

# Experiències en Agricultura de Precisió

Lucas Martínez i Rodrigo

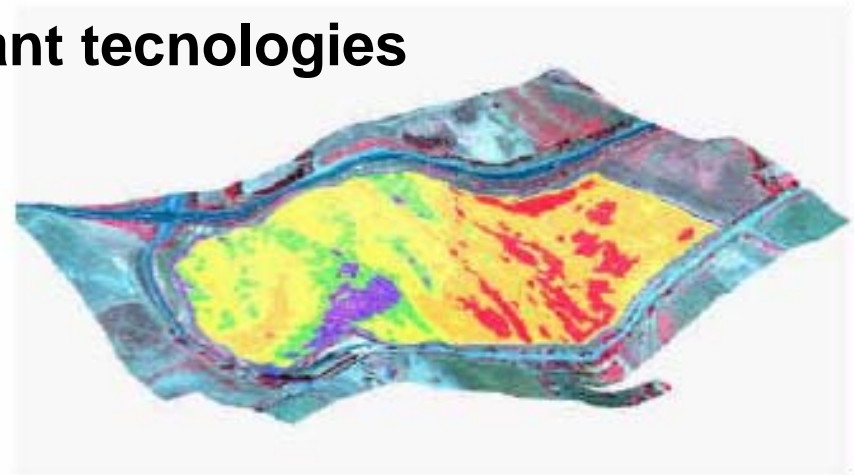
ICC - Desenvolupament de Teledetecció

- 0. Concepte d'agricultura de precisió**
- 1. Aproximació al problema**
- 2. Fonaments obtenció de paràmetres biofísics**
- 3. Models de creixement**
- 4. EADS Astrium Farmstar**
- 5. Prova Farmstar Catalunya**
- 6. Campanya ICC-AGRIPE a Lleida**

**És la gestió dels conreus en funció de les seves necessitats, tenint en compte la variabilitat de les parcel·les.**

- **Realització correcta de les pràctiques agrícoles en el lloc i moment adequat**
- **Automatització utilitzant tecnologies**

**Imatge de la diferència de vigor en una vinya, amb una imatge creada a partir d'un índex de vegetació (NDVI)**



## **Beneficis:**

- **Reduir costos de producció, aplicant els productes en el lloc i la quantitat adequats: reducció de fertilitzants i productes fitosanitaris**
- **Incrementar el rendiment**
- **Reduir despeses d'anàlisi de sòls: orientant millor les zones a analitzar**
- **Millorar la qualitat dels productes**
- **Reduir l'impacte ambiental**
- **Previsió precoç de rendiments: tasques d'organització logística per cooperatives, entitats públiques...**

**Costos:**

**Segons tecnologies**

**Segons superfície a gestionar**

**Anàlisi cost - benefici**

**Beneficis  
Mediambientals...**

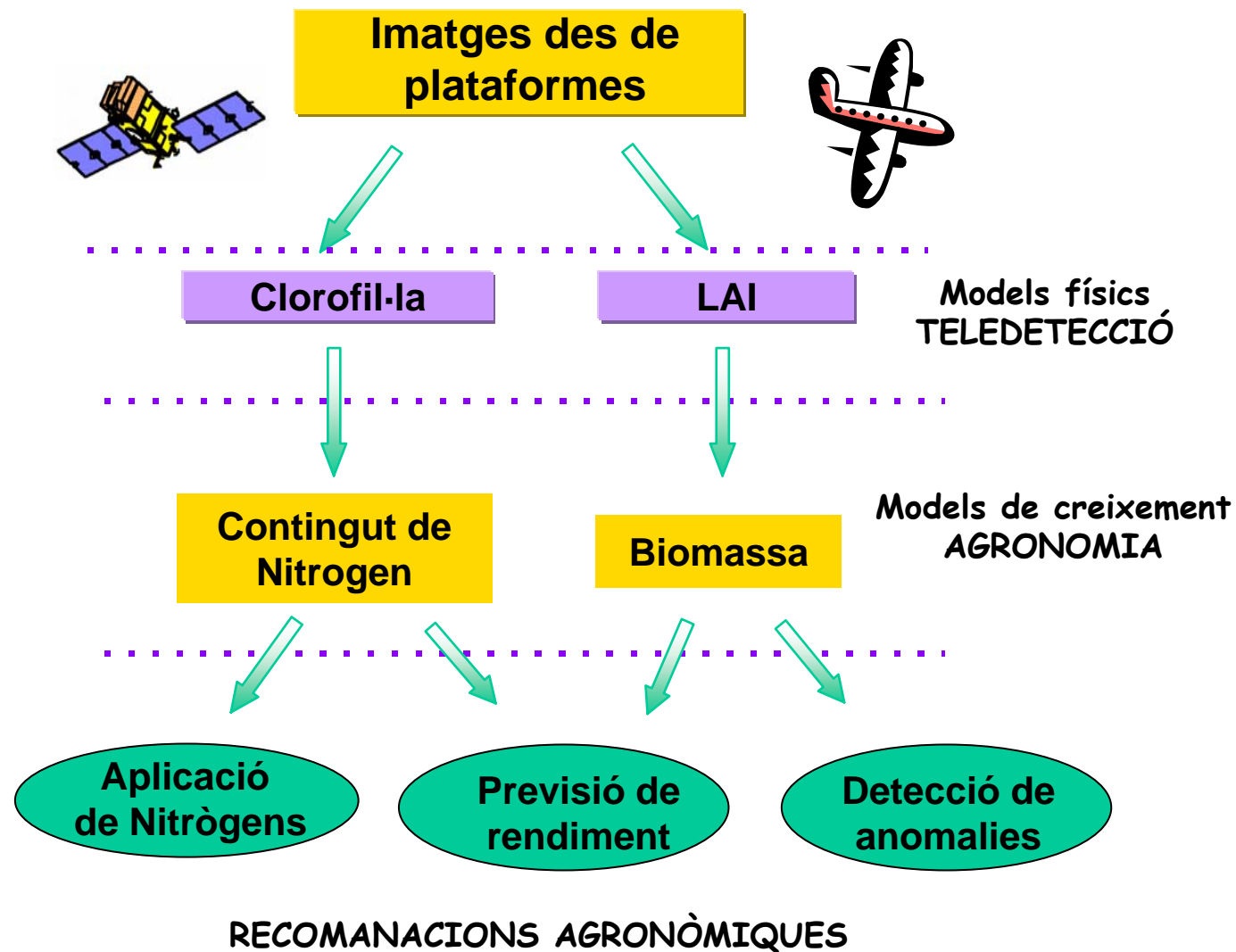
**Increment de  
benefici**

**Augment de la  
producció + disminució  
de inputs**

**Increment de  
cost**

**Utilització de  
noves tecnologies**

## Aproximació al problema



### ➤ Possibles modelitzacions

Mètodes empírics

Models físics

### ➤ Models físics: simulen la transferència radiativa

### ➤ Entrades:

Propietats del cultiu i del sòl

### ➤ Sortides:

Reflectivitat a nivell de cultiu

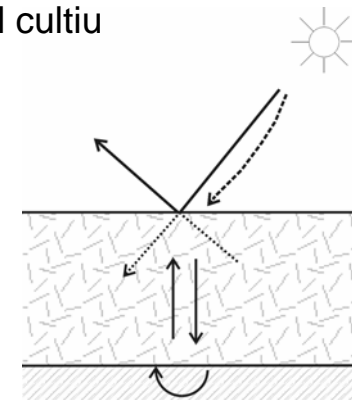
### ➤ Direccions del model

Models directes

Models inversos

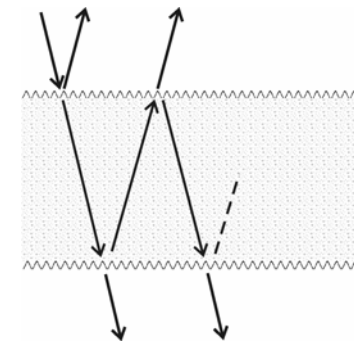
La coberta del cultiu

ACRM



Perfil d'una fulla

PROSPECT



➤ **Inversió: Determinar paràmetres del cultiu a partir de les reflectàncies observades**

➤ **Ajustar els models a les observacions  $\rho_{obs}$**

➤ **Una possibilitat:**

Buscar un grup de paràmetres  $\mathbf{p}$ , de manera que la *probabilitat condicionada*  $L(\rho_{obs} | \mathbf{p})$  sigui màxima.

➤ **Matemàticament:**

Buscar un grup de paràmetres  $\mathbf{p}$ , que fa mínima la diferència *dif*

$$dif = (\rho_{obs} - \rho_{física}(\mathbf{p}, \mathbf{c})) \mathbf{P}_{\rho\rho} (\rho_{obs} - \rho_{física}(\mathbf{p}, \mathbf{c}))'$$



➤ **La inversió dels models físics és ambigua (no-injectiva)**

La introducció de la informació *a priori* elimina la indeterminació

➤ **Tipus d'informació *a priori*:**

Valors mesurats o suggerits de les plantes i del terra, el rang de les magnituds, etc.

