

Analyse d'incertitude guidée par la pratique d'utilisateurs

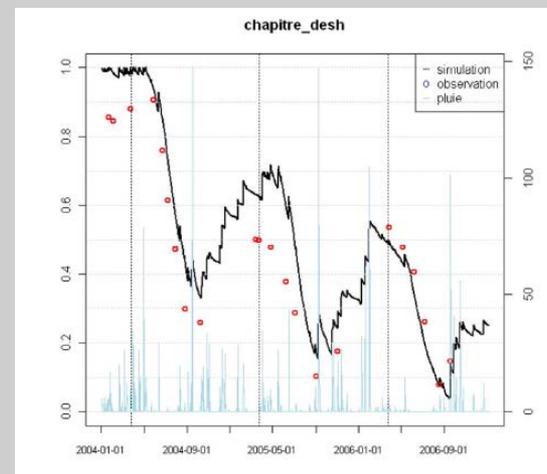
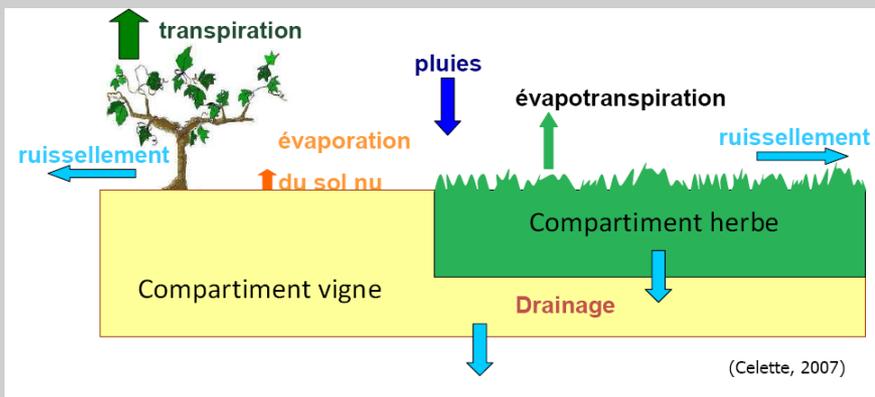
Cas d'un modèle de stress hydrique de vignobles

Sébastien Roux (UMR SYSTEM, INRA Montpellier)

Avec la contribution de
G.Daudin, R.Metral, J.Wery (UMR System)
Xavier Delpuech, JC. Payan (IFV)
F.Brun (ACTA) et D.Wallach (UMR AGIR)

Projet Casdar-ACTA (2010-13):

Associer un niveau d'erreur aux prédictions des modèles mathématiques pour l'agronomie et l'élevage



Plan de la présentation

1. Contexte de l'étude :

1. Modèle(s) de stress hydrique
2. Applications recensées de ce modèle
3. Objectifs et Méthodologie

2. Analyse des pratiques des utilisateurs

1. Définition du cadre de référence et d'un domaine de validité
2. Formalisation des scénarios d'utilisation à partir de l'accessibilité à la mesure

3. Caractérisation sous forme d'estimation d'incertitude

1. Procédures d'approximation et incertitude associée
2. Méthode de propagation par simulation

4. Illustration sur un cas: Irrigation basée modèle

1. Principe de l'utilisation d'un modèle pour cette application
2. Cas d'étude et résultats

5. Retour sur les sources d'erreur

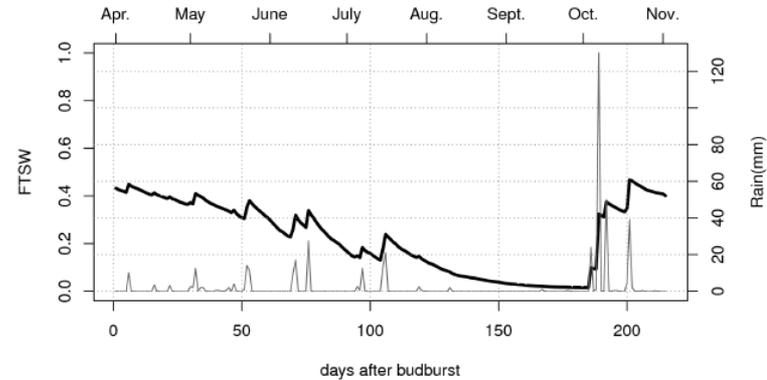
6. Conclusion : enseignements et perspectives

1. Contexte de l'étude :

1. Modèle de stress hydrique



Vineyard plot



Vineyard water stress dynamics

Field
Measurements

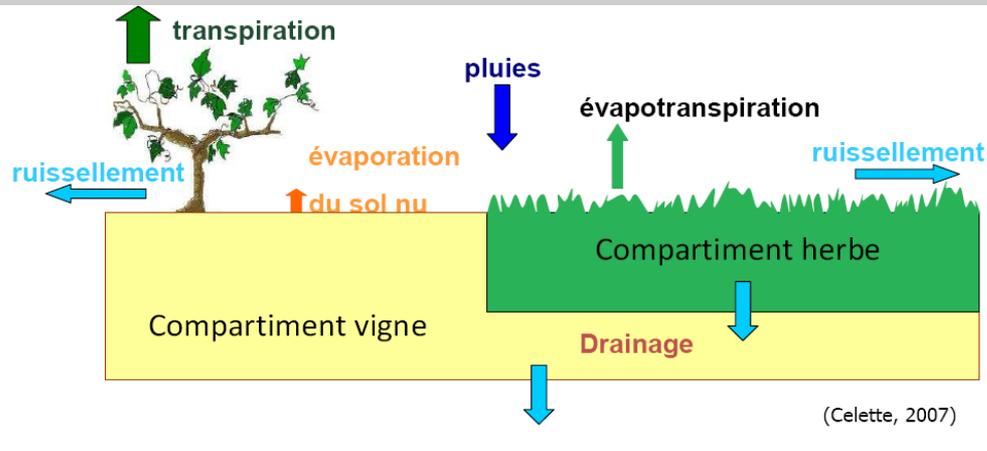
Simulation
Software

Crop system description

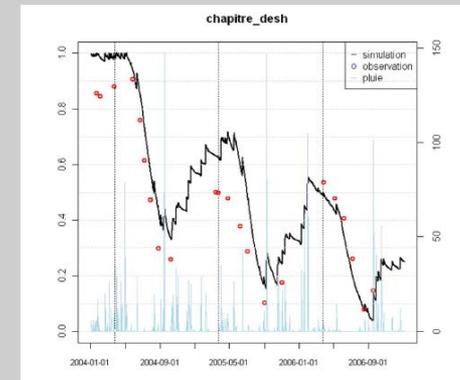
- weather data
- soil processes parameters
- vine processes parameters
- intercrop processes parameters

1. Contexte de l'étude :

1. Modèle de stress hydrique



$$\begin{aligned} ASW1(t) &= \max(0, \min(TTSW1, ASW1(t-1) + \text{Sum}(\text{Fluxes}(t-1, t, 1))) \\ ASW2(t) &= \max(0, \min(TTSW2, ASW2(t-1) + \text{Sum}(\text{Fluxes}(t-1, t, 2))) \\ FTSW(t) &= (ASW1(t) + ASW2(t)) / TTSW_{tot} \end{aligned}$$



Références

- Modèle "sol nu" : [Lebon et al, 2003]
- Lien FTSW-PHFB : [Pellegrino et al, 2004]
- Outil de diagnostic : [Pellegrino et al, 2006]
- Modèle Walis (enherbé): [Celette et al, 2010]**
- Validation : IFV, 2008-09 [Delpuech et al., 2010]

1. Contexte de l'étude :



Enquête sur les utilisations du modèle 2010 à Montpellier (7 CA, 3 IFV, 1 CIRAME, 3 chercheurs, 3 développeurs)

- niveau d'incertitude perçu variant de « faible » à 75%
- Causes possibles: paramètres, équations, état de stress initial
- Majorité réclame une information sur l'incertitude

- Modèle utilisé pour des bulletins agricoles pour donner des tendances mais *en conseillant des mesures complémentaires aux agriculteurs*
- Utilisation de procédures d'approximation des entrées plus ou moins formalisées



