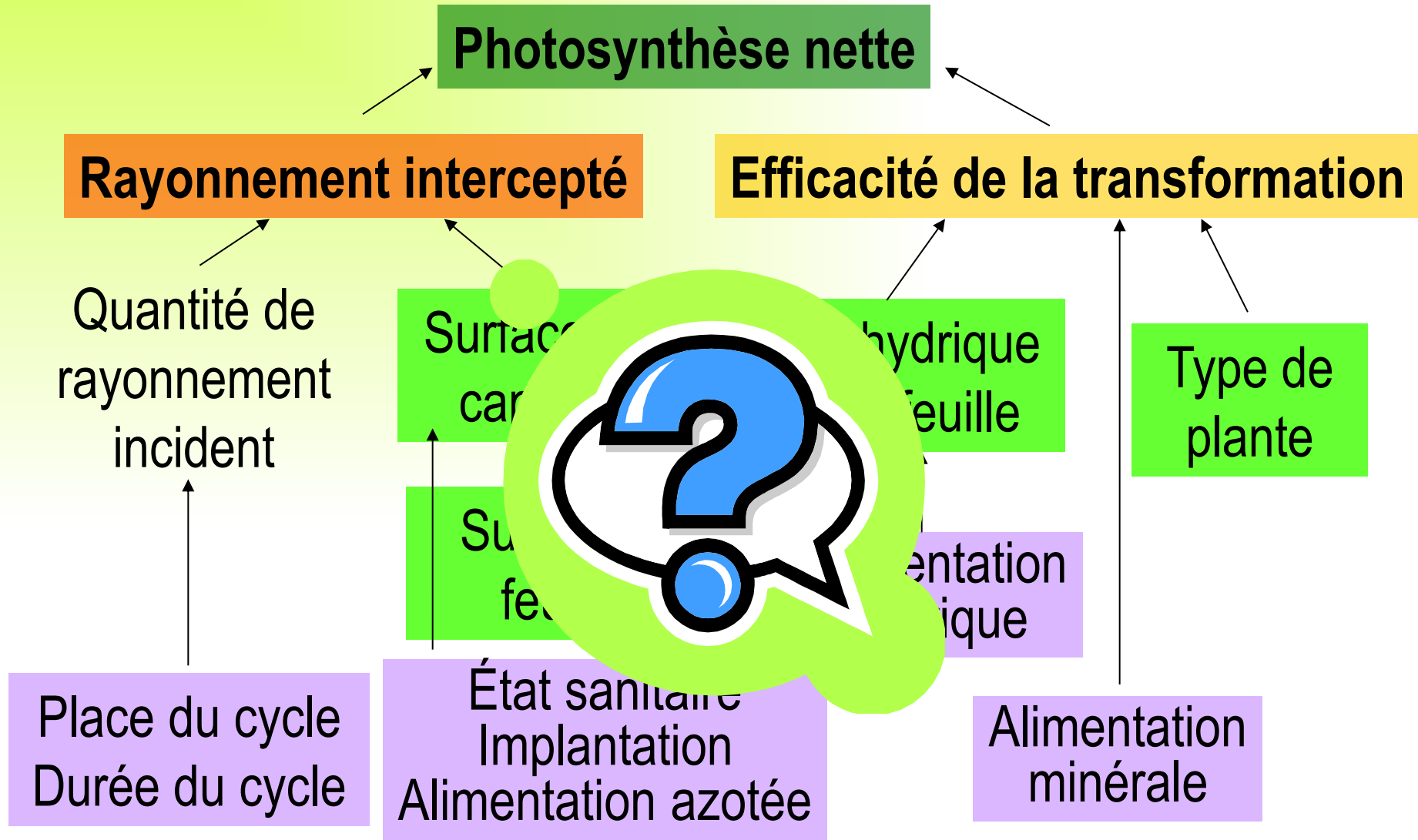
Pour faire de la photosynthèse la plante (le peuplement) utilise seulement une partie du rayonnement:

**PAR** = Photosynthetically Active Radiation





## Rayonnement et photosynthèse



### Efficacité de la transformation

- Coefficient de conversion biologique (en g.MJ<sup>-1</sup>)

$$\Sigma MS_j = C_b * \Sigma PAR_{abs}/j$$

- Efficience du rayonnement intercepté

$$E_a = E_{amax} * (1 - e^{-k * IF})$$

- k: coefficient d'absorption ou d'extinction du rayonnement
- IF: Indice foliaire

