



Institut National Polytechnique

Félix Houphouët Boigny

Houphouët-Boigny

# INTRODUCTION SOMMAIRE



## WOFOST

**Eboua N. Wandan, PhD**

**Professeur Titulaire**

***Laboratoire Sciences, Société & Environnement***

***UMRI Sciences Agronomiques et Genie Rural***

***Institut National Polytechnique – HB***

*Email: [eboua.wandan@inphb.ci](mailto:eboua.wandan@inphb.ci) Tel: 225 0708482452*

# Contexte (1)

- Dans le contexte actuel du réchauffement climatique et de ses conséquences sur l'homme et son environnement, l'estimation précoce de la production agricole aux échelles nationale ou régionale est plus que jamais au cœur d'enjeux économiques, géostratégiques et humanitaires très importants.

# Contexte (2)

- La globalisation, la libéralisation des marchés, les nouvelles agrotechnologies, le développement économique, le changement des demandes sociétales, les changements climatiques, entraînent une évolution continue des systèmes agricoles autour du globe (van Ittersum et al., 2008).

# Contexte (3)

- UE: l'estimation des rendements attendus détermine le cours des produits agricoles tant au niveau de la PAC qu'au niveau du marché mondial en influençant les stratégies spéculatives des opérateurs internationaux (Vossen and Rijks, 1995; Rabbinge and van Diepen, 2000)
- Dans de nombreux pays moins développés, l'insécurité alimentaire est un problème persistant qui empêche notamment le développement socio-économique.

# Contexte (4)

- Depuis de nombreuses années ces différents enjeux liés à la prévision de la production agricole ont fait du suivi des cultures une priorité dans divers programmes (Haile, 2005; IGOS, 2006).
- Plusieurs systèmes d'estimations des rendements tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle régionale ont été développés.

# Contexte (5)

- Dans de nombreux pays, l'estimation des rendements se base sur des techniques conventionnelles de collecte de données (prélèvement d'échantillons de matière sèche, pesage) et/ou sur les propres rapports des agriculteurs.
- Ces rapports sont souvent subjectifs, les collectes coûteuses et longues. Le processus d'estimation pourrait alors, dans certains cas, être enclin à de nombreuses erreurs dues à des observations de terrain incomplètes (Reynolds et al., 2000a).

# Justification

- Pour pallier la difficulté et le coût d'une prédiction de rendement à l'échelle régionale, l'emploi de solutions répondant à la nécessité d'une utilisation opérationnelle s'avère incontournable (Laguet et al., 1997).
- Une solution qui pourrait être apportée passerait par les modèles agrométéorologiques (Hoogenboom, 2000) basés sur une simulation de la croissance des cultures.
- Ceux-ci sont de plus en plus utilisés pour de nombreuses applications agricoles et environnementales et permettent de prédire les rendements aussi l'évolution des variables de la canopée telles que l'indice foliaire ou la biomasse durant le cycle cultural

# **Exemples de Systèmes de suivi de l'agriculture**



# Global Information and Early Warning System (GIEWS)

- Etabli en 1975 pour le suivi des besoins et demandes à échelle globale et fournir des alertes précoces sur les zones à risques, en termes de productions agricoles.
- Les informations du GIEWS permettent ainsi des évaluations rapides sur la situation alimentaire mondiale et constituent des supports d'aide à la décision pour les organismes internationaux (i.e. le PAM) et nationaux.
- Le GIEWS intègre les informations sur les conditions de végétation, la couverture et l'occupation du sol dérivées des satellites avec des données in situ sur les statistiques agricoles, les marchés agricoles et la météorologie.

# Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET)

- Identifier les populations vulnérables à des situations de famines et contribuer à l'atténuation de l'impact de telles situations sur les systèmes de subsistance (Brown, 2008).
- Le FEWS NET effectue des évaluations de la sécurité alimentaire quant à la disponibilité des produits agricoles et de barrières à l'accès et l'utilisation de ces produits.
- Se base sur des estimations satellitaires de la disponibilité en eau pour les cultures et des informations sur les conditions de culture, les cycles cultureux, etc. (Brown, 2009). Ces informations permettent ainsi l'établissement d'évaluations hebdomadaires sur les zones à risques climatiques et zones pouvant être en déficit de production.

# MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS)

- C'est un instrument d'analyse intégrée et complexe permettant d'assurer le suivi de l'état des cultures de manière à faire des prévisions concernant les rendements et la production agricole.
- Opérationnel sur une superficie correspondant à l'ensemble du continent européen plus les pays du Maghreb et la Turquie (Commission Européenne, 2010).
- Des modèles de simulation ont été élaborés pour le blé tendre, le blé dur, l'orge d'hiver et de printemps, le maïs-grain, le colza, le tournesol, la pomme de terre, la betterave sucrière, les fèves et féveroles, le riz et les pâturages (Genovese, 2001; Commission Européenne, 2010).

## MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS) (2)

- Les données utilisées pour le suivi des cultures et la prévision de leurs rendements à travers ce système sont:
  - des indicateurs agronomiques issus de modèles de croissance de culture implémentés dans les systèmes tels que WOFOST, LINGRA et WARM.
  - des données satellitaires provenant des satellites NOAA-AVHRR, SPOTVEGETATION et MODIS, reçues par décade avec une couverture totale du monde ;
  - des données météorologiques journalières provenant des prévisions de l'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) et de plus de 4000 stations synoptiques d'Europe et d'Afrique, de même que des informations dérivées du satellite METEOSAT ;
  - d'autres informations géospatiales telles que les cartes de sols, cartes de couverture / occupation des sols (dérivées de AFRICOVER, CORINE, GLC 2000, GLOBCOVER), les informations sur les calendriers cultureux, la phénologie et des données statistiques historiques.

# Decision Support System of the United States Department of Agriculture - Foreign Agricultural Service (USDA-FAS)

- Définit principalement les activités internationales de l'USDA, entre autres le développement de marchés, les accords commerciaux, la collecte et l'analyse des statistiques et des informations des marchés. Il est également impliqué dans des programmes d'aides alimentaires pour les pays en développement à travers notamment la mobilisation d'expertise pour la promotion d'une croissance économique agricole durable.

# Decision Support System of the United States Department of Agriculture - Foreign Agricultural Service (USDA-FAS) (2)

- Ces différentes missions passent ainsi par la collecte, l'analyse et la dissémination d'information sur les conditions globales de cultures et de production agricole, et aboutissent à l'établissement du rapport mensuel WASDE (*World Agricultural Supply and Demand Estimates*) et de la base de données PSD (*Production Supply and Distribution*) à l'échelle donc des USA et de plusieurs pays gros producteurs ou gros consommateurs

# Decision Support System of the United States Department of Agriculture - Foreign Agricultural Service (USDA-FAS) (3)

- Ces deux produits sont l'aboutissement du traitement d'informations provenant des :
  - données météo quotidiennes (i.e. précipitations, températures min et max) provenant des stations synoptiques de la WMO (et de produits dérivés d'informations satellitaires de l'AFWA (US Air Force Weather Agency) ;
  - Indices de végétation provenant des satellites tels que MODIS, SPOT-VGT et AVHRR ;
  - Modèles de croissance des cultures, calendriers agricoles et d'informations sur les facteurs réduisant les rendements ;
  - données économiques (état des productions, des marchés et échanges) et calculs économétriques se basant sur les rapports officiels des gouvernements impliqués.

# Decision Support System of the United States Department of Agriculture - Foreign Agricultural Service (USDA-FAS) (3)

- Les prévisions de ce système de suivi et de prévision se basent en partie sur le système DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*).
- DSSAT a été mis en place par l'IBSNAT5 (*International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer*) afin de faciliter l'utilisation des modèles de cultures dans le domaine des recherches agronomiques



# China CropWatch System (CCWS)

- **Développé par l'ISRA (Institute of Remote Sensing Application) du Chinese Academy of Science en 1998**
- CropWatch System couvre la Chine et d'autres pays grands producteurs de céréales (Justice et al., 2010).
- Comprend différentes composantes que sont : le suivi des conditions de cultures, le suivi de la sécheresse, l'estimation des rendements, des superficies et de la production en grains, l'inventaire des structures des plantations et le suivi des indices de cultures.
- Ces suivis sont effectués à différentes échelles, allant du village au pays et des principaux pays producteurs, en passant par l'échelle des comtés et provinces

# China CropWatch System (CCWS) (2)

- Le CCWS utilise les données suivantes :
  - Données provenant des satellites : MODIS, Resourcesat-1 AWiFS, B-J CCD, Landsat TM, ENVISat ASAR, Radarsat-1 ScanSAR et de CBERS-01/02 ;
  - Informations géospatiales : cartes d'occupations et de couverture des sols de la Chine, données issues notamment de GLC 2000 ; informations sur la phénologie des cultures ;
  - Données agrométéorologiques, données sur les évaluations des conditions de cultures, observations de terrain issues d'expérimentation (pour la validation).

# Global Monitoring for Food Security (GMFS)

- Initiée par l'ESA (*European Space Agency*),
- Objectif de fournir des services d'observation de la terre et d'encourager les partenariats pour la surveillance de la sécurité alimentaire et des processus environnementaux apparentés en Afrique, en concertant les efforts pour réunir les fournisseurs de données et d'information dans le but de soutenir les intervenants, les nations et les organisations internationales à mieux implémenter leurs politiques de développement durable dans le domaine de la sécurité alimentaire.
- GMFS se concentre initialement sur l'Afrique sub-saharienne, et dirige son attention sur les utilisateurs finaux des organisations régionales et nationales dont le mandat consiste en la surveillance agricole pour la sécurité alimentaire et l'alerte rapide des crises alimentaires (<http://www.gmfs.info/fr/index.html>).