1. Contexte de l'étude :

1. Modèle(s) de vécu hydrique
2. Applications recensées de ce modèle

- *A priori*

Analyse itinéraires d'entretien des sols (Inra)

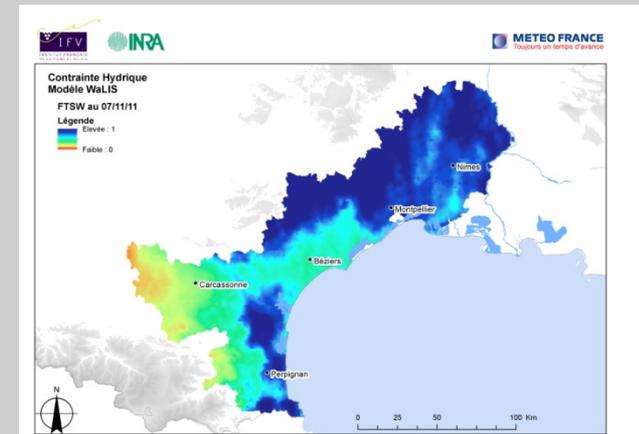
Aptitude des sols à l'enherbement (IFV)

- *En cours de saison*

Bulletin irrigation (CA)

Bilan en cours de saison (IFV, CA, Cirame)

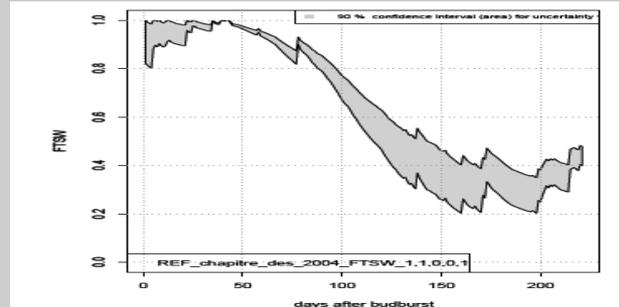
Cartographie régionale (IFV)



1. Contexte de l'étude

Spécification de l'étude

- **Utilisation de type « parcelle réelle »**
 - Suivi de la FTSW sur 1 an à partir du Dbt
 - Cadre incluant plusieurs niveaux d'approximations des entrées
 - Prise en compte de plusieurs sources d'erreur
- **Méthode pour générer des intervalles de prédiction** autour de la FTSW dues aux sources d'erreur



- **Une illustration avec une règle de décision issue du modèle : irrigation basée FTSW**

Contexte de l'étude

Méthodologie en 3 étapes

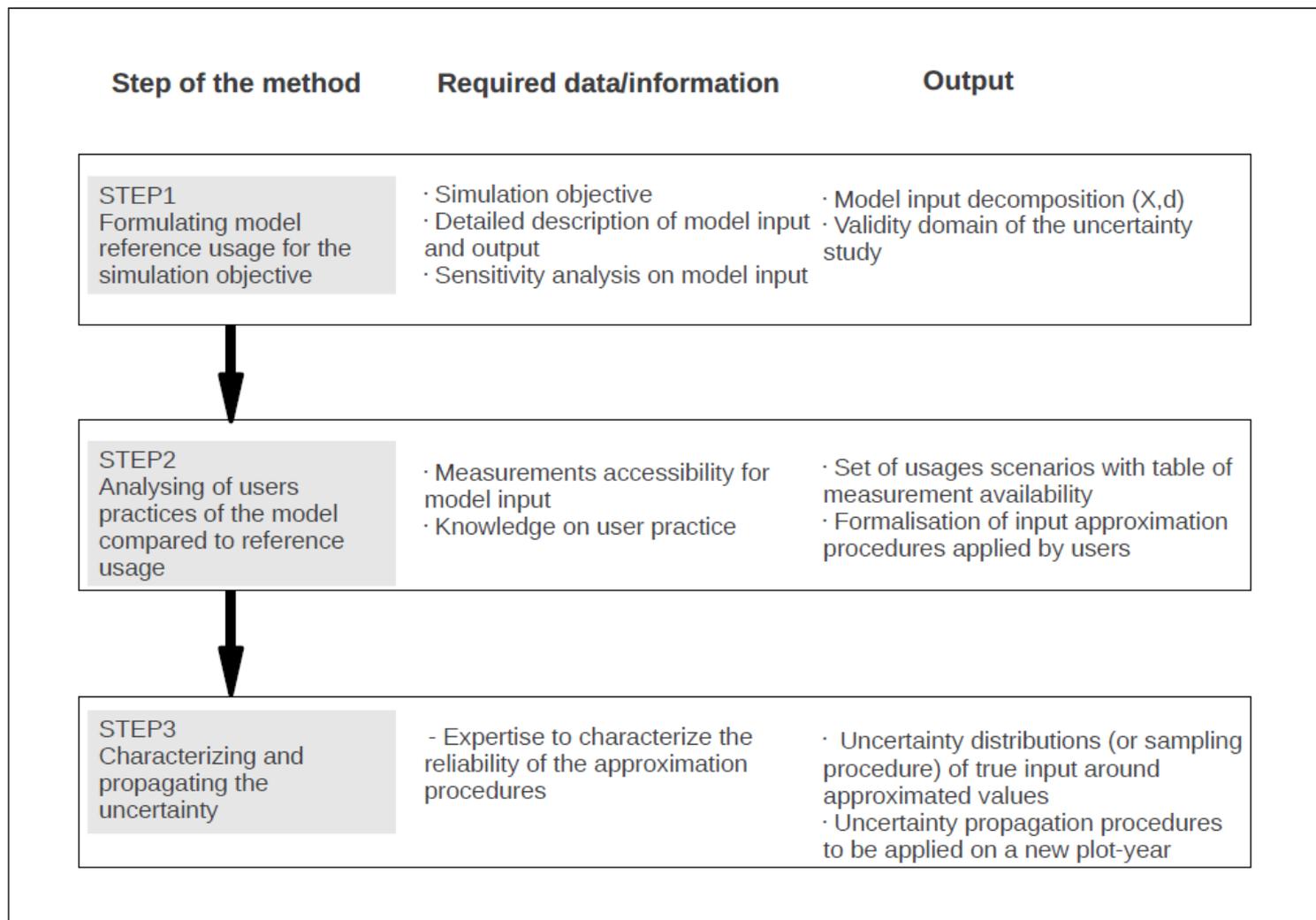
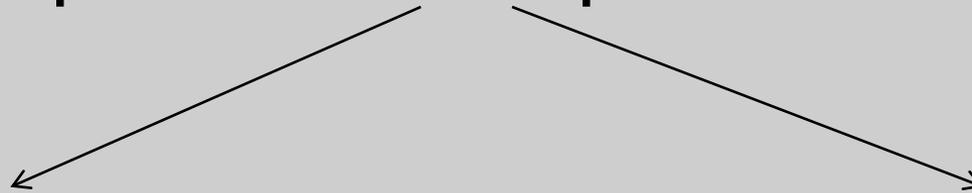


Figure 3: The three steps of the proposed methodology to assess the uncertainty associated to typical model practices.

2. Analyse des pratiques des utilisateurs

Définition du cadre de référence et d'un domaine de validité

- Article scientifique de présentation du modèle (Celette et al,2010)
- Analyse de sensibilité préliminaire
- Pratique sur deux sites expérimentaux



Décomposition des entrées du modèle :

$$f(X,d)$$

X : entrées à mesurer / site année

d : entrées & paramètres fixes dans le domaine d'étude

Domaine de validité de l'étude :

- Vignobles en région méd.
- Desherbés ou enherbés (enherbement typique=reference)
- Propriétés évaporantes typique
- Conduite système typiques (taille, hauteur, tonte)

