

# Chapitre 16

## Spatialisation des données agronomiques

### 16.1 Les sols

Le modèle STICS nécessite en entrée des données sur les sols caractérisant notamment les réserves en eau disponibles pour la végétation.

Ces caractéristiques sont :

- l'épaisseur de chaque horizon de sol ;
- l'humidité du sol à la capacité au champ ;
- l'humidité du sol au point de flétrissement ;
- le taux d'éléments grossiers ;
- la densité apparente ;
- des caractéristiques de l'horizon de surface comme la teneur en argiles, la teneur en azote organique, la teneur en calcaire, le pH et la profondeur de la couche minéralisante.

Une étape préliminaire à la spatialisation des types de sols sur la plaine de la Crau a consisté à calculer l'ensemble des variables nécessaires au fonctionnement de STICS pour chaque profil de sol disponible sur la carte pédologique d'Arles (BOUTEYRE et DUCLOS 1994). Spatialement, les sols sur lesquels sont implantées les prairies ont été caractérisés en deux étapes :

- la première a consisté à distinguer, sur la carte pédologique d'Arles numérisée et la base de données regroupant les résultats de l'ensemble des sondages, les principaux types de sol dont les caractéristiques montrent des similarités ;
- la seconde à caractériser plus finement les sols sous prairies irriguées.

Les sondages de sol de la carte pédologique effectués dans les prairies montrent une grande hétérogénéité des matériaux. Celle-ci s'explique par l'effet séculaire de l'irrigation qui a construit des sols grâce aux apports de limons contenus dans les eaux de la Durance et utilisées pour l'irrigation. Une étude consistant à définir l'âge des prairies fondée sur différentes sources d'informations a permis la représentation spatiale de ces sols.

### 16.1.1 Prétraitement des sondages de la carte pédologique

Les sondages de la carte pédologique d'Arles contiennent des informations sur la profondeur de chaque horizon, la texture des sols, le taux d'éléments grossiers, la teneur en matière organique, le taux de calcaire et le pH. L'humidité du sol à la capacité au champ et au point de flétrissement ont été calculées en utilisant une fonction de pédotransfert décrite par Wösten (WÖSTEN et al. 1999) et utilisée en Europe pour la base de données HYPRES.

L'humidité du sol à la capacité au champ et au point de flétrissement ont été calculées en utilisant les équations de Mualem van Genuchten (GENUCHTEN 1980) :

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha\psi|^n)^m}, m = 1 - 1/n, \quad (16.1)$$

où  $\psi$  correspond à la hauteur d'eau,  $\theta(\psi)$  a été calculé pour  $\psi = 320$  cm, correspondant à l'humidité à la capacité au champ et  $\psi = 15\,800$  cm soit  $pF = 4,2$  correspondant à l'humidité au point de flétrissement. Les fonctions de pédotransfert sont (WÖSTEN et al. 1999) :

$$\begin{aligned} \theta_s = & 0,7919 + 0,001691C - 0,26619D - 1,491 \times 10^{-6}S^2 + 8,21 \times 10^{-5}OM^2 \\ & + 0,02427C^{-1} + 0,01113S^{-1} + 0,01472 \ln S - 7,3 \times 10^{-5}OM \cdot C - \\ & 6,19 \times 10^{-4}D \cdot C - 0,001183D \cdot OM - 1,664 \times 10^{-4}\text{topsoil} \cdot S \end{aligned} \quad (16.2)$$

$$\begin{aligned} \alpha = & -14,96 + 0,03135C + 0,0351S + 0,646OM + 15,49D - 0,192 \cdot \text{topsoil} \\ & - 4,671D - 7,81 \times 10^{-4}C - 0,00687OM + 0,0449OM^{-1} + 0,06633 \ln S \\ & + 0,1482 \ln OM - 0,04546D \cdot S - 0,4852D \cdot OM + 0,00673 \cdot \text{topsoil} \cdot C \end{aligned} \quad (16.3)$$

$$\begin{aligned} n = & -25,23 - 0,02195C + 0,0074S - 0,1940OM + 45,5D - 7,24D^2 \\ & + 3,658 \times 10^{-4}C^2 + 0,002885OM^2 - 12,81D^{-1} - 0,1524S^{-1} \\ & - 0,01958OM^{-1} - 0,2876 \ln S - 0,0709 \ln OM - 44,6 \ln D - 0,02264D \cdot C \\ & + 0,0896D \cdot OM + 0,00718\text{topsoil} \cdot C, \end{aligned} \quad (16.4)$$

où *topsoil* vaut 1 pour l'horizon de surface et 0 pour les horizons profonds,  $C$  est le pourcentage d'argiles,  $S$  le pourcentage de limons,  $OM$  le pourcentage de matière organique et  $D$  la densité apparente.