# La modélisation des cultures ?

- La modélisation des cultures en agriculture utilise des mesures quantitatives des processus écophysiologicals pour prédire la croissance et le développement des plantes en fonction des conditions environnementales et des intrants de gestion des cultures.
- Ces modèles simulent la réponse d'une culture (i.e. croissance ou rendement) aux paramètres environnementaux, de gestion, d'eau, de météo et de sol, à mesure qu'ils interagissent au cours d'une saison de croissance. Ces outils imitent la croissance et le développement des cultures pour représenter mathématiquement les différents composants du système de culture.

# La modélisation des cultures ? (2)

- Le concept de modélisation des cultures remonte aux années 1960, lorsque les chercheurs ont modélisé les systèmes agricoles en combinant des principes physiques et biologiques.
- Les modèles de simulation des cultures s'appuient sur des intrants mesurables (par des capteurs, des machines ou des mesures manuelles) pour déterminer les résultats qui nous intéressent (croissance des plantes, rendement des cultures, azote du sol, stade de la culture, etc.).

# Modélisation des cultures: Rôles et Utilisations

- 1) la synthèse et l'intégration de la recherche fondamentale, où la simulation est utilisée pour synthétiser notre compréhension de la physiologie, de la génétique, des caractéristiques du sol, de la gestion et des effets météorologiques,*
- 2) les outils stratégiques de planification et de politique pour évaluer les stratégies et les conséquences de l'amélioration génétique ou de la gestion des ressources,*

# Modélisation des cultures: Rôles et Utilisations

*3) les applications à des fins de gestion, où les simulations de systèmes de culture sont utilisées pour évaluer les impacts de la météo et de la gestion sur la production, l'utilisation de l'eau, l'utilisation des nutriments, le lessivage des nutriments et l'économie,*

*4) l'aide à la décision en temps réel pour aider à la prise de décisions de gestion (irrigation, fertilisation, date de semis, récolte, prévision de rendement, gestion des ravageurs), et 5) l'éducation dans les salles de classe et les fermes, pour expliquer comment les systèmes de culture fonctionnent et sont gérés.*



# Données nécessaires

- Afin de créer un modèle de simulation des cultures, un ensemble de données d'entrée doivent être collectées ainsi que la mesure du facteur que vous souhaitez prédire. Cela vous permet ensuite d'étalonner votre modèle après avoir déterminé les facteurs qui sont les plus influents ou les plus importants dans le modèle.

# Données nécessaires

- Ensemble minimal de données en entrée pour que le modèle puisse réaliser une prédiction avec précision. :
  - **la gestion** (date de plantation, densité de plantation, variété de culture, fertilisation et irrigation),
  - **le sol** (classe de drainage, pH, teneur en matière organique et teneur en sable/limon/argile),
  - **la physiologie** (indice de surface foliaire, biomasse totale au-dessus du sol, hauteur de la plante et nombre de peuplements)
  - et **le climat** (précipitations, température de l'air, vitesse du vent, photopériode).

# Données nécessaires

- Le modèle doit être validé avec un ensemble de données indépendants pour déterminer sa précision et affiner le nombre d'entrées nécessaires.
- En général, un modèle parcimonieux, ou un modèle avec le moins de variables mais la plus grande précision, est souhaité.

# Avantages de la modélisation

- Il existe une variété d'outils de modélisation des cultures utilisés par le secteur public et privé et axés sur des cultures ou des régions spécifiques.
- La modélisation des cultures en agriculture est plus récemment devenue un outil clé pour évaluer l'impact du changement climatique futur.
- En collectant de grandes quantités de données d'entrée pour l'étalonnage et la validation des modèles, les chercheurs peuvent évaluer les stratégies d'adaptation possibles et les décisions de gestion dans des conditions climatiques variées.

# Limitations de la modélisation

- Certaines des limites qui existent actuellement avec ces simulateurs sont les suivantes :
  - ✓ il n'existe pas de programme unique ou d'ensemble de paramètres de modèle qui ont été identifiés pour toutes les régions et cultures du monde,
  - ✓ la précision pour quantifier les réponses des cultures au stress en micronutriments est limitée et la quantité de données de validation disponibles pour améliorer les modèles pour toutes les cultures est limitée.

# L'avenir de l'agronomie grâce à la modélisation des cultures

La modélisation des cultures en agriculture a le potentiel de fournir des informations et des solutions précieuses aux professionnels de l'agriculture.

Grâce à l'amélioration de la collecte de données agronomiques, la modélisation prédictive utilisant plusieurs ensembles de données permettra aux chercheurs et aux agriculteurs de mieux comprendre les paramètres et les pratiques de gestion qui ont le plus d'influence sur la croissance des cultures.

# L'avenir de l'agronomie grâce à la modélisation des cultures

La possibilité d'explorer les résultats potentiels au fil du temps, compte tenu des changements climatiques ou d'autres facteurs, ouvre une toute nouvelle perspective alors que nous travaillons à améliorer l'efficacité et à réduire l'empreinte environnementale.

Bien que le nombre de modèles de cultures (par exemple WOFOST, van Diepen et al., 1989 ; EPIC, Williams, 1990 ; CROPSYST, Stockle et al., 2003 ; CERES-Maize, Bao et al., 2017) et de modèles hydrologiques (SWAT, Santhi et al., 2001 ; DREAM, Manfreda et al., 2005 ; Wasim-ETH, Schulla et Jasper, 2007) soit en augmentation.

*Table 1. Examples of crop systems simulators, simple description, and background references on selected crop system models*

Name	Crops	Description	Reference Describing the Model
APSIM	Maize, sorghum, wheat, barley, and many others	Radiation use efficiency. Daily time step. Allows cropping sequences.	Keating et al., 2003; McCown et al., 1996.
CropSyst	Barley, maize, sorghum, soybean, wheat, and others	Radiation use efficiency. Daily time step. Allows cropping sequences.	Stockle, Donatelli, & Nelson, 2003; Stockle, Martin, & Campbell, 1994.
CSM-CERES	Barley, maize, millet, sorghum, and wheat	Radiation use efficiency. Daily time step. Allows cropping sequences.	Jones et al., 2003; Hoogenboom et al., 2004.
CSM-CROP-GRO	Common bean, faba bean, peanut, soybean,, cotton, and others	Farquhar-type photosynthesis on an hourly basis with hedge-row light interception. Considers growth and maintenance respiration. Allows cropping sequences.	Boote, Jones, & Hoogenboom, 1998, Boote, Jones, Hoogenboom, & Pickering, 1998; Hoogenboom et al., 2004; Jones et al., 2003.
EPIC	Maize, millet, rice, sorghum, soybean, wheat, and others	Radiation use efficiency. Allows cropping sequences and can model effects of tillage and soil erosion.	Williams, Jones, Kiniry, & Spanel, 1989.



# CONCEPTS DE BASE

- **Un objet** est une entité du monde réel. Un tel objet peut présenter un comportement très variable selon le contexte dans lequel il est étudié, ainsi que les aspects de son comportement étudiés.
- **Un modèle de base** est une représentation hypothétique et abstraite des propriétés de l'objet, en particulier de son comportement, qui est valable dans tous les contextes possibles et décrit toutes les facettes de l'objet. Un modèle de base est hypothétique car nous ne pourrions jamais, en pratique, construire/représenter un tel modèle. La question de savoir si un modèle de base existe est une question philosophique.

# CONCEPTS DE BASE

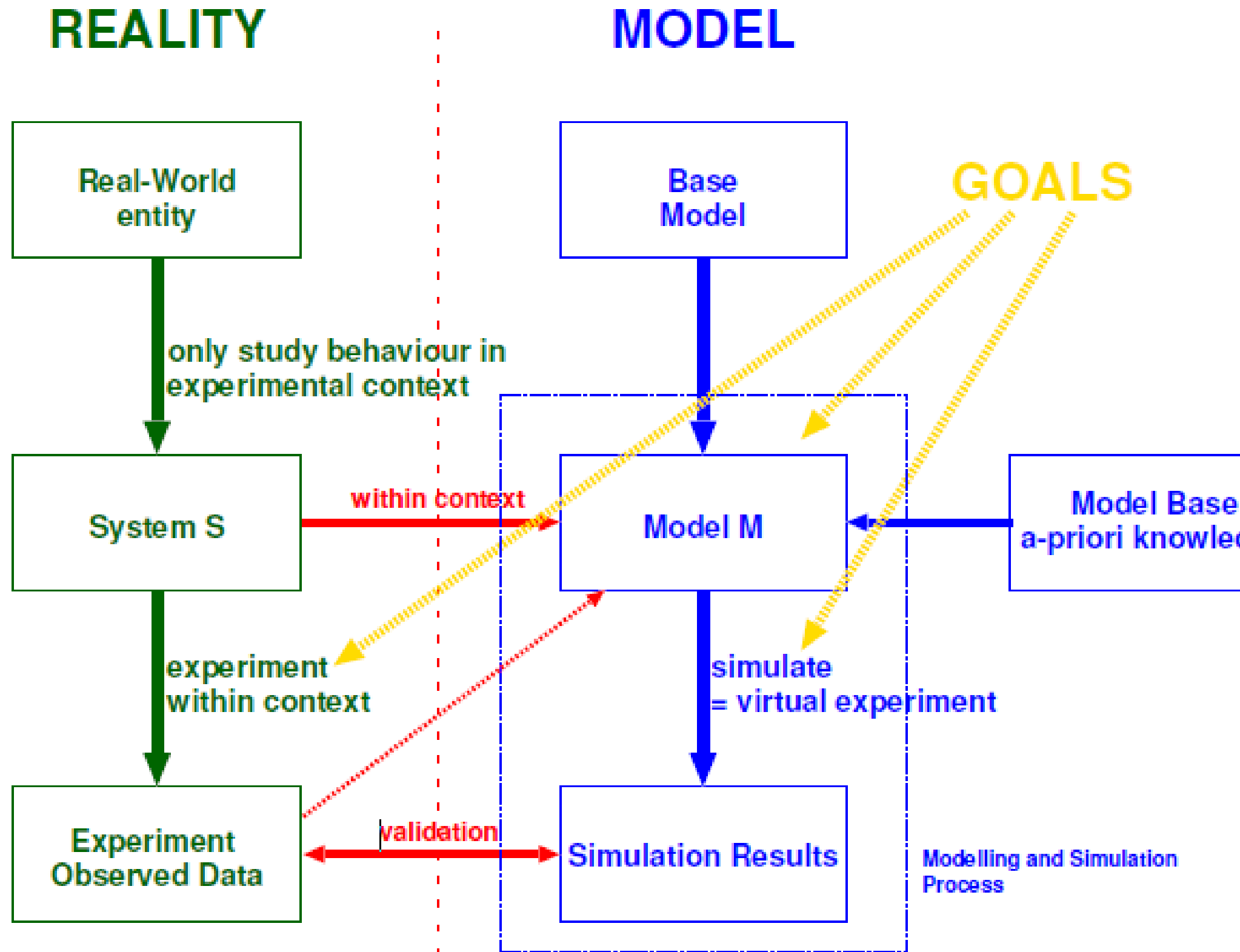
**Un système** est un objet bien défini dans le monde réel dans des conditions spécifiques, ne considérant que des aspects spécifiques de sa structure et de son comportement.