2. Analyse des pratiques des utilisateurs

Définition du cadre de référence et d'un domaine de validité

Simulation software input			Model reference usage		
			X_{ref}	d	
Inter-cropping system	P_{ic}	proportion of soil covered by the intercrop	yes	–	
	P_g	maximum effective depth for grass cover roots		1	
Soil Water	$TTSW_{tot}$	total transpirable water	yes	–	
	$FTSW^0$	initial water stress level	yes	–	
Simulation duration	d^0	date of the first simulation day	yes	–	
	d^{end}	date of the last simulation day		1/11	
Soil Evaporation and Run-off	bare soil evaporation	b_1, b_2		14, 0.15	
	run-off on bare soil	U		2.7	
		s_1^{bare}, s_2^{bare}		12.7, 28	
		CN^{bare}	“curve number” parameter	yes	–
	run-off on grass-cover	s_1^{cover}, s_2^{cover}		35.6, 53	
		CN^{cover}	“curve number” parameter	yes	–
Vineyard processes	dynamic of crop coefficient	d_{bud}	budburst date	yes	–
		$dd_{k_{max}}$	degree-days to get maximum crop coefficient		600
		d_{transp}	end of transpiration date		1/11
	water stress	k_{max}	maximum crop coefficient	yes	–
		WI^v	water stress parameter on transpiration		0.4
Grass-cover processes	LAI^0	initial LAI		0.3	
	LAI_{rate}	LAI growth rate parameter		0.9	
	$LS S_{min}$	degree-days of the green leaf life period		700	
	$WI^{g,1}$	water stress parameter on LAI growth		0.9	
	$WI^{g,1}$	water stress parameter on transpiration		0.6	
	NNI	nitrogen nutrition index		0.3	
	ϵ	coefficient of extinction		0.6	
	k_{max}^g	maximum crop coefficient		0.95	
Grass-cover cuts	LAI_{cut}	LAI threshold to trigger grass-cover cuts		3	
	LAI_{res}	LAI after grass-cover cuts		0.3	
Climate	$R(t)$	rainfall	yes	–	
	$T(t)$	mean temperature	yes	–	
	$ETP(t)$	reference evapo-transpiration	yes	–	

Table 3: Walis input and parameters from the user point of view

2. Analyse des pratiques des utilisateurs

Formalisation des scenario d'utilisation à partir de l'accessibilité à la mesure

Model input name (X)	input signification	measurement accessibility
P_{ic}	proportion of soil covered by the intercrop	1
d_{bud}	budburst date (and first simulated day)	1
$CN = CN^{cover}, CN^{bare}$	parameters related to run-off simulations	3
k_{max}	maximum crop coefficient	1
$TTSW_{tot}$	total transpirable water	2
$FTSW^0$	initial water stress level	2
$R(t), T(t), ETP(t)$	daily rainfall, temperature and evapo-transpiration	1

Table 1: Selection of the most relevant model input for of user-oriented uncertainty study. Their accessibility was ranked by experts on a three-points scale ranging from "1" (easily accessible in farmer fields) to "3" (required very specific measurement instruments)

2. Analyse des pratiques des utilisateurs

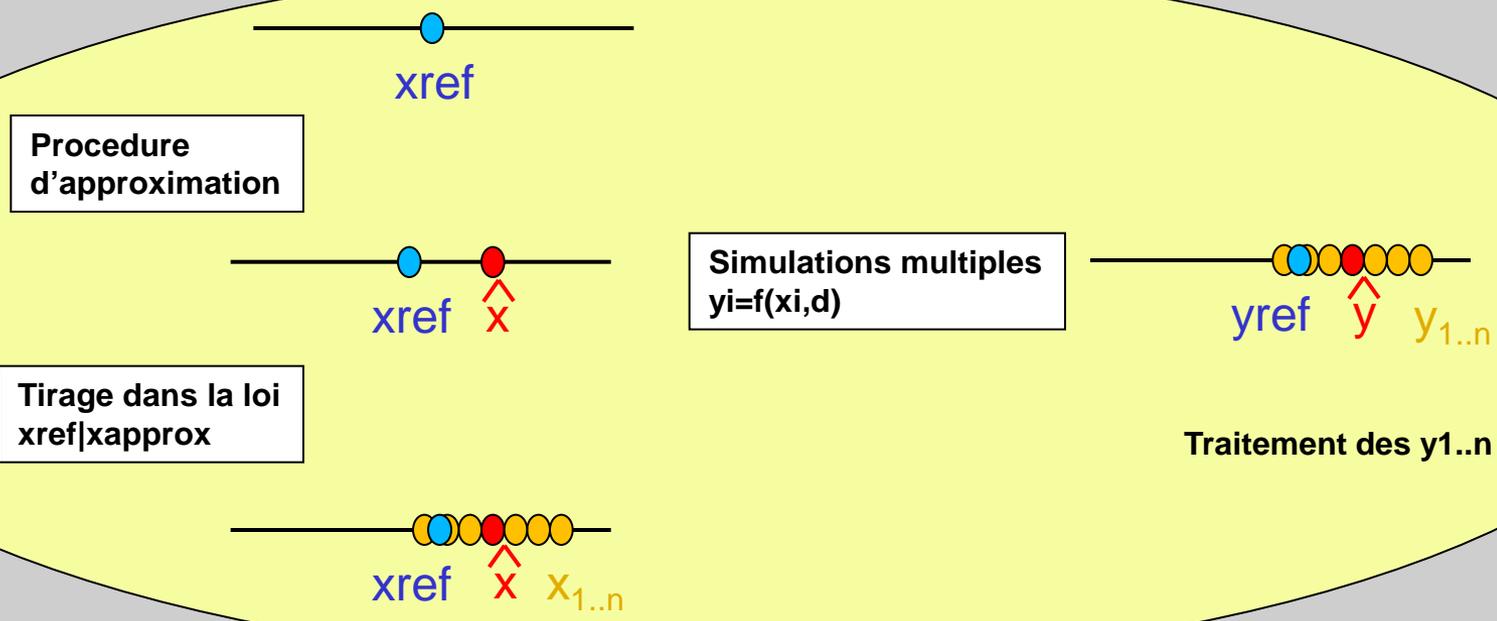
Formalisation des scenario d'utilisation à partir de l'accessibilité à la mesure

<i>Scenario name</i>	p_{ic}	d_{bud}	k_{max}	CN	$TTSW_{tot}$	$FTSW^0$	R, T, ETP	<i>Scenario description</i>
U_{ref}	1	1	1	1	1	1	1	measurements are done (reference usage)
U_1	1	1	1	0	1	1	1	only measurements for run-off are missing
U_2	1	1	1	0	1	0	1	measurements for run-off and water stress level at budburst are missing
U_3	1	1	1	1	0	0	1	measurements for water stress level at budburst and soil water content are missing
U_4	1	1	1	0	0	0	1	measurements for maximum crop coefficient and local weather data are available
U_5	1	1	0	0	0	0	1	only local weather data are available
U_6	1	1	1	1	1	1	0	only local weather data are missing
U_7	1	1	0	0	0	0	0	no measurement available on the plot

Table 2: Usage scenarios expressed in terms of input measurements availability for the vineyard water balance model. For each input, 1 (resp. 0) means that direct measurements are available (resp. unavailable). The proportion of intercropped area (p_{ic}) and the vineyard budburst date (d_{bud}) are supposed easily accessible and always measured.

3. Caractérisation sous forme d'estimation d'incertitude

- 5 entrées incertaines
 - => spécifier comment faire en cas d'absence de mesure
 - => utiliser une méthode de propagation par simulation



X : ruissellement
entrées climatiques
efficacité interception max
stock d'eau transpirable
stress au débourrement



3. Caractérisation de l'incertitude

Efficiences d'interception maximale

Mesure de référence :

- dimensions vignoble et porosité à développement foliaire max
- utilisation d'un sous-modèle

[RIOU, C., VALANCOGNE, C. and PIERI, P., 1989. Un modèle simple d'interception du rayonnement solaire par la vigne. Vérification expérimentale. Agronomie 9 (5).]

