

*Académie Roumaine, Filiale de Iasi,
Collectif de Géographie*

ROUMANIE



Cristian-Valeriu Patriche

- chercheur scientifique dr. -

MODÉLISATION DE QUELQUES VARIABLES AGRO-CLIMATIQUES

LES OBJECTIVES

- ***l'amélioration de la spatialisation des variables agro-climatiques*** par:

- l'utilisation des multiples prédicteurs dans les modèles de régression multiple progressive et comparaison des leurs performances;
- l'emploi des moyennes calculées à l'intérieur des fenêtres glissantes des différentes grandeurs;
- l'utilisation des scores dérivés de l'analyse en composantes principales comme des variables explicatives;
- l'application du kriging des résidus pour les variables moins expliquées à l'aide de la régression (les précipitations).

- ***l'intégration des variables thermiques et radiatives dans le modèle FAO de prévision des récoltes potentielles du maïs***

LES MÉTHODES

- ***La régression multiple progressive***

$$\hat{y} = a + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i \pm \varepsilon$$

- $\hat{y}$: la variable dépendante ;
- x_i : les variables explicatives ;
- n : le nombre des variables explicatives ;
- a : le terme libre ;
- b_i : les coefficients de régression partielle ;
- ε : l'erreur standard d'estimation de la variable dépendante.

La problème des corrélations entre les prédicteurs:

- Intégration progressive, pas à pas, des variables explicatives;
- L'utilisation des scores dérivés de l'ACP appliquée aux variables explicatives élimine complètement cet effet parce que, par définition, les composantes principales sont orthogonales.

LES MÉTHODES

• **Le kriging**

Suppose l'existence de l'*auto-corrélation spatiale* pour des petites distances

Étapes

- le calcul de la *semivariogramme expérimentale*

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z_i - Z_{i+h})^2$$

- $\gamma(h)$: la semivariance des valeurs séparées par la distance h ;
- Z_i : les valeurs de la variable dans les points de coordonnées x_i ;
- Z_{i+h} : les valeurs de la variable dans les points situés à la distance h des points x_i ;
- $N(h)$: le nombre des points situés à la distance h .

- l'ajustement de la *semivariogramme expérimentale* par une *semivariogramme théorique*

Modèle sphérique

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]$$

Modèle

exponentiel

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - e^{-\left(\frac{3h}{a} \right)} \right]$$

- C_0 : le bruit (semivariance aléatoire, *nugget*);
- a : la distance maximum d'auto-corrélation (*range*);
- C_1 : la semivariance associée à la distance maximum d'auto-corrélation (*sill*)

LES MÉTHODES

•Le kriging

- Le calcul des *coefficients de pondération*

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_i, x_j) + \phi = \gamma(x_j, x_0)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

- $\gamma(x_i, x_j)$: la semivariance calculée en fonction des toutes les valeurs de l'échantillon;
- $\gamma(x_j, x_0)$: la semivariance entre le point inconnu x_0 et les autres points de l'échantillon;
- ϕ : multiplicateur Lagrange.

- *L'interpolation*: moyenne pondérée des valeurs du voisinage

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \pm \varepsilon$$

- $Z(x_0)$: la valeur estimée ;
- $Z(x_i)$: les valeurs du voisinage ;
- λ_i : les coefficients de pondération;
- ε : l'erreur standard d'estimation.

LES MÉTHODES

• Le kriging

Avantages

- garde, sans modifications, les valeurs dans les points connues
- capable de mettre en évidence les anomalies spatiales

Désavantages

- n'explique pas la distribution spatiale du paramètre étudié, l'effet des prédicteurs étant implicite

• La régression

Avantages

- la *quantification* du rôle des facteurs explicatifs dans le contrôle de la variabilité spatiale du paramètre étudié.

Désavantages

- le *lissage* de la variation spatiale réelle, la *modification* des valeurs réelles dans les points connues
- incapable de mettre en évidence des *anomalies* dans la distribution spatiale du paramètre analysé.

↓

L'approche locale est *meilleure pour rendre des éléments et phénomènes climatiques à variabilité spatiale plus accentuée* (précipitations, vent etc.), qui dépendent en principal des facteurs dynamiques

↓

Le modèle de régression est *mieux adapté aux éléments climatiques à variation spatiale plus faible* (température, humidité, insolation etc.), qui dépendent plus des facteurs radiatifs.

↓

Le meilleur système d'interpolation est probablement le système mixte du ***kriging des résidus***

LES MÉTHODES

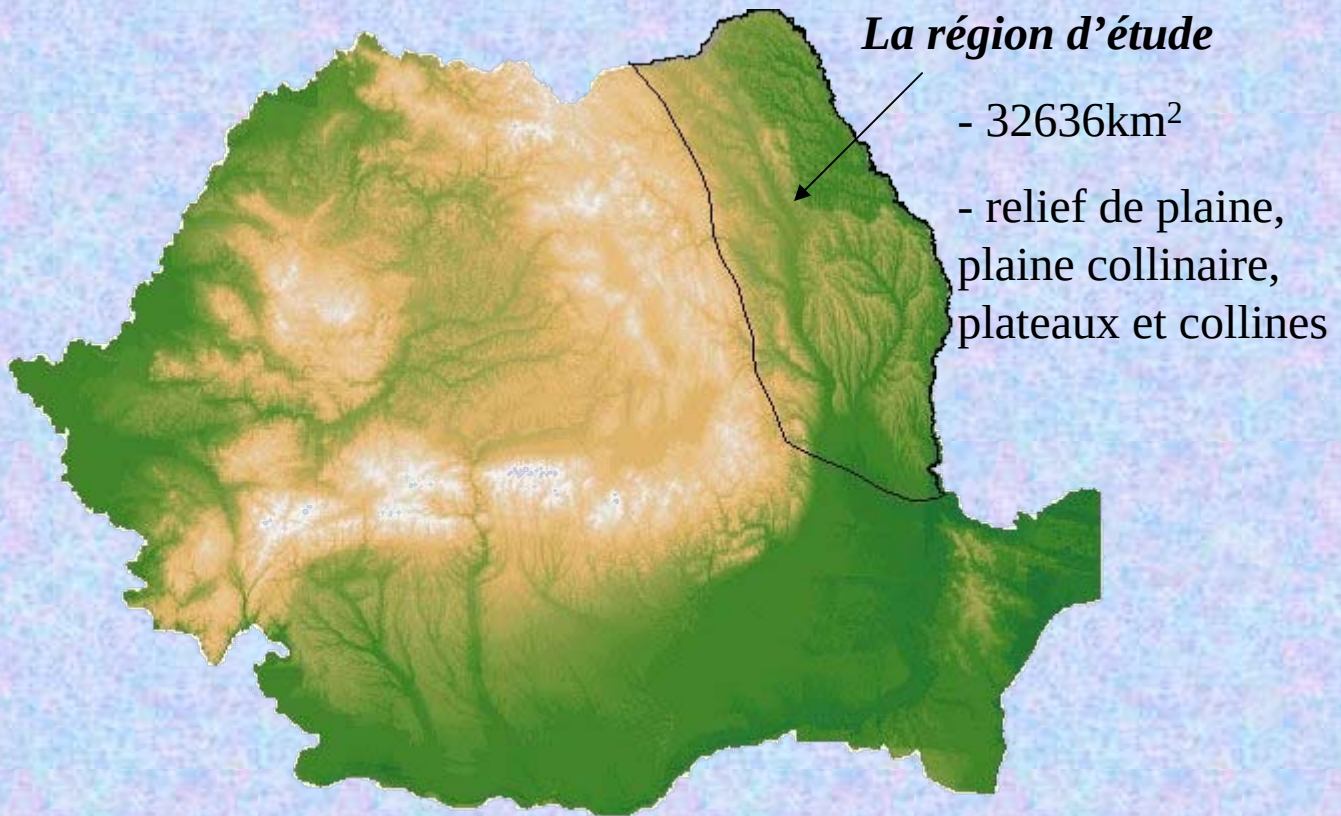
• **Le modèle de prévision des récoltes potentielles**