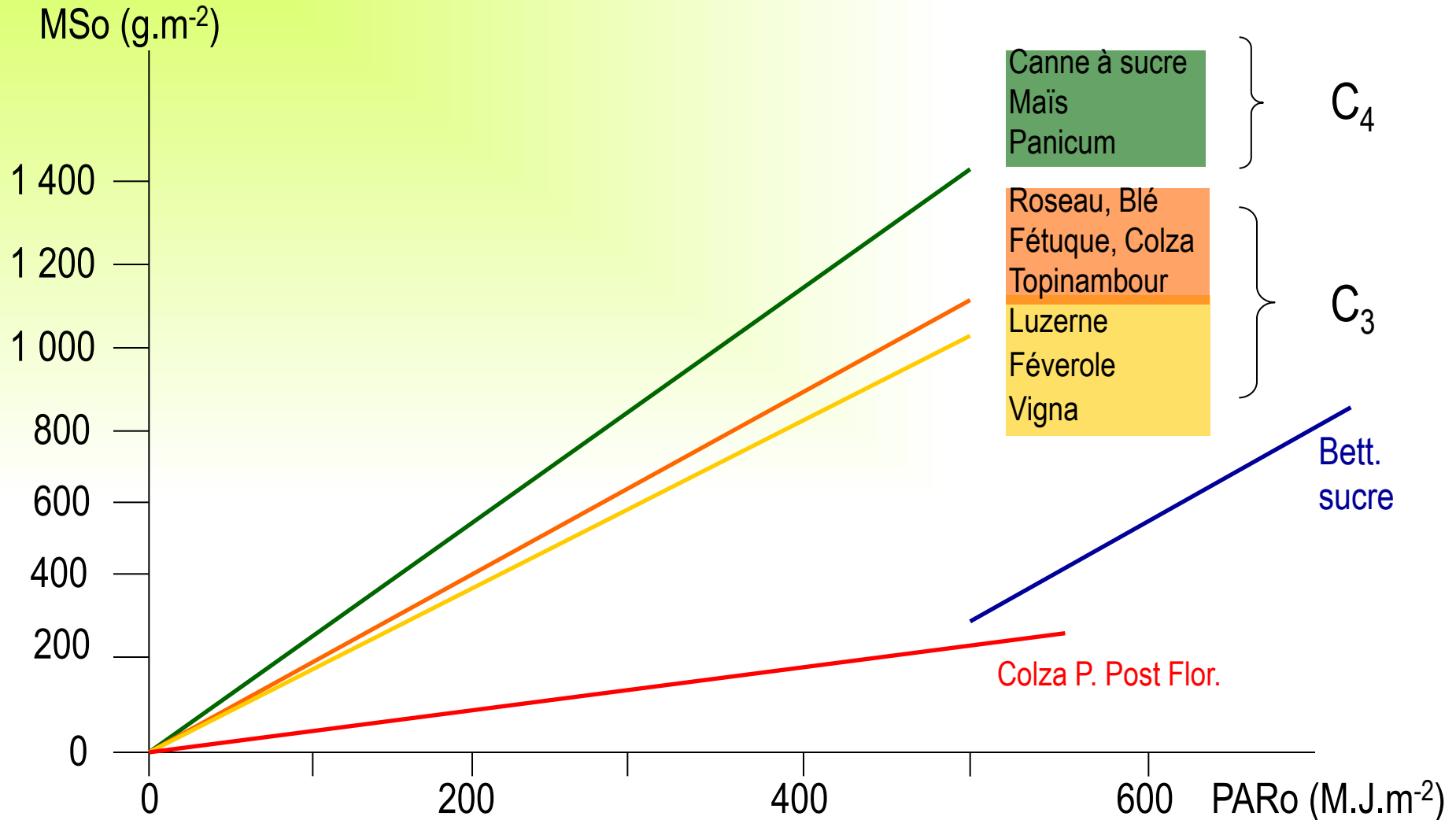


### Indice de surface foliaire

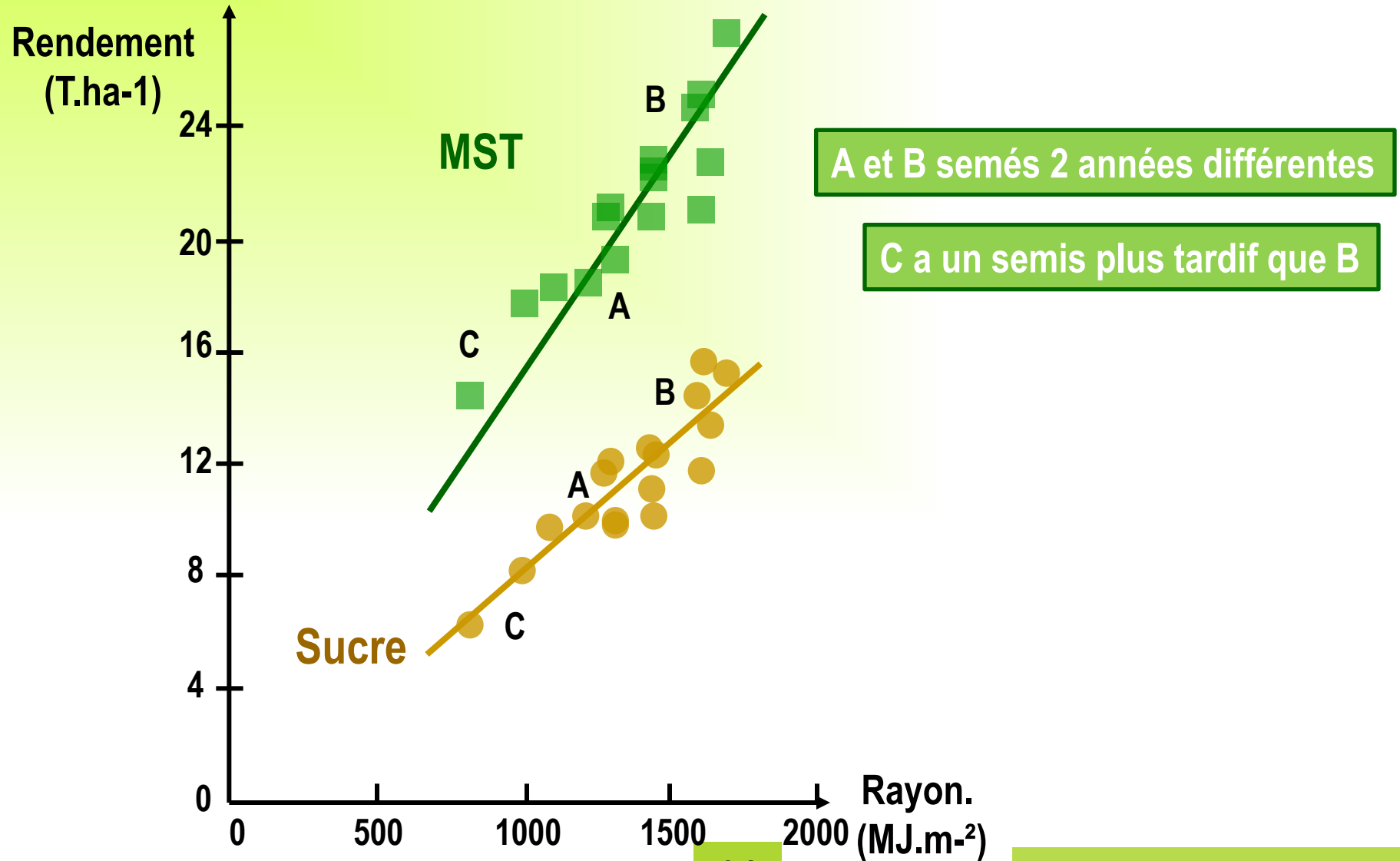
L'indice de surface foliaire d'un couvert est la surface de feuille du couvert sur une surface de sol donnée.



### Interception et croissance: l'effet plante



### Interception et croissance: l'effet peuplement





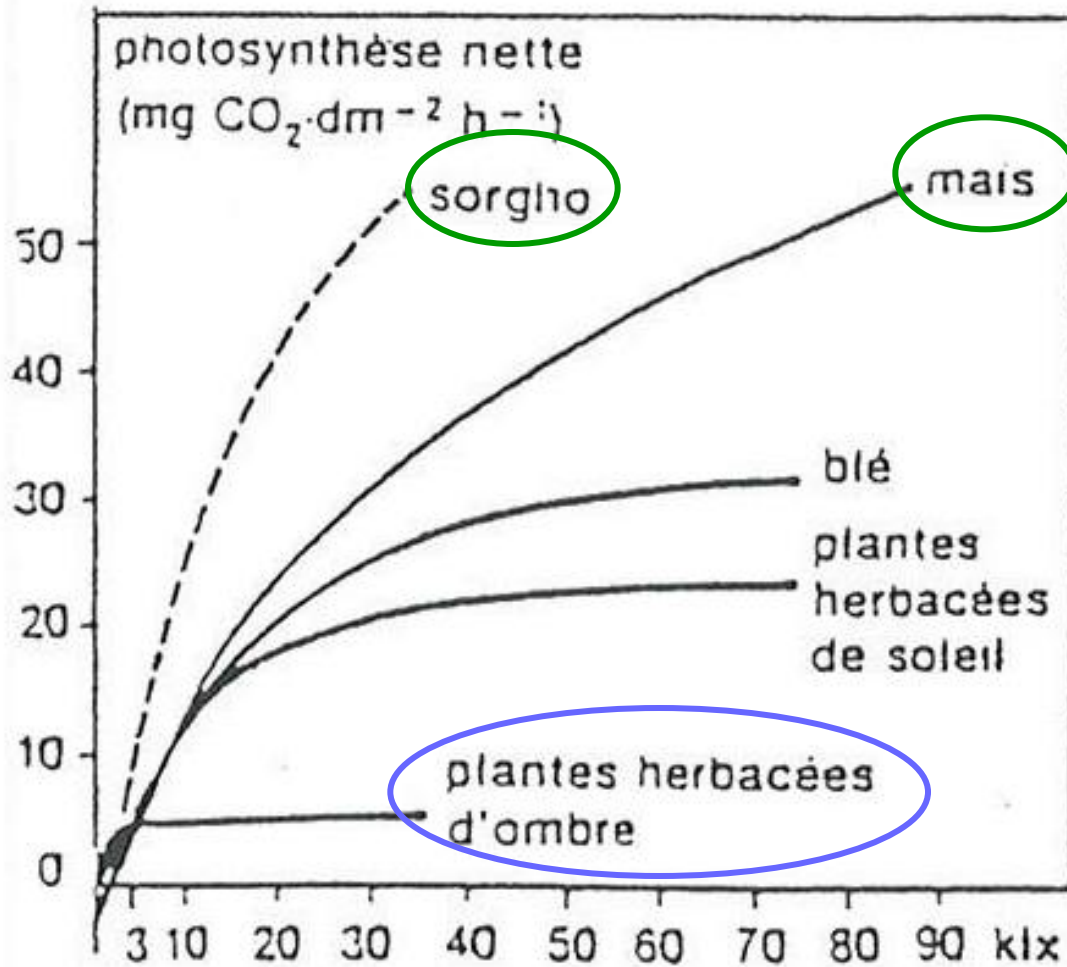
A vibrant field of sunflowers under bright sunlight. The foreground features several sunflowers in sharp focus, showing their bright yellow petals and dark brown, textured centers. The background is a dense field of similar flowers, slightly blurred, creating a sense of depth. A semi-transparent white rectangular box is centered horizontally across the middle of the image, containing the title text.