Les valeurs de densité apparente n'étant pas disponibles, on fait les hypothèses que la densité apparente de l'horizon de surface (*i.e.* horizons de labours) est de 1,45 et que celle des horizons plus profonds et jamais travaillés est de 1,6. Cette étape a permis de constituer une base de données contenant l'ensemble des paramètres nécessaires aux simulations avec le modèle STICS. Les deux étapes suivantes ont eu pour objectifs de spatialiser les types de sol sur lesquels se développent les prairies, certaines unités pédologiques ayant des caractéristiques semblables.

### 16.1.2 Caractérisation et spatialisation des grands types de sol

Chaque unité pédologique a été caractérisée en effectuant une synthèse des données disponibles sur les sondages de la carte pédologique.

Pour chaque unité pédologique, la moyenne des variables suivantes a été calculée :

- la profondeur de chaque horizon ;
- le taux d'argile ;
- le taux de limon ;
- le taux de sable ;
- le taux d'éléments grossiers ;
- l'humidité du sol à la capacité au champ ;
- l'humidité au point de flétrissement.

A partir des données précédemment constituées, on constate que les prairies irriguées et les grandes cultures sont associées principalement à trois types de sol (tableaux 16.1 et 16.2) :

- les sols fersiallitiques ;
- les sols dits complexes ;
- les sols hydromorphes.

**Les sols « fersiallitiques »** sont représentés par trois unités cartographiques. La principale différence entre ces trois unités est leur ancienneté, les paramètres les caractérisant étant très semblables.

**Les sols dits « complexes »** résultent, en réalité, d'une évolution anthropique des sols fersiallitiques liée à l'irrigation. Ils constituent l'horizon supérieur des sols fersiallitiques précédents et sont notamment cultivés. Leur délimitation sur la carte est toutefois imprécise et les sondages montrent une grande hétérogénéité.

Les sols « complexes » ont été regroupés avec les sols « fersiallitiques ». Seules les caractéristiques de l'horizon de surface ont été conservées et mises à jour avec les différentes analyses effectuées après l'établissement de la carte pédologique.

**Les sols « hydromorphes »** sont de différents types et sont fondamentalement différents des sols fersiallitiques et complexes. S'ils montrent des caractéristiques hétérogènes, ces sols ont comme point commun d'avoir une réserve utile en eau importante.

Les grandes cultures sont essentiellement localisées dans des zones de bas-fonds correspondant à des sols dits « hydromorphes ». Les prairies se développent sur des sols « hydromorphes » et des sols « fersiallitiques » sur lesquels un horizon de surface limoneux s'est développé. Les caractéristiques de cet horizon limoneux correspondent à celles de l'horizon A des sols « complexes ».

Tableau 16.1 – Principales caractéristiques des unités cartographiques retenues par classe de sol

H	Unité cartographique	Épaisseur /cm	Argile %	Limon %	Sable %	Éléments grossiers %
<b>Sols fersiallitiques</b>						
H1	63	36	22	42,5	34,72	44
	65	35	19,7	40,7	38,11	51
	66	41	18	39,17	41	50
	68	43	21,5	41,3	36,16	40
	69	23,75	15,25	41,5	44	40
	70	36,25	16,5	42	39,75	25
H2	63	27,5	16,25	34,375	46,75	61,25
	65	25	18,5	40,16	37,83	56
	66	31,6	15,7	35,4	45,5	45,5
	68	38	20,6	42,2	36,2	70
	69	33,75	18,25	35,25	44	62,5
	70	33,75	21	31,5	46,75	55
<b>Sols hydromorphes</b>						
H1	12	40	42	50	6	
	55	16,6	30,66	60,66	8,33	0
	57	20	23,5	54,5	21,5	1
	67a	30	19	48,33	30,33	3,33
	70a	39	43,3	16,66	42,33	23,33
	H2	12	35	30	59	10
55		46,66	35	55	9,33	0
57		55	26	43	28	0
67a		45	23,5	50,5	25,5	6,66
70a		50	14	32,3	52,3	50
H3		12	40	51	12	40
	55	56,66	50	14,3	56,66	0
	57	30	55,5	17	30	0
	67a	50	46,5	36,5	50	45
	70a	na	na	na	na	na

