

# Evolution du carbone organique dans les sols de Belgique

**Meersmans J.# , van Wesemael B.\***

*# INRA Orléans, INFOSOL*

*\* Université catholique de Louvain, Earth and Life Institute*

*E-mail: jeroen\_meersmans@hotmail.com*



**UCL**  
Université  
catholique  
de Louvain

**Séminaire IGCS 2011 – Strasbourg**

**01/12/2011**

# Introduction

---

Le Carbone organique dans le sol (COS) est considéré comme un élément clé:

- Indicateur principal de la qualité du sol
- Lié à la matière organique et la fertilité du sol
- Influence la stabilité des agrégats
- Diminue les risques de contamination des nappes phréatiques:
  - Adsorption des pesticides
  - Dégradation des nitrates
- Élément dynamique dans le cycle du carbone mondial:
  - Echange actif de C entre l'atmosphère et le sol
  - Interaction complexe avec le climat / changement climatique

# Introduction

---

Intérêt de cartographier la dynamique de COS dans le contexte des traités internationaux:

↳ E.U. Thematic Soil Strategy

identifie la diminution du COS comme l'une des principales menaces

↳ Protocole de Kyoto

article 3.3 & 3.4 permettent aux pays de comptabiliser les flux liés au changement d'occupation de sol ou à la gestion du sol

\*En général on peut distinguer deux techniques :

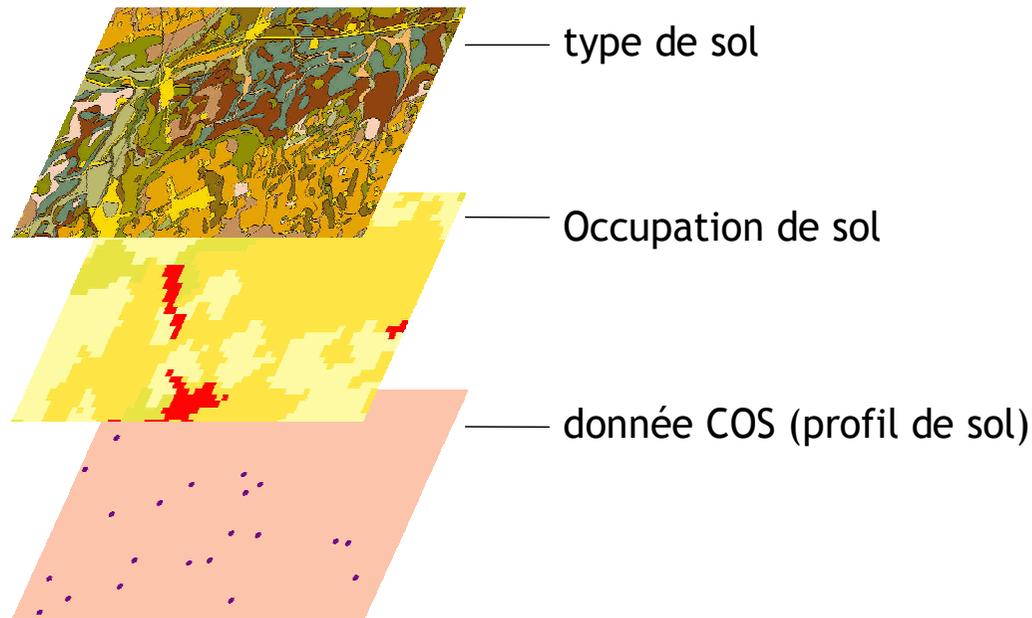
- techniques géophysiques/mathématiques
- cartographie en utilisant des données géo-référencées

# Introduction

---

Majorité des études de cartographie du COS (class matching approach):

- \* Stratification de la région en Unité Cartographique uniforme (UC) par type de sol et occupation de sol
- \* Pour chaque UC, calcul d'un stock de COS moyen (à partir de données appartenant à cette UC)



# Introduction

---

Grande variabilité spatiale des facteurs explicatifs (occupation de sol, type de sol, climat...)

↳ UC sans observations ou avec peu d'observations:

Drainage class		Texture – Land use silty loam	
		cropland	grassland
very dry	a	0	0
	b	1205	101
	c	129	39
↓	d	186	63
	h	78	34
	i	4	7
	e	8	35
	f	2	33
very wet	g	0	4

Nombre d'observations de la base de données *Aardewerk* par UC après stratification par occupation de sol et classe de drainage (pour les sols limoneux)

# Objectifs

---

1. Identifier les facteurs les plus déterminants du COS
2. Construire un modèle pour prédire le COS
3. Cartographier la teneur en COS pour toute la Belgique  
(c.à.d. appliquer le modèle dans un contexte spatial)
4. Mise à jour de la carte de COS
5. Analyser l'évolution temporelle du COS

# Matériels

---

## Base donnée COS:

- \* 'Aardewerk' (1960) ( $n \approx 9000$ ) → construction/calibration/validation du modèle
- \* Échantillonnage récent (2004-2008) ( $n \approx 530$ ) → mis à jour de la carte de COS

## Données spatiales des facteurs explicatifs:

- \* Données d'effluents d'élevage (van Wesemael *et al.*, 2004)
  - production du lisier et fumier
- \* Données concernant les types de sol (carte des sols de Belgique: Flandres et Wallonie)
  - texture (teneur en argile, limon et sable, Dg)
  - drainage (profondeur min. & max. de la nappe)
- \* Données climatiques (Belgique (KMI), Pays-Bas Sud (KNMI), France Nord (Meteo France) et Allemagne Ouest (DWD))
  - carte de température moyenne annuelle
  - carte de précipitation totale annuelle

# Flowchart

---

Spatialisation des variables d'entrées potentielles



Sélection des variables d'entrées du modèle  
(analyse de multicolinéarité)



Construction du modèle



Cartographie de la teneur en COS pour toute la Belgique (1960)