**Cadre expérimental:** Lorsqu'on étudie un système dans le monde réel, le cadre expérimental (CE) décrit les conditions expérimentales (contexte), les aspects, ... dans lesquels ce système et les modèles correspondants seront utilisés. En tant que tel, le cadre expérimental reflète les objectifs de l'expérimentateur qui effectue des expériences sur un système réel ou, par simulation, sur un modèle.

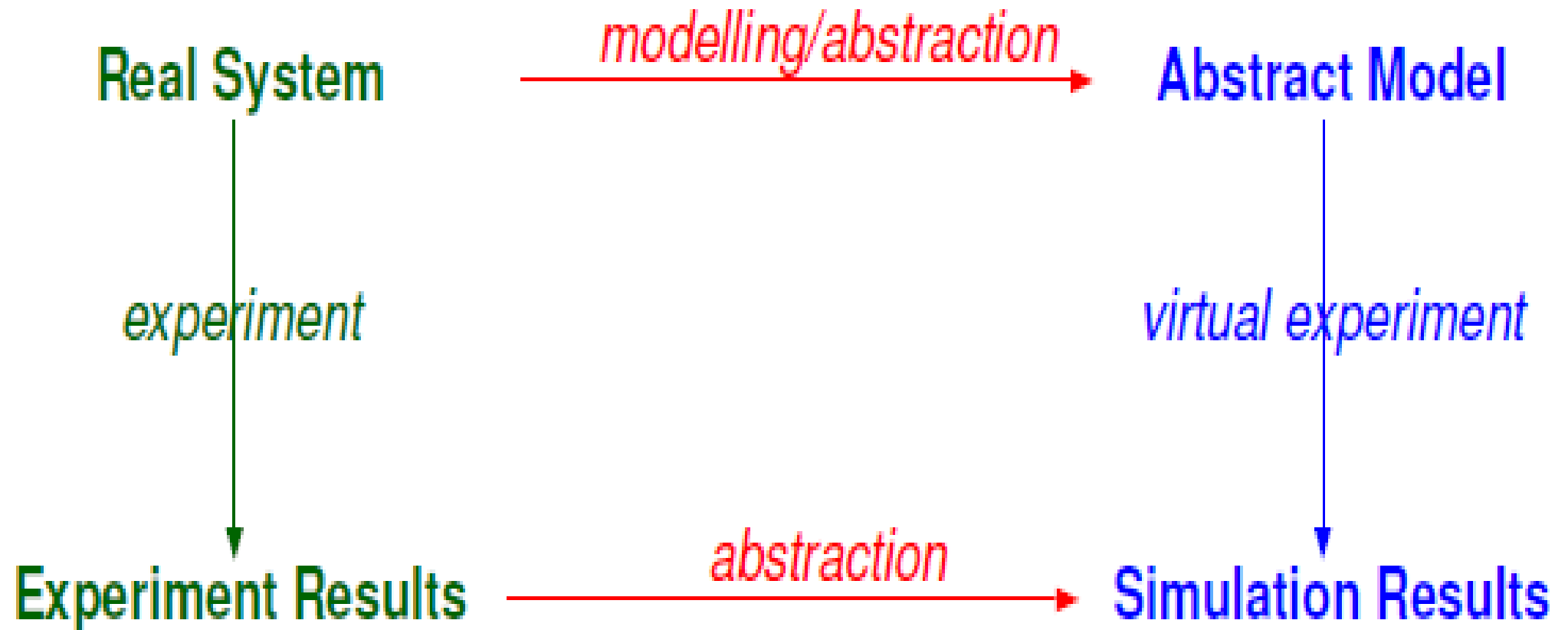
# CONCEPTS DE BASE

- **Simulation**: Imitation du comportement d'un procédé ou d'un système réel au cours du temps.
  - La simulation permet la génération d'un historique d'un système et l'observation de cet historique artificiel afin de tirer des conclusions sur les caractéristiques du système réel.
  - Les données générées synthétiquement peuvent être utilisées pour étudier le comportement et la performance du système.
  - Le résultat de la simulation peut être utilisé à des fins de prédiction, d'analyse et/ou de prise de décision.
- Le modélisateur est intéressé par une famille de solutions (en fonction d'un paramètre ou des conditions initiales).