Tableau 16.2 – Dénomination des unités cartographiques (UC).

Classe de sol	N°	Nom de l'unité cartographique
Sols fersiallitiques	63	Sols d'épaisseur variable (30 cm à 60 cm), limono-argileux à galets calcaires dominants et à encroûtement dense mais peu épais : Vieille Crau ou haute Crau villafranchienne
Sols fersiallitiques	65	Sols d'épaisseur variable (20 cm à 70 cm), limono-argileux à galets siliceux et calcaires ; encroûtement épais et dur, « relief » souterrain irrégulier : Crau rissienne du Luquier
Sols fersiallitiques	66	Sols généralement peu épais (10 cm à 30 cm), limono-argileux à galets calcaires dominants, sur poudingue continu et épais : Grands Coussouls de la Crau würmienne de Miramas
Sols complexes (sols irrigués de Crau, sur limons calcaires de la Durance, superposés ou en mélange et apportés par les eaux de la Durance)	68	Crau villafranchienne : sols limoneux gris d'épaisseur variable (25 cm à 60 cm) reposant sur des sols fersiallitiques à réserve calcique
	69	Crau rissienne : sols limono-argileux, moins limoneux que les précédents, car plus récemment mis en culture
	70	Crau würmienne : sols très remaniés et à encroûtement partiel, très récemment mis en culture
Sols hydromorphes moyennement organiques	12	Sols argileux à argilo-limoneux des marais en bordure des reliefs limitant le delta
Sols hydromorphes minéraux	55	Sols limoneux à limono-argileux des alluvions du Vigueirat et de la Meyre
Sols hydromorphes minéraux	57	Sols limoneux à limono-argileux, à nodules ou amas calcaires et passées tourbeuses sur alluvions palustres du marais des Baux
Sols hydromorphes moyennement organiques	67a	Sols humiques à gley reposant sur des cailloutis de Crau
Sols complexes	70a	Sols complexes (Crau wurmienne) à caractères marqués d'hydromorphie

### 16.1.3 Spatialisation de l'horizon A des prairies irriguées

L'épaisseur de l'horizon A des prairies irriguées dépend de la première mise en culture, les eaux de la Durance étant chargées en limons. Un dépôt a lieu à chaque irrigation provoquant une accumulation au cours du temps.

Des données historiques sur l'occupation du sol ont été acquises afin de dater l'ancienneté des mises en culture.

Trois types de données d'occupation du sol ont été utilisées et sur chacune des cartes les zones cultivées ont été identifiées :

- la carte de Cassini, datant approximativement de 1783 et qui cartographie la France, à l'échelle du 1/8640<sup>e</sup>; premier ouvrage de ce genre, elle contient une information très sommaire sur l'occupation du sol (figure 16.1) ;
- une image Landsat MSS datant du 03/10/1975, une des premières images satellites acquises sur la plaine de la Crau avec une résolution spatiale de 60 m ;
- la classification de l'occupation du sol de l'année 2009 dont les caractéristiques ont été exposées précédemment.

Sur la carte de Cassini, il a été considéré que les zones apparaissant en blanc étaient cultivées en 1793. Ces zones sont notamment présentes aux environs des canaux déjà existants avant cette date, notamment le canal de Craponne branche d'Istres et le canal de Craponne branche d'Arles. Les autres zones cultivées correspondent plus généralement à des zones de bas-fonds dont les sols sont marqués par l'hydromorphie (figure 16.2).