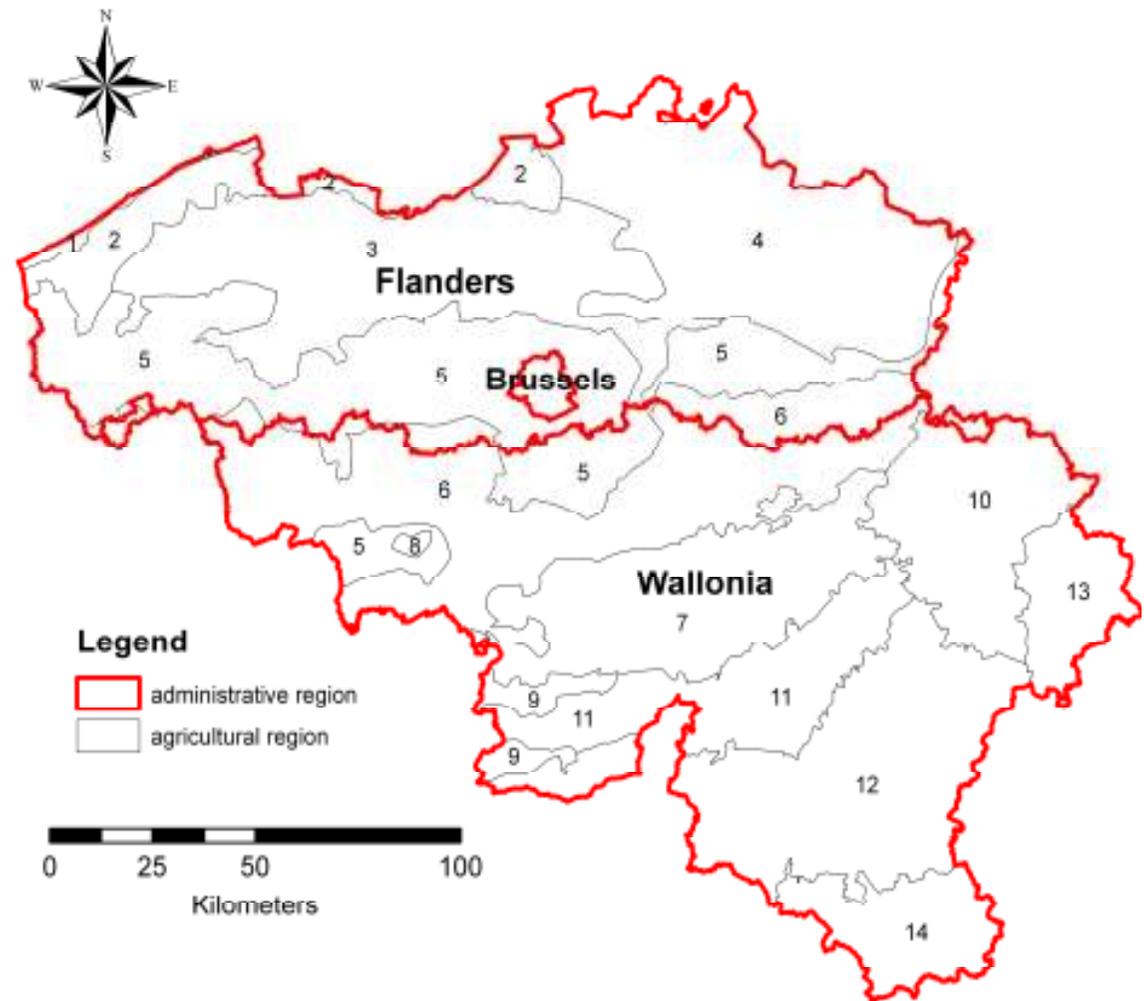
Mis à jour de la carte du COS (2006) et analyse temporelle

# Spatialisation des variables d'entrée

Production de lisier et de fumier par région agricole:

	ton C/ha/an	
	1958	2002
Dunes-Polders (1-2)	1,38	2,38
Sand region (3)	1,78	3,85
Campine (4)	1,51	4,07
Sandy loam region (5)	1,33	2,53
Loam region (6)	1,05	1,07
Condruz (7)	1,07	0,99
Campine Hennuyere (8)	1,25	1,06
Herbagere region (Fagnes) (9)	1,62	1,40
Herbagere region (Liege) (10)	2,44	1,67
Famenne (11)	1,15	1,39
Ardennes (12)	1,25	1,79
High Ardennes (13)	1,52	1,48
Jurassic region (14)	0,99	1,31

(van Wesemael, *et al.*, 2004)