Approximation

- utilisation d'une table pré-calculée pour une conduite fixée (hauteur x vigueur)

Incertaince (loi $x|x_{approx}$)

- on suppose que la classe est bonne
- on suppose que la vraie valeur peut être partout dans la classe du fait de l'incertitude du lien vigueur/porosité

(a)		vigor level			(b)		vigor level		
		low	medium	high			low	medium	high
foliage heigth(m)	0.7	0.306	0.374	0.432	0.7	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.034)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.034)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.029)$	
	0.8	0.323	0.395	0.457	0.8	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.036)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.036)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.031)$	
	0.9	0.339	0.415	0.480	0.9	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.038)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.038)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.032)$	
	1	0.353	0.433	0.501	1.0	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.040)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.040)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.034)$	
	1.1	0.367	0.451	0.522	1.1	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.042)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.042)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.035)$	
	1.2	0.380	0.467	0.541	1.2	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.043)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.043)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.037)$	
	1.3	0.392	0.482	0.560	1.3	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.045)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.045)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.039)$	
	1.4	0.403	0.497	0.577	1.4	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.047)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.047)$	$\mathcal{U}(\bar{k} \pm 0.040)$	

3. Caractérisation de l'incertitude

Entrée définissant le caractère ruissellant

Mesure de référence :

- mesure de flux de ruissellement et inversion du sous-modèle

Approximation

- utilisation d'une table pré-calculée (groupe sol x travail sol)

Incertitude (loi x|xapprox)

- on suppose que la classe est bonne
- on suppose que la vraie valeur peut être partout dans la classe du fait de variabilité au sein d'une classe

(a)	soil group				(b)	soil group			
	A	B	C	D		A	B	C	D
bare soil	77	86	91	94	bare soil	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 5.5)$	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 4.5)$	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 3)$	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 2.5)$
bare soil and tillage	66	77	85	89	bare soil and tillage	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 8.5)$	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 5.5)$	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 4)$	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 2.5)$
grass cover	49	69	79	84	grass cover	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 10)$	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 10)$	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 5)$	$\mathcal{U}(\bar{CN} \pm 2.5)$

3. Caractérisation de l'incertitude

Entrées climatiques ($P(t)$, $ETP(t)$, $T_{moy}(t)$)

Mesure de référence :

- station en parcelle

Approximation

- station "proche" (synchronisée)

Incertitude (loi $x|x_{approx}$)

- pas de loi explicite!
- mais approche pragmatique : utiliser plusieurs autres séries climatiques approchées pour appréhender une variabilité

3. Caractérisation de l'incertitude Réserve d'eau transpirable (TTSW)

Mesure de reference :

- suivis de stock par sonde à neutrons

Approximation

- beaucoup de possibilités
- choix simple d'une table par expertise
- source [*William Trambouze (CA34)/Jean-Christophe Payan (IFV)*]

Incertitude (loi $x|x_{approx}$)

- compliqué en général
- hypothèse pragmatique : on suppose que la vraie valeur peut être partout dans la classe du fait de variabilité au sein d'une classe et des autres approximations

(a)	soil depth			(b)	soil depth		
	shallow	medium	deep		shallow	medium	deep
Sand	50	100	150	Sand	$\mathcal{U}(50, 75)$	$\mathcal{U}(70, 130)$	$\mathcal{U}(110, 190)$
Medium	90	160	230	Medium	$\mathcal{U}(55, 125)$	$\mathcal{U}(125, 195)$	$\mathcal{U}(190, 270)$
Clay	120	180	300	Clay	$\mathcal{U}(90, 150)$	$\mathcal{U}(120, 240)$	$\mathcal{U}(240, 360)$

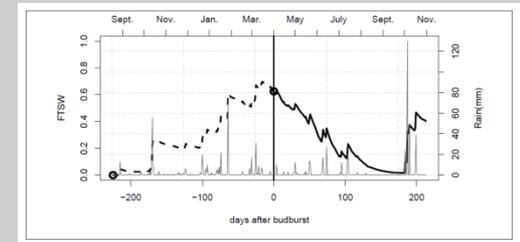
3. Caractérisation de l'incertitude Stress au débourrement (FTSW0)

Mesure de reference :

- stock au débourrement par sonde à neutrons

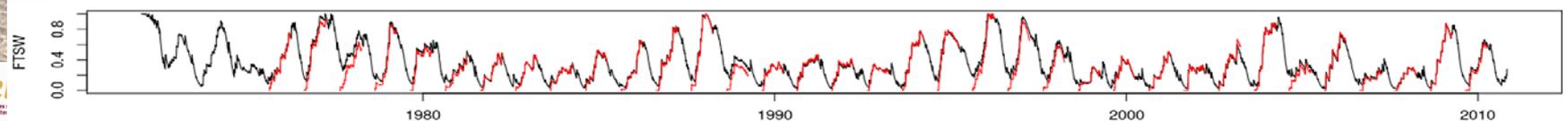
Approximation

- tres dépendant de toutes les autres entrées (ruissellement, stock)
- choix le meilleur : faire tourner le modèle depuis l'été précédent depuis un état sec)



Incertainde (loi x|xapprox)

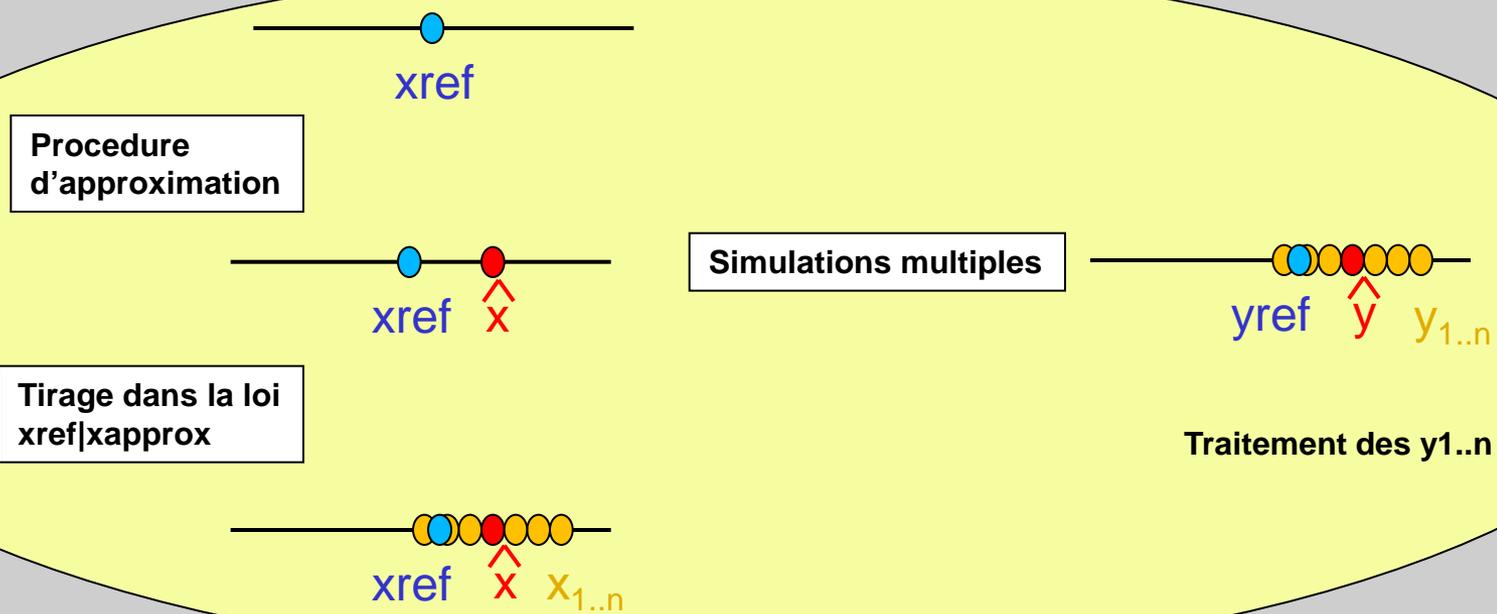
- compliqué car implique d'utiliser le modèle
- étude annexe sur série climatique longue, avec prise en compte d'une erreur residuelle



- calcul d'un modèle d'erreur pour chaque parcelle x scenario

3. Caractérisation sous forme d'estimation d'incertitude

- 5 entrées incertaines
 - => spécifier comment faire en cas d'absence de mesure
 - => utiliser une méthode de propagation par simulation



X : ruissellement
entrées climatiques
efficacité interception max
stock d'eau transpirable
stress au débourrement