L'image Landsat de 1973 a été traitée afin de classer l'ensemble des prairies et des cultures existantes à cette date (figure 16.3). Une simple classification utilisant la méthode du maximum de vraisemblance a été utilisée. Sur cette image, il est possible de distinguer clairement les prairies irriguées du reste de l'occupation du sol. La classification obtenue est présentée sur la figure 16.4.

La classification de l'occupation du sol de l'année 2009 a été utilisée pour spatia- liser les prairies existantes à l'heure actuelle et mettre en évidence celles qui auraient été mises en culture entre 1975 et 2009.

Les épaisseurs des horizons A sur sols fersiallitiques sont ainsi définies dans le tableau 16.3.

Tableau 16.3 – Épaisseurs de l'horizons A des sols sous prairies irriguées

Date de première mise en culture	Épaisseur /cm
Avant 1793	50
Entre 1793 et 1975	35
Entre 1975 et 2009	10



FIGURE 16.1 – Carte de Cassini de la plaine de la Crau.  
En orange, est reportée la limite géoréférencée du territoire de démonstration.

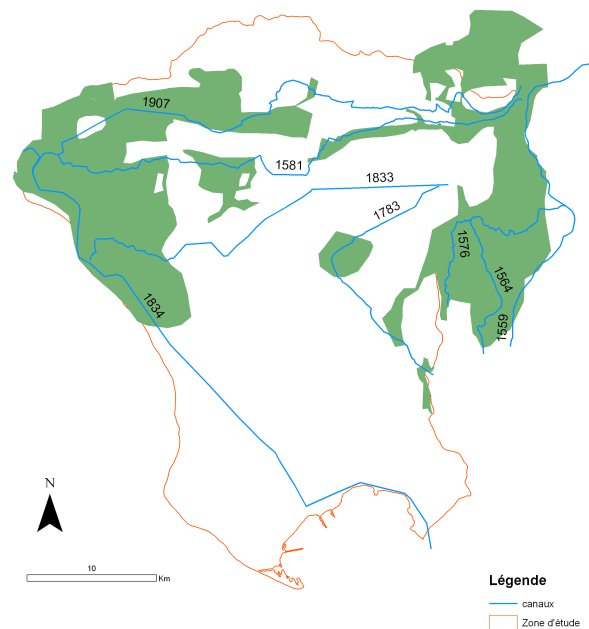


FIGURE 16.2 – Les zones potentiellement cultivées en 1793 (en vert) d'après la carte de Cassini et les dates de construction des principaux canaux d'irrigation.

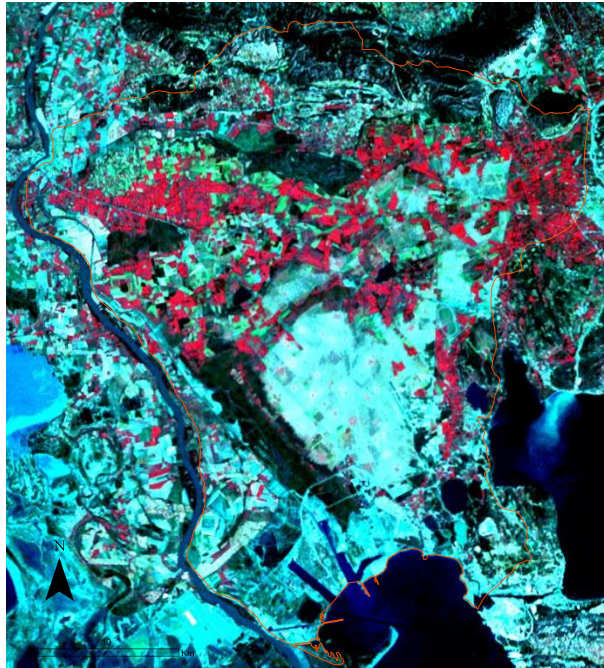


FIGURE 16.3 – Image Landsat du 03/10/1975. Les surfaces en rouge correspondent aux prairies irriguées, et en vert aux autres cultures.