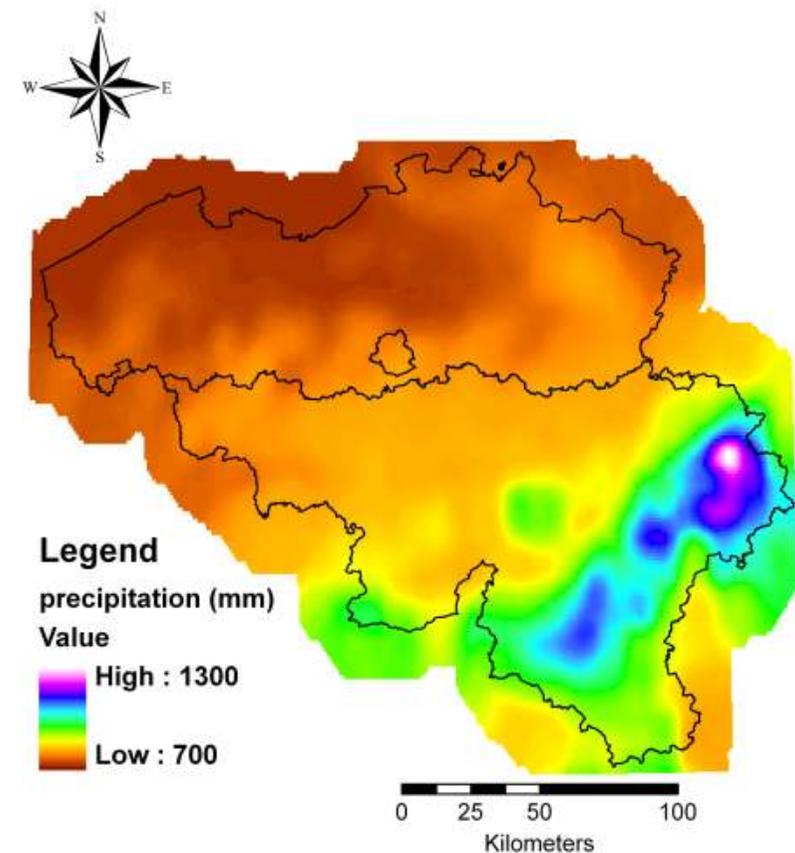
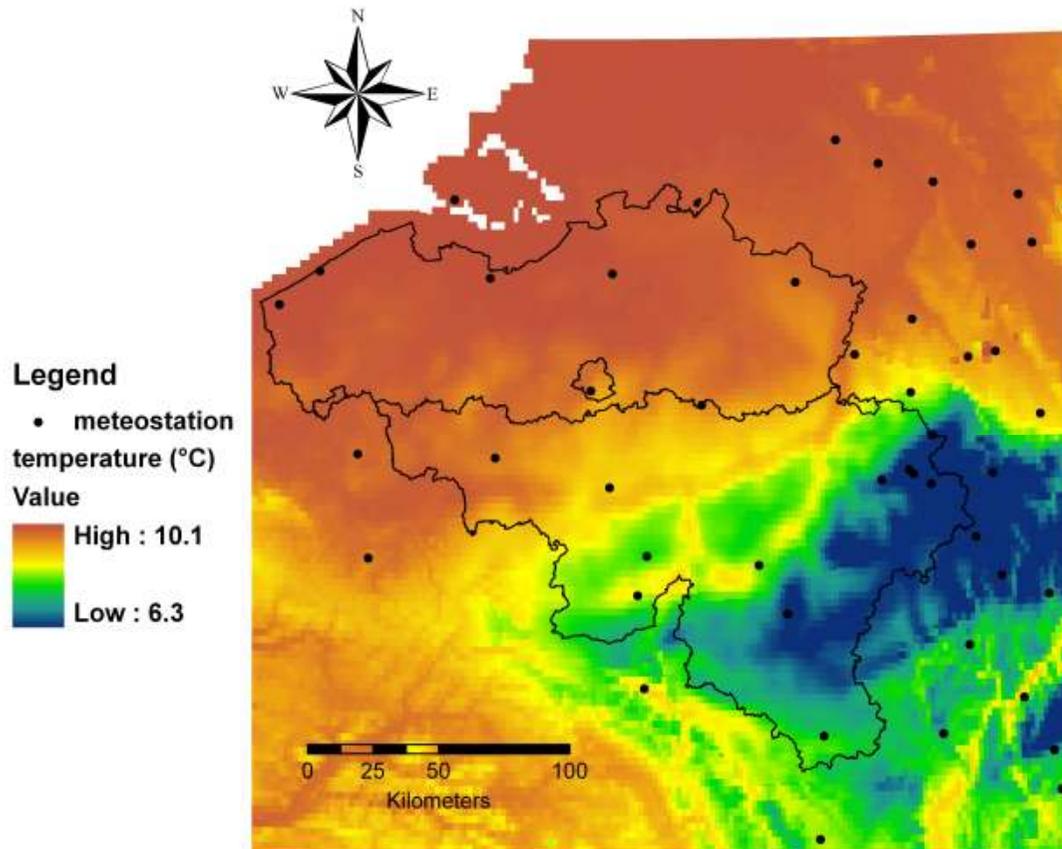


# Spatialisation des variables d'entrée

Données climatiques des stations météo + modèle numérique de terrain:

\* température moyenne annuelle – Altitude (résolution de 2,7 km.)

\* précipitation totale annuelle – Altitude & Orientation vers l'ouest des pentes  
(résolution de 0.45 et 16.2 km, resp.)



# Spatialisation des variables d'entrée

- U Heavy clay
- E Clay
- A Loam
- L (heavy) Sandy Loam
- P Light Sandy Loam
- S Loamy Sand
- Z Sand