4. Vérification des modèles d'incertitude

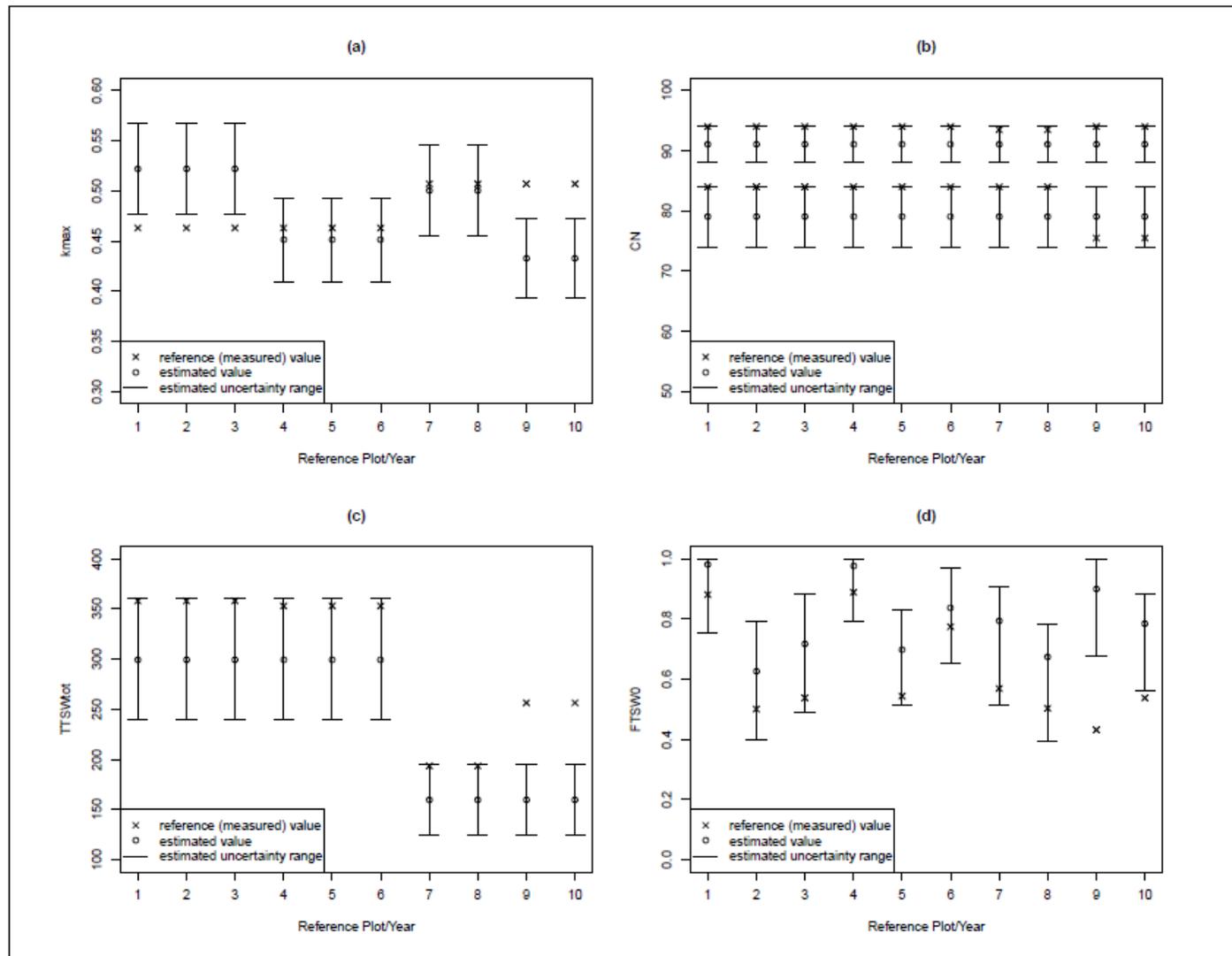
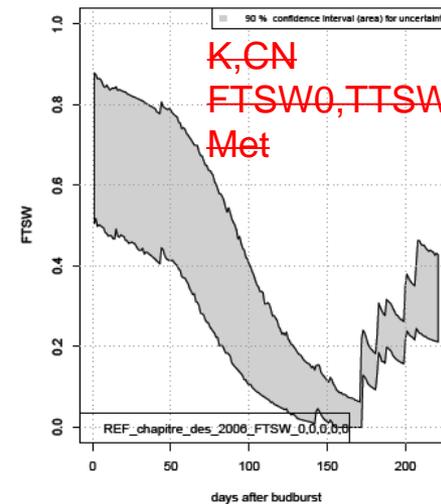
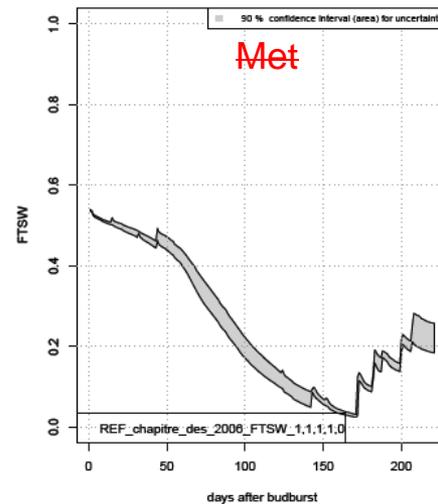
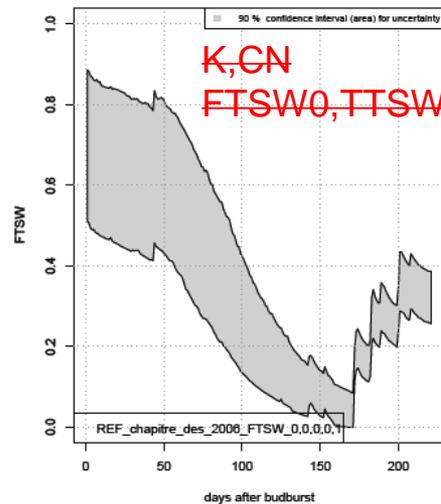
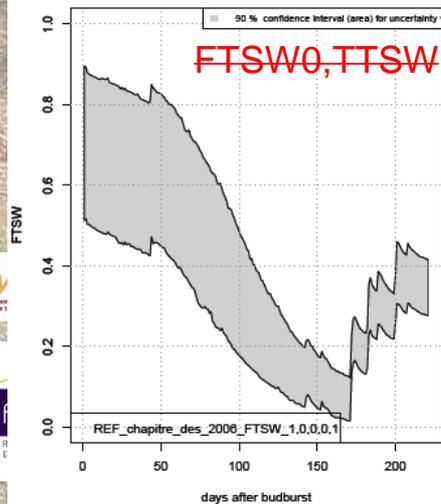
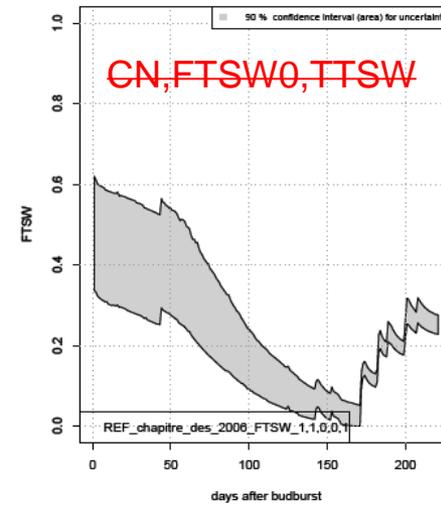
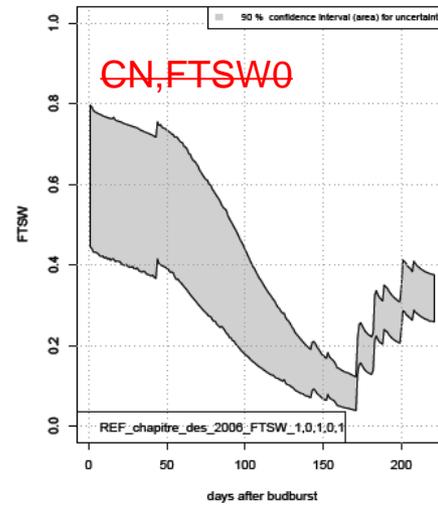
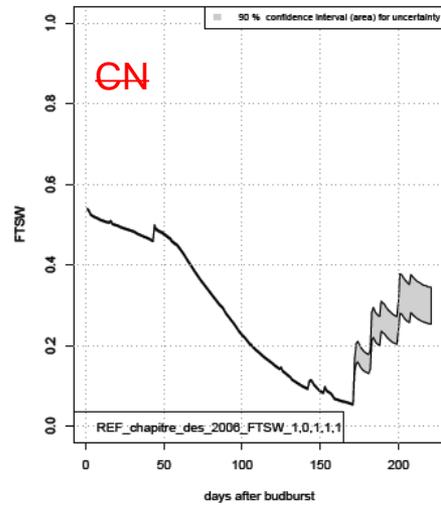
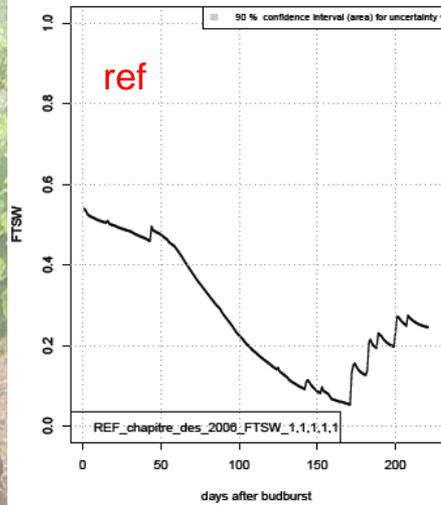