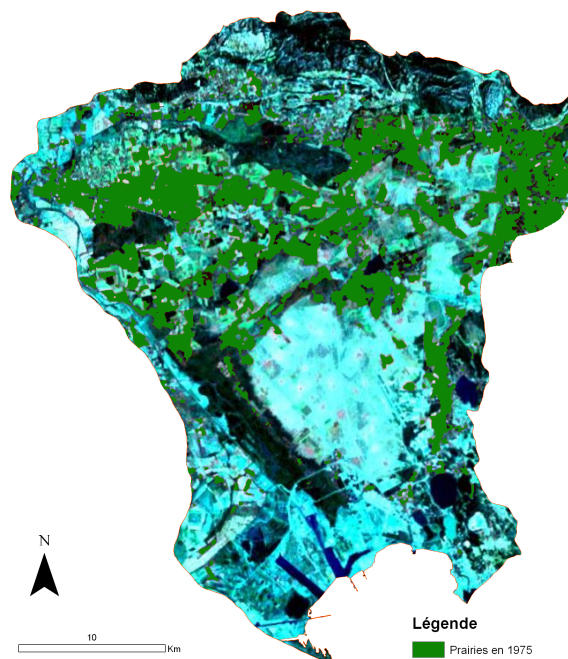


FIGURE 16.4 – Résultat de la classification des prairies (vert) à partir de l'image Landsat de 1975.



#### 16.1.4 Finalisation de la carte des sols

L'ensemble des zones ne correspondant pas à des sols « hydromorphes » ou n'ayant jamais été cultivées ont été insérées dans une dernière classe ayant les caractéristiques des sols fersiallitiques sans l'horizon A développé sur les surfaces cultivées. Au final, une carte des sols (figure 16.5) contenant les informations utiles pour le paramétrage du modèle STICS a été établie.

Les caractéristiques des sols (tableau 16.4) utilisées comme paramètres du modèle STICS ont été recalculées en moyennant les valeurs des paramètres de l'ensemble des sondages sur sols fersiallitiques et sur sols hydromorphes.

Sur l'exemple suivant (figure 16.6), le résultat obtenu par l'analyse des cartes a été confronté à une étude de terrain menée sur le domaine de Suffren où les sols ont été caractérisés sur l'ensemble des prairies du domaine et où notamment l'épaisseur du premier horizon de surface a été mesurée.

La comparaison des deux cartes (figure 16.6) montre que les principaux sols ont été identifiés avec notamment une représentation satisfaisante des sols hydromorphes. Par contre, on constate aussi qu'un certain nombre de parcelles mises en prairie récemment ont des profondeurs sous-estimées. Ceci s'explique par le fait que certaines prairies ont été installées sur des parcelles de vergers qui, autrefois, étaient également irriguées par irrigation gravitaire. Les apports de limon sont donc antérieurs à la mise en prairie et ont été aussi effectifs pour les vergers irrigués avec irrigation gravitaire. Cependant, l'identification de ces parcelles de vergers est beaucoup moins évidente sur l'image SPOT de 1975.

## 16.2 La météorologie

Le modèle STICS nécessite différentes données météorologiques journalières permettant de simuler le développement d'une plante. Ce sont :

- les précipitations ;
- les températures minimum et maximum ;
- le rayonnement global ;
- la vitesse du vent ;
- la tension de vapeur moyenne.

L'objectif étant de produire des simulations par STICS sur l'ensemble de la plaine de la Crau, deux manières de paramétrer le modèle ont été d'utiliser :

- soit des données ponctuelles provenant d'une station météorologique ;
- soit des modèles météorologiques spatialisés issus de la base de données SAFRAN de Météo France.

Pour Astuce & Tic, les données de la station météorologique du domaine du Merle, maintenue par l'unité Agroclim de l'INRA d'Avignon, ont été utilisées. Les données journalières sur la période 2000–2010 ont été acquises. Le choix d'utiliser les données d'une station météorologique a été effectué dans l'objectif d'être en accord avec les données utilisées pour les simulations prospectives sur la période 2025–2035 pour laquelle une donnée non spatialisée est disponible sur l'ensemble de la Crau.