- La récolte potentielle est la *récolte maximum* possible dans un territoire, qui est *limitée seulement par la capacité de photosynthèse des plantes*, manifestée dans des conditions radiatives et thermiques données
- Le modèle a été élaboré par De Wit (1965) et adopté par FAO dans Le Projet des Zones Agro-écologiques (1978)

$$Y = B_n \cdot H_i = KLAI \cdot 0,36 \cdot b_{gm} / [(1 / L) + 0,25 \cdot ct]$$

- Y : la récolte potentielle (kg/ha) ;
- B_n : la production totale de la biomasse nette (kg/ha) ;
- H_i : l'indice de la récolte (la partie utile de la biomasse nette) ;
- b_{gm} : la rate maximum de la production de biomasse brute (kg CH₂O/ha·h) ;
- L : la longueur du cycle de végétation (jours) ;
- ct : le coefficient de respiration ;
- $KLAI$: le coefficient de correction pour l'indice foliaire.

LES DONNÉES D'ENTRÉES



- **agro-climatiques** (moyennes 1962-1992 pour le cycle de végétation du maïs)

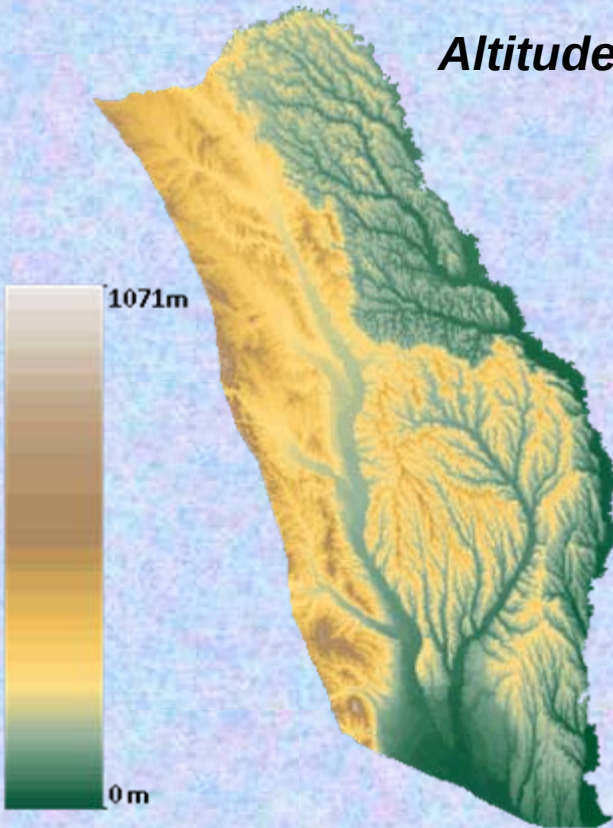
- la date moyenne du début du cycle de végétation : 15 points ;
- la température journalière : 15 points ;
- la température pendant le jour : 21 points ;
- la durée réelle d'ensoleillement : 11 points ;
- la fraction d'insolation : 11 points ;
- l'humidité relative : 20 points ;
- les précipitations : 28 points.

- **modèle numérique du terrain** (dérivée SRTM, 90x90m)

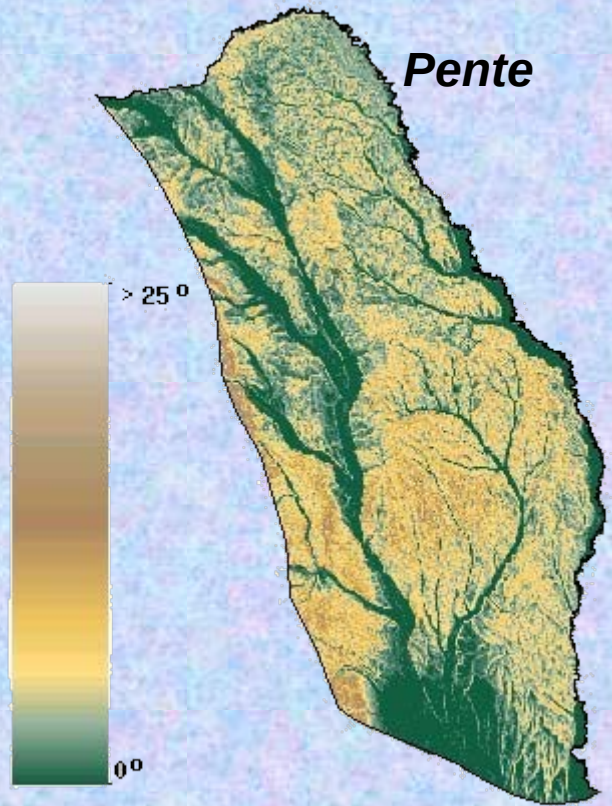
RÉSULTATS

- *Les prédicteurs potentiels*

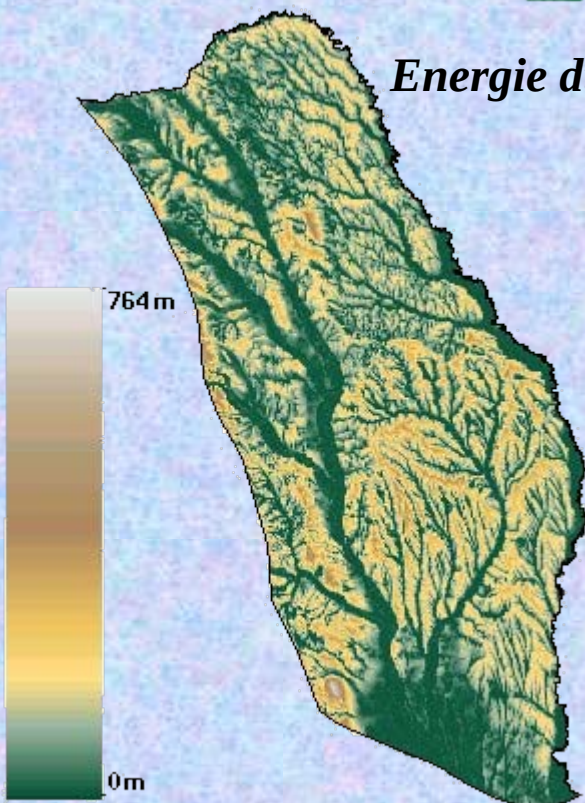
Altitude



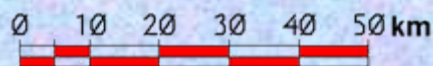
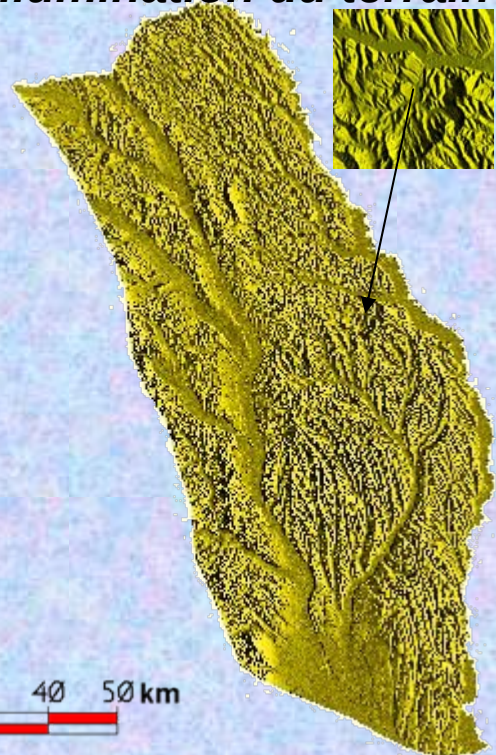
Pente