➤ **Una possibilitat:**

Maximitzar la probabilitat condicionada  $L(\mathbf{p}_{\text{apriori}}, \mathbf{p}_{\text{obs}} | \mathbf{p})$

➤ **Matemàticament:**

Minimitzar la diferència *dif*

$$dif = \dots + (\mathbf{p}_{\text{apriori}} - \mathbf{p}) \mathbf{P}_{pp} (\mathbf{p}_{\text{apriori}} - \mathbf{p})'$$

## **Simulen el creixement de les plantes**

- **Segons les condicions meteorològiques**
- **Segons les condicions del terra i del cultiu**
- **Respecte a les propietats del conreu**

**per**

- **Fer previsions de la producció**
- **Calcular el consum d'aigua i dels nutrients**
- **Altres qüestions de l'entorn (Pol·lució, ...)**

## **Objectius finals**

- **Reduir l'ús excessiu d'aigua**
- **Evitar danys medi ambientals per sobreferilització**
- **Altres aspectes d'agronomia**
- **Reduir costos de cultiu,...**

### Models de creixement

- Necessiten dades acurades d'entrada
- Calculen amb iteracions a partir de l'estat actual

### Algunes informacions provenen de la teledetecció

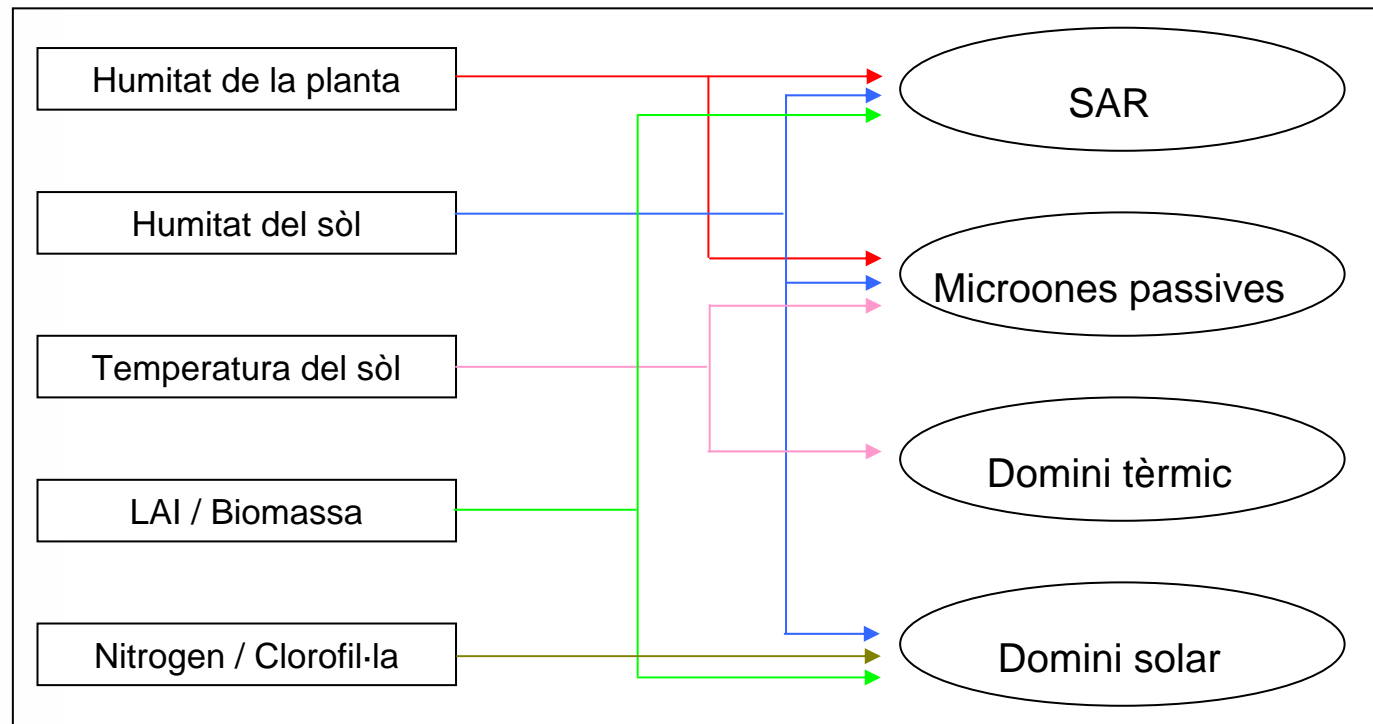
- Per millorar la precisió dels models
- Per obtenir informació aèria

### Assimilació dels resultats de teledetecció

- Selecció dels sensors, paràmetres i models apropiats
- Necessiten mètodes matemàtics

# Models de creixement

## Paràmetres, sensors i mètodes d'assimilació

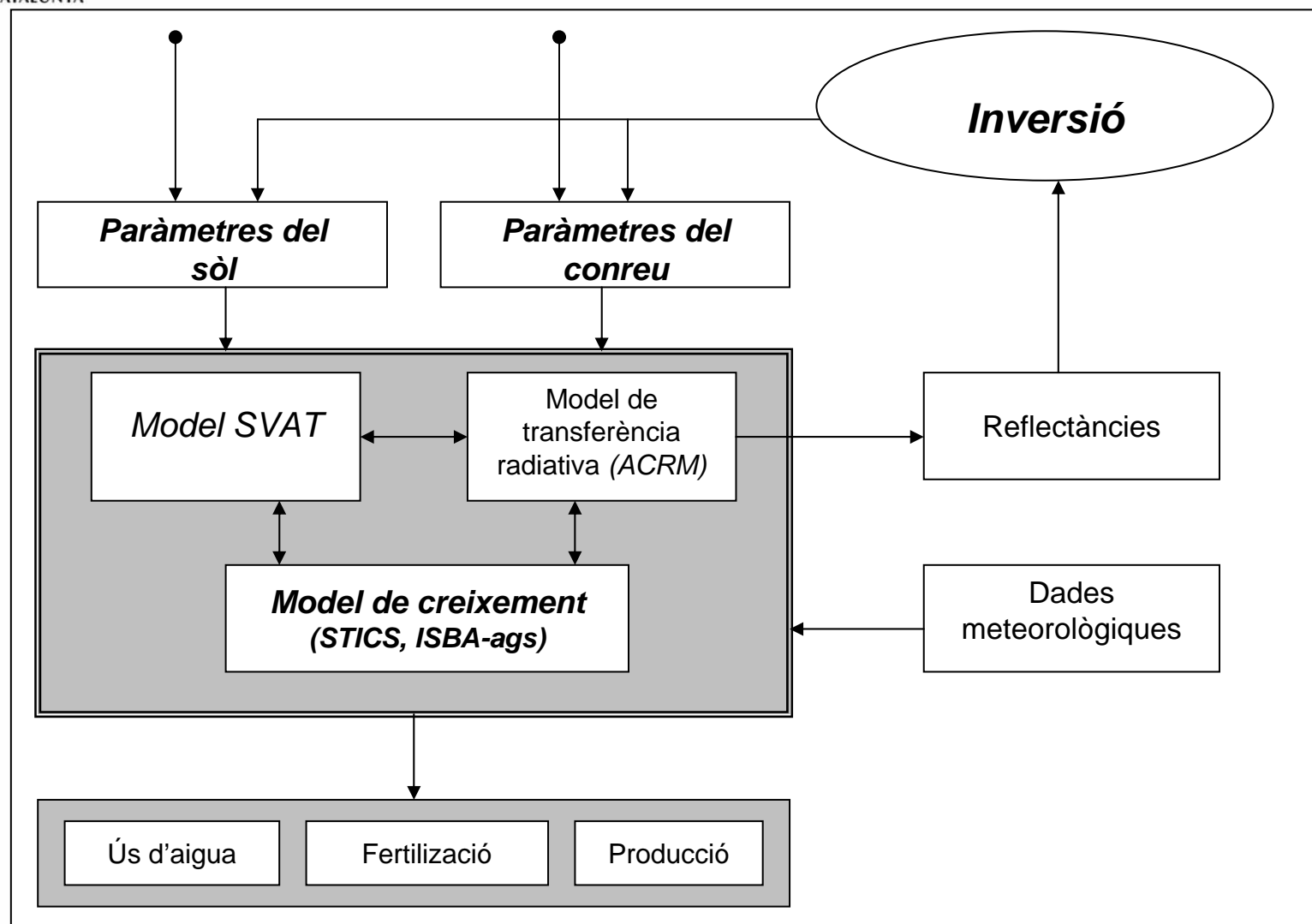


### Mètodes numèrics:

- **Fixat:** Models forçats amb dades de teledetecció
- **Seqüencial:** Models corregits amb dades de teledetecció
- **Ajust variacional:** Models minimitzats amb dades de teledetecció

# Models de creixement

## Proposta d'assimilació de les dades



### Model *STICS* (Simulateur multidisciplinaire pour les Cultures Standard)

- Genèric, pas diari, ajustat a 15 tipus de conreu
- Calcula el balanç de nitrogen, aigua i energia
- Calibració per l'híbrid dels conreu estudiat

#### Entrades:

- **Paràmetres meteorològics**  
Temperatura de l'aire, pressió atmosfèrica, precipitació,...
- **Paràmetres del conreu**  
Tipus i híbrid, dates de sembrat, irrigació, fertilització, protecció del sòl,...
- **Propietats del sòl**  
Capacitat de camp, punt de marciment,...
- **Paràmetres calibrats de l'híbrid**  
Etapes de creixement,...