# Les facteurs de la photosynthèse nette

### Les facteurs influençant la photosynthèse nette:

- L' espèce végétale
- Le stade de développement
- La teneur en CO<sub>2</sub> de l' atmosphère
- Le rayonnement
- L' état hydrique de la plante
- La température
- L' état nutritionnel de la plante

## Photosynthèse: l'effet espèce



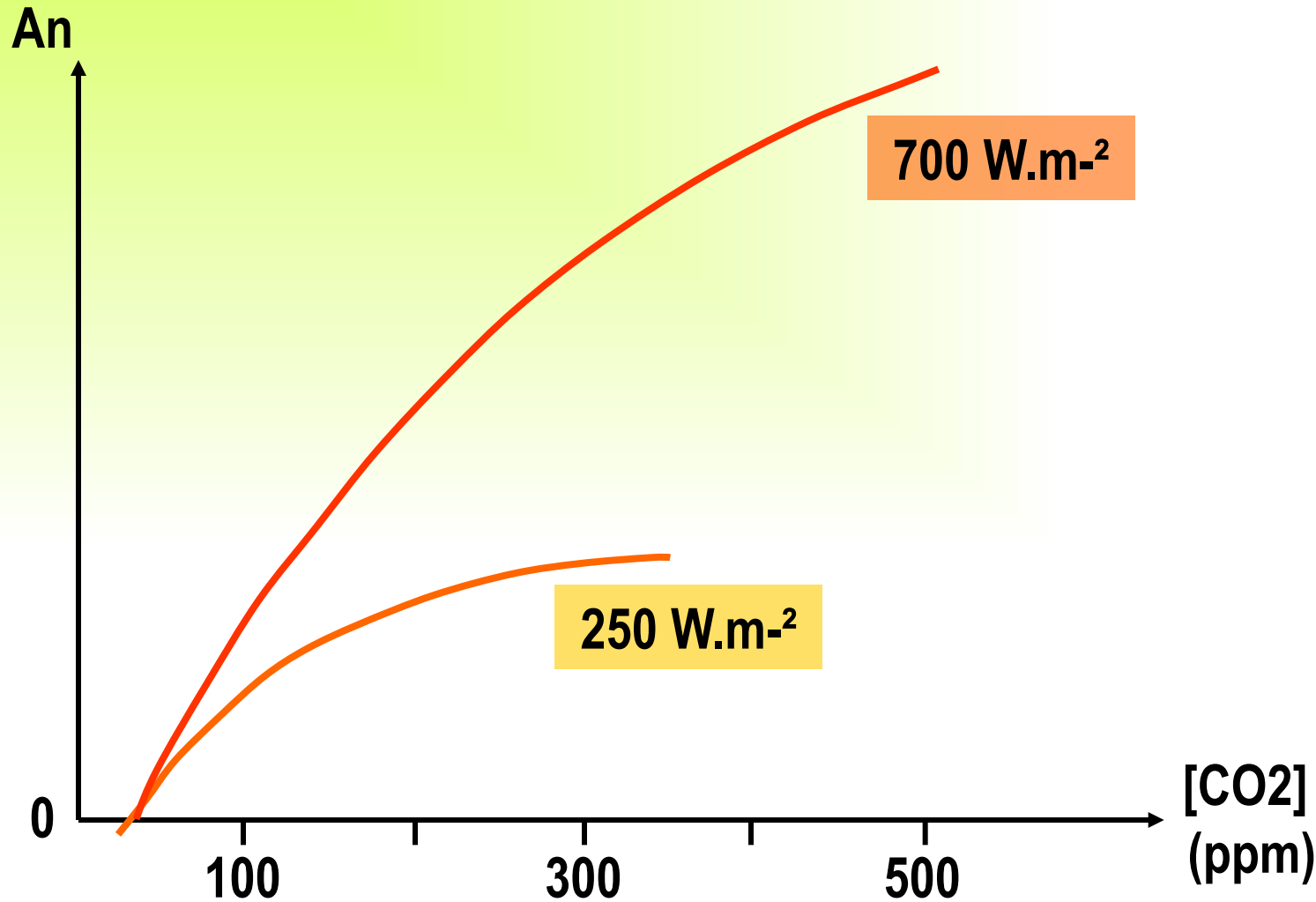
C4 : point de saturation plus élevé

Plantes d'ombre sont plus efficaces à faible luminosité mais saturent très vite...