Energie du relief

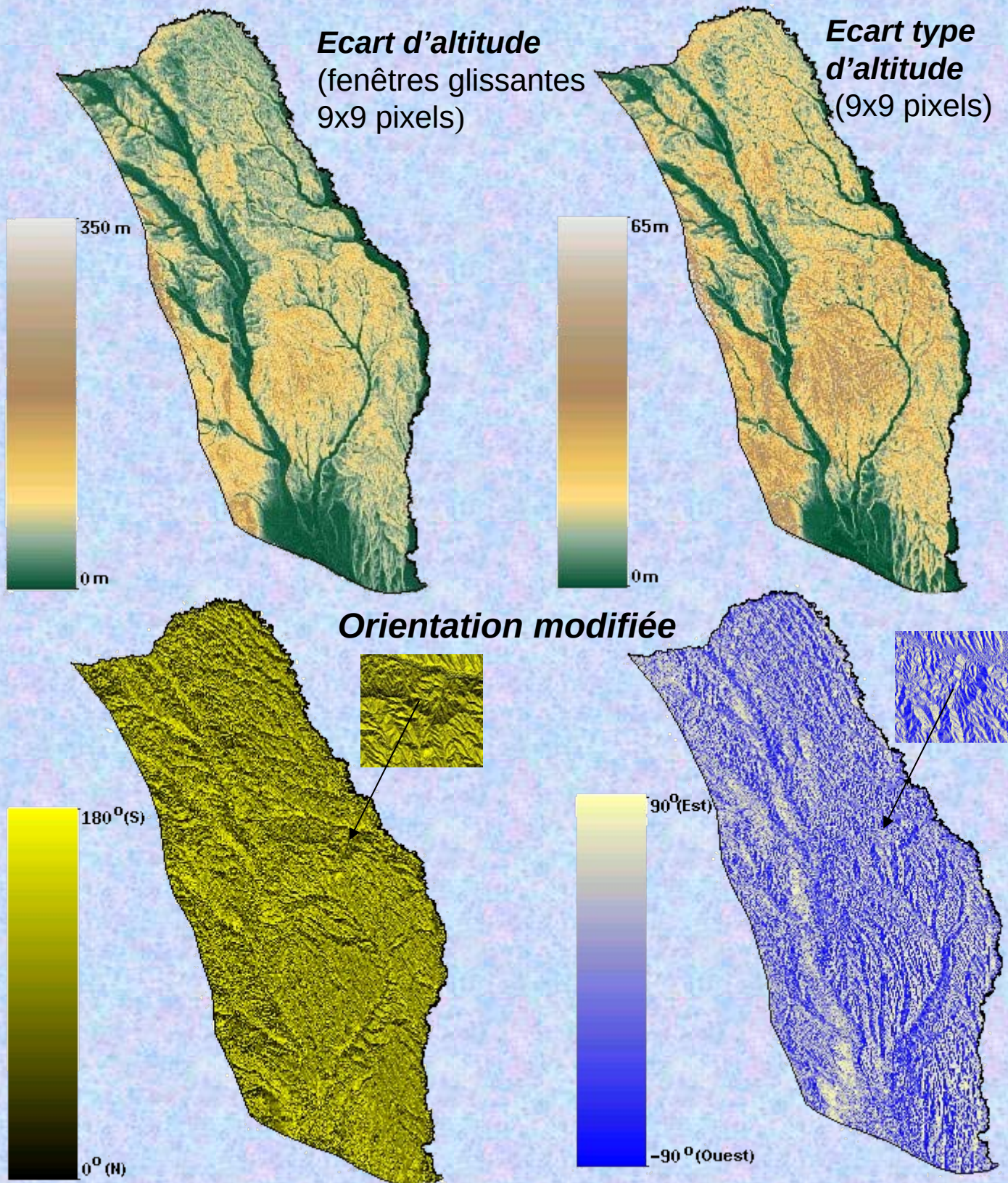


Illumination du terrain



RÉSULTATS

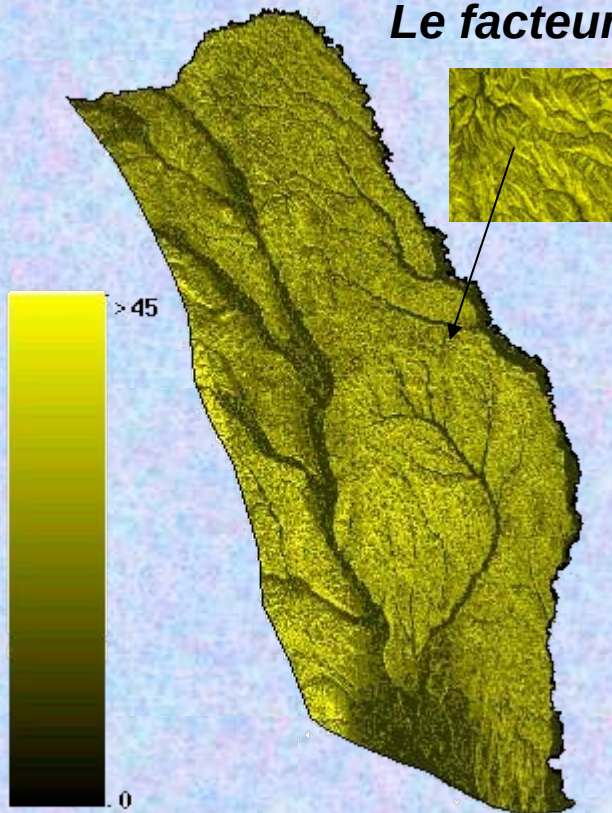
- *Les prédicteurs potentiels*



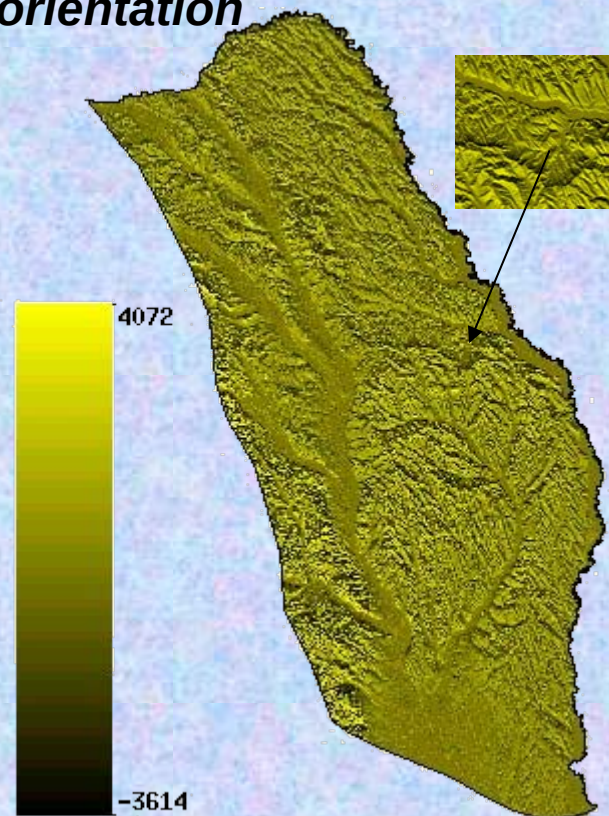
RÉSULTATS

• *Les prédicteurs potentiels*

Le facteur pente-orientation



multiplication des valeurs standardisées (0-100) des orientations modifiées N-S avec les valeurs standardisées (0-100) des pentes