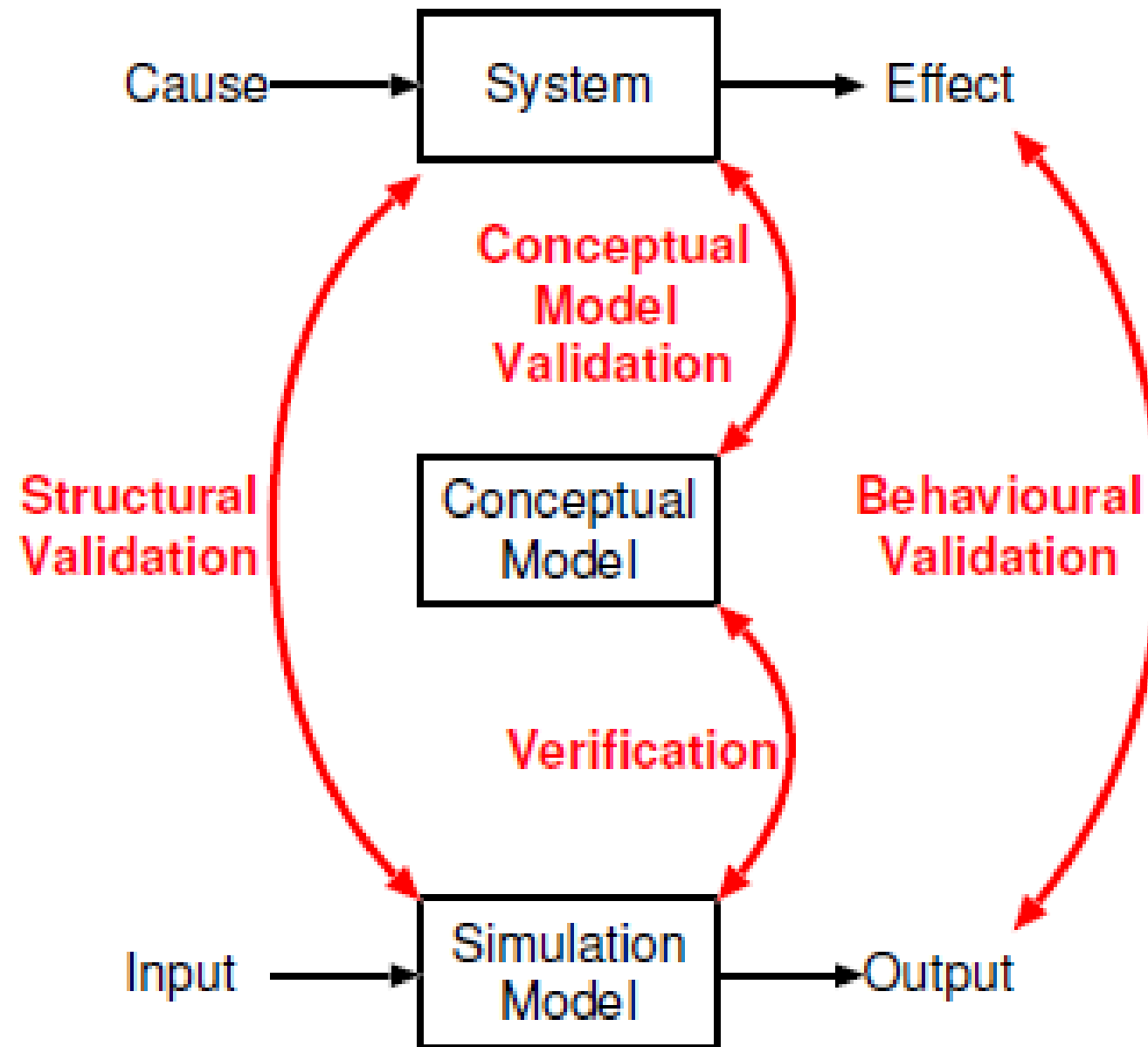
Figure 1: Modelling and Simulation



## Figure 2: Modelling . Simulation Morphism



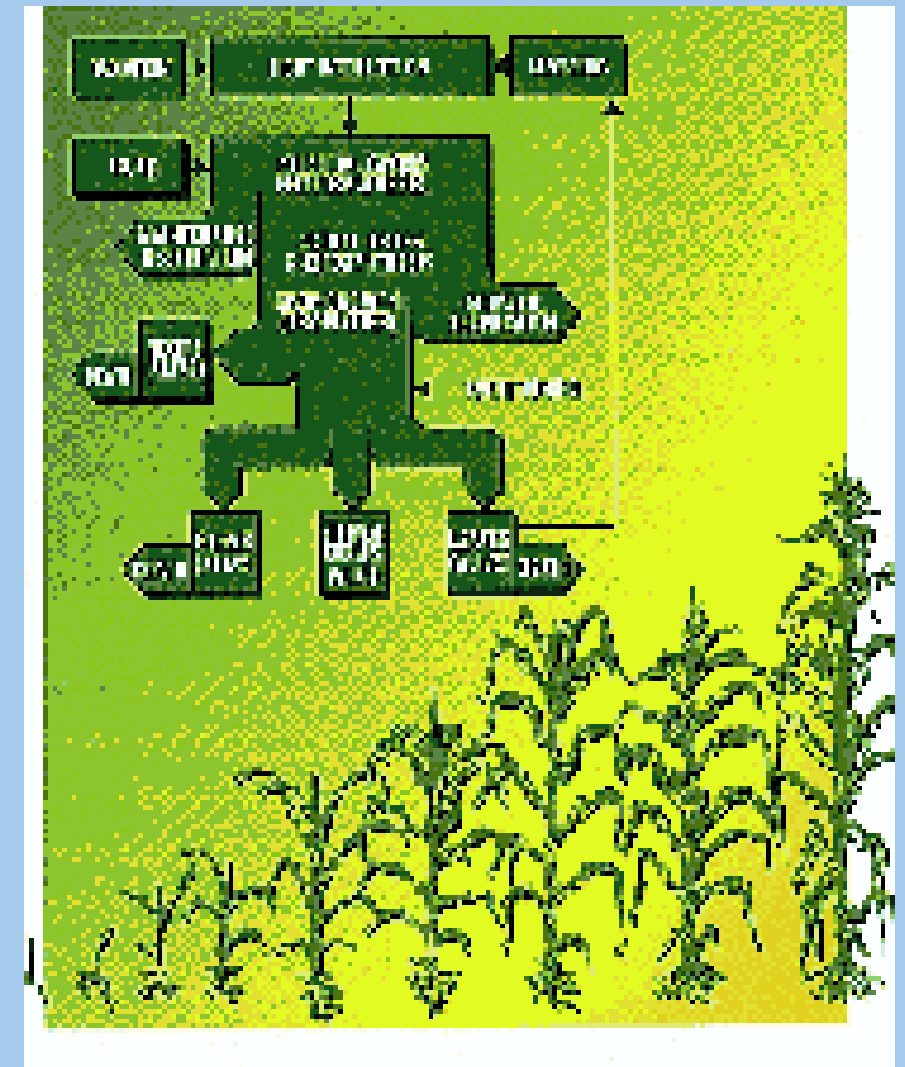
# Figure 3: Verification and validation activities





# WOFOST - Introduction

- WOFOST = modèle développé par « *The Centre for **W**orld **F**ood **S**tudies* » à Wageningen, Netherlands
- C'est un modèle dynamique, mécanistique qui simule la croissance de cultures sur la base de processus sous-jacents tels que la photosynthèse, la respiration.
- CGMS est la version spatialisé de WOFOST