Type de plante	P nette mg CO <sub>2</sub> dm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>
C <sub>3</sub> Soleil	20-45
C <sub>3</sub> Ombre	4-20
C <sub>4</sub>	30-80

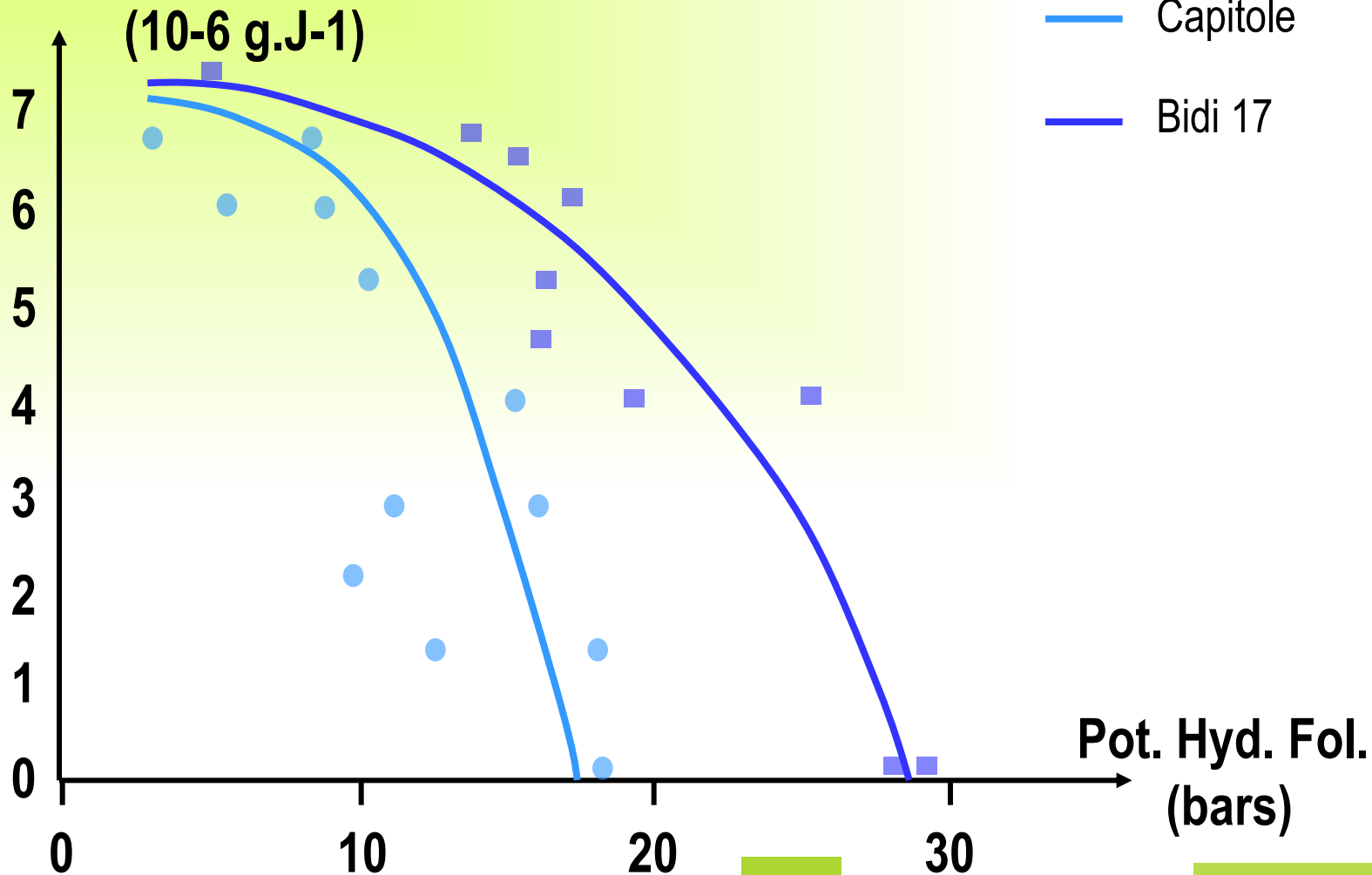


### Photosynthèse: l'effet rayonnement et concentration en CO<sub>2</sub>

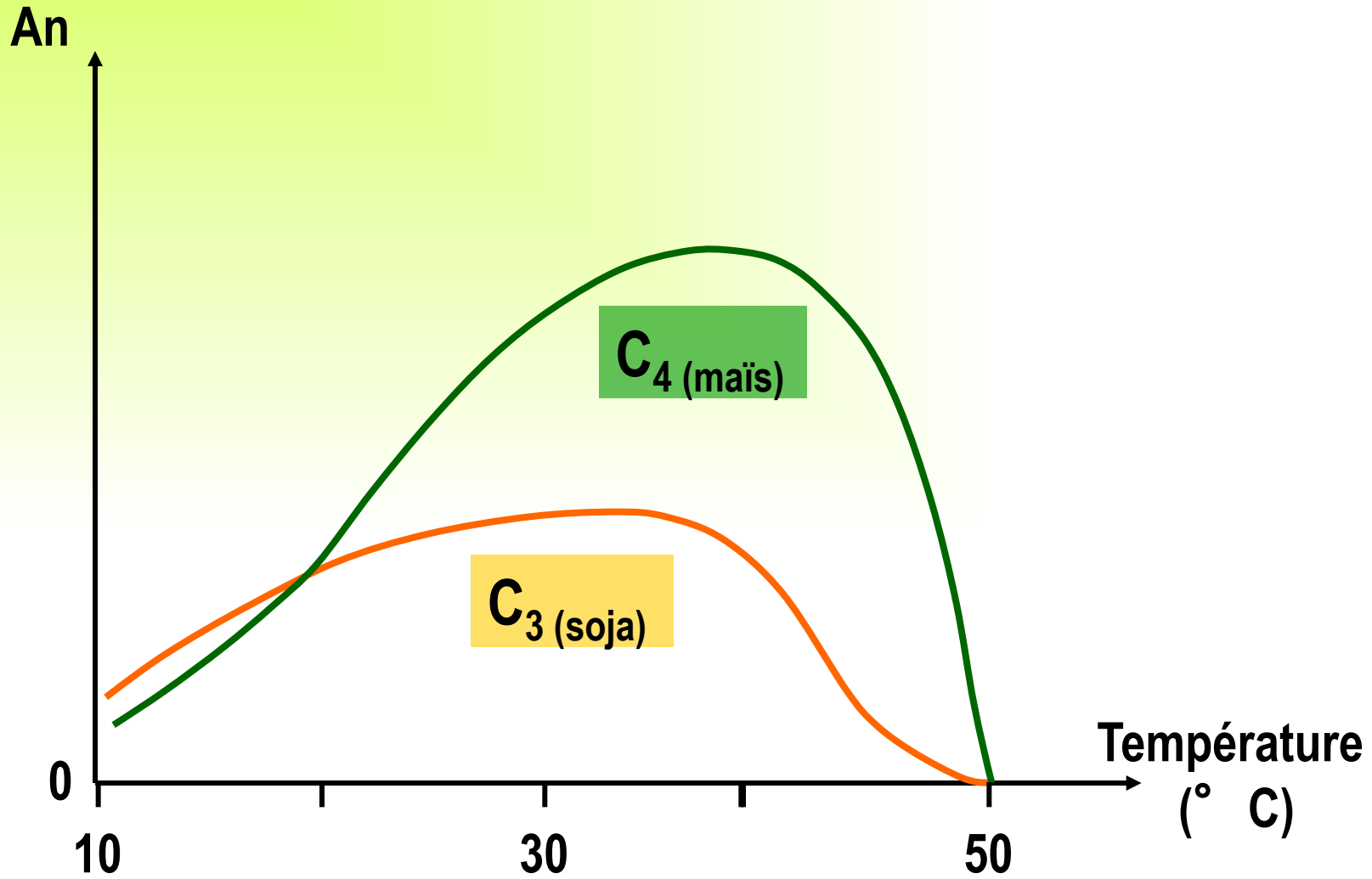