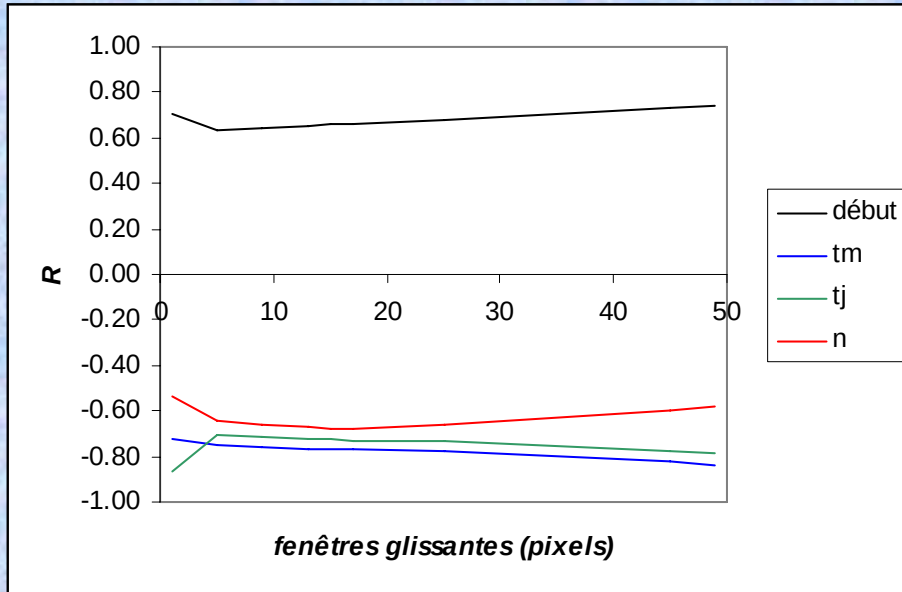
soustraction de la valeur 50 des valeurs standardisées des orientations modifiées N-S et multiplication des valeurs résultées par la pente standardisée

Des autres prédicteurs:

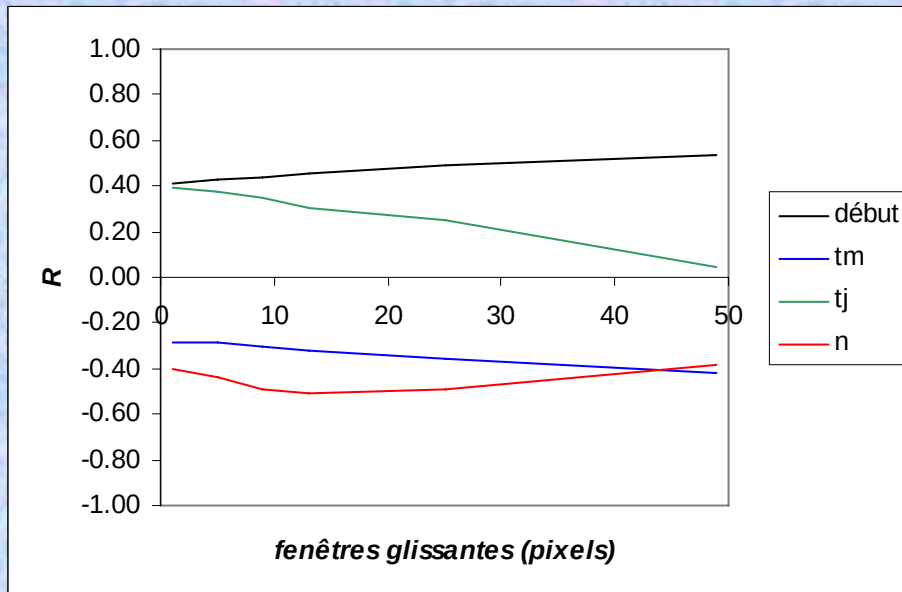
- Les coordonnées géographiques : latitude et longitude;
- Les premières 3 composantes principales dérivées, par l'intégration des prédicteurs principaux, de l'analyse en composantes principales;
- les moyennes de l'altitude et énergie du relief calculées aux centres des fenêtres glissantes des différentes grandeurs (de 5x5 pixels jusqu'à 49x49 pixels)

RÉSULTATS

• Les fenêtres glissantes



altitude



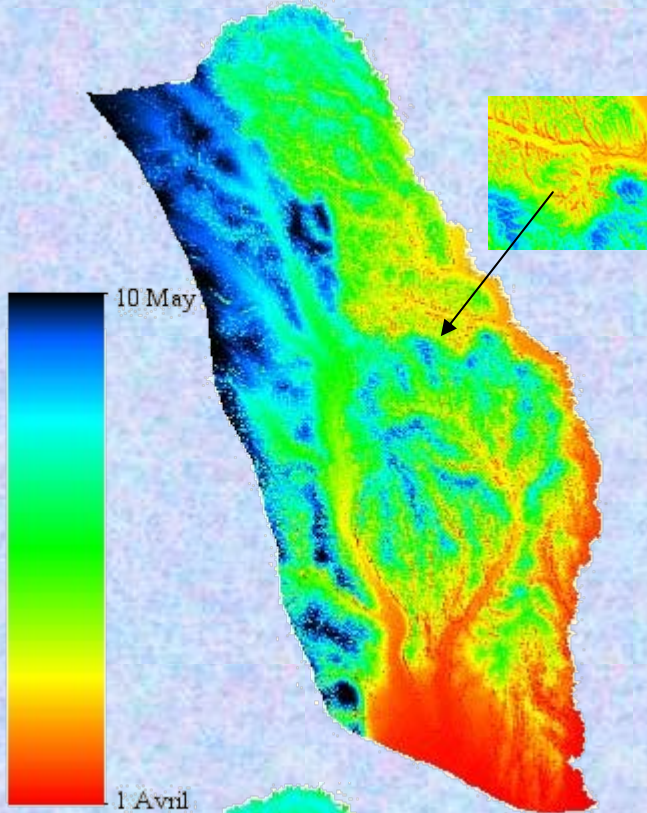
énergie du relief

- La technique des fenêtres glissantes est *utile pour la plupart des variables thermiques et radiatives*, pouvant augmenter la variance expliquée de la variable dépendante jusqu'à 18%
- La technique n'a pas été utile pour l'humidité relative, à cause probablement de la faible variation spatiale de ce paramètre et pour les précipitations, à cause de leur caractère local