### Càlcul diari i iteratiu:

$$\Delta LAI_{diari} = c_{planta} \cdot f(LAI, Temp_{conreu}, densidad_{planta}) \cdot \min(c_{aigua}, c_{nitrogen})$$

$c_{planta}$ :	Constants segons el tipus de la planta
$c_{aigua}$ :	Estrès per manca d'aigua *
$c_{nitrogen}$ :	Estrès per manca de nitrogen **
$Temp_{conreu}$ :	Temperatura del conreu ***

- \* Cal balanç hídric
- \*\* Cal balanç de nitrogen
- \*\*\* Cal balanç energètic

## **FARMSTART es un servei comercial basat en imatge de satèl·lit ofert als agricultors per la gestió a nivell de camp**

### **Diferent tipus de conreus**

- ▶ Blat, Ordi, Colza
- ▶ Remolatxa, Blat de moro
- ▶ Canya dolça, Cotó, Arròs

▶ Subscripció anual de l'agricultor per a rebre un set d'informacions i recomanacions per

- ▶ Gestió d'inputs
- ▶ Gestió del conreu
- ▶ Detecció d'estrès

**Disponible comercialment a França, i operacional a molts països com UK i Alemanya**





INSTITUT CARTOGRÀFIC  
DE CATALUNYA

# EADS Astrium Farmstar

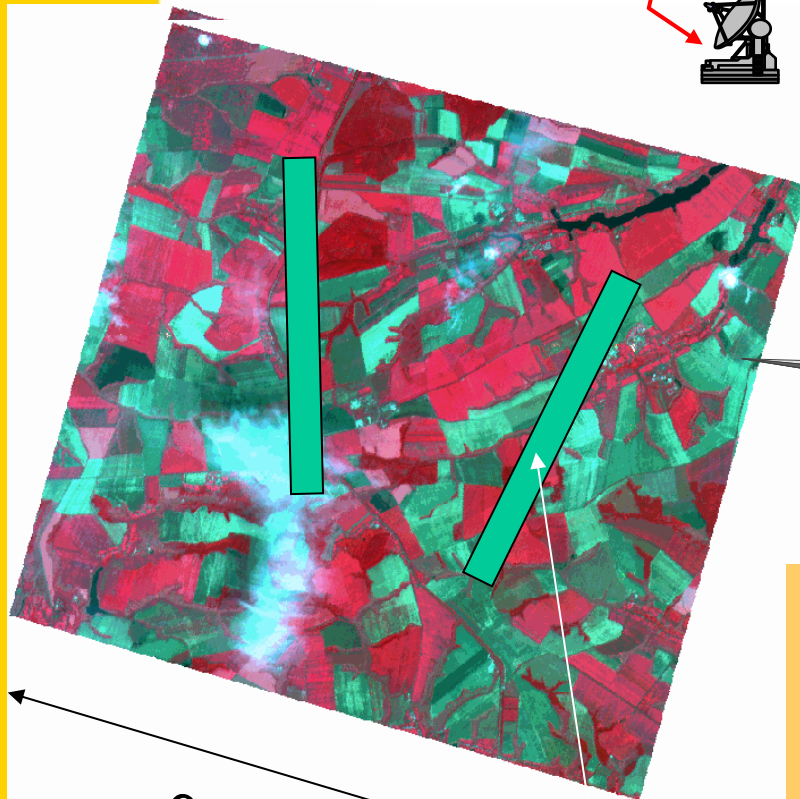
Bases per l'adquisició d'imatges



**3 satèl·lits Spot**

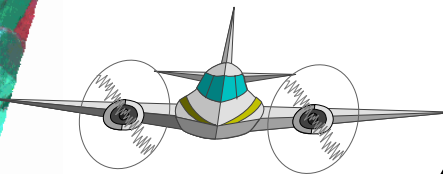


Adquisicions d'imatges satèl·lit amb una revisita de 4 dies (coberta núvols)



60 kms

**Línia de vol sensor aerotransportat**



**Avió (Específic a França)**

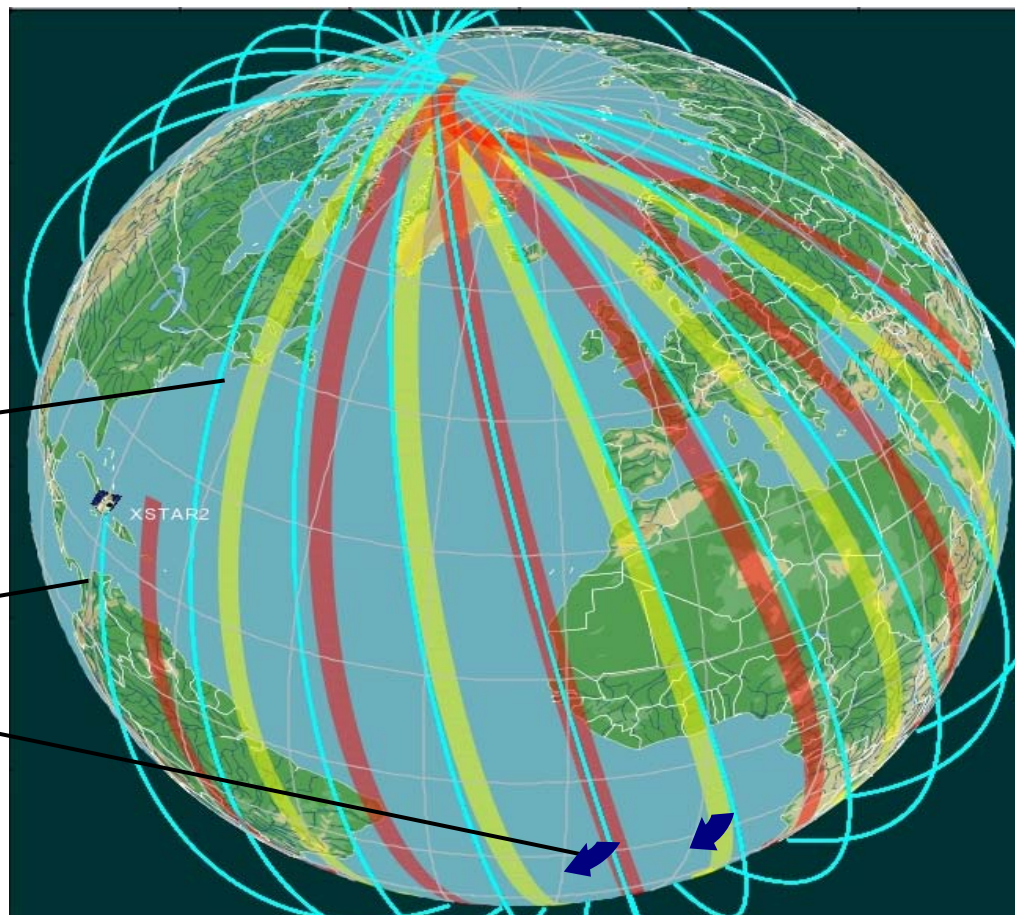
**Les imatges CASI aerotransportades es requereixen per calibració de la clorofil·la**  
Línies de vol de 4km x 25 a 120 km  
múltiples captures i multitemporalitat

*3 Satèl·lits*  
*SPOT 2*  
*SPOT 4*  
*SPOT 5*

Primer Track d'Adquisició

Segon Track d'Adquisició

Revisita teòrica de 4 dies

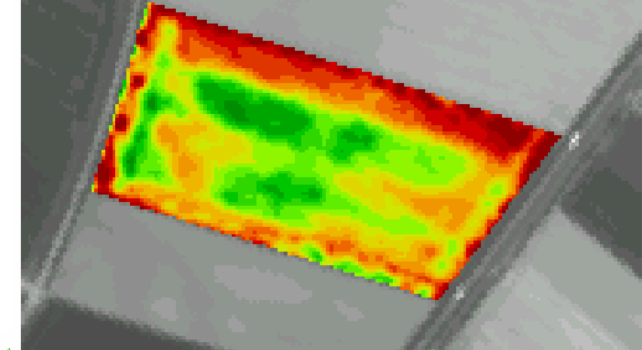


**Contingut de clorofil·la**  
Correlacionat amb el  
nivell de nitrogen

**Leaf Area Index (LAI)**  
Indicador del vigor del conreu  
Correlacionat amb la biomassa

4° 9' 56.0" E / 49° 20' 9.1" N (12 m resolution)