### Photosynthèse: l'effet du statut hydrique de la plante

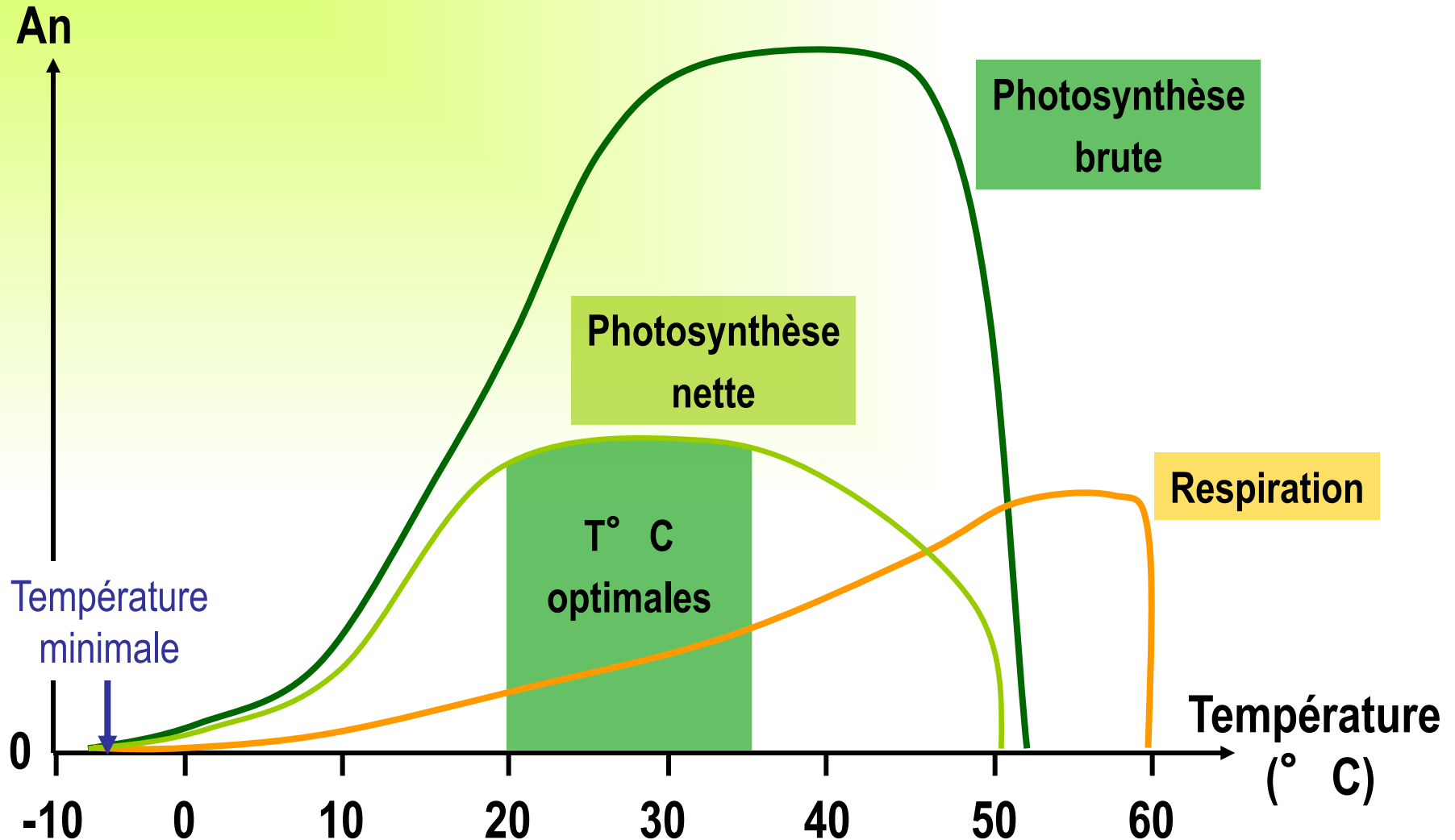
Rendement Lumineux max



### Photosynthèse: l'effet de la température

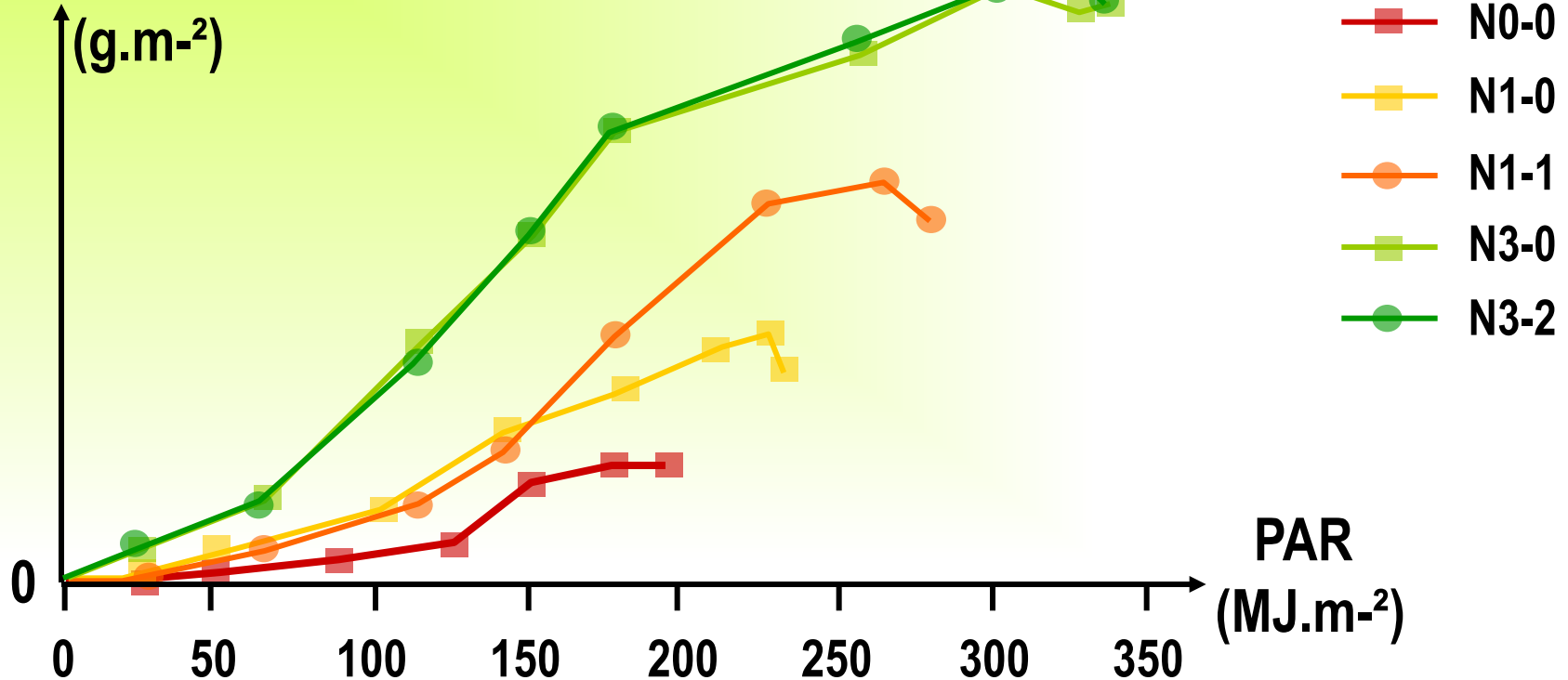


### Photosynthèse: l'effet de la température



## Photosynthèse: l'effet du statut azoté

Biomasse  
Post floraison  
(g.m<sup>-2</sup>)