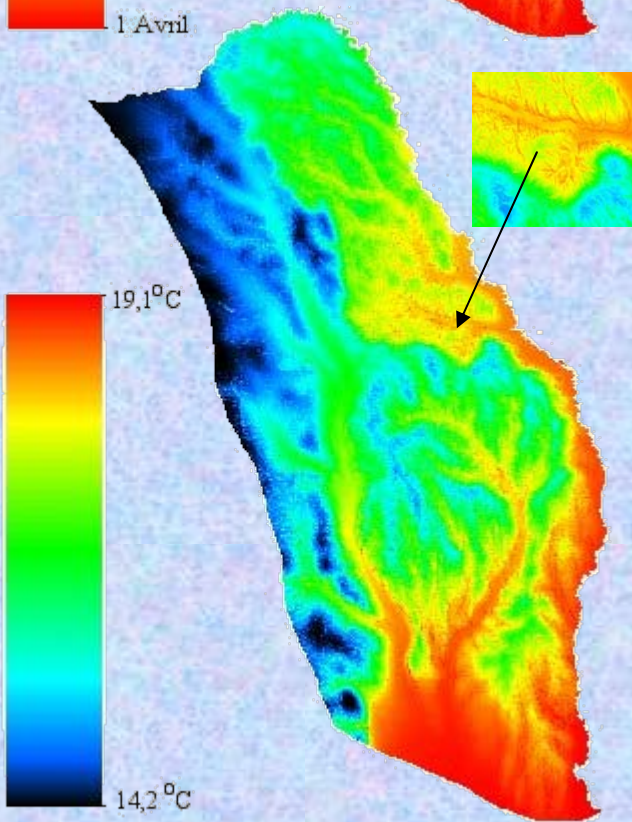
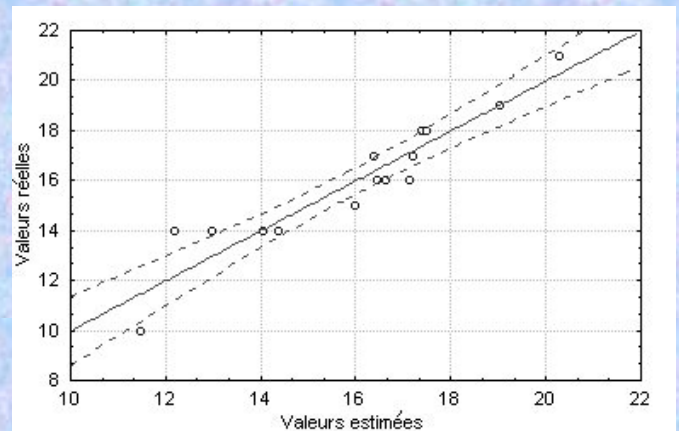
RÉSULTATS

• Les régressions

• La date moyenne du début du cycle de végétation

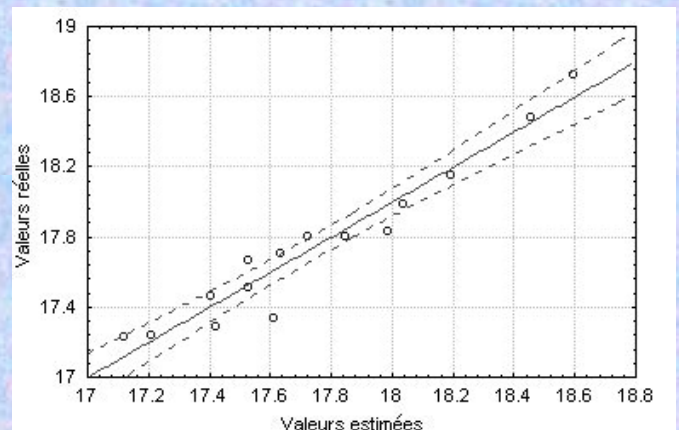


Prédicteurs	Coefficients standardisés	Terme libre / coefficients	Signification statistique	R ² / signification statistique	Erreur standard
La date moyenne du début du cycle de végétation					
MNT 49x49	0.574	-79.697	0.0024	0.886	1.053
Latitude	0.602	1.9798	0.0009	0.0001	
P_Exp1	-0.310	-0.3665	0.0360		
Energie 49x49	0.162	0.0187	0.2669		



• La température moyenne du cycle

Prédicteurs	Coefficients standardisés	Terme libre / coefficients	Signification statistique	R ² / signification statistique	Erreur standard
MNT 49x49	-0.704	32.801	<0.0001	0.933	0.13
Latitude	-0.552	-0.3077	<0.0001	<0.0001	
P_Exp1	0.146	0.0293	0.1248		

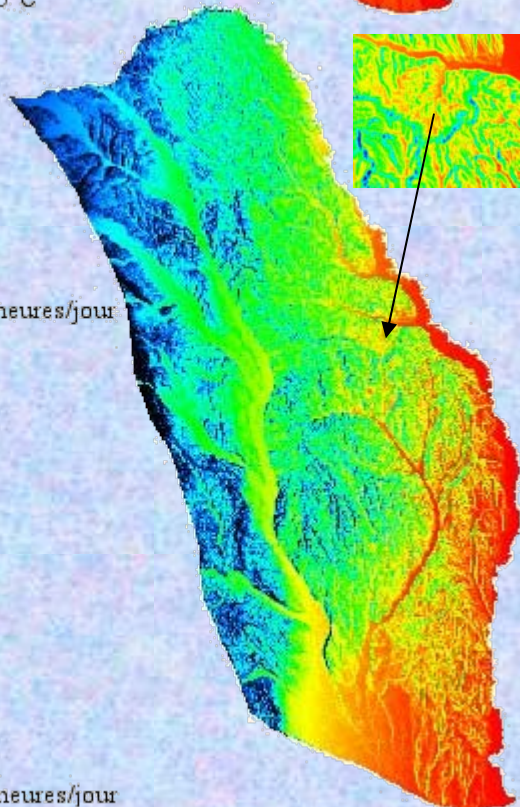
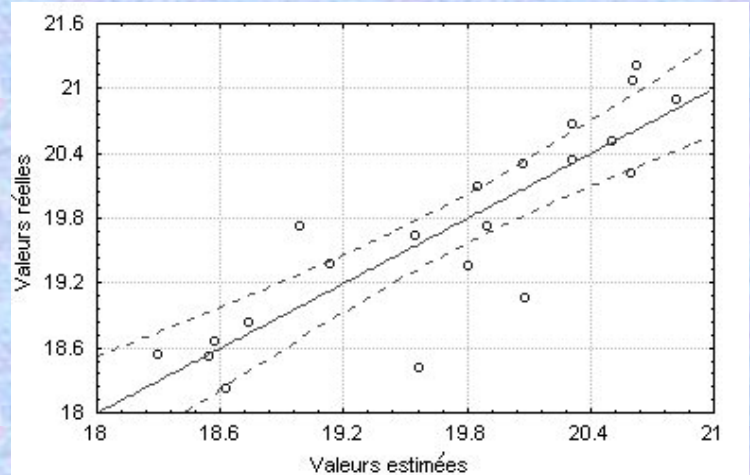
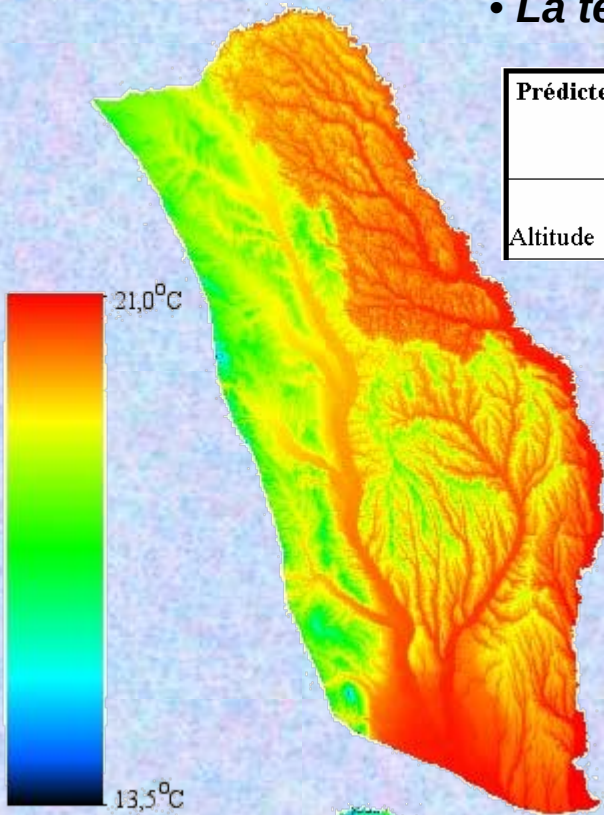