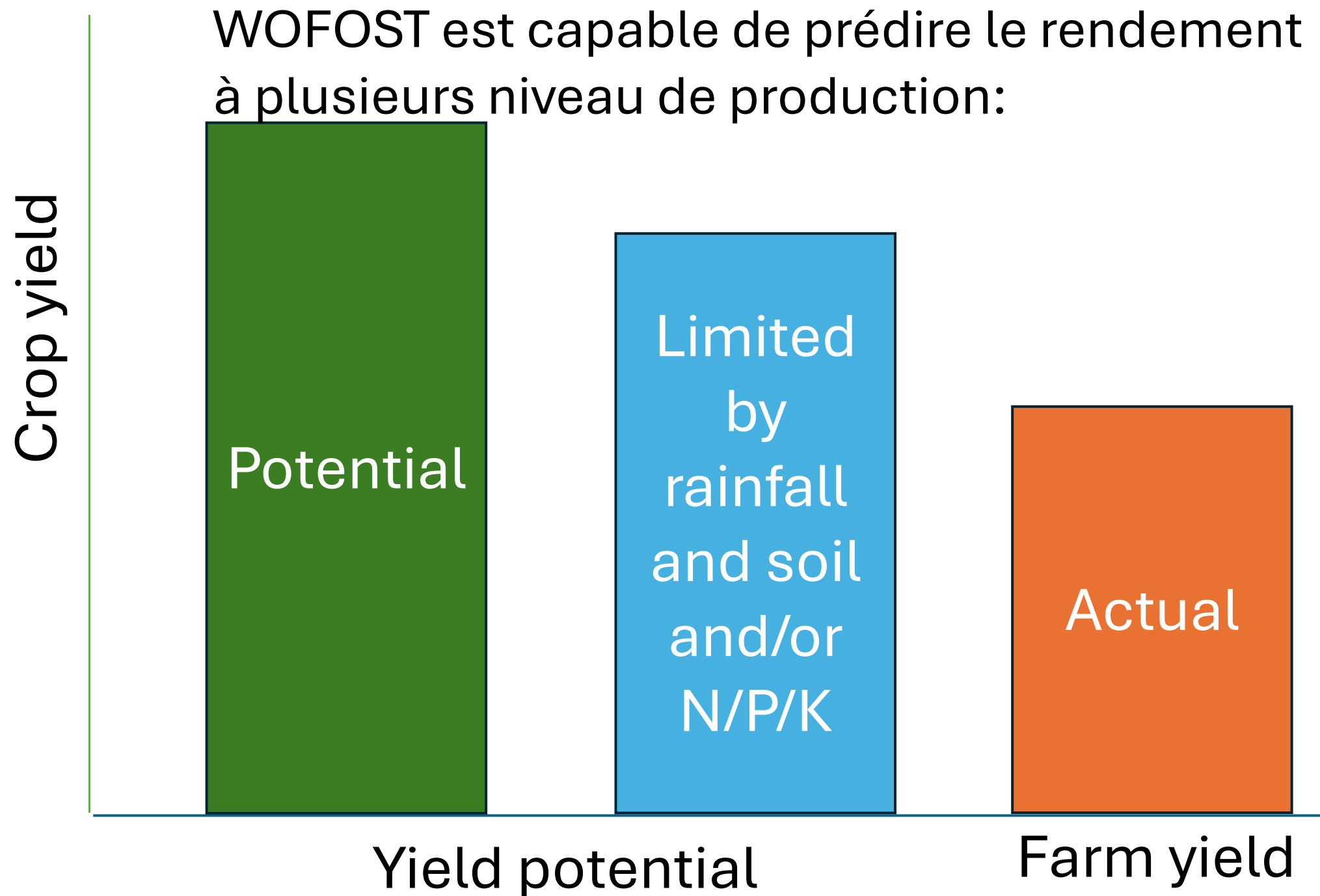




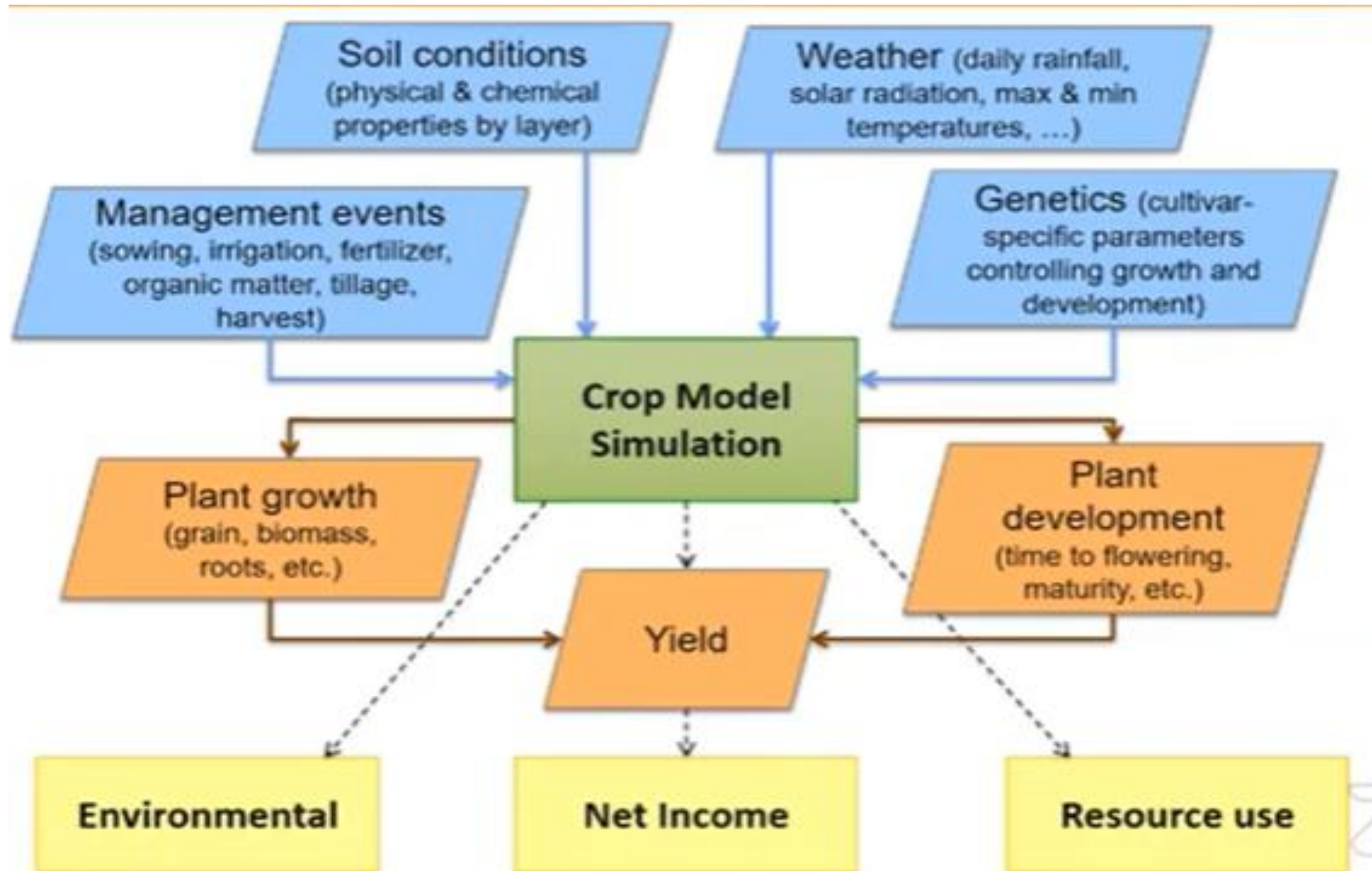
# WOFOST - Approche

- WOFOST simule le cycle de vie de la culture du semi à la maturité
- Les données météo (P, T°, Vit vent, Rad globale, Hum Air) sont des données d'entrée
- Paramètres du modèle: Hum sol à la capacité au champ et au point de flétrissement, et d'autres paramètres concernant le flux de l'eau saturée
- Données spécifiques à la zone de production
- Le modèle inclus les paramètres concernant les cultures européennes et des cultures tropicales (sorhum, millet, cassava, groundnut, sweet potato)

# WOFOST - Niveaux de Production



# WOFOST - Niveaux de Production



# Niveau 1 de production : Potentiel (rayonnement et température limités)

- La croissance se produit dans des conditions d'abondance constante de nutriments et d'eau pour les plantes.
- Le taux de croissance de la plante est déterminé par les conditions météorologiques

*Cas; cultures irriguées en production très intensive.*

- Les seules données d'entrée du modèle sont la température et le rayonnement.

## Niveau 2 de production : Limitée en eau

- La croissance est limitée par le manque d'eau au moins pendant une partie du temps

***Cas:*** cultures intensives en zone sèche.

- Le modèle doit déterminer le stress hydrique et son effet sur les processus de photosynthèse et de croissance.
- Outre la température et le rayonnement, les précipitations constituent une autre donnée d'entrée du modèle.

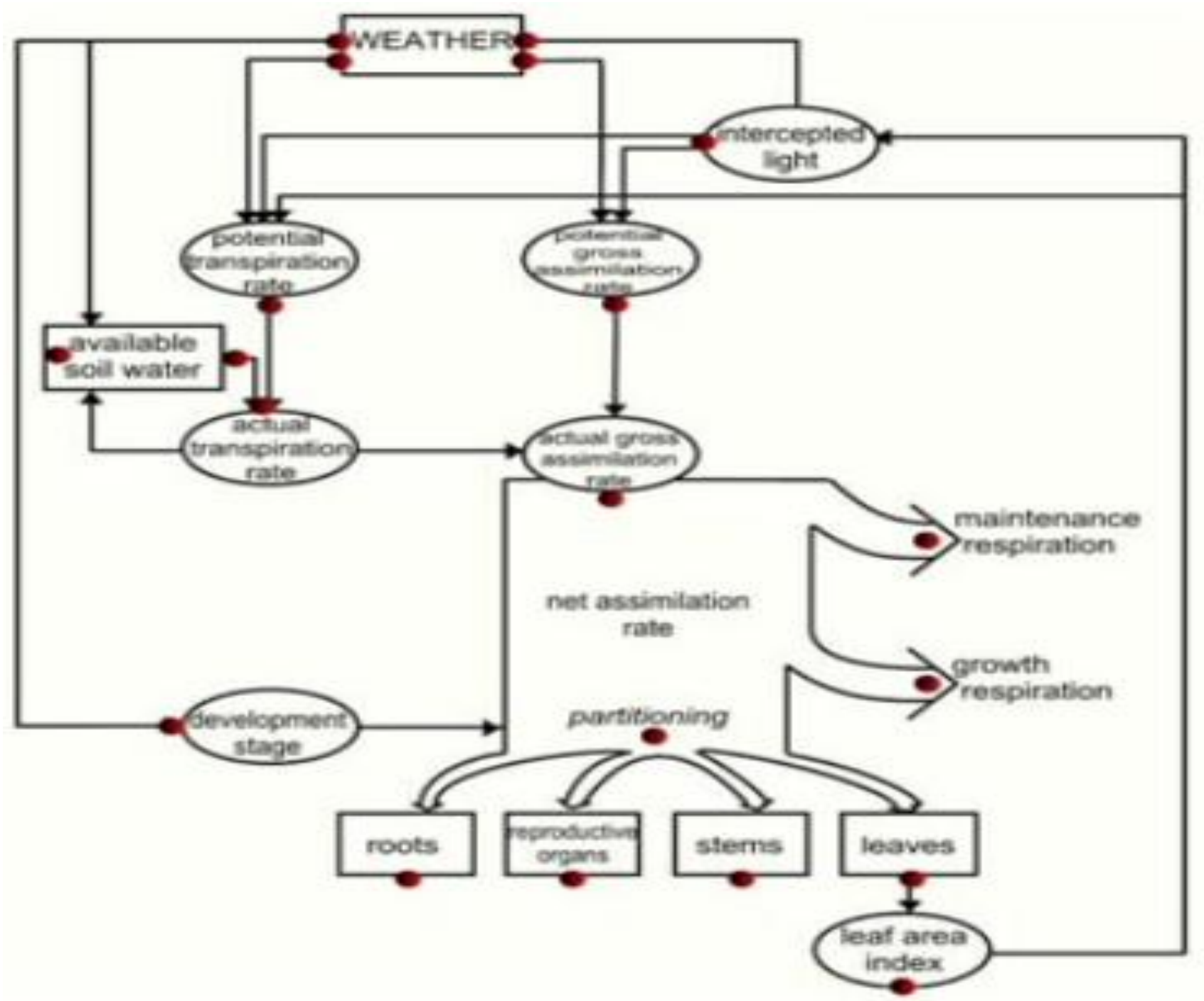
# Niveau 3 de production : Limitée en nutriments

- La croissance est limitée, au moins pendant une partie du temps, par le manque d'azote (N), de phosphore (P) ou de potassium (K), et par l'eau ou les conditions météorologiques à d'autres moments.

**Cas:** *cultures sèches habituelles, même si elles sont « bien fertilisées ».*

- Le modèle doit déterminer la dynamique des nutriments du sol, l'absorption des nutriments par la plante, l'utilisation des nutriments dans la plante et les effets du stress nutritionnel sur la photosynthèse, la répartition et la croissance.

## 2. Fonctionnalité



Organigramme du modèle WOFOST

# Météo

- Les données météorologiques utilisées par WOFOST sont :
  - la température maximale,
  - la température minimale,
  - le rayonnement global,
  - la vitesse du vent,
  - la pression de vapeur,
  - les précipitations.
- La méthode *Penman* est utilisée pour calculer l'évapotranspiration.
- Le rayonnement global est estimé à l'aide de la formule d'Ångström lorsqu'aucune donnée réelle n'est disponible, la formule d'Ångström utilise la durée d'ensoleillement comme donnée d'entrée.