	N 00	N 10	N 11	N 30	N 32
N Plant g/m <sup>2</sup>	4,71	7,76	7,76	18,6	18,5
ε C (g/MJ)	1,18	2,01	2,29	3,24	3,3





# Photosynthèse nette à l'échelle du peuplement

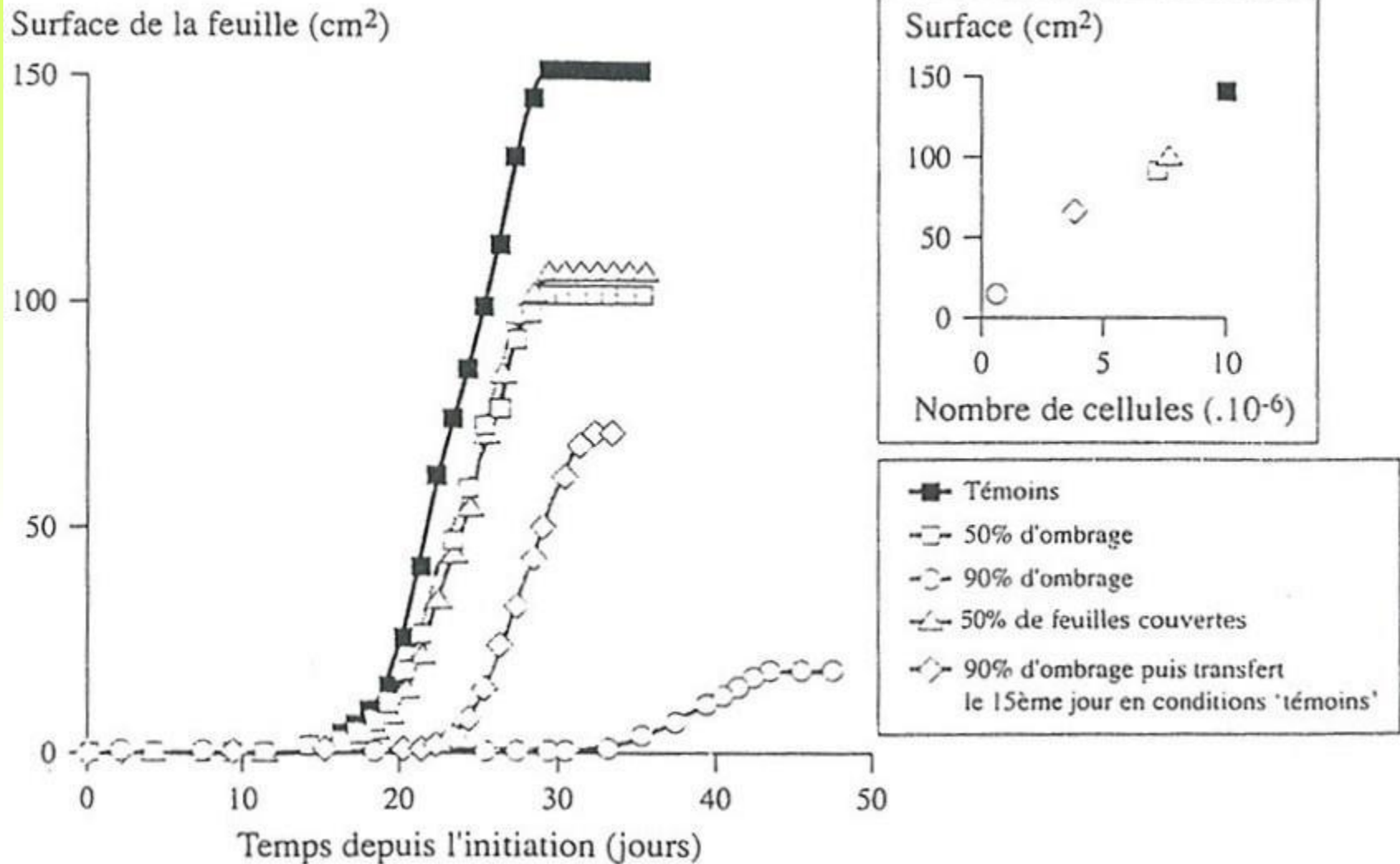


### A l'échelle du peuplement

- Les conditions climatiques au sein du couvert sont modifiées (microclimat) → An variable entre feuilles
- Le rayonnement est la première ressource affectée
- En dessous d'un certain seuil, la feuille ne produit plus mais respire...