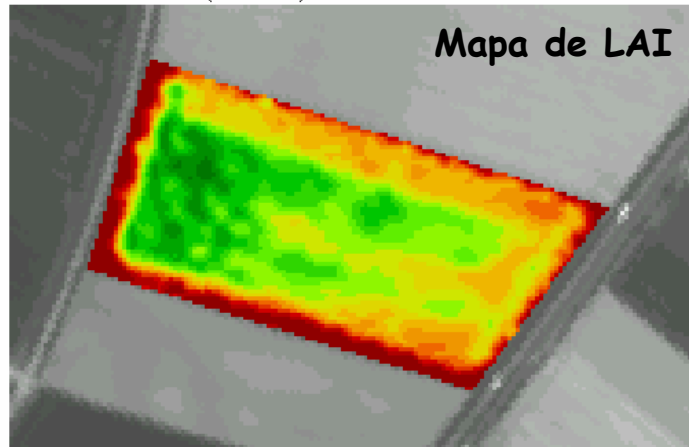
Mapa de contingut de clorofil·la



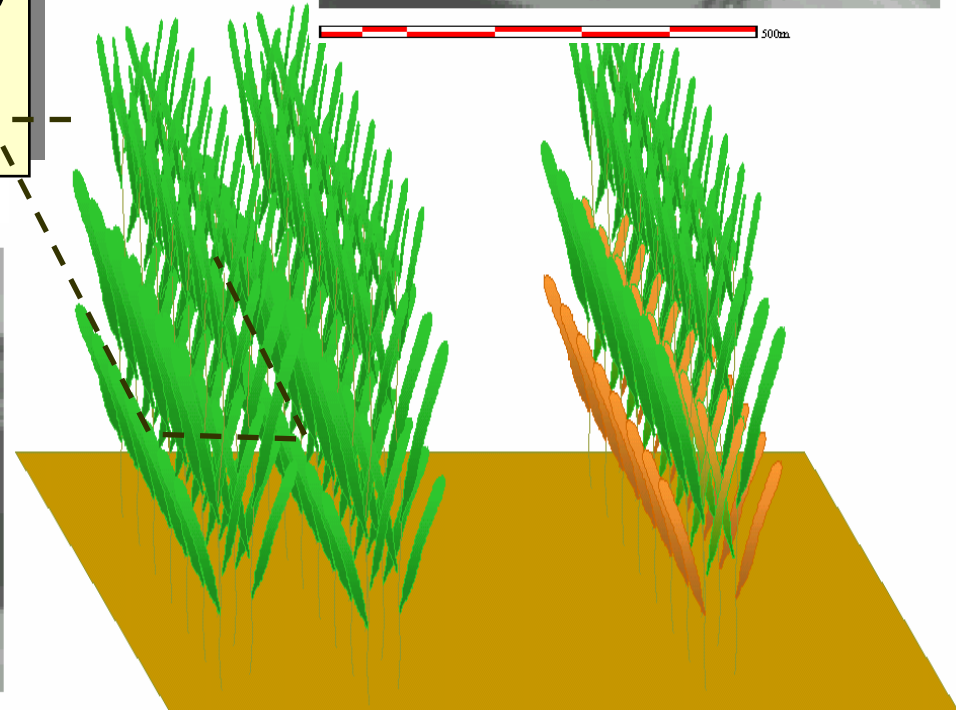
500m

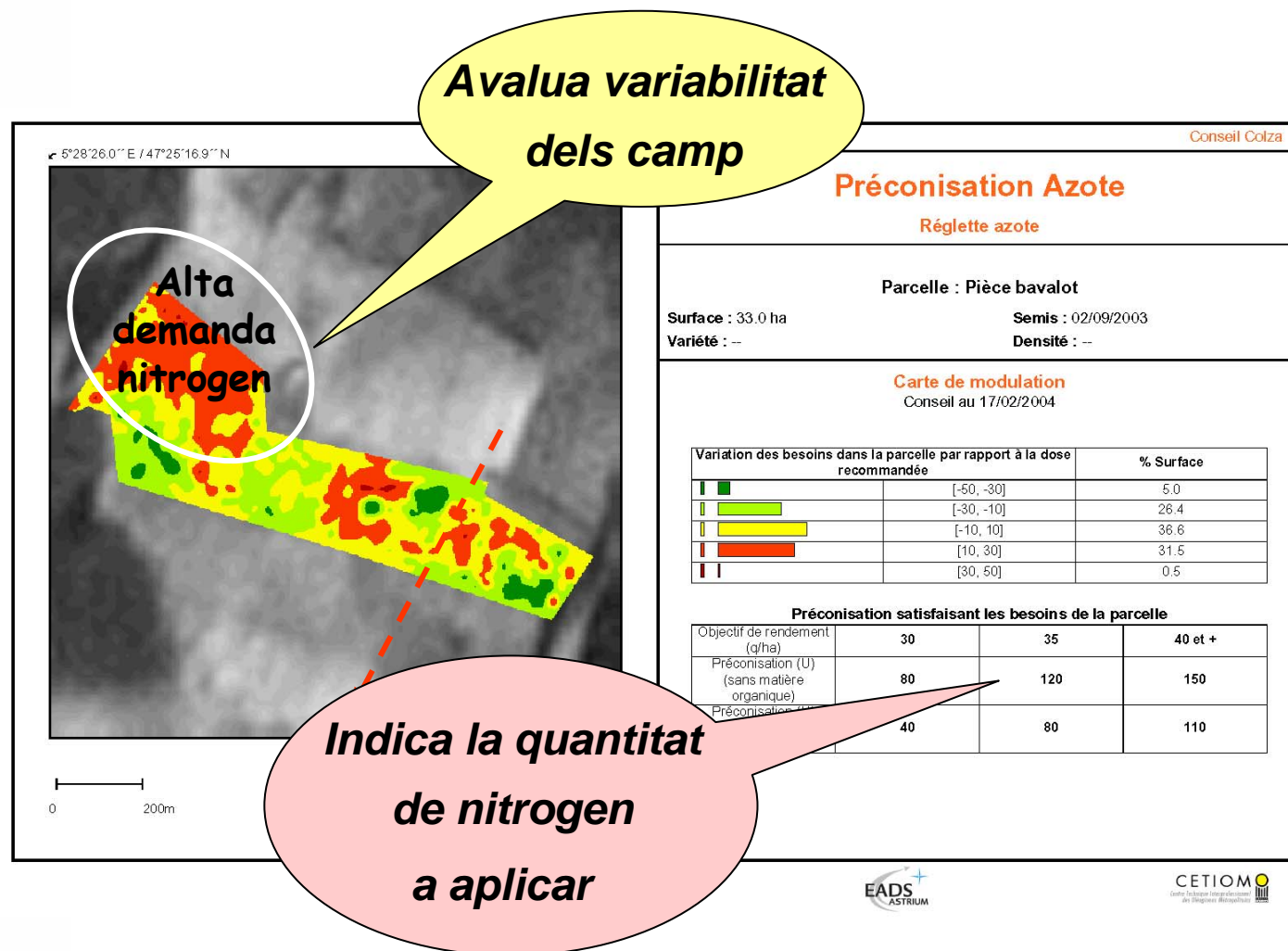
4° 9' 56.0" E / 49° 20' 9.1" N (12 m resolution)

Mapa de LAI



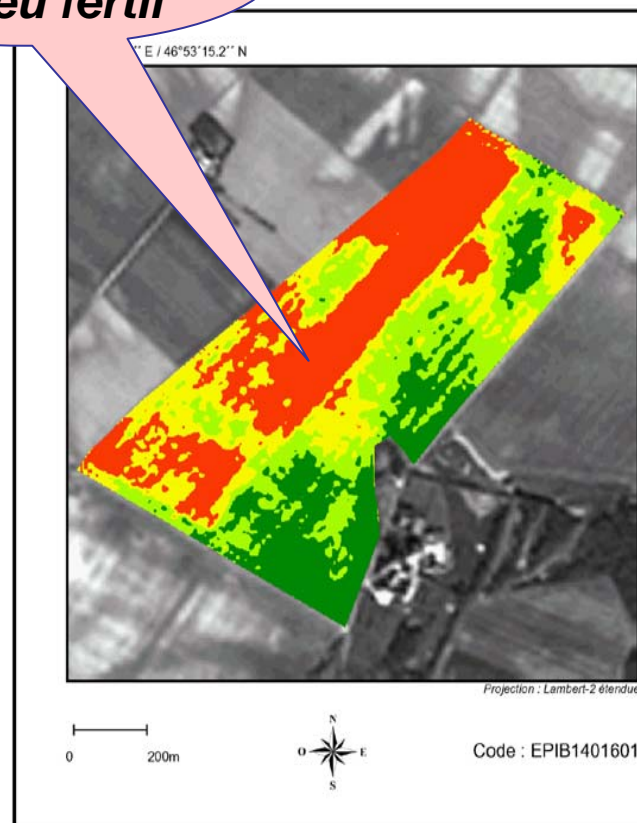
500m







**Densitat de  
conreu fèrtil**



**Estimació collita  
potencial**

FARMSTAR

Bilan

# Bilan Sortie Hiver

## Peuplement et potentiel de rendement

CERES GIE

Parcelle : SA 11

Surface : 79.40 ha






Semis :

Variété : CEZANNE

Densité : 290

## Carte de peuplement

Conseil au

Densité	Tiges/m²	% surface	Ha	Q/ha*
 Très faible	< 150	0	0	79
 Faible	150 - 500	33.9	26.9	93
 Optimale	500 - 650	22.8	18.1	95
 Elevée	650 - 850	23.8	18.9	96
 Excessive	> 850	19.6	15.5	100

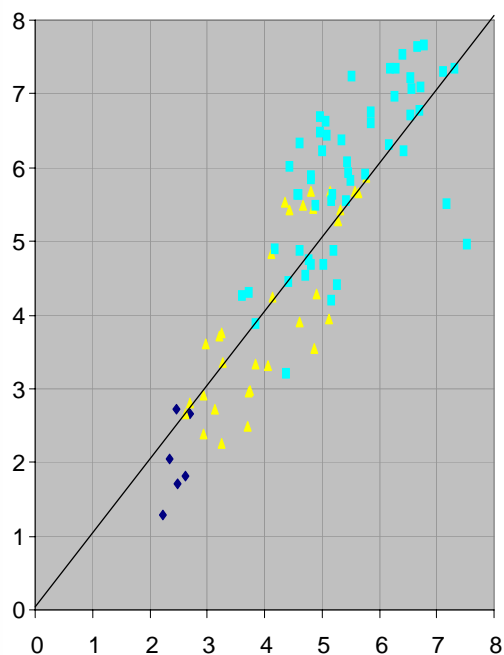
\* Potentiel de rendement en condition climatique favorable

Potentiel rendement (q/ha) selon condition Climatique	Défavorable	Médiane	Favorable
	79	85	94

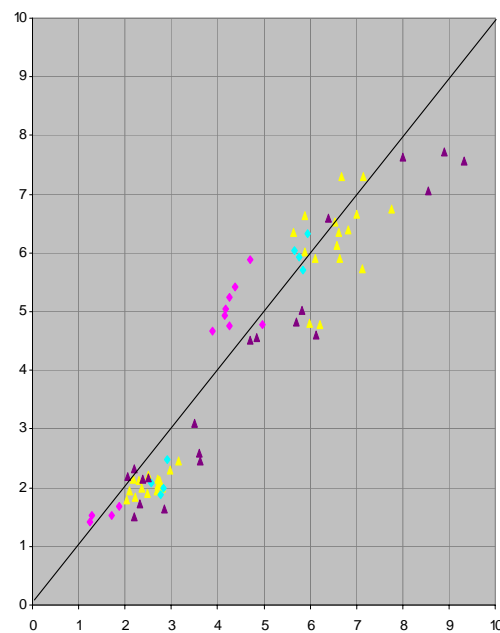
La présence de mauvaises herbes est possible sur votre parcelle. Dans ce cas, les potentiels de rendement indiqués seraient sur-évalués