RÉSULTATS

• Les régressions

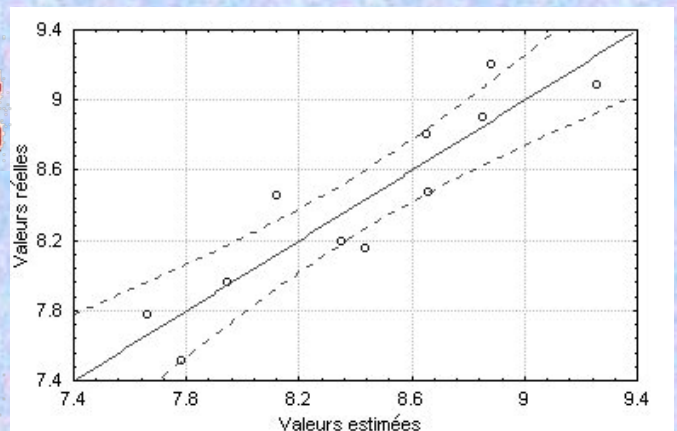
• La température moyenne pendant le jour

Prédicteurs	Coefficients standardisés	Terme libre / coefficients	Signification statistique	R ² / signification statistique	Erreur standard
Altitude	-0.863	21.025 -0.007	<0.0001 <0.0001	0.744 <0.0001	0.48



La durée réelle d'ensoleillement

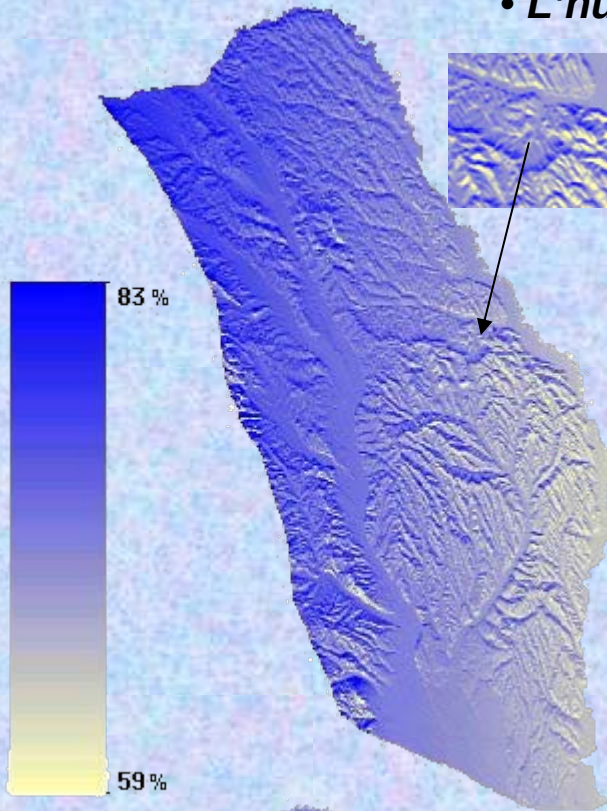
Prédicteurs	Coefficients standardisés	Terme libre / coefficients	Signification statistique	R ² / signification statistique	Erreur standard
Longitude	0.800	-14.373 0.7991	0.0110 0.0013	0.835 0.0039	0.27
Ecart d'altitude	-0.301	-0.0076	0.0928		
Illumination du terrain	0.214	0.0079	0.2161		



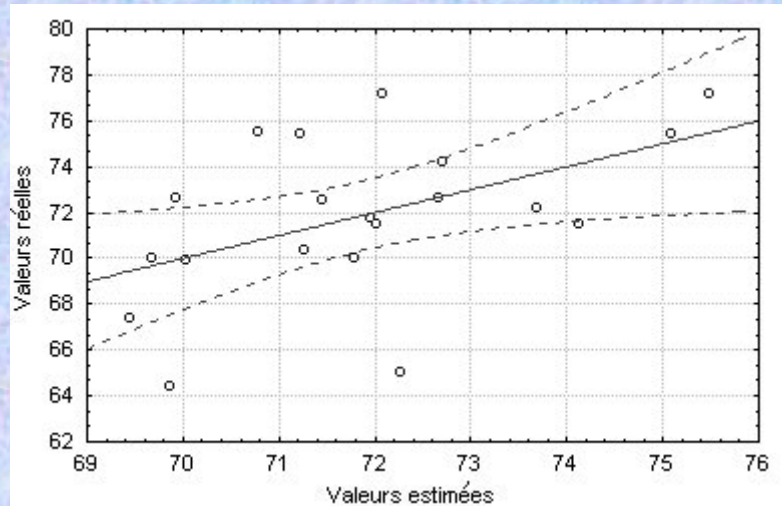
RÉSULTATS

• Les régressions

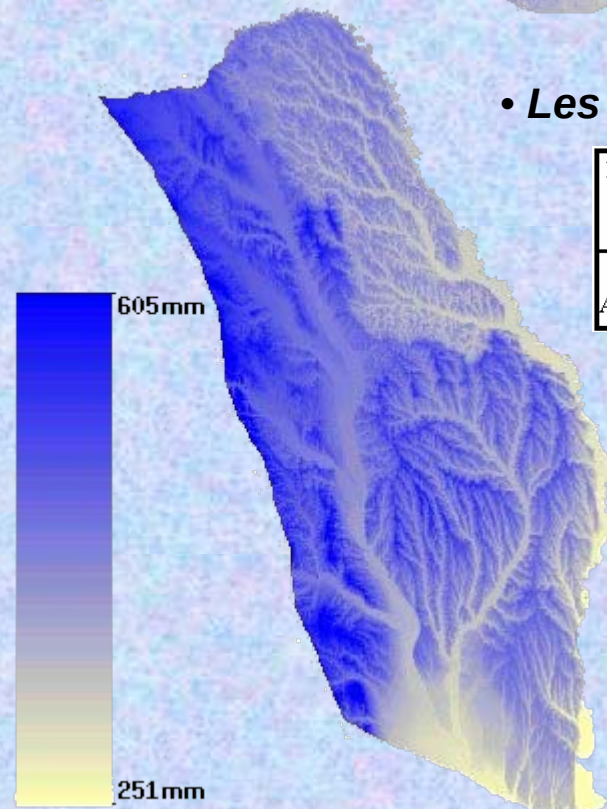
• L'humidité relative moyenne du cycle



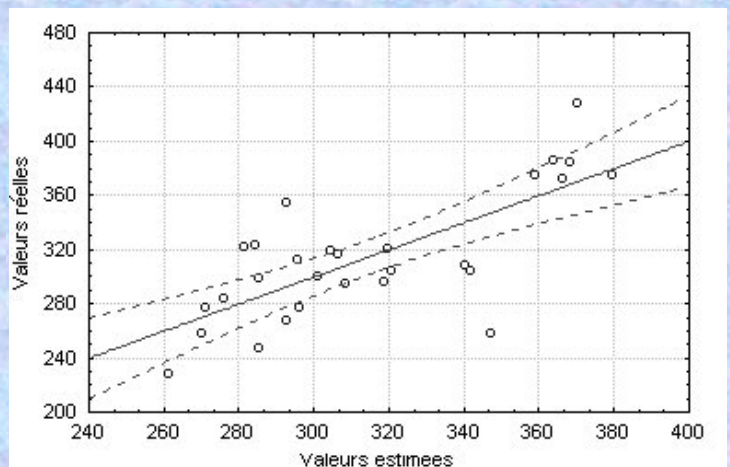
Predicteurs	Coefficients standardisés	Terme libre / coefficients	Signification statistique	R ² / signification statistique	Erreur standard
L'humidité relative moyenne du cycle					
Longitude	-0.416	138.553 -2.453	0.0008 0.0676	0.242 0.0946	3.25
P_Exp2 9x9	-0.325	-0.011	0.1453		