**→ Besoin d'une gestion de la surface foliaire dans l'espace et le volume du peuplement**

## Surface foliaire et ombrage



### Indice de surface foliaire et production

**Assimilation**

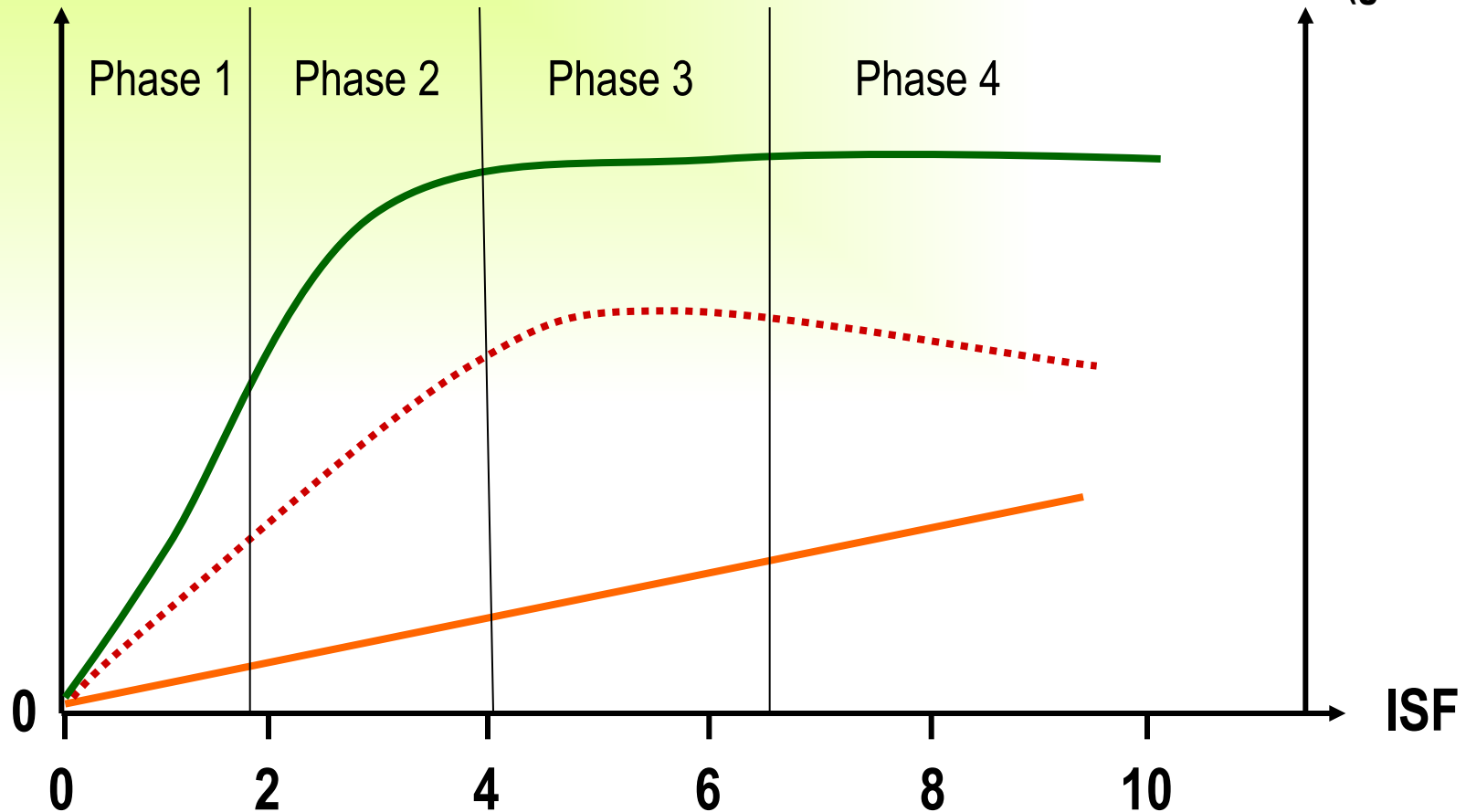
**Respiration**

(gCO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>)

**Production**

**MS**

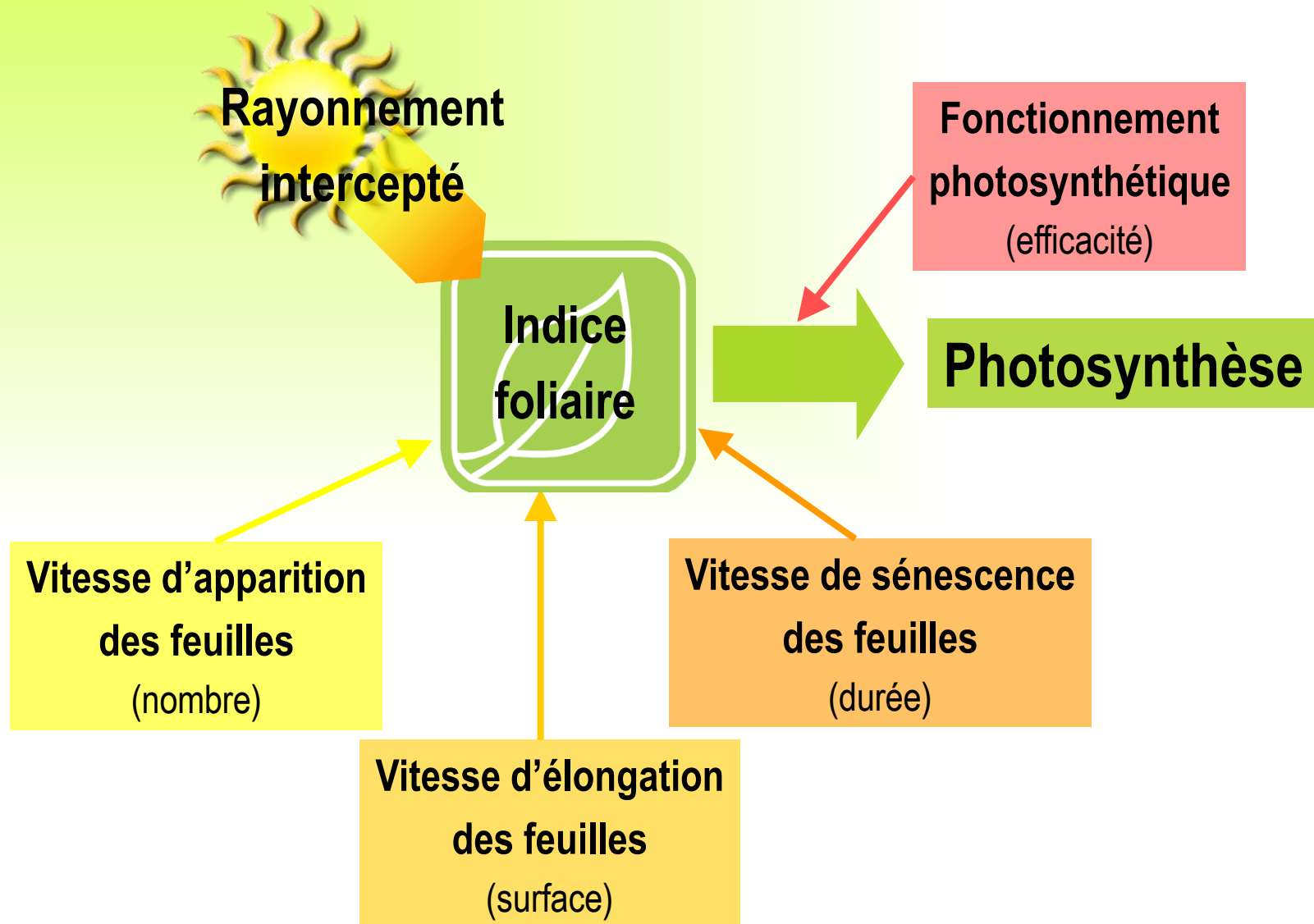
(gMS.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup>)