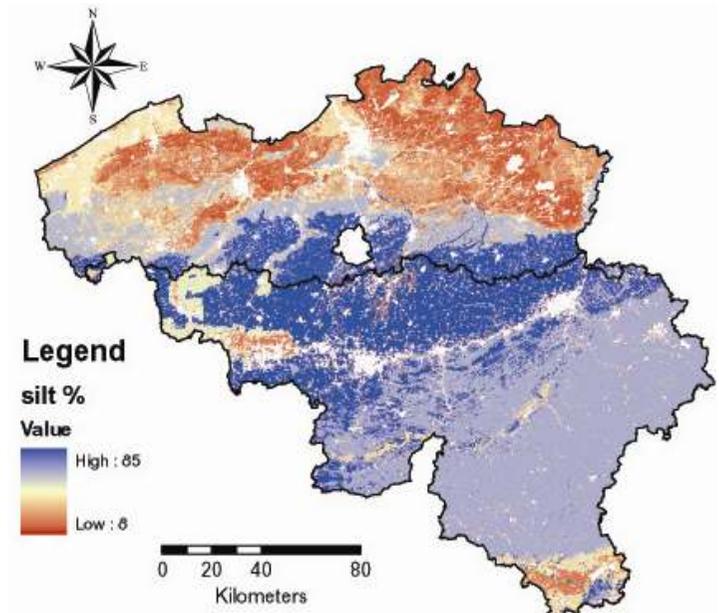
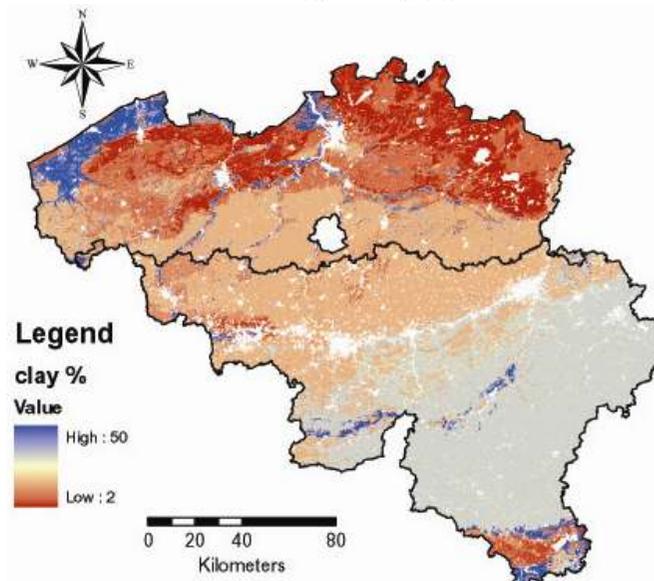
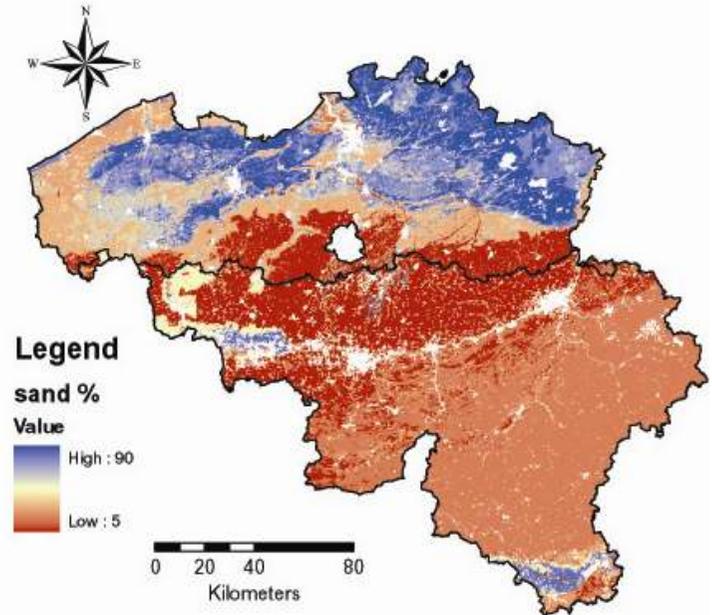
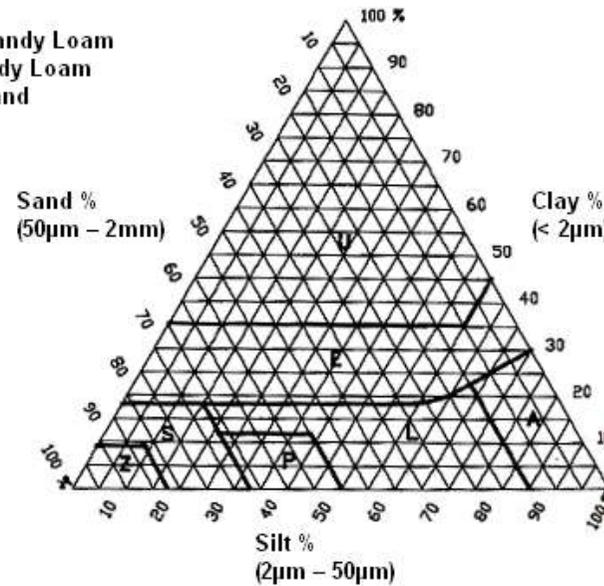
Cartes des types de sol  
(Flandres et Wallonie)

+

Définition des classes de  
texture (système de  
classification de sols  
belge):



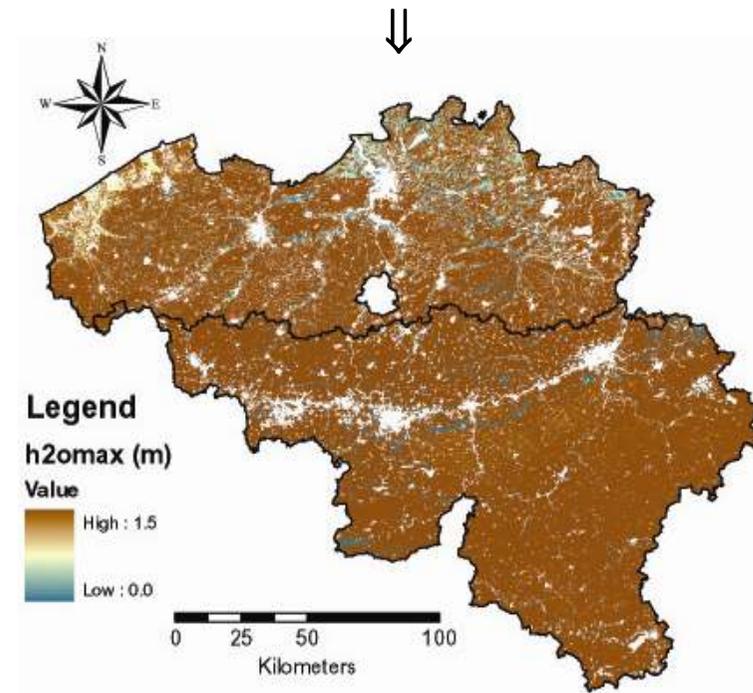
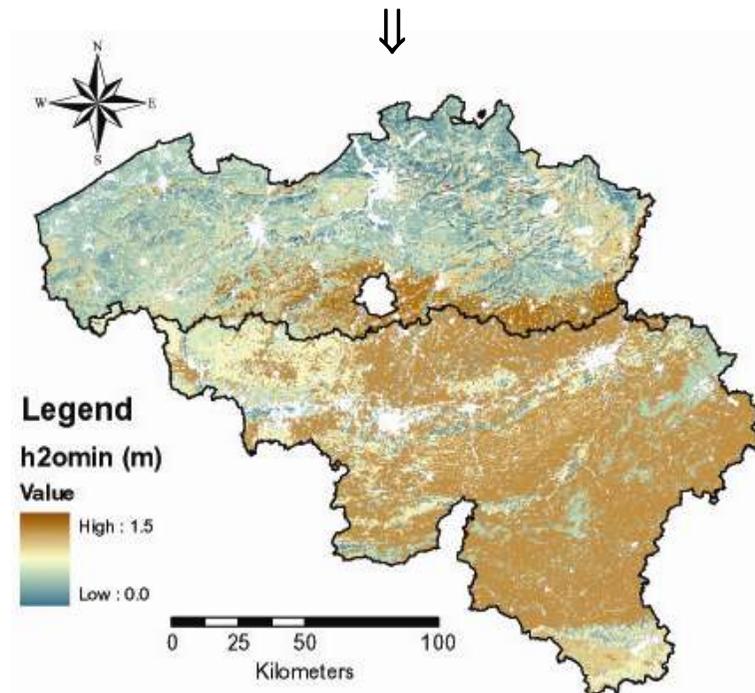
- \* Carte d'argile%
- \* Carte de limon%
- \* Carte de sable%
- \* Carte de Dg