Prochain stade 1 nœud vers le 02/04/2003

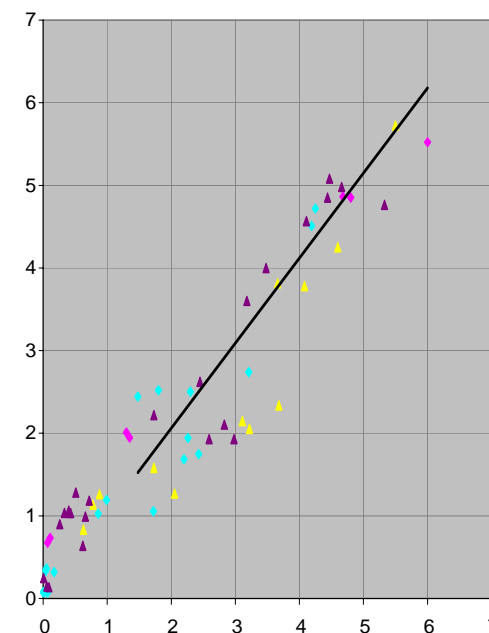
### Comparació FARMSTAR LAI (eix y) i LAI mesurant a camp (eix x)



**Blat França 2000**



**Blat UK**



**Blat UK 2003**

**Farmstar és un servei desenvolupat a França per Infoterra França i ARVALIS, el qual, a partir d'imatges de satèl·lit ofereix consells als agricultors sobre les accions a fer tenint en compte la variabilitat de la parcel·la.**

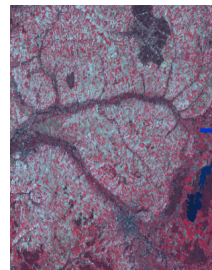
**Aquests consells van des de la quantitat de fertilitzant que necessita efectivament el conreu (bàsicament herbacis), l'ús racional de l'aigua, previsions de collita o problemes de malalties.**

**El Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural va promoure la realització d'una prova pilot a Catalunya, centrant-se en el blat de moro i la gestió de l'aigua.**

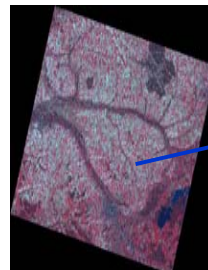
## Imatges SPOT utilitzades:

11/06/2006 – 17/07/2006 – 28/08/2006

### Adquisició

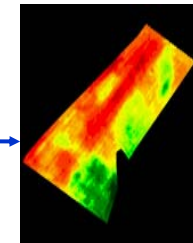


Imatge  
bruta



Imatge de  
reflectància

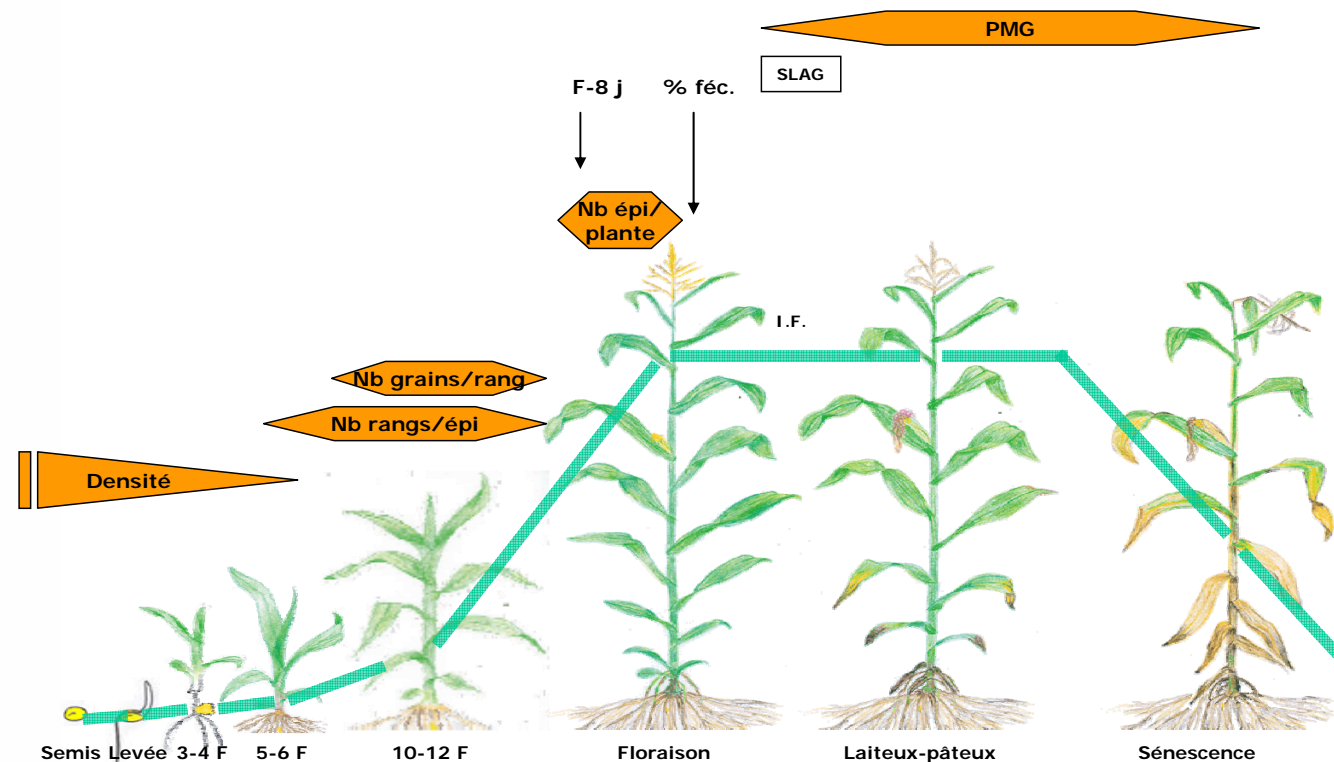
Model



Imatge de  
fracció de  
coberta



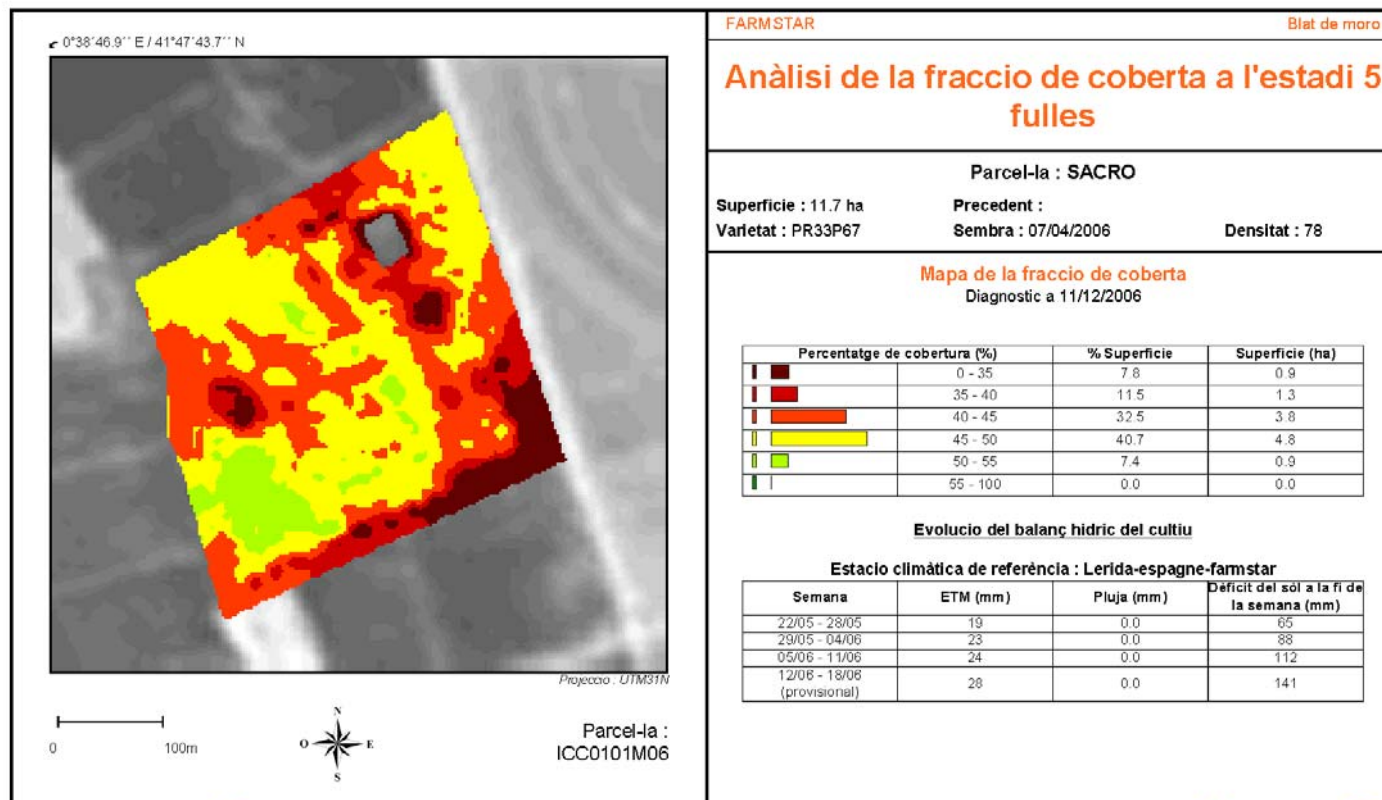
### Détermination des composantes



$$\text{Rendiment} = \text{nbre plantes} * \text{nbre espigues/planta} * \text{nbre file/espiga} * \text{nbre grans/fila} * \text{PMG}$$