• Les précipitations moyennes du cycle



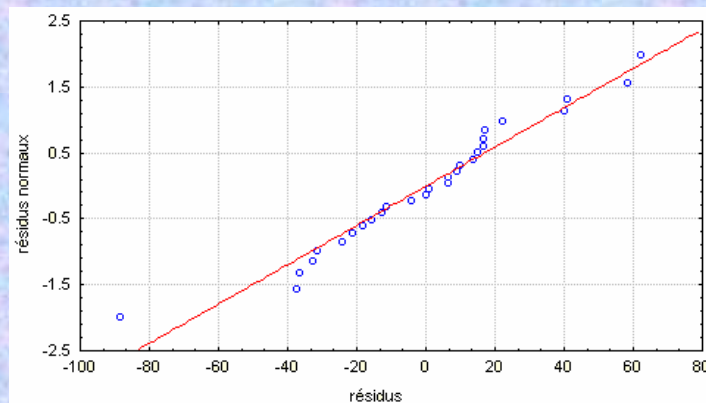
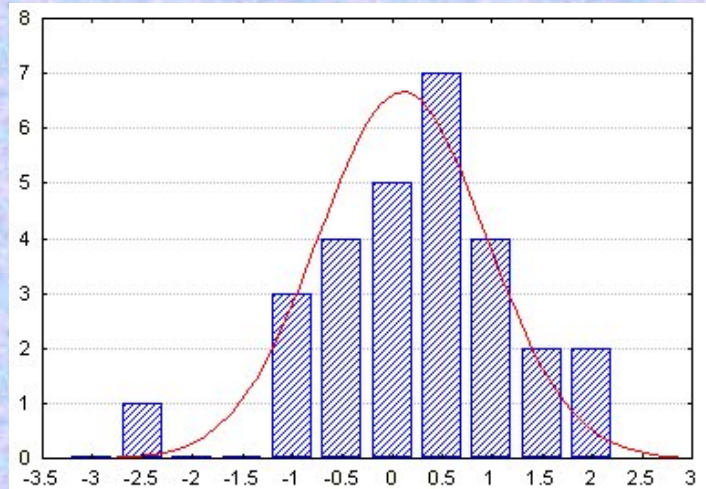
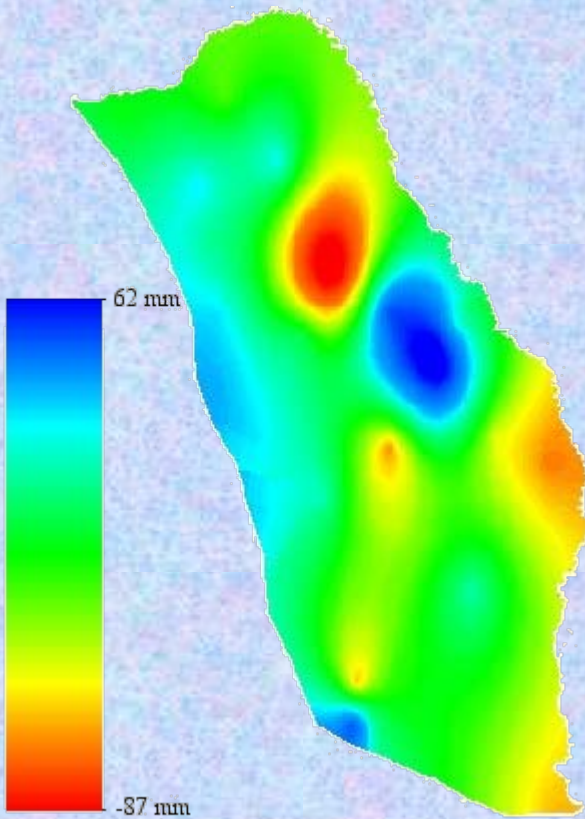
Predicteurs	Coefficients standardisés	Terme libre / coefficients	Signification statistique	R ² / signification statistique	Erreur standard
Les précipitations moyennes du cycle					
Altitude	0.745	251.308 0.33	<0.0001 <0.0001	0.555 <0.0001	32.26



RÉSULTATS

• Le kriging des résidus

(Les précipitations moyennes du cycle)