# Spatialisation des variables d'entrée

Définition des classes de drainage (système de classification des sols belge):

drainage class	definition		depth oxidation horizon (m) (min. depth water table)		depth reduction horizon (m) (max. depth water table)
	Belgian system	USDA drainage class	<i>Text. A, L, E, U</i>	<i>Text. Z, S, P</i>	
<b>a</b>	very dry	excessively	-	-	-
<b>b</b>	dry	well	> 1.2	0.9 - 1.2	-
<b>c</b>	moderate dry	moderately-well	0.8 - 1.2	0.6 - 0.9	-
<b>d</b>	moderate wet	moderately	0.5 - 0.8	0.4 - 0.6	-
<b>h</b>	wet	moderately-poorly	0.3 - 0.5	0.2 - 0.4	-
<b>i</b>	wet	poorly	0 - 0.3	0 - 0.2	-
<b>e</b>	wet with reduction horizon	moderately-poorly	0.3 - 0.5	0.2 - 0.4	> 0.8
<b>f</b>	very wet with reduction horizon	poorly	0 - 0.3	0 - 0.2	0.4 - 0.8
<b>g</b>	extremely wet	very poorly	0	0	< 0.4



# Analyse de multicolinéarité

**Coefficients de Corrélacion entre COS et variables environnementales sous culture (n = 4880)**

	SOC	h <sub>2</sub> O <sub>max</sub>	h <sub>2</sub> O <sub>ml</sub>	sand	silt	clay	manure	prec.	temp.
SOC	1.00	-0.14	0.01	0.02	-0.05	0.10	0.09	0.32	-0.29
h <sub>2</sub> O <sub>max</sub>		1.00	0.30	-0.13	0.16	-0.05	-0.12	0.11	-0.12
h <sub>2</sub> O <sub>ml</sub>			1.00	-0.57	0.60	0.19	-0.47	0.45	-0.48
sand				1.00	-0.97	-0.59	0.64	-0.48	0.53
silt					1.00	0.38	-0.62	0.45	-0.49
clay						1.00	-0.36	0.37	-0.38
manure							1.00	-0.39	0.45
prec.								1.00	-0.97
temp.									1.00

- Culture → COS ~ variables climatiques (température, précipitation)

**Coefficients de Corrélacion entre COS et variables environnementales sous prairie (n = 2356)**

	SOC	h <sub>2</sub> O <sub>max</sub>	h <sub>2</sub> O <sub>ml</sub>	sand	silt	clay	manure	prec.	temp.
SOC	1.00	-0.40	-0.25	-0.15	0.02	0.31	0.11	0.13	-0.12
h <sub>2</sub> O <sub>max</sub>		1.00	0.60	-0.16	0.21	-0.04	0.00	0.25	-0.25
h <sub>2</sub> O <sub>ml</sub>			1.00	-0.34	0.40	0.04	0.02	0.48	-0.48
sand				1.00	-0.91	-0.63	0.16	-0.44	0.47
silt					1.00	0.25	-0.15	0.45	-0.47
clay						1.00	-0.09	0.19	-0.21
manure							1.00	0.04	0.00
prec.								1.00	-0.98
temp.									1.00

- Prairie → COS ~ variables concernant le type de sol (profondeur de la nappe, argile %)

# Construction du modèle

---

- \* COS base de données Aardewerk (1960,  $n \approx 9000$ ):
  - calibration 2/3 des données
  - validation: 1/3 des données
- \* Critère d'insertion des variables d'entrée dans le modèle:
  - Corrélation forte avec COS
  - Manque de corrélation avec les autres variables d'entrée
  - Tous les paramètres sont significatifs ( $p = 0.05$ )
  - Coefficient de détermination ajusté ( $R^2_{adj}$ ) augmente

Exemple pour prairie:

Model Expression	$R^2_{adj}$
$a.h_{2O_{max}}+b$	0.145
$a.h_{2O_{max}}+b.clay+c$	0.238
$a.h_{2O_{max}}+b.clay+c.prec+d$	0.264
$a.h_{2O_{max}}+b.clay+c.prec+d.man+e$	0.290
$a.h_{2O_{max}}+b.clay+c.prec+d.man+e.h_{2O_{min}}+f$	0.304
$a.h_{2O_{max}}+b.clay+c.prec+d.man+e.h_{2O_{min}}+f.dg+g$	0.305
$a.h_{2O_{max}}+b.clay+c.prec+d.man+e.h_{2O_{min}}+f.dg+g.dg.man+e$	0.309

## modèle

---

modèle final (données Aardewerk 1960):