# Prova Farmstar Catalunya

## Fracció de coberta estadi 5 fulles



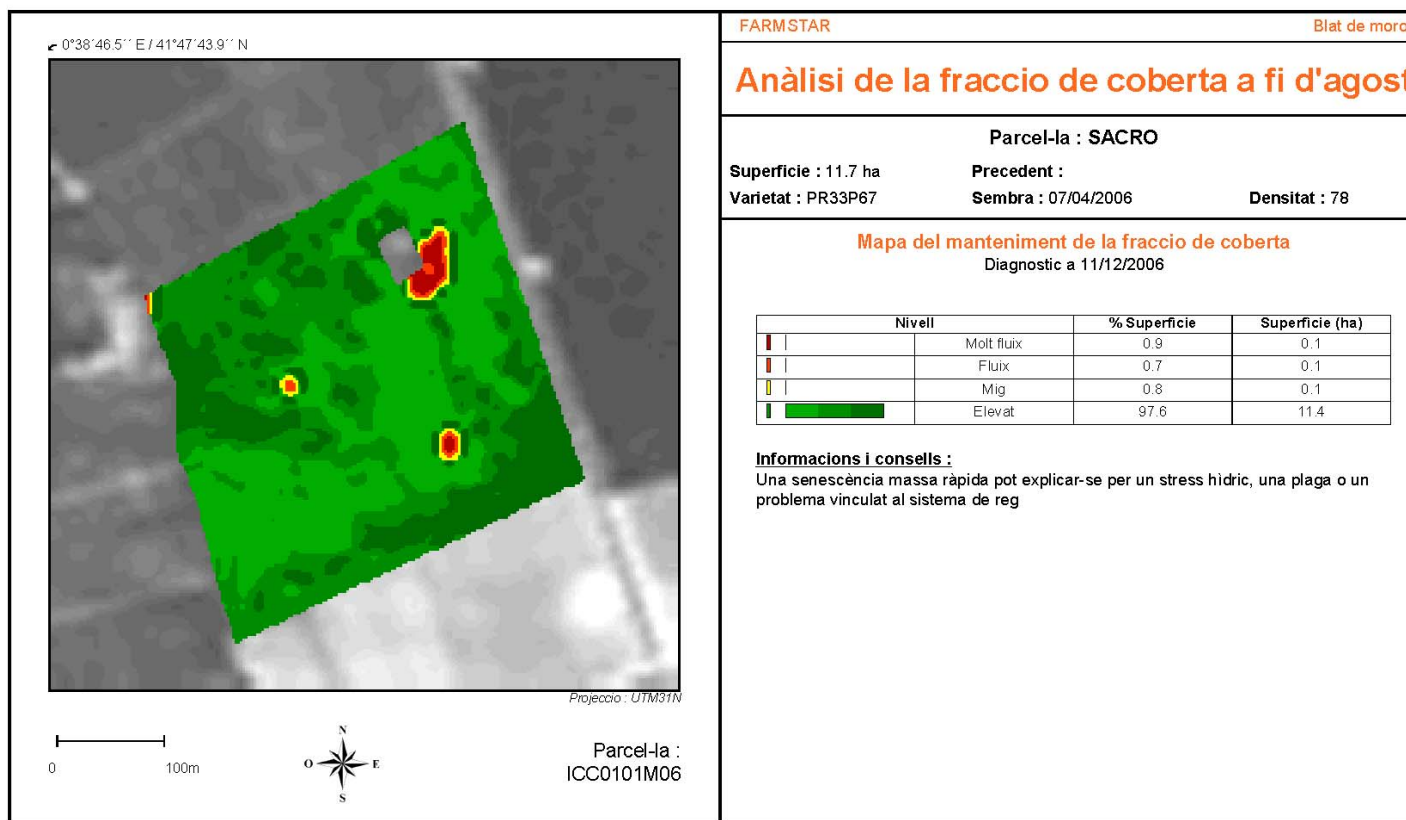
### Fase nbre files/espiga i nbre grans/fila

**El consum d'aigua està lligat a l'índex foliar**

**El mapa de fracció coberta indica quines són les zones de la parcel·la poc desenvolupades, que necessiten un augment de l'aportació d'aigua**

# Prova Farmstar Catalunya

## Fracció de coberta a fi d'agost



**És fàcil identificar deficiències o irregularitats en el sistema de rec**

**Detecció de problemes deguts a manca de fertilització, mancances del sòl o malalties**

**Permet extreure molta informació per a la gestió del conreu**

## **Objectiu: Una configuració dels models estable**

- Amb tants paràmetres estàndard com sigui possible
- Sense mesures de camp
- Per totes les imatges
- Amb els millors resultats

## **Calibració amb dades reals i sintètiques**

- Un cop per cada tipus de conreu
- Ajustar la ponderació de la informació a priori
- Fixar tots els valors a priori
- Ajustar els paràmetres dels algorismes

## **Validació amb dades reals i models de creixement**

- Avaluar la qualitat de la inversió
- Comparar els resultats de la inversió, de les simulacions i de les mesures de camp

### La ponderació de la informació a priori

- **Pesos baixos pels paràmetres ben determinats**  
LAI, clorofil·la, coeficients del sòl, [contingut d'aigua]
- **Pesos alts per paràmetres mal determinats o no estimables**  
Geometria de las fulles, estructura de las fulles, ...

### Els valors a priori

- **Segons els valors promig**
- **Distingir dos estats del creixement del blat de moro:**  
Blat de moro jove o sòl nu  
Blat de moro madur

- **5 dies de campanya**  
3.6., 14.6., 14.7., 22.7. y 30.7.
- **6 parcel·les de blat de moro prop de Lleida**  
1 de “Eleonora”, 5 de “Oropesa”
- **Una part de les parcel·les no es va aplicar fertilització**
- **Imatges CASI amb la configuració “ASTRIUM”**
- **Mesures de camp (LAFSOL)**
  - Paràmetres del conreu
    - Àrea de les fulles, biomassa, contingut de nitrogen i aigua, mesures de *SPAD*
  - Paràmetres del sòl
    - Textura, contingut de nitrat i aigua, paràmetres químics
  - Paràmetres de conreu
    - Irrigació, fertilització,...



## Model de transferència radiativa a l'atmosfera

***Mesura CASI = Radiància directa + difusa + atmosfèrica***

## Càlcul dels paràmetres del model amb 6S

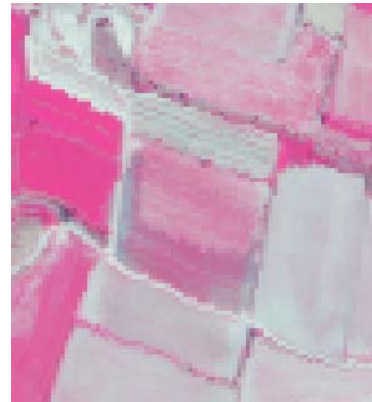
(Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum)

- Valors atmosfèrics estàndard
- Dades geomètriques d'il·luminació i observació
- Característiques radiomètriques CASI

## Resultat:

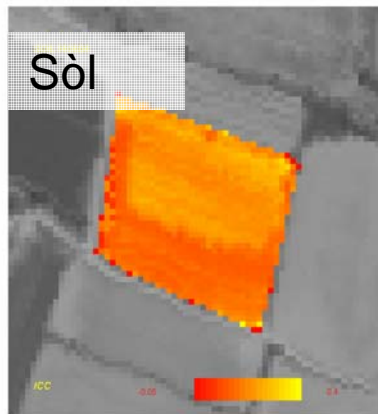
- Reflectàncies corregides al nivell de la coberta
- Obtenció de dades addicionals per models de vegetació