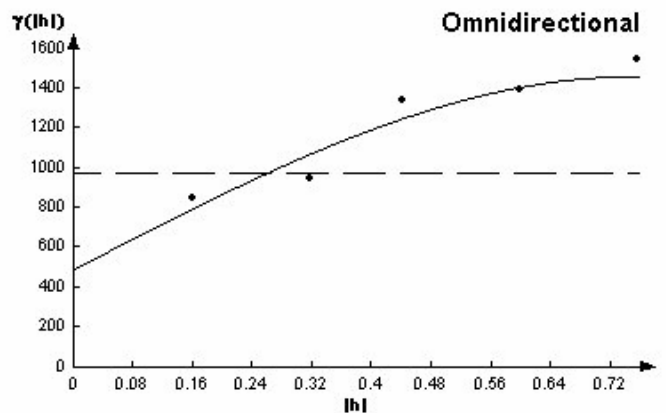


Indicative goodness of fit

current fit: 1.2984e-02
best fit found: 1.2984e-02

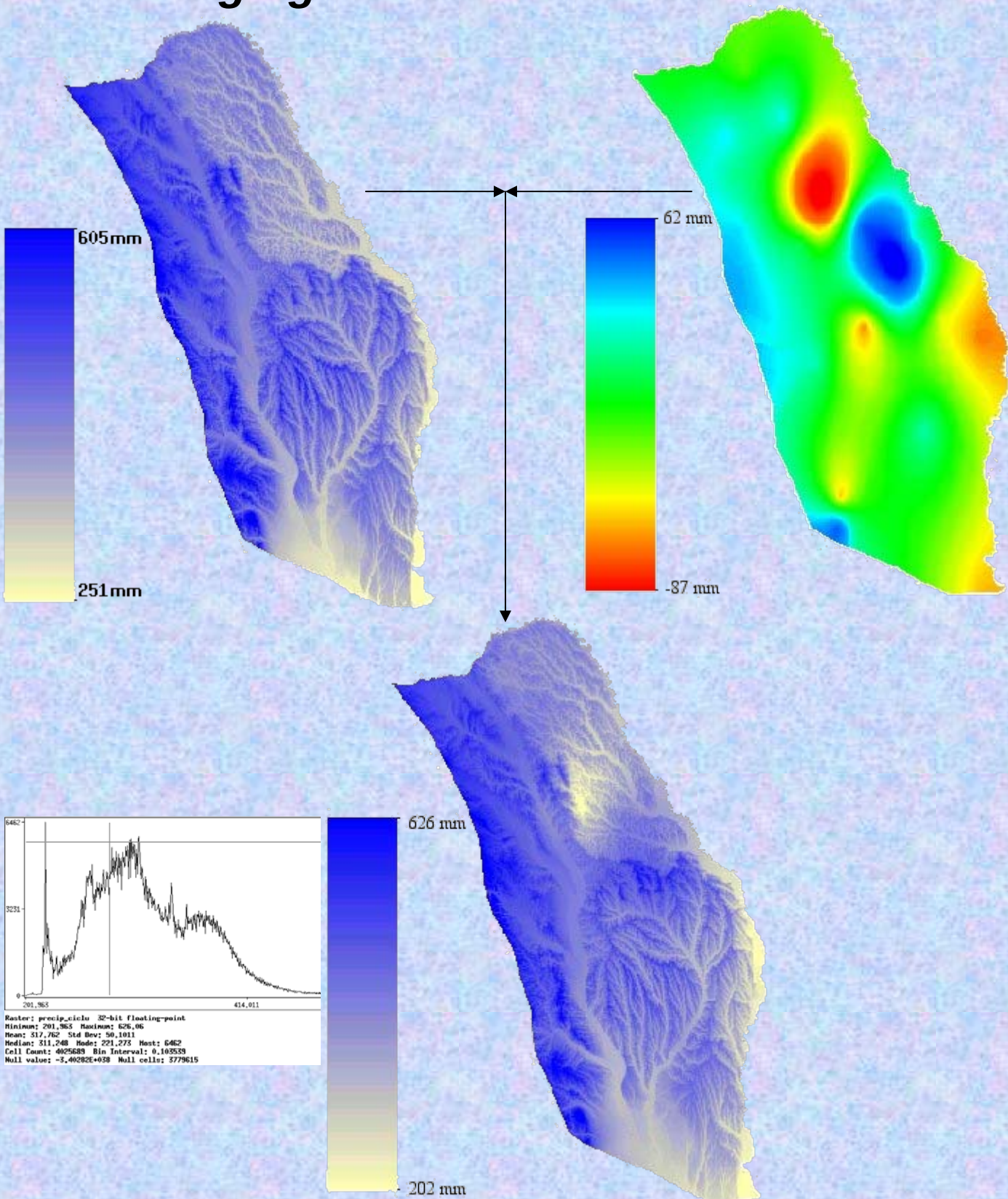
Nugget: 492.954

1st structure	2nd structure	3rd structure
Dir.: 90	Dir.: 0	Dir.: 0
Model: Spherical	Model:	Model:
Range: 0.7475	Range: 0	Range: 0
Sill: 970	Sill: 0	Sill: 0
Anis.: 1	Anis.: 1	Anis.: 1



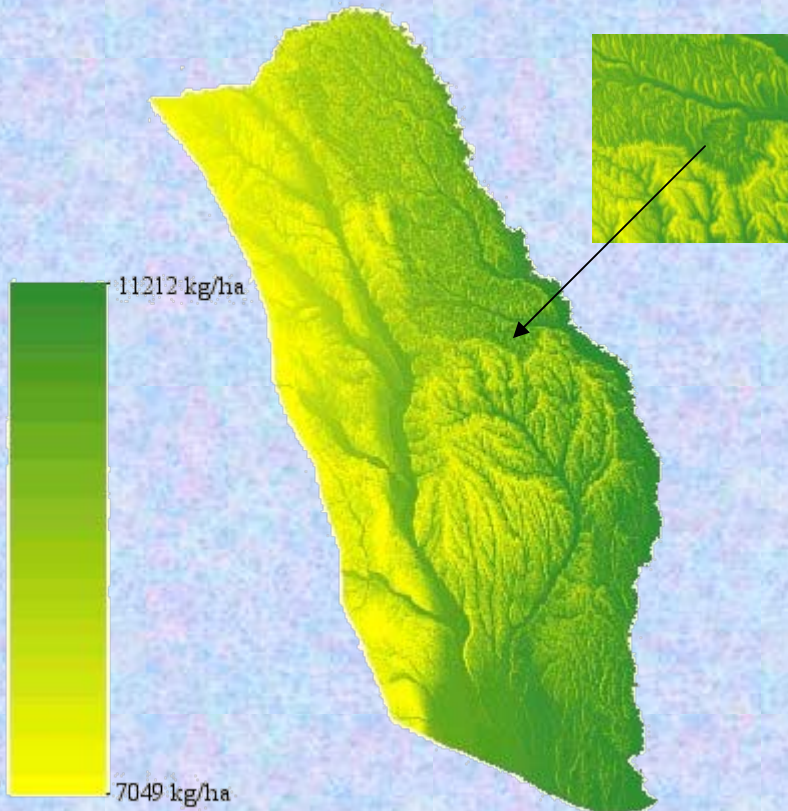
RÉSULTATS

- *Le kriging des résidus*



RÉSULTATS

• Les récoltes potentielles



Paramètres		Valeurs			
		moyenne	minimum	maximum	écart-type
D'entrées	d	18 Avril	1 Avril	9 May	3.8
	L	135			
	tm	17.3	14.2	19.1	0.7
	td	19.5	14.5	21	0.9
	f	0.55	0.33	0.65	0.04
	bo	250.64			
	bc	480.72			
	H _i	0.35			
Dérivés	ct	0.00408	0.00296	0.00482	0.00027
	Pm	62.8	41	65	2.6
	KLAI	0.85			
	bgm	709	502	791	42.4
De sorties	B _n	25739	18635	28352	1364
	Y	9008	6238	9923	477.4
	Y _{tot}	10179	7049	11213	539.5

d : la date du début du cycle de végétation ; L : la durée du cycle ; tm : la température moyenne du cycle ; td : la température moyenne pendant le jour ; f : la fraction d'insolation ; bo : la rate maximum d'accumulation de la biomasse brute au ciel couvert ; bc : la rate maximum d'accumulation de la biomasse brute au ciel clair ; H_i : l'indice de la récolte ; ct : le coefficient de la respiration ; Pm : la rate maximum de la photosynthèse ; KLAI : coefficient de correction pour l'indice foliaire ; bgm : la rate maximum de la production de la biomasse brute ; B_n : la production de biomasse brute ; Y : la récolte potentielle sèche ; Y_{tot} : la récolte potentielle totale (corrigée pour le contenu en eau).

CONCLUSIONS

- L'étude démontre ***l'utilité de la technique des fenêtres glissantes*** pour calculer les moyennes des prédictors qui vont être utilisées ultérieurement dans les modèles de régression. Cette technique est utile pour la plupart des variables thermiques et radiatives, pouvant augmenter la variance expliquée de la variable dépendante jusqu'à 18%. La technique des fenêtres glissantes n'a pas été utile pour l'humidité relative, à cause probablement de la faible variation spatiale de ce paramètre et pour les précipitations, à cause de leur caractère local.
- ***La variance expliquée*** par les modèles de régression sélectionnés comme les meilleurs par la technique d'insertion progressive des prédictors ***est plus grande pour les variables thermiques et radiatives*** (74-93%), à cause de leur dépendance principale des facteurs radiatifs et moins grande pour les précipitations (43-55%), à cause de leur dépendance principale des facteurs dynamiques et aussi pour l'humidité relative, à cause de la faible variation spatiale.
- Les modèles de régression emploient ***1-4 prédictors*** parmi lesquels l'altitude est le plus important. Autres prédictors que nous avons trouvés utiles pour la spatialisation des nos variables dépendantes sont : la latitude, la longitude, le facteur pente-orientation, l'énergie du relief, l'écart d'altitude et l'illumination du terrain.
- ***L'emploi des scores des composantes principales*** comme prédictors ***donne des modèles de régression plus faibles*** que les modèles qui utilisent les prédictors bruts. Il y a quand même l'avantage de l'orthogonalité des composantes principales, ce qui impose que leur utilisation doivent être toujours testés.

CONCLUSIONS

- L'utilisation du ***kriging des résidus*** pour les précipitations ***met en évidence des anomalies*** dans la distribution spatiale de ce paramètre, associés aux aires de föehnisation, d'augmentation des précipitations par l'effet orographique et aux zones d'aridité accentuée à cause des influences est-européen.
- ***Le modèle de kriging*** élaboré automatiquement à l'aide du logiciel ***TNTMips n'est pas toujours le meilleur***, ce qui impose l'utilisation d'un autre logiciel plus spécialisé pour la détermination des paramètres kriging (VARIOWIN en notre cas).
- ***Les récoltes potentielles du maïs sont assez proche du niveau génétique*** (environ 85%), mais les conditions réelles du terrain et celles de nature économique imposent des réductions importantes (environ 70-75%).