Figure 5: Verification of the quality of the input uncertainty models on a set of ten Mediterranean reference plots for input k_{max} , CN (with the values for bare soil and grass cover), $TTSW_{tot}$ and $FTSW^0$. These uncertainty estimates have been computed for usage scenario U_5 ("only weather data are available").

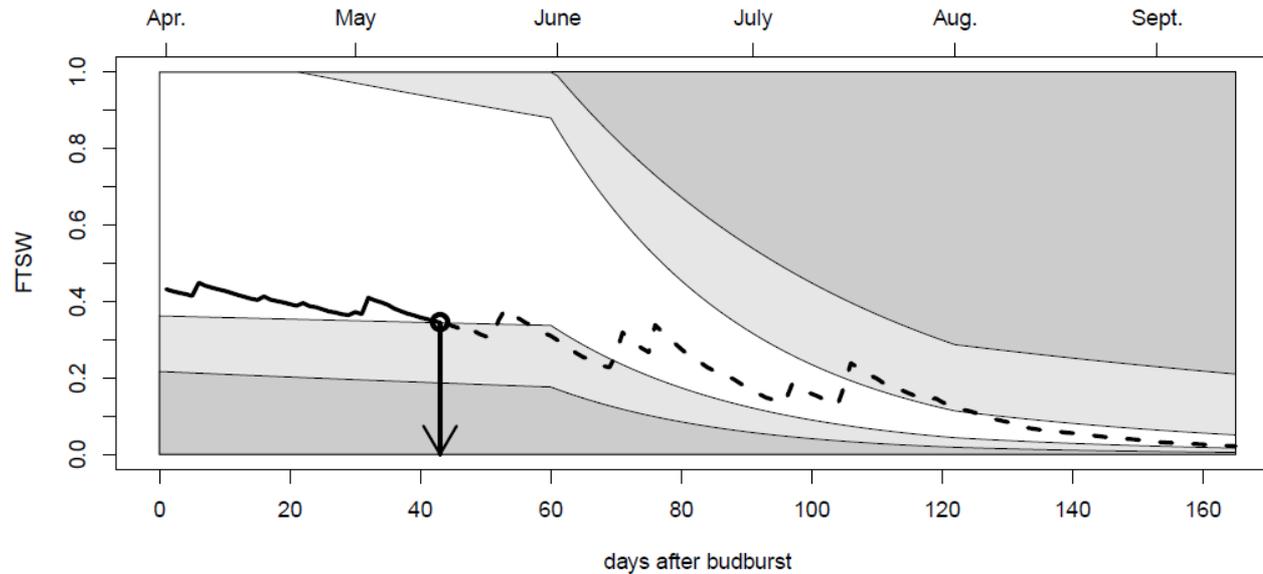
4. Illustration sur un cas: Irrigation basée modèle : intervalles de prediction FTSW

Résultats sur une parcelle du domaine du Chapitre (34) (2006)



4. Illustration sur un cas: Irrigation basée modèle

Principe de l'utilisation d'un modèle pour cette application



Lebon at al, 2003

Bleu, suralimentation en eau
Cyan, parcours hydrique optimal à tendance humide
Blanc, parcours hydrique optimal pour obtenir la production souhaitée
Orange, parcours hydrique optimal à tendance sèche
Rouge, sous-alimentation en eau

Source IFV/INRA

Trajectoire	Dbt	Flo	Ver	Rec
A	-0.0009	-0.0084	-0.2440	-0.3024
B	0.0028	-0.0343	-0.4175	-0.5686
C	-0.2004	-0.2137	-0.5976	-0.7833
D	-0.2965	-0.3353	-0.7587	-0.9971
E	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5

Table 8: Grille de diagnostique pouvant être utilisée pour caractériser de classes de trajectoires hydriques partir de valeur de potentiel hydrique certaines stades phénologiques (source IFV)

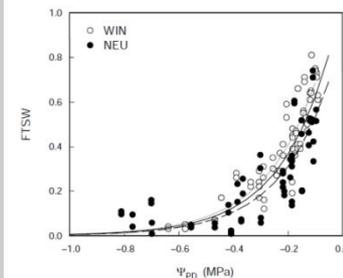
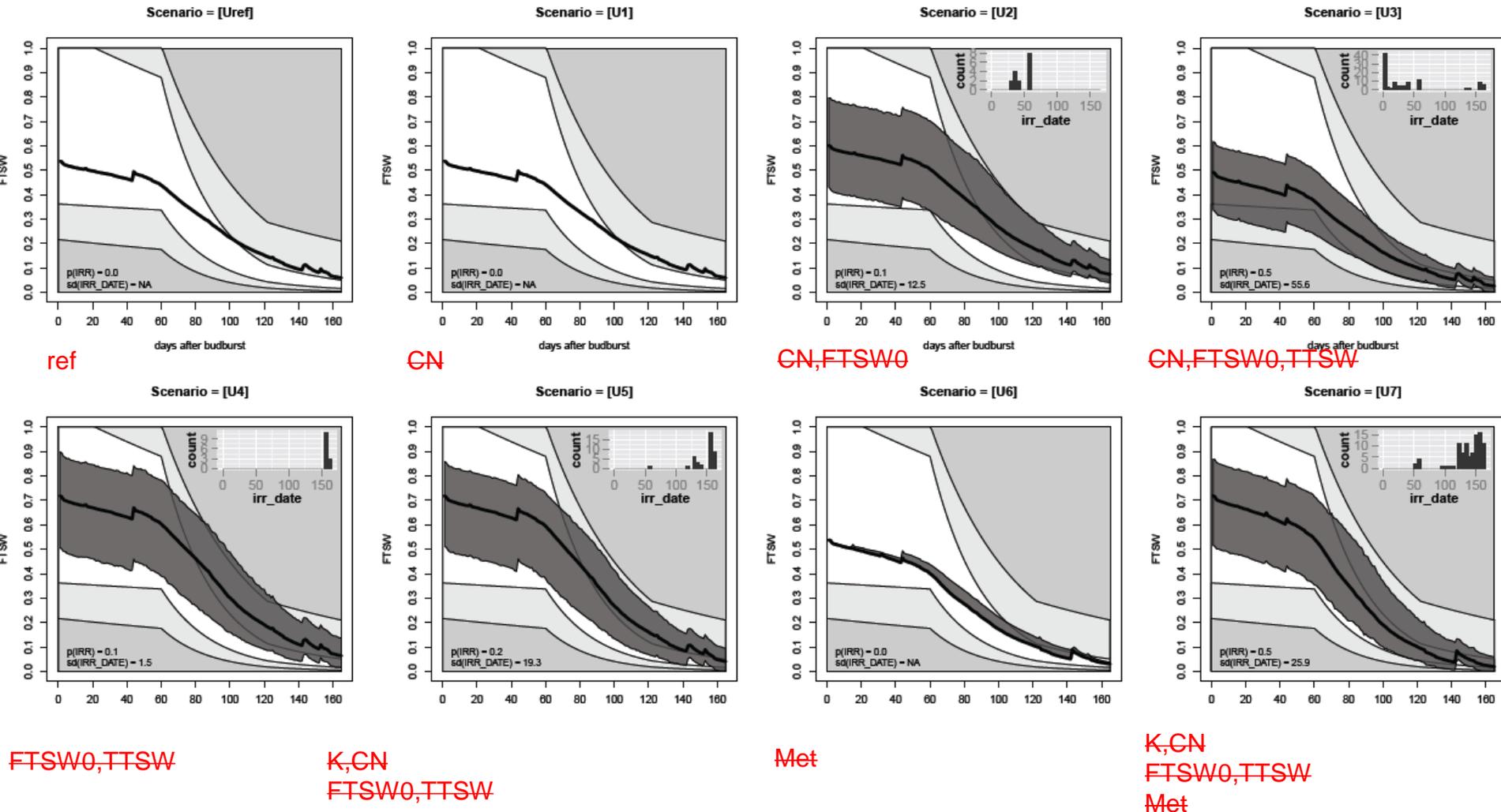