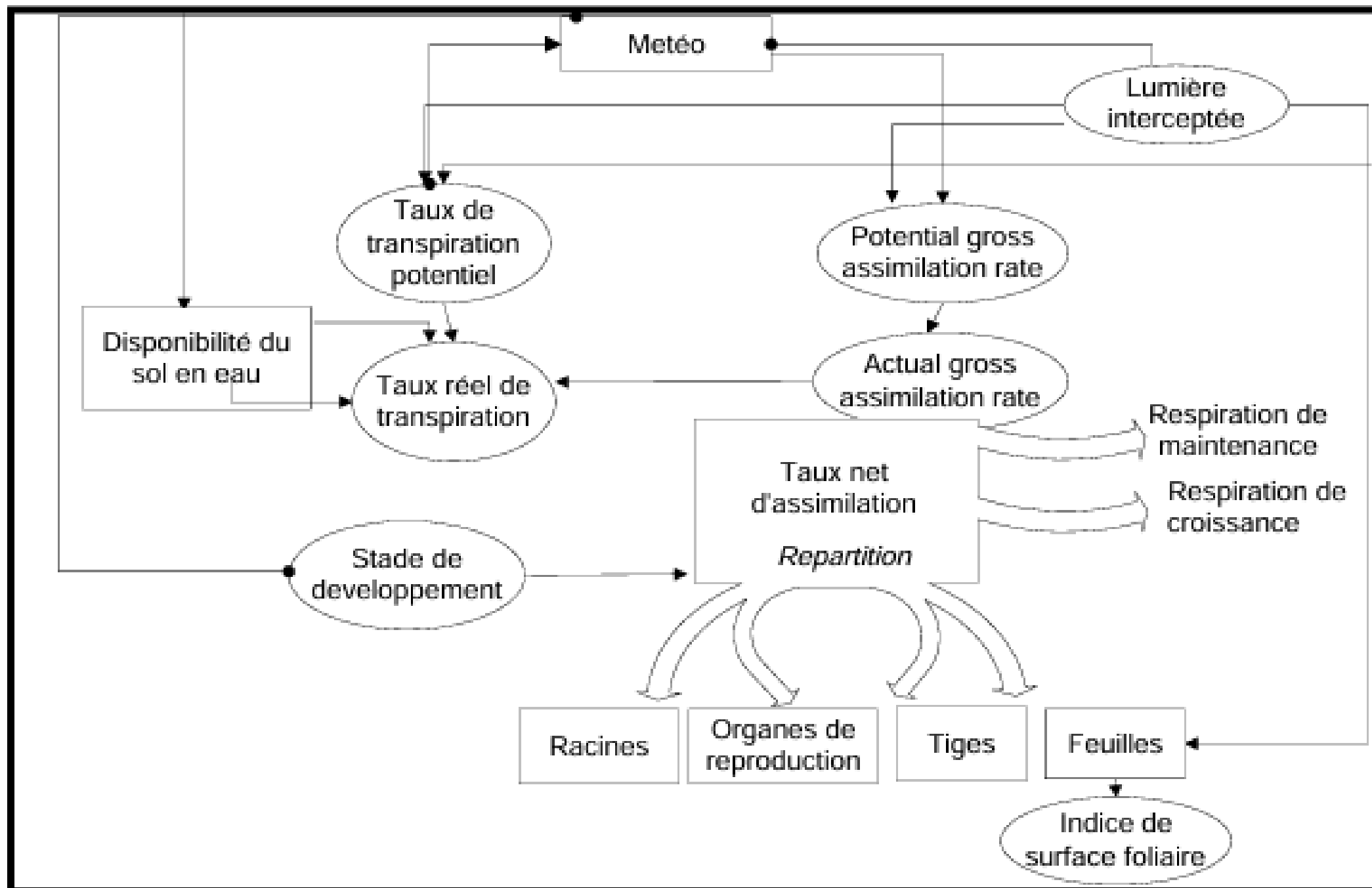


# Croissance des cultures (1)

- La croissance des cultures dépend de l'assimilation nette quotidienne, qui dépend de la lumière interceptée.
- La réduction de la transpiration due au stress hydrique entraîne une production réduite d'assimilats.
- Les assimilats sont répartis sur les différents organes de la plante.

# Croissance des cultures (2)

- Organigramme détaillé de la croissance des cultures simulée par WOFOST

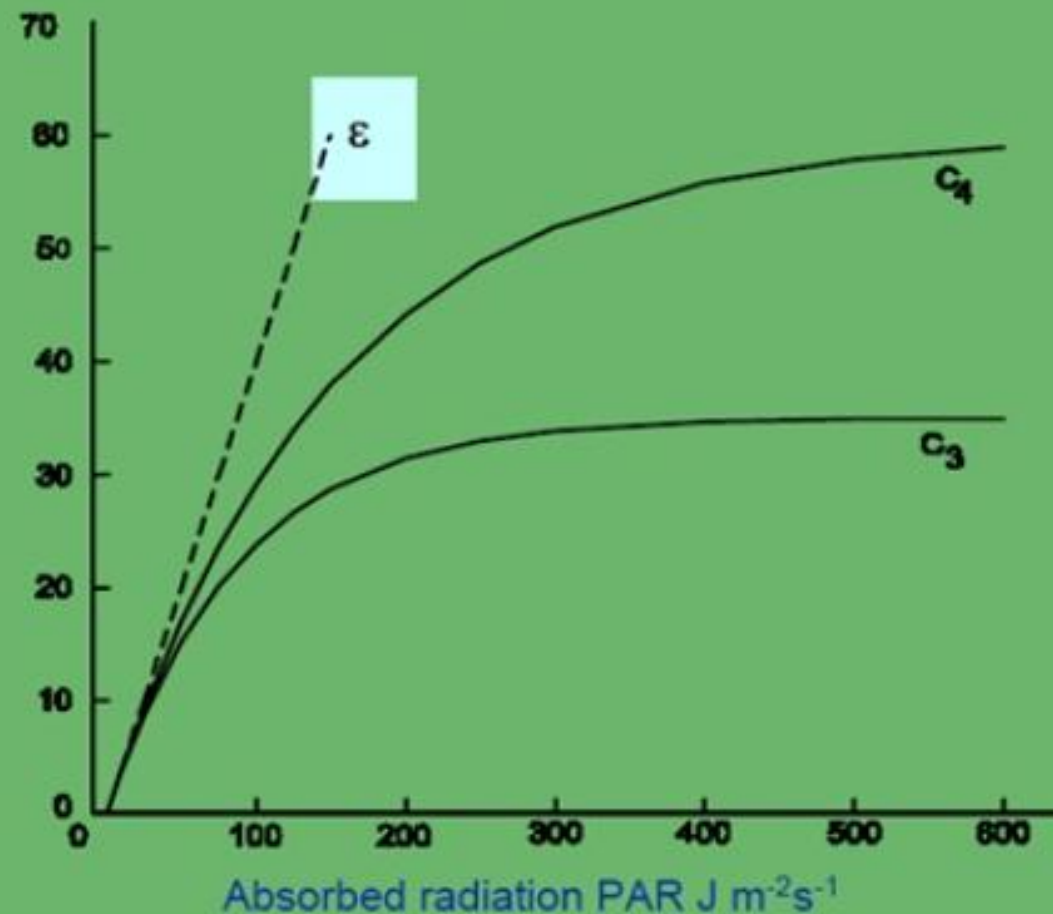


# Interception de la lumière solaire

- Rayonnement solaire au sommet de la canopée
- Rayonnement solaire dans la canopée
- Rayonnement intercepté
- Assimilation du CO<sub>2</sub>

# Photosynthesis light response

photosynthesis [ $\text{kg CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ]



photosynthetically active radiation (PAR) ou  
Rayonnement photosynthétiquement actif (RPA)

# Respiration d'entretien

Proportionnelle à:

- La biomasse des organes végétaux vivants
- Au coefficient d'entretien par organe végétal
- À la température (facteur Q10 : doublement à 10°C)

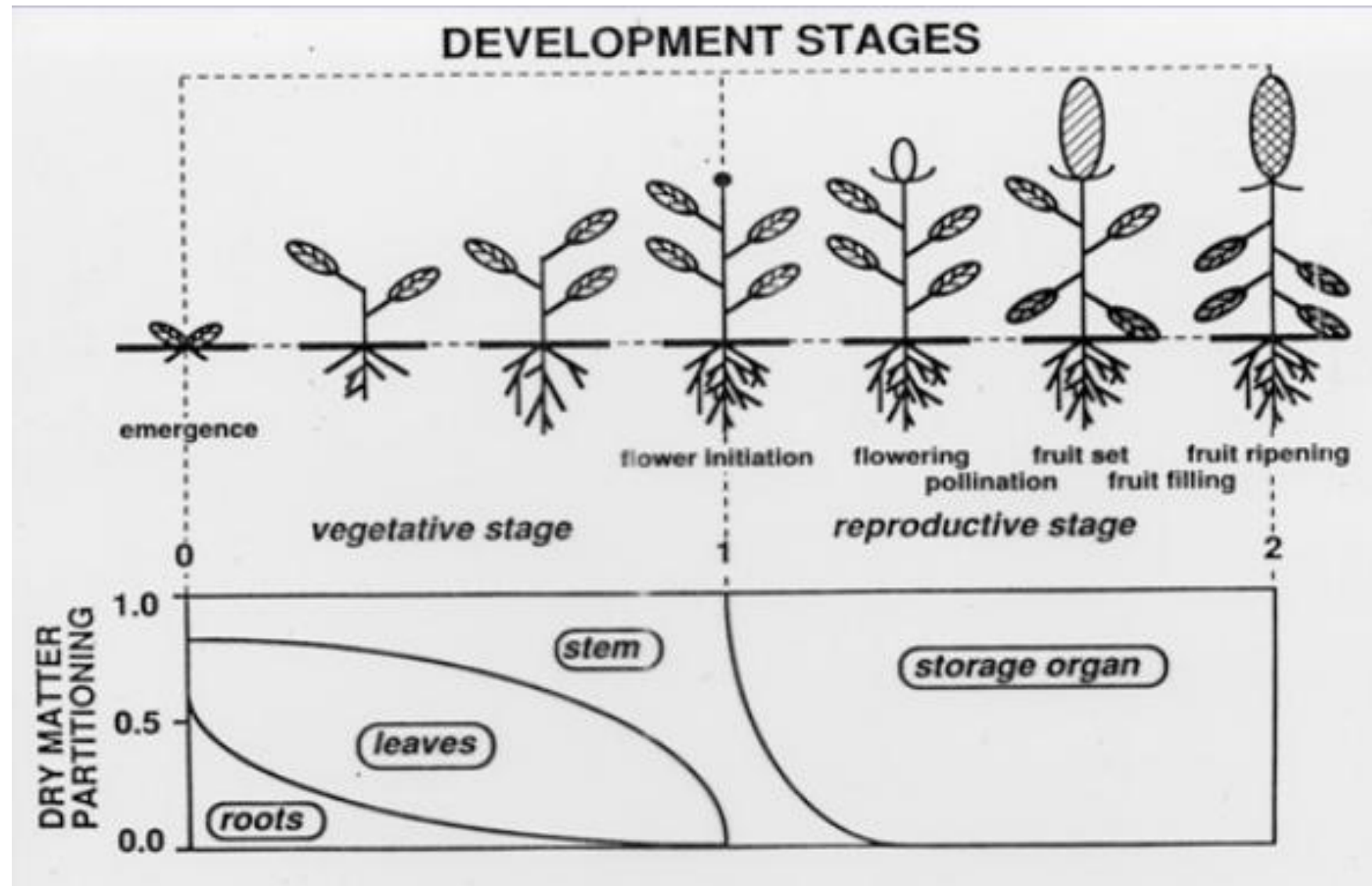
(utilise 15 – 30 % de tous les assimilats)

# Respiration de croissance

Dépend de :

- coefficient de conversion par organe végétal
- répartition des assimilats sur les organes (% d'utilisation de tous les assimilats)