Imatge CASI

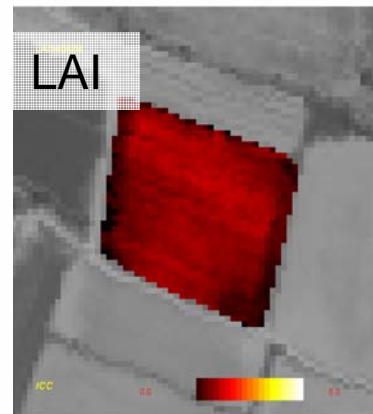


Estructures  
dintre de la  
parcel·la

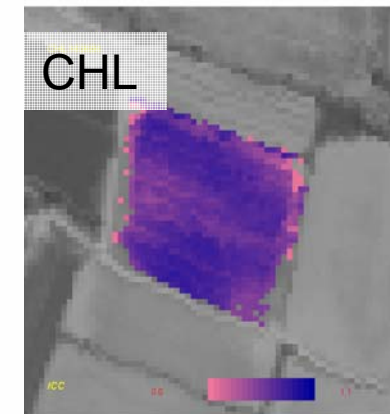
Inversió



Fons



Vegetació



3.6.2004



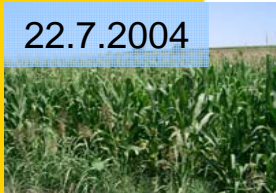
14.6.2004



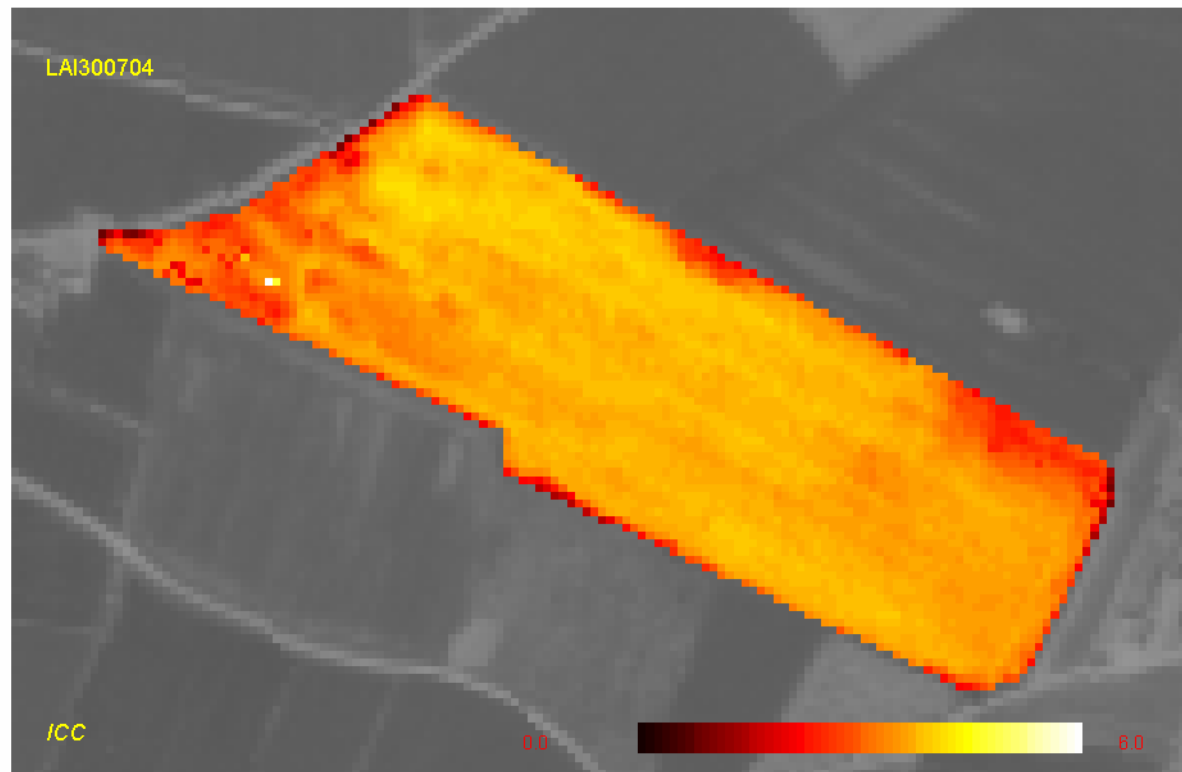
14.7.2004



22.7.2004



30.7.2004



LAI (Leaf area index): parcel·la d'estudi 9-57

3.6.2004



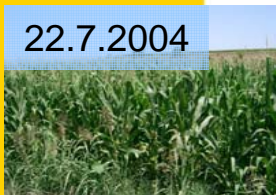
14.6.2004



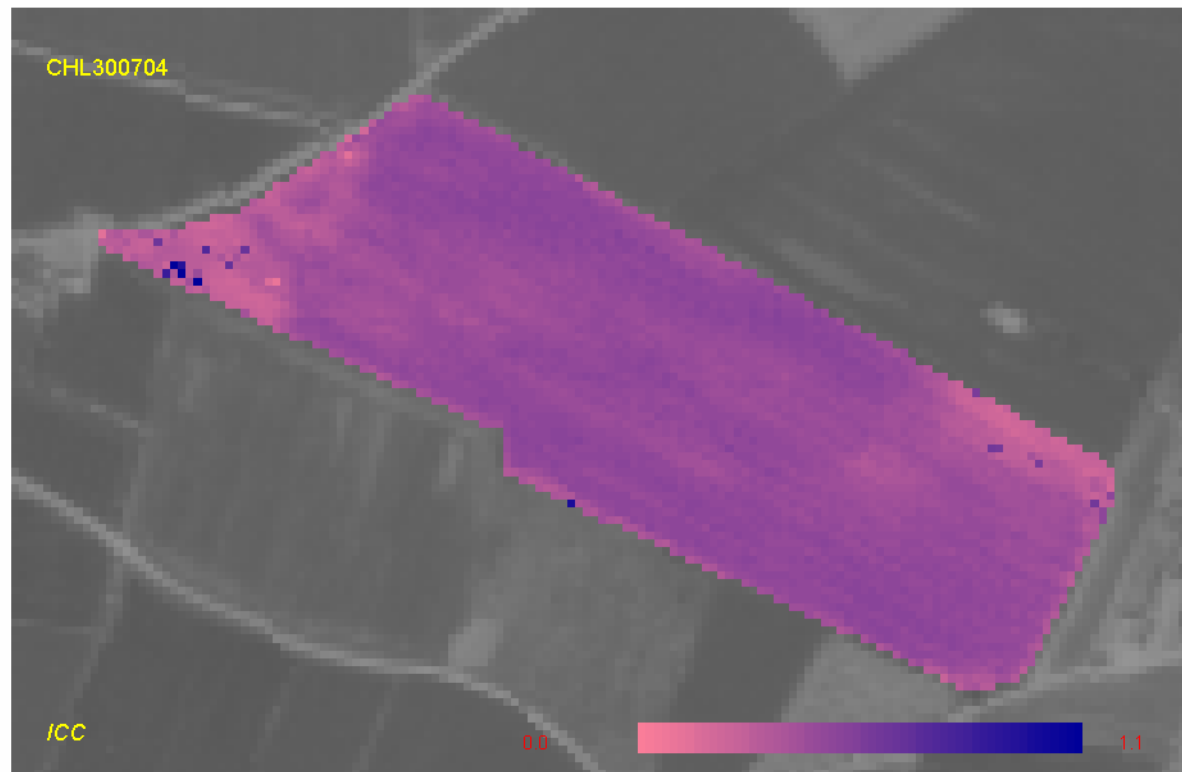
14.7.2004



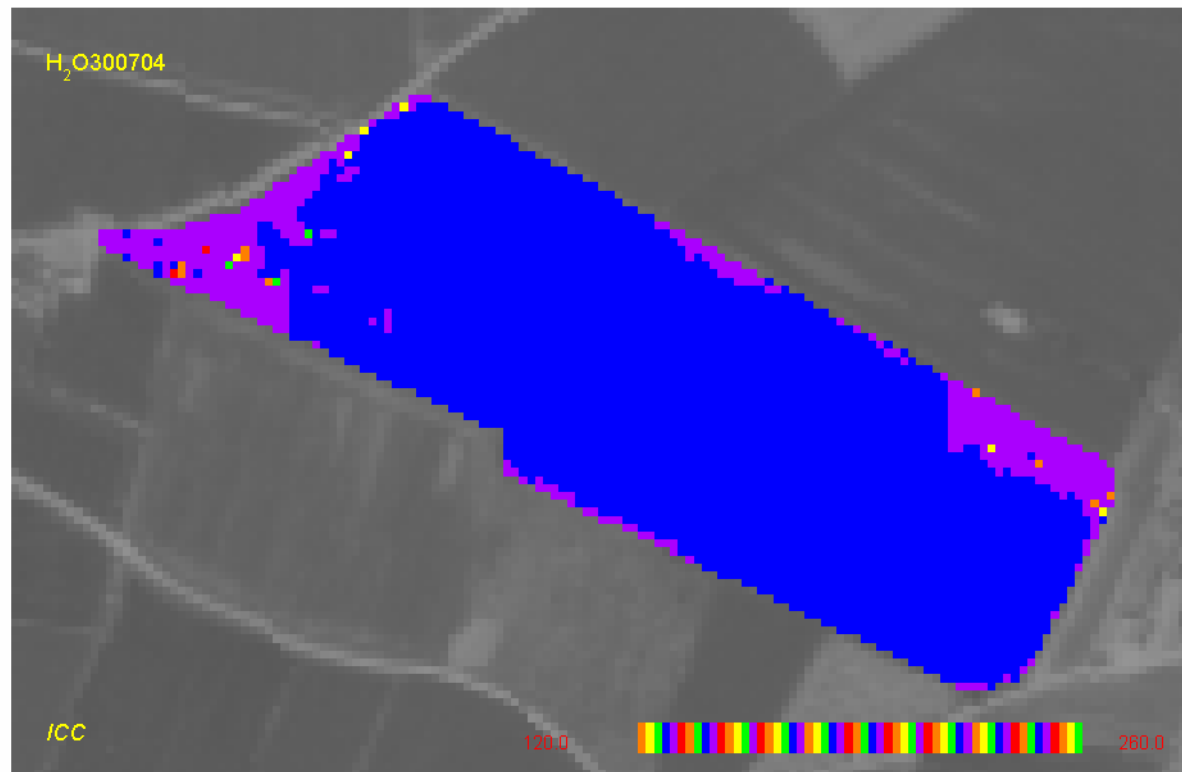
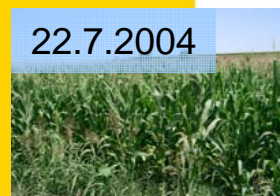
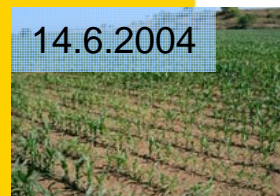
22.7.2004