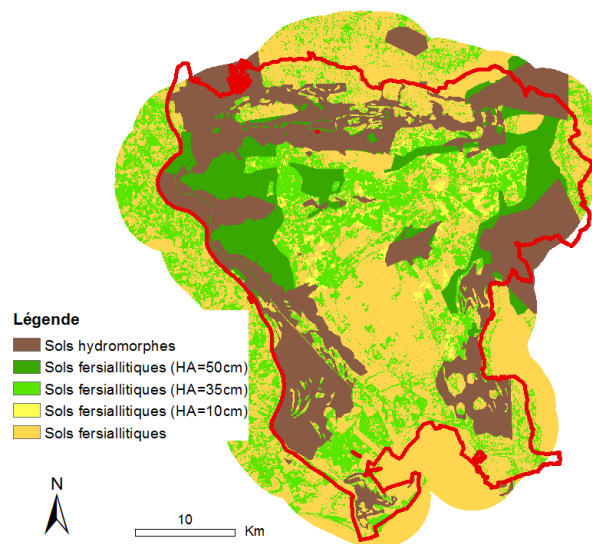


FIGURE 16.5 – Carte des sols établie pour les simulations par le modèle STICS sur la plaine de la Crau.

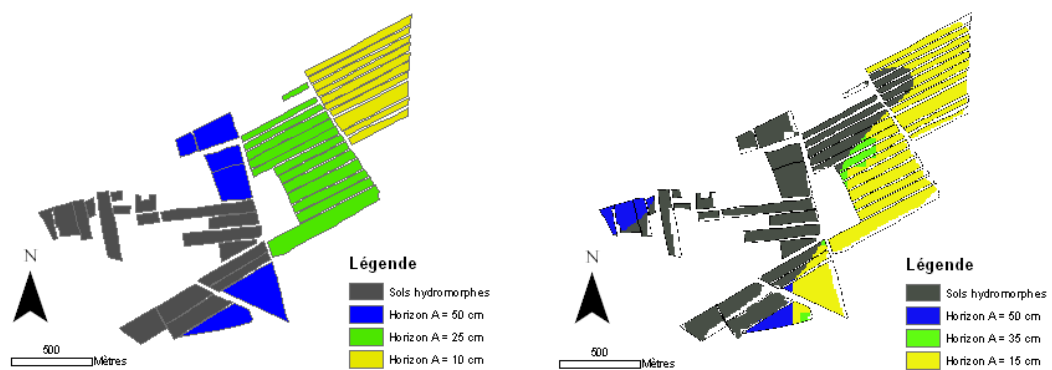


FIGURE 16.6 – Cartes des sols sur le domaine de Suffren : à gauche, sols définis suivant l'enquête de terrain, et à droite, l'extrait de la carte des sols constituée pour les simulations par le modèle STICS sur la plaine de la Crau.

Tableau 16.4 – Caractéristiques des sols utilisées dans les simulations par le modèle STICS

Hor izon	Épaisseur	$\theta_{cc}^1$	$\theta_{pf}^2$	$d_a^3$	$Gr^4$
	/cm	/%	/%	/g cm <sup>-3</sup>	/%
<b>Sols hydromorphes (Classe 1)</b>					
1	21,6	29,4	14,9	1,45	4
2	42	28,1	16,5	1,6	7
3	51,2	28,8	16,8	1,6	11,25
<b>Sols fersiallitiques (HA=50 cm) (Classe 2)</b>					
1	50	26	12,1	1,45	10
2	31	25,3	13,5	1,6	55
3	50	25,3	13,5	1,6	75
<b>Sols fersiallitiques (HA=35 cm) (Classe 3)</b>					
1	35	26	12,1	1,45	10
2	31	25,3	13,5	1,6	55
3	50	25,3	13,5	1,6	75
<b>Sols fersiallitiques (HA=10 cm) (Classe 4)</b>					
1	10	26	12,1	1,45	10
2	31	25,3	13,5	1,6	55
3	50	25,3	13,5	1,6	75
<b>Sols fersiallitiques (Classe 5)</b>					
1	31	25,3	13,5	1,6	55
2	50	25,3	13,5	1,6	75

1. Humidité à la capacité au champ (grammes d'eau pour 100 grammes de sol sec); 2. Humidité au point de flétrissement permanent (grammes d'eau pour 100 grammes de sol sec); 3. Densité apparente; 4. Éléments grossiers.