# Conséquences sur les techniques agricoles



### → Optimiser surface et durée et efficacité foliaires





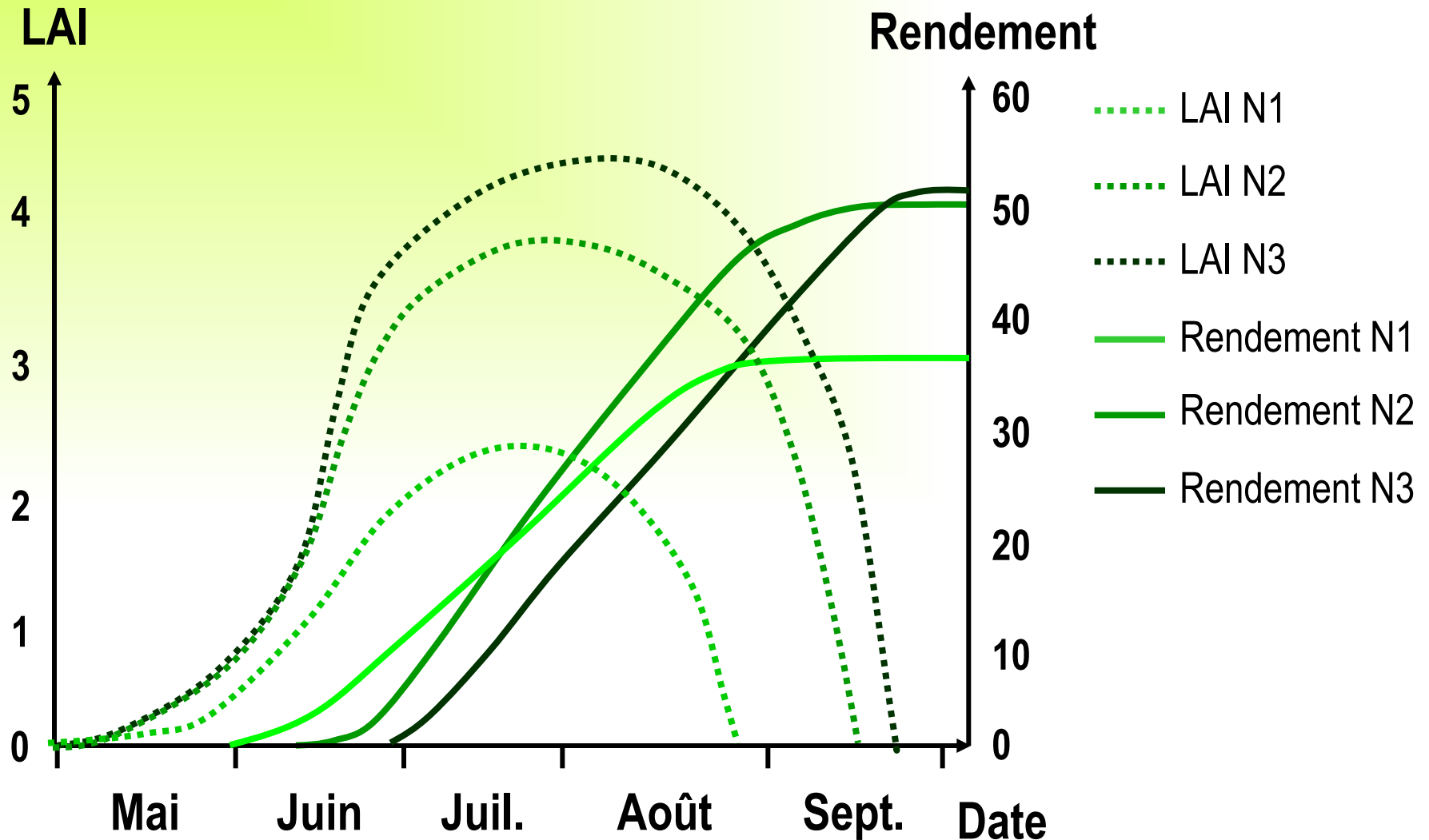
→ Optimiser surface et durée et efficacité foliaires

Gestion du peuplement:

On joue sur...

- Le potentiel de croissance foliaire

## Leaf Area Index et rendement de la pomme de terre



### Gestion du peuplement:

On joue sur...

- Le potentiel de croissance foliaire
- La place du cycle
- La durée de la surface foliaire

### On protège les plantes des ravageurs et maladies



### Gestion du peuplement:

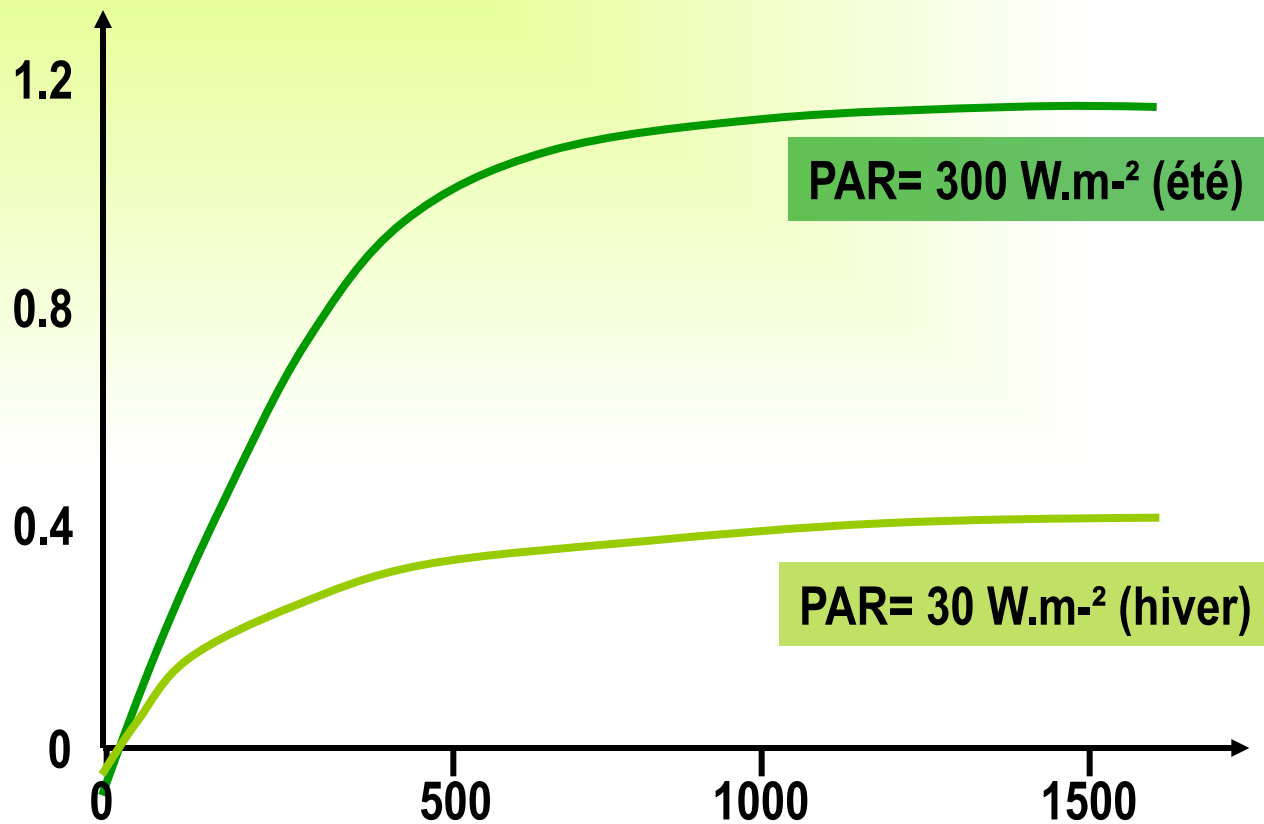
On joue sur...

- Le potentiel de croissance foliaire
- La place du cycle
- La durée de la surface foliaire
- L'assimilation nette du peuplement (par ex: ↗  $[\text{CO}_2]$ )



### Photosynthèse (mgCO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>)

Tomate var. Kingsley Cross



Teneur en CO<sub>2</sub>  
de l'air  
(vpm CO<sub>2</sub>)

### Gestion du peuplement:

On joue sur...

- Le potentiel de croissance foliaire
- La place du cycle
- La durée de la surface foliaire
- L'assimilation nette du peuplement (par ex: ↗  $[\text{CO}_2]$ )
- Le port du végétal

### Optimisation de l'interception par le port

- Activité photosynthétique
- Répartition du rayonnement incident

Selon le port de la plante