30.7.2004



Contingut de clorofil·la: parcel·la d'estudi 9-57



Contingut d'aigua: parcel·la d'estudi 9-57

3.6.2004



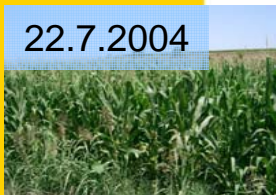
14.6.2004



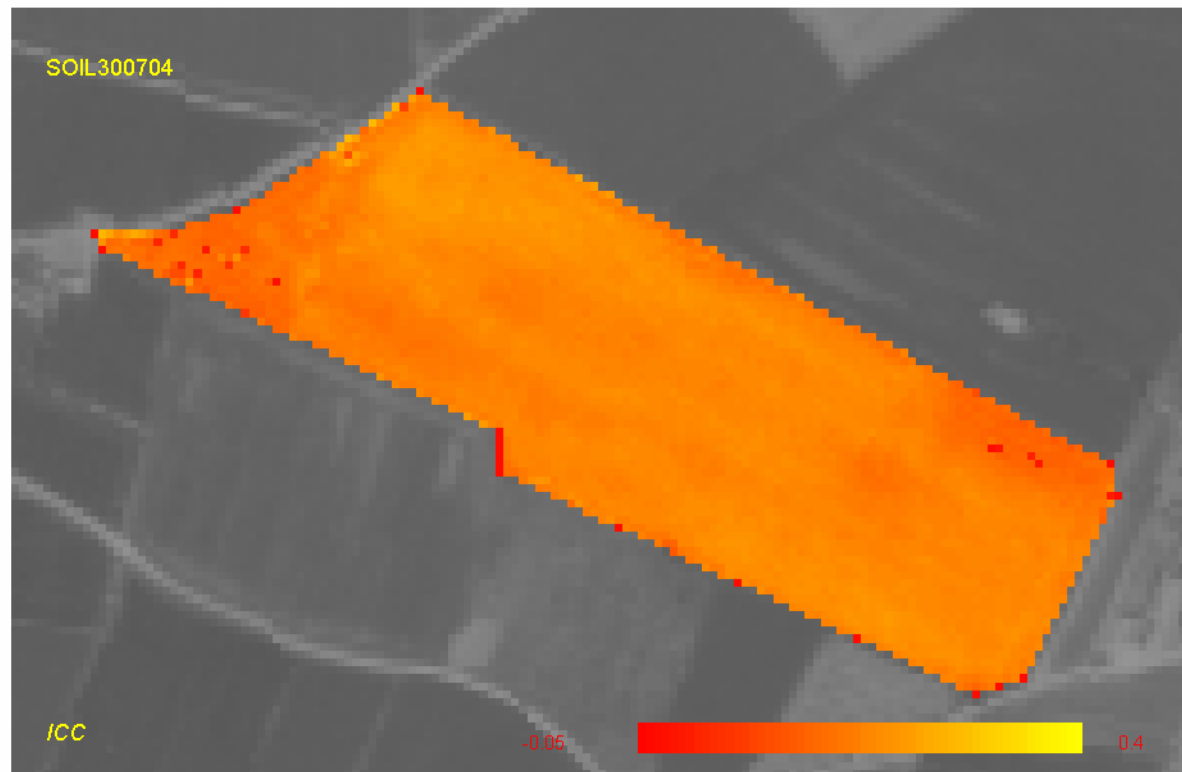
14.7.2004



22.7.2004



30.7.2004



Coeficient del sòl: parcel·la d'estudi 9-57

## **Validació amb:**

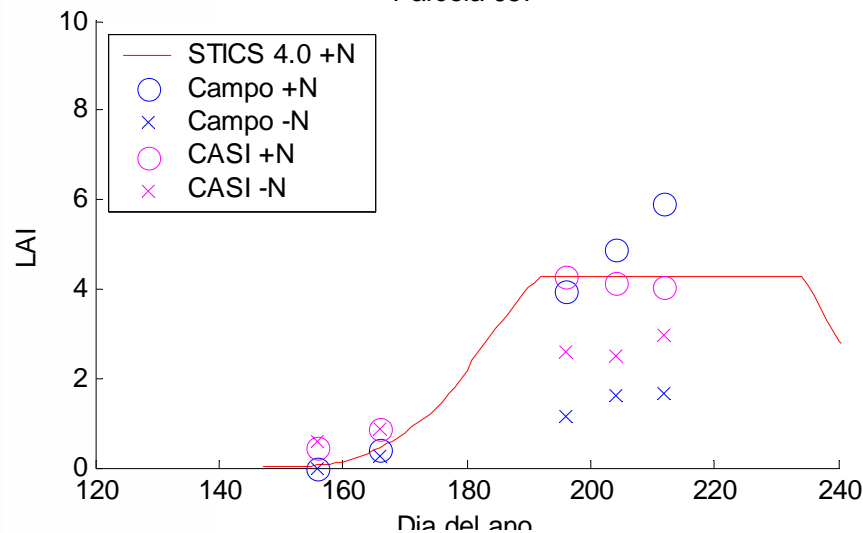
- **Les mesures de la campanya 2004**
- **Les simulacions dels models de creixement**

## **Comparació valor de camp, simulació (amb el model STICS) i inversió:**

- **LAI**
- **Clorofil·la**
- **...**

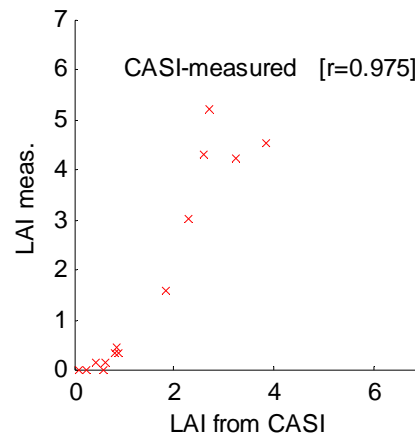
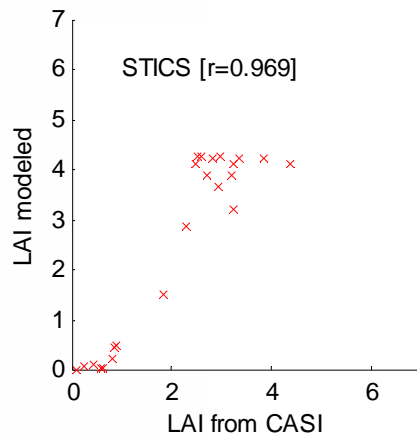


Parcela 957

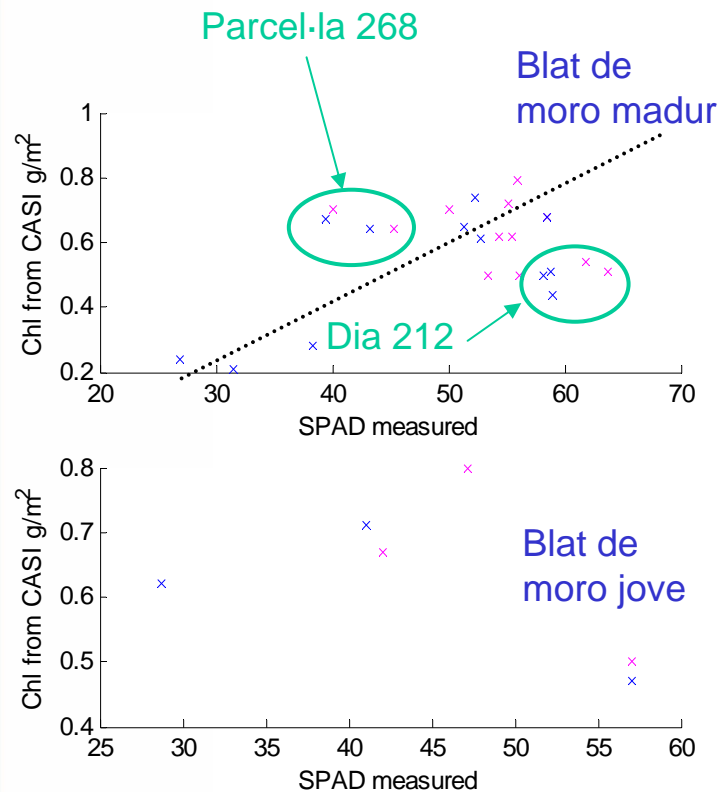


## Resultats:

- **Bona correspondència segons les precisions**
- **Valors CASI baixos pel blat de moro jove**
- **Valors de camp baixos pel blat de moro madur**







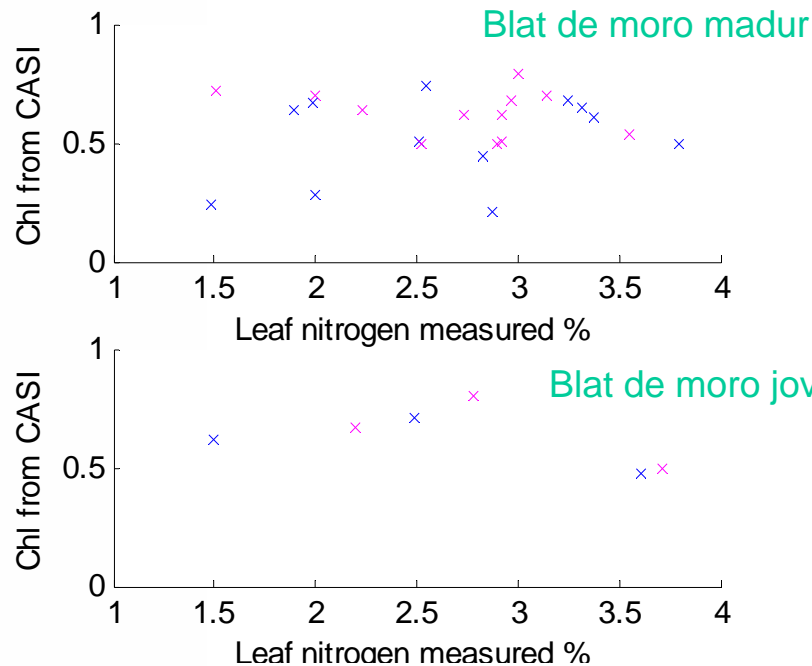
**Relacionar les mesures del SPAD (Clorofilòmetre) amb els valors derivats**

**Resultats:**

- **No correlació per a blat de moro jove**
- **Correlació feble per a blat de moro madur**

# Campanya ICC-AGRIPE a Lleida

Derivació de nitrogen de les fulles



➤ **Objectiu:**  
Derivació de nitrògens  
a partir de clorofil·la  
derivada de CASI

➤ **No relacions visibles**

### La derivació dels paràmetres del cultiu

- **Avantatge dels mètodes físics**
- **Necessitat de calibració**
- **Validació amb les dades de la campanya 2004**

Resultats bons i estables per LAI i biomassa

Resultats no verificables per la clorofil·la i el nitrogen

**Gràcies per la seva atenció!**