# Répartition des assimilats et stades de développement



# Bilan hydrique du sol

(1)

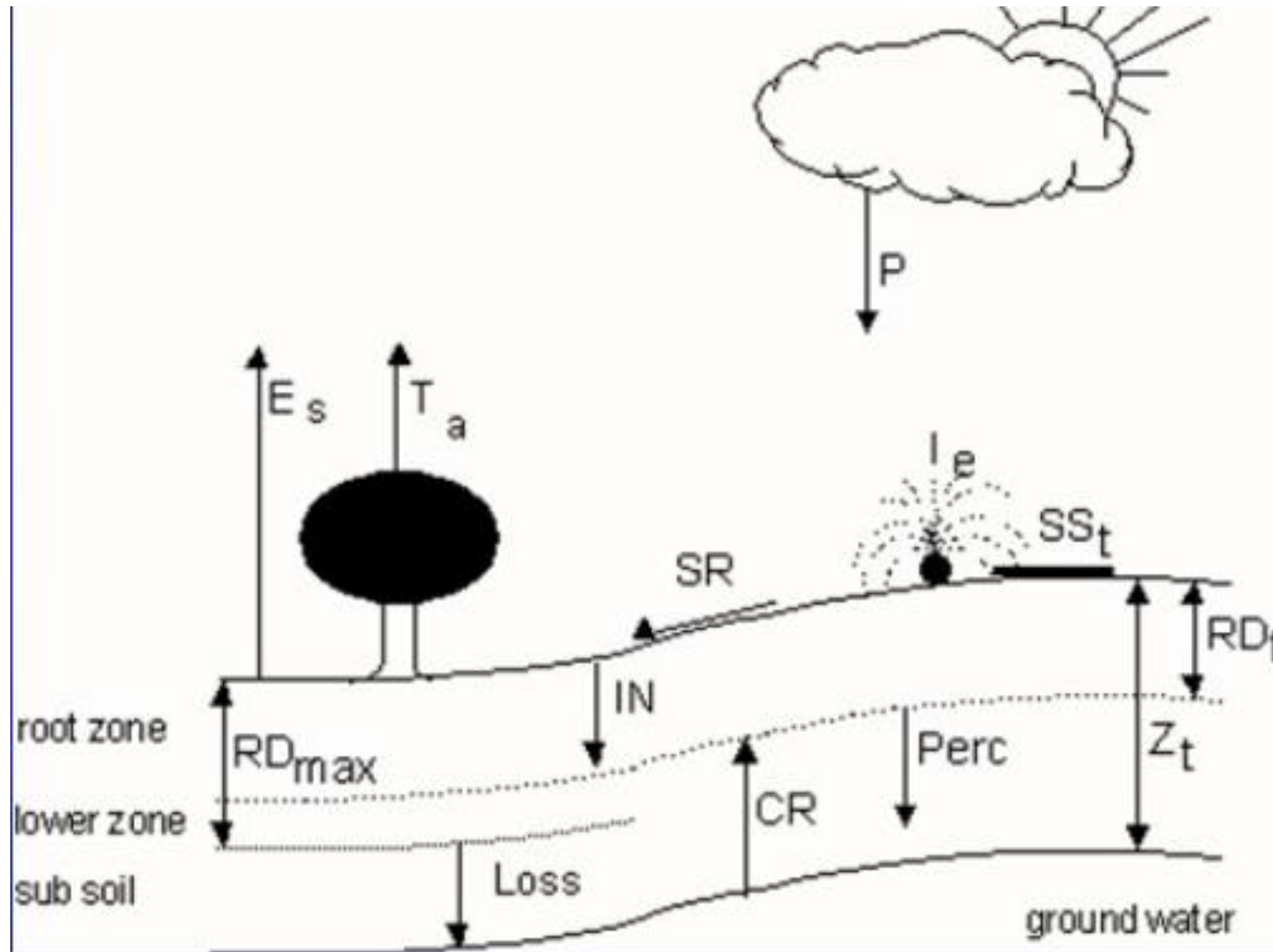
- Un modèle de croissance des cultures doit également suivre la teneur en humidité du sol pour déterminer quand et dans quelle mesure une culture est exposée au stress hydrique.
- WOFOST utilise un bilan hydrique, qui compare l'eau entrant dans la zone racinaire avec l'eau sortante et quantifie la différence entre les deux comme un changement dans la teneur en humidité du sol.



# Bilan hydrique du sol (2)

Représentation  
schématique  
des différentes  
composantes du  
bilan hydrique  
du sol WOFOST

Modèle de seau,  
une couche



- infiltration: i.e. transport from the soil surface into the root zone;
- evaporation: i.e. the loss of soil moisture to the atmosphere;
- plant transpiration: i.e. loss of water from the interior root zone;
- percolation: i.e. downward transport of water from the root zone to the layer below the root zone;
- capillary rise: i.e. upward transport into the rooted zone.

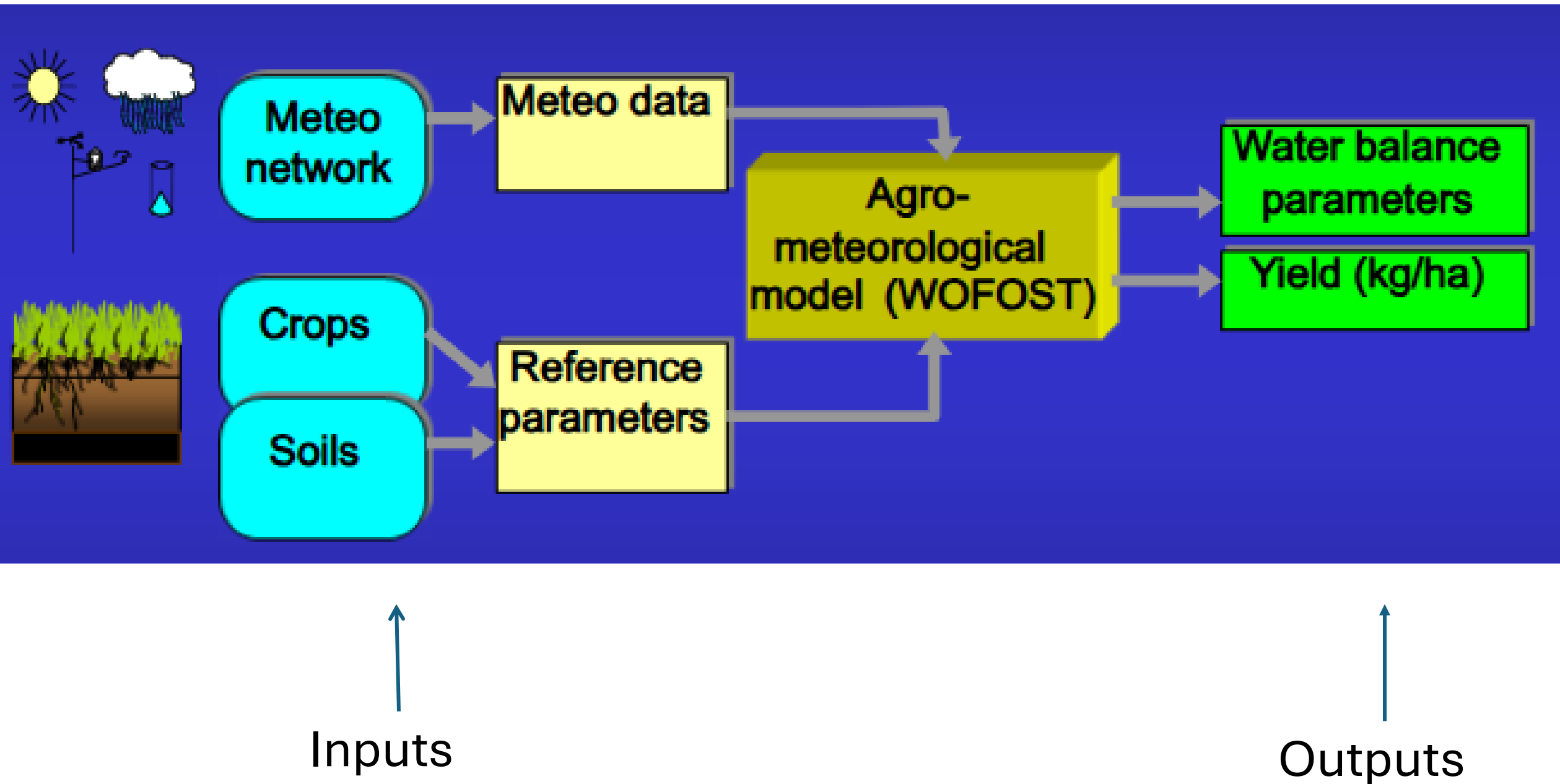
# Utilisation des nutriments (non utilisée dans le CGMS)

- L'influence des nutriments (N, P, K) sur le rendement est calculée sur une base annuelle.
- Tout d'abord, les apports potentiels en azote, phosphore et potassium sont calculés.
- Dans une deuxième étape, l'absorption réelle de chaque nutriment est calculée en fonction de l'apport potentiel de ce nutriment, afin d'obtenir une estimation du rendement.