Fig. 3. Fraction of transpirable soil water (FTSW) as a function of pre-dawn water potential pooled for four experimental years for WIN (○) and NEU (●). Lines were fitted and estimated parameters were: (WIN, dotted line) $FTSW = 1.1565 \exp(5.2708 \Psi_{PD})$, $R^2=0.82$; (NEU, dashed line) $FTSW = 0.9024 \exp(5.3696 \Psi_{PD})$, $R^2=0.69$ (WIN and NEU, continuous line) $FTSW = 1.057 \exp(5.3452 \Psi_{PD})$, $R^2=0.75$.

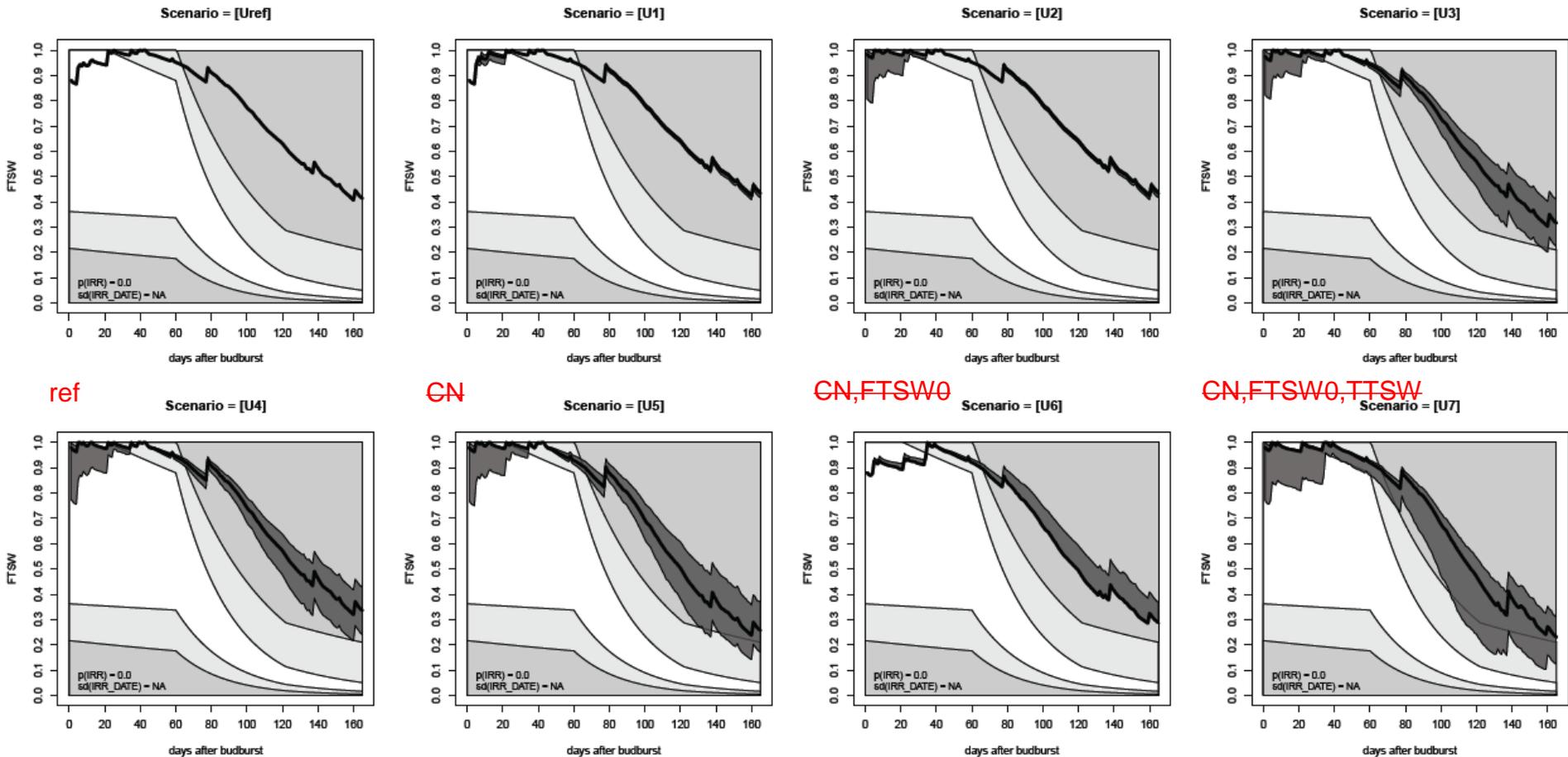
4. Illustration sur un cas: Irrigation basée modèle : intervalles de prediction FTSW

Résultats sur une parcelle du domaine du Chapitre (34) (2006)



4. Illustration sur un cas: Irrigation basée modèle : synthèse décisions

Résultats sur une parcelle du domaine du Chapitre (34) (2004)



ref

CN

CN,FTSW0

CN,FTSW0,TTSW

FTSW0,TTSW

K,CN
FTSW0,TTSW

Met

K,CN
FTSW0,TTSW
Met

5. Retour sur les sources d'erreur

Decomposition de l'erreur totale

$$\text{error}_i(t) = FTSW_i(t) - \hat{FTSW}(t, \hat{T}_i, X_i; \theta)$$

$$FTSW_i(t) - \hat{FTSW}(t, \hat{T}_i, X_i; \theta) = \varepsilon_i(t) + \tau_i(t)$$

$$\varepsilon_i(t) = \left[FTSW_i(t) - \hat{FTSW}(t, T_i, X_i; \theta) \right]$$

$$\tau_i(t) = \left[\hat{FTSW}(t, T_i, X_i; \theta) - \hat{FTSW}(t, \hat{T}_i, X_i; \theta) \right]$$

- **1^{er} terme** : erreur sur les paramètres et la structure
- **2^{ème} terme** : erreur d'approximation sur les variables d'entrée

5. Retour sur les sources d'erreur

Modèle d'erreurs

$$FTSW_i(t) - \hat{FTSW}(t, \hat{T}_i, X_i; \theta) = \varepsilon_i(t) + \tau_i(t)$$

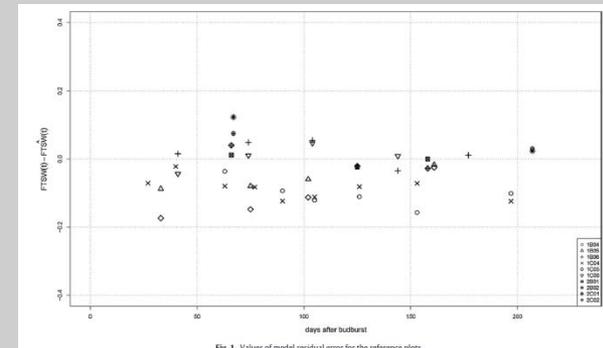
$$\varepsilon_i(t) = \left[FTSW_i(t) - \hat{FTSW}(t, T_i, X_i; \theta) \right]$$

$$\tau_i(t) = \left[\hat{FTSW}(t, T_i, X_i; \theta) - \hat{FTSW}(t, \hat{T}_i, X_i; \theta) \right]$$