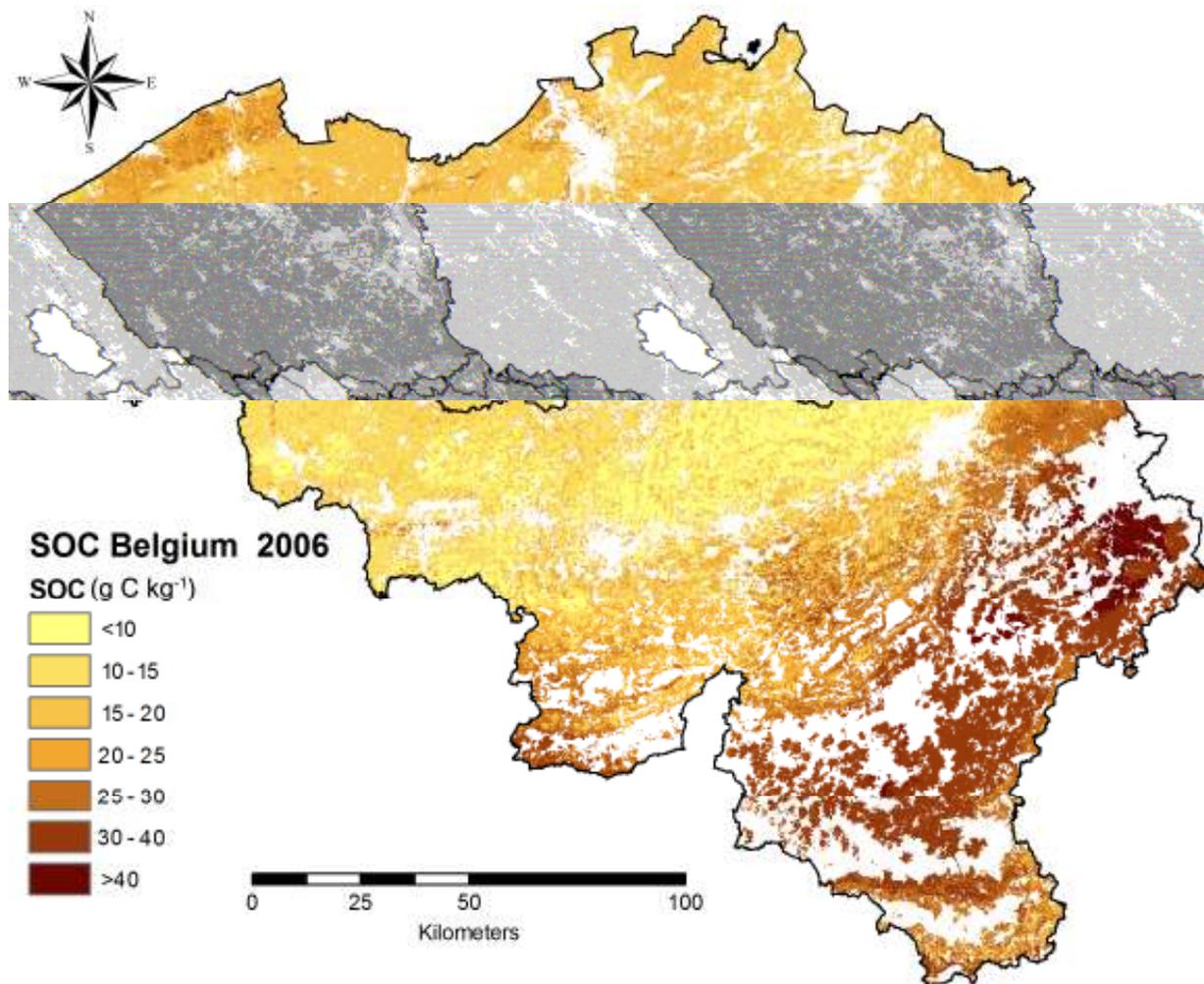
- \* 14 paramètres
- \*  $R^2_{\text{adj}} = 0.421$
- \*  $\text{RMSE} = 8.4 \text{ g.C.kg}^{-1}$  (teneur en COS moyenne=18.6 g.C.kg<sup>-1</sup>)

modèle final appliqué aux données 2004-2008:

- \* Quelques paramètres ne sont plus significatifs ( $p = 0.05$ )
  - ↳ modèle simplifié:
    - 11 paramètres
    - $R^2_{\text{adj}} = 0.646$

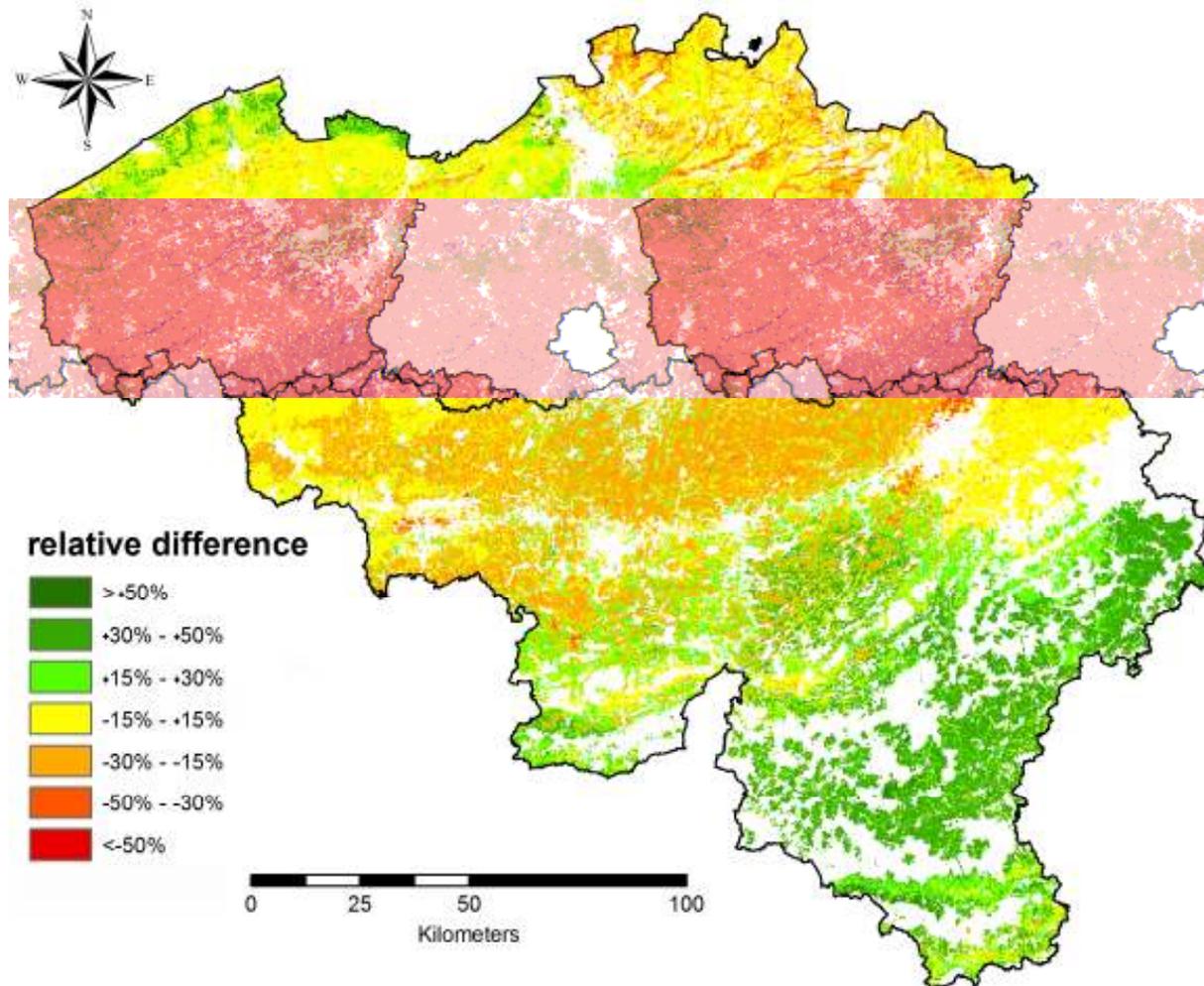
# Cartographie de la teneur en COS (2006)