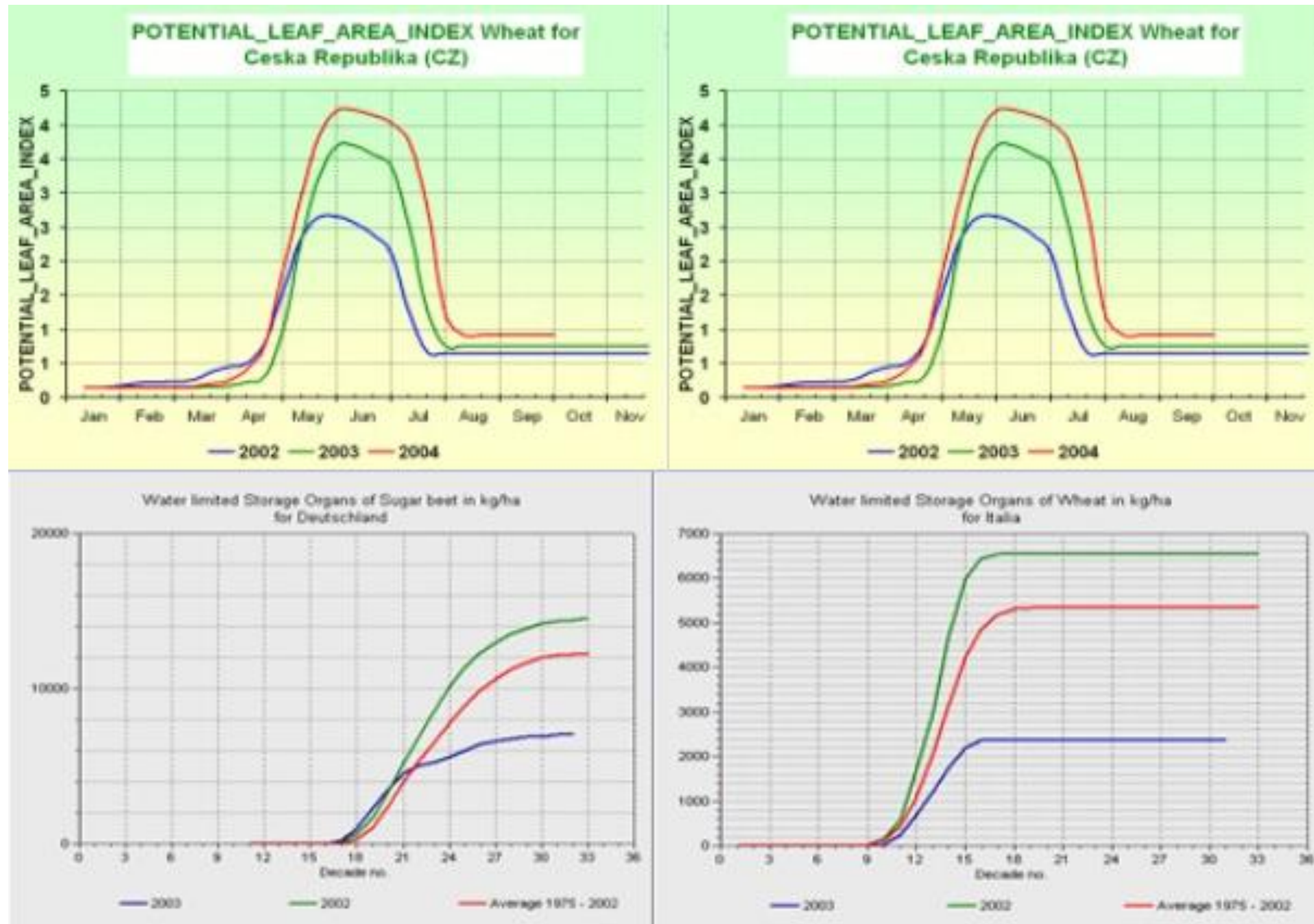
# Résumé des besoins en données

- Propriétés du sol : épaisseur de l'horizon, limites supérieure et inférieure de la teneur en eau volumétrique, eau volumétrique à saturation, conductivité hydraulique à saturation.
- Données météorologiques quotidiennes : rayonnement, précipitations, températures max/min, vitesse du vent et humidité relative de l'air.
- Paramètres des cultures : sommes de températures, réponse à la photopériode, composantes du rendement, ...Conditions initiales : teneur en eau, azote total, phosphore et potassium.
- Conditions de gestion : dates de semis et de récolte.

# Entrées/sorties du modèle WOFOST



# Quelques résultats



# Quelques résultats

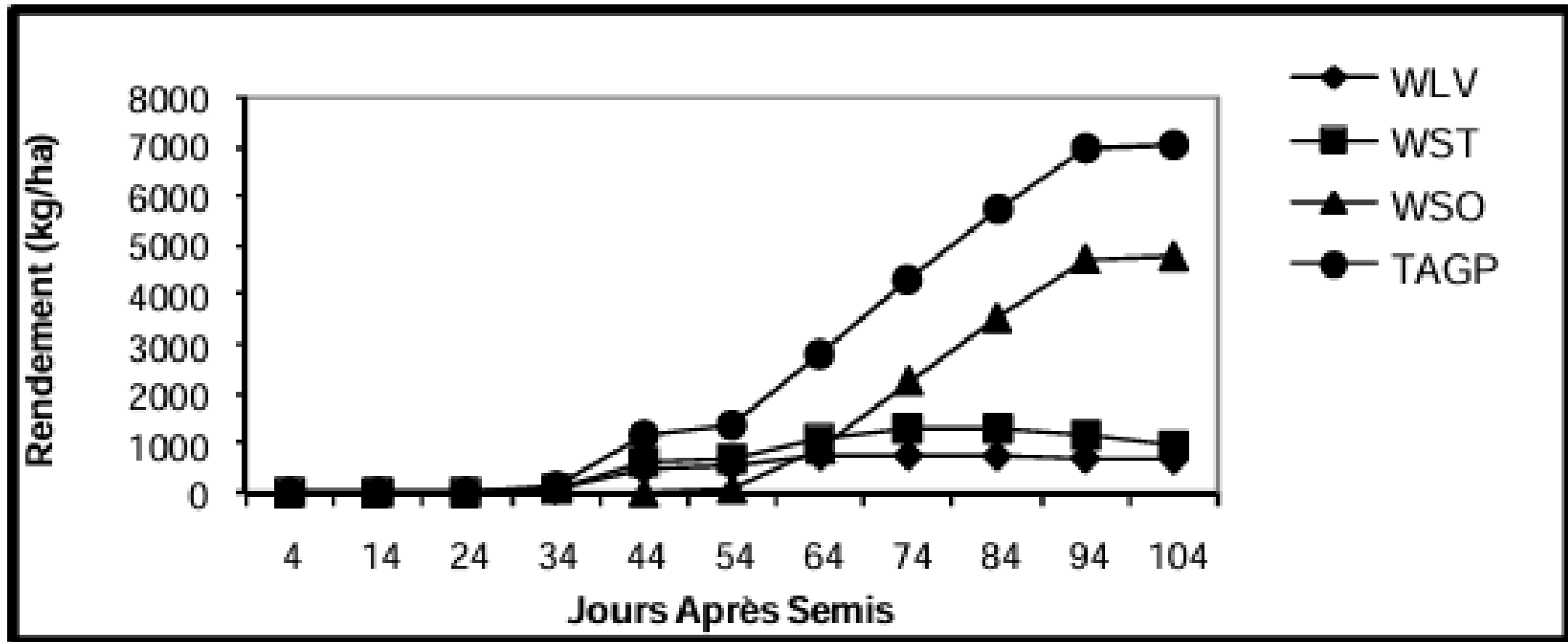


Figure 4 : Valeurs simulées des biomasses du maïs (kg/ha), avec WST= biomasse des tiges; WLW= biomasse des feuilles; WSO= biomasse des organes de stockage; TAGP= Biomasse aérienne totale.

# Mise à l'échelle pour une application régionale

- WOFOST est un modèle de simulation unidimensionnel, c'est à dire sans référence à l'échelle géographique.
- La taille d'une région à laquelle WOFOST peut être appliqué est limitée en raison de l'effet d'agrégation provoqué par la réponse non linéaire des entrées du modèle de culture.
- Le domaine spatial du modèle est divisé en petites unités spatiales où les éléments du modèle (météo, culture, sol, gestion) peuvent être supposés constants.



# Avertissement

- Un modèle plus complexe ne signifie pas nécessairement de meilleurs résultats qu'un modèle plus simple.
- Comme chaque estimation de paramètre et formulation de processus a sa propre imprécision, ces erreurs s'accumulent dans la prédiction du rendement final.
- Le modèle doit être validé sur la plage d'entrées attendue, tout comme un modèle statistique.
- Une expertise est toujours requise pour une bonne utilisation de WOFOST/CGMS

# WOFOST – Applications - MARS

- Colonne vertébrale du système de prévision du rendement des cultures, MARS (MCYFS).
- Fournit en temps opportun, de manière indépendante et scientifiquement pertinente :
  - des informations sur le développement et la croissance des cultures,
  - des informations sur les effets à court terme des événements météorologiques sur les cultures.
  - prévisions de rendement saisonnier des principales cultures (céréales, oléagineux, protéagineux, betterave sucrière, pomme de terre, riz) au niveau de l'UE et des États membres.
- Développé par WUR dans les années 90, reconnu par le Parlement européen, géré opérationnellement par WUR depuis 2000

La prévision finale du rendement des cultures (Y) est obtenue en combinant les sorties de la fonction sur les tendances technologiques avec celles du modèle agrométéorologique et de l'indicateur de biomasse, tel que donné par les données de télédétection.

L'équation du modèle est :

$$Y = a + f1 (Tendance) + f2 (CGMS) + f3 (RS) + \xi$$

Où

Y = le rendement prévu

f1 (t) = la fonction liée aux conditions météorologiques (modèle agrométéorologique)

f2 = (CGMS) la fonction liée à l'évolution technologique

f3 (RS) = la fonction liée à l'indicateur de biomasse donné par les données de télédétection

$\xi$  = la composante aléatoire (erreur).

Pour chaque circonscription ou région agricole, une fonction linéaire<sup>42</sup> ou quadratique<sup>43</sup> de l'évolution technologique est calculée ou ajustée par la méthode des moindres carrés, sur des périodes de 15 et 30 ans.