- **1^{er} terme** : erreur sur les paramètres et la structure

$$\varepsilon_i(t) \sim f_E(\varepsilon)$$

- Indépendant de t, T, X, FTSWi
- Distribution empirique des résidus



- **2^{ème} terme** : erreur d'approximation sur les variables d'entrée

$$\eta_i = T_i - \hat{T}_i$$

- ➔ modèle d'erreur η sur les entrées
- ➔ propagation monte-carlo
- ➔ une distribution de τ par parcelle année/jour/scenario

$$\eta_i \sim f_N(\eta)$$

5. Retour sur les sources d'erreur

Estimation totale

$$FTSW_i(t) - \hat{FTSW}(t, \hat{T}_i, X_i; \theta) = \varepsilon_i(t) + \tau_i(t)$$

$$\varepsilon_i(t) = \left[FTSW_i(t) - \hat{FTSW}(t, T_i, X_i; \theta) \right]$$

$$\tau_i(t) = \left[\hat{FTSW}(t, T_i, X_i; \theta) - \hat{FTSW}(t, \hat{T}_i, X_i; \theta) \right]$$

2 échantillonneurs à disposition

- → estimation par Monte Carlo sous hypothèse d'indépendance

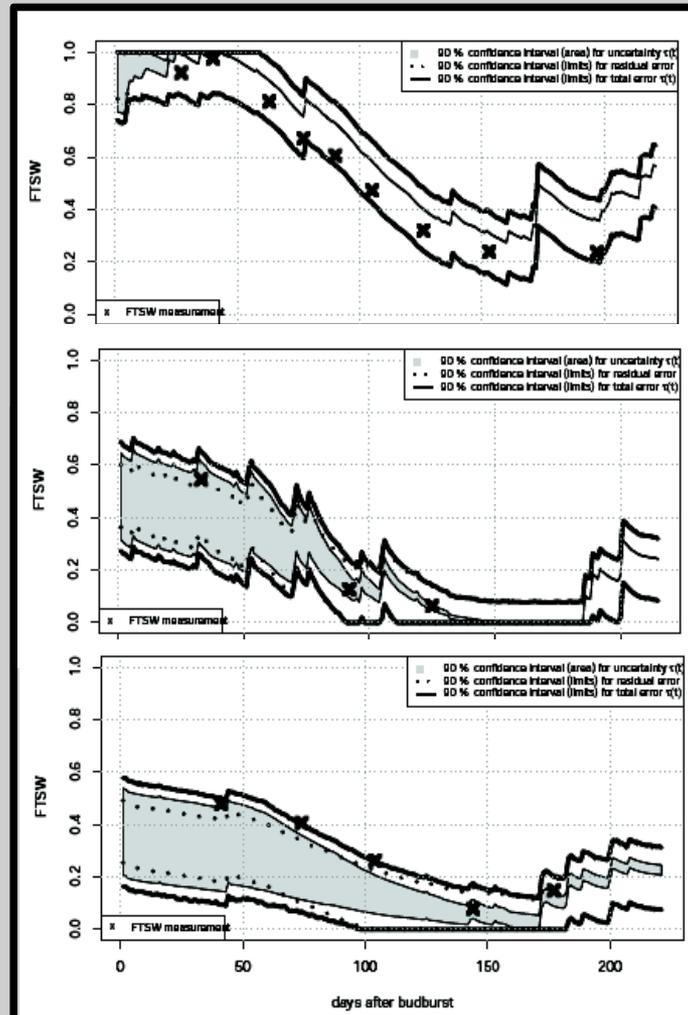
Pas tout à fait vraie pour des approximations impliquant l'utilisation du modèle

Peut être pas vrai si le modèle d'erreur ε est vraiment pas acceptable

5. Retour sur les sources d'erreur

Estimation totale: mise en evidence de propriétés de l'erreur

Exemple d'un scenario d'approximation de l'etat initial



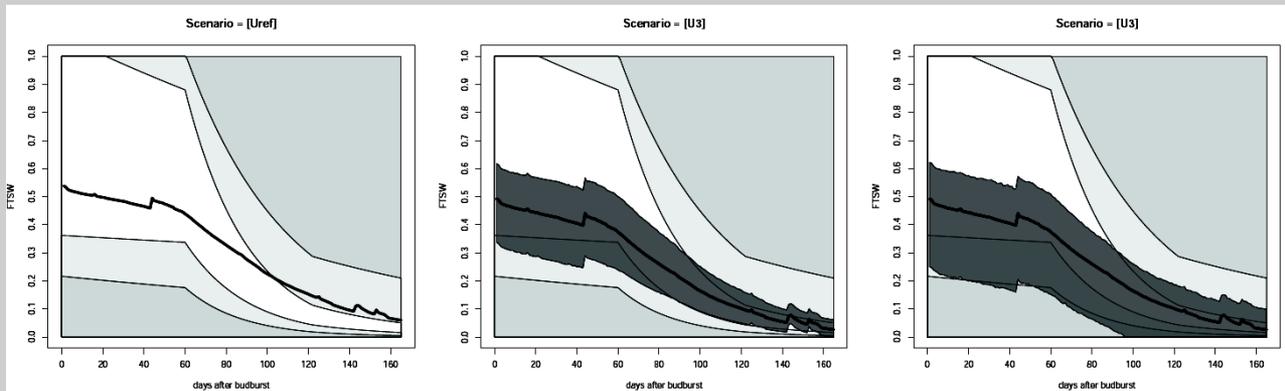
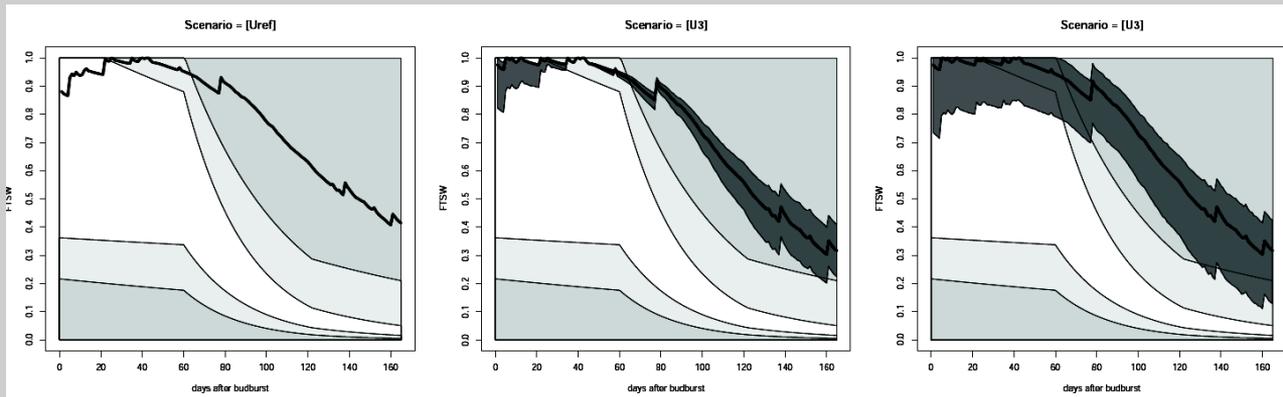
Roux et al, 2014.

European Journal of Agronomy, 52:191-97

5. Retour sur les sources d'erreur

Estimation totale: mise en evidence de propriétés de l'erreur

Exemple d'un scenario (U3 : FTSW0, TTSW missing)



ref

τ (entrées)

$\varepsilon + \tau$ (tot)

6. Enseignements et perspectives

Bilan des résultats

- Pratique d'un modèle => niveau incertitude sur ses sorties
- Plusieurs scénarios réalistes de pratique utilisateurs traités
- Grilles+Erreurs disponibles pour les utilisateurs
- Constat : une incertitude qui dépend de la parcelle/année/scenario
- Calcul d'intervalle de confiance pour l'erreur totale

Bilan de l'approche méthodologique

- Importance des procédures d'approximation
- Importance des modèles d'erreurs qui sont associées
- Importance de l'expertise tout au long de l'étude
- Avoir toujours plus de données
- Prise en compte en plus de l'erreur du modèle

6. Enseignements et perspectives

Perspectives

- Etude de la variation de l'incertitude sur une gamme de parcelles/années (pour établir des préconisations générales)
- Intégration de l'incertitude à l'utilisation en ligne du modèle Walis
- Quelle attitude des utilisateurs en connaissance de l'incertitude ??

Merci pour votre attention