- \* L'influence du climat: Augmentation générale du COS et des précipitations du NO vers SE
- \* COS élevé: Sols à mauvais drainage naturel et/ou argileux (Vallées, Polders)
- \* COS faible ( $< 10 \text{ g C kg}^{-1}$ ): La région Limoneuse (culture – centre Belgique)



# Cartographie COS (diff. rel. 2006-1960)

- \* Sud (dom. prairie): COS ↗ (*pré-1960 culture → prairie; réchauffement → productivité ↗*)
- \* Centre (dom. culture): COS ↘ (*utilisation du sol intensive, profondeur de labour ↗*)
- \* Nord - sols à mauvais drainage: COS ↘ (*drainage intensif*)
  - sols argileux: COS ↗ (*application d'effluents d'élevage ↗*)



## Cartographie COS (diff. rel. 2006-1960)

Les stocks de COS ont été calculés après avoir pris en compte densité apparente, profondeur et teneur en élément grossier du sol:

Occup.	Stock de COS moyen (kg.C.m <sup>-2</sup> )		Rel. Δ COS (%)
	1960	2006	
culture	5.36 ± 0.03	4.95 ± 0.09	- 7.7*
prairie	7.26 ± 0.05	7.99 ± 0.10	+ 10.1*
Total	6.18 ± 0.03	6.26 ± 0.07	+ 1.3

\* Significantive (p<0.05)

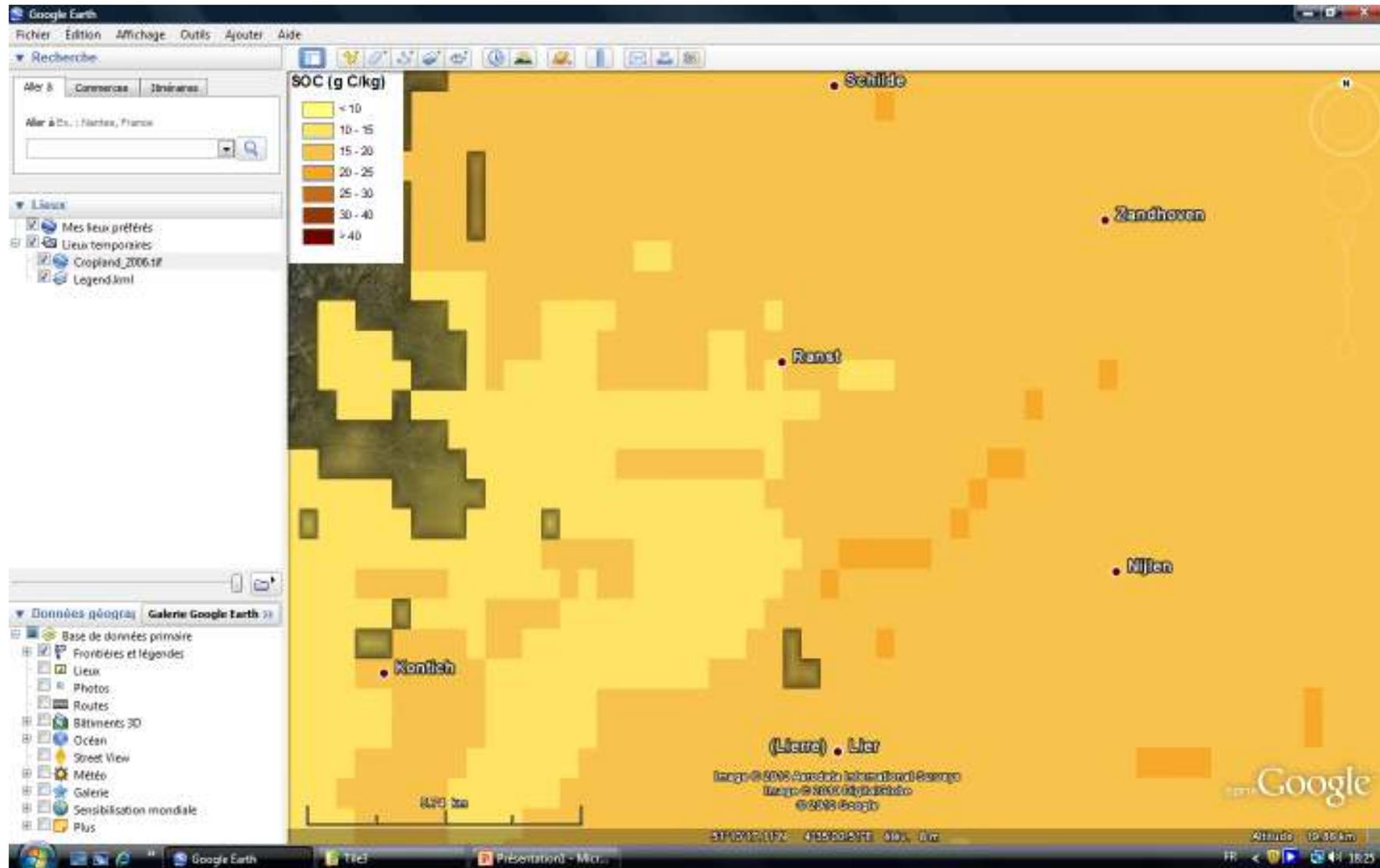
Les cartes de COS sont superposées sur *Google Earth* et disponibles via lien suivant:

<http://www.uclouvain.be/teclim>

*Meersmans, J., van Wesemael, B., Goidts, E., Van Molle, M., De Baets, S., De Ridder, F. 2011. Spatial analysis of soil organic carbon evolution in Belgian croplands and grasslands, 1960-2006. Global Change Biology, 17, 466-479.*

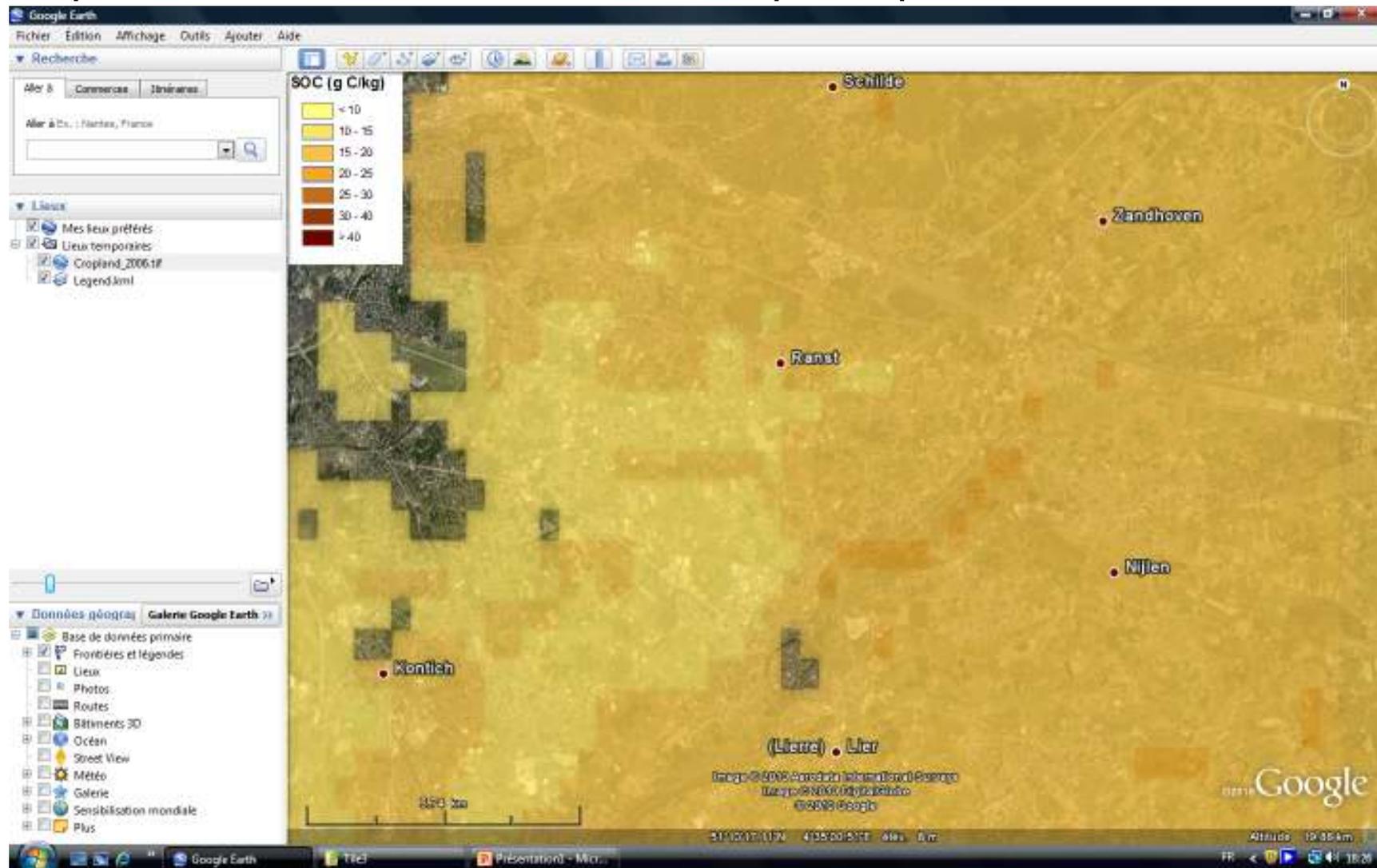
# Carte COS application *Google Earth*

Exemple: Zoom carte COS 2006 pour Culture, région sud-est d'Anvers



# Carte COS application *Google Earth*

Carte COS (en transparence) superposée sur image satellitaire *Google Earth* permet de localiser des endroits spécifiques → Gestion des sols



## Conclusions et conseil

---

- \* Les Facteurs explicatifs les plus importants:
  - culture: climat
  - prairie: type de sol (% argile, profondeur de la nappe)
  
- \* Evolution du COS entre 1960 et 2006:
  - culture: diminution (nord et centre de la Belgique)
  - prairie: augmentation (sud de la Belgique)  
diminution (sols à mauvais drainage naturel - vallées)
  
- \* Conseil:
  - Une mise à jour des classes de drainage de la carte des sols
  - Collaboration interrégionale: Les mêmes problèmes ont été détecté en Wallonie et en Flandres (c.à.d. des diminutions fortes de COS dans la région limoneuse et les sols à mauvais drainage).

# Evolution du carbone organique dans les sols de Belgique

**Meersmans J.# , van Wesemael B.\***

*# INRA Orléans, INFOSOL*

*\* Université catholique de Louvain, Earth and Life Institute*

*E-mail: jeroen\_meersmans@hotmail.com*



**UCL**  
Université  
catholique  
de Louvain

**Séminaire IGCS 2011 – Strasbourg**

**01/12/2011**

$$Dg = \exp\left(\sum_{i=1}^n f_i * \ln(M_i)\right)$$

**AVEC:**

***Dg***: Moyenne géométrie de la taille des particules

***f<sub>i</sub>***: proportion relative de la class i de la taille des particules

***M<sub>i</sub>***: Médiane de la class i de la taille des particules