

Notice d'utilisation du modèle SUNFLO

Contents

Paramétrage	2
Variété	3
Pédoclimat	3
Conduite	4
Initialisation	5
Planification	5
Exemple	5
Simulation	6
Utilisation locale via une interface graphique (1-10)	6
Utilisation distance via une interface web (10-500)	6
Utilisation locale via un langage de script (10-1E6)	6
Variables de sorties et indicateurs	7
Analyse	8
Assemblage et traitements post-simulation	8
Méthodes d'analyse	9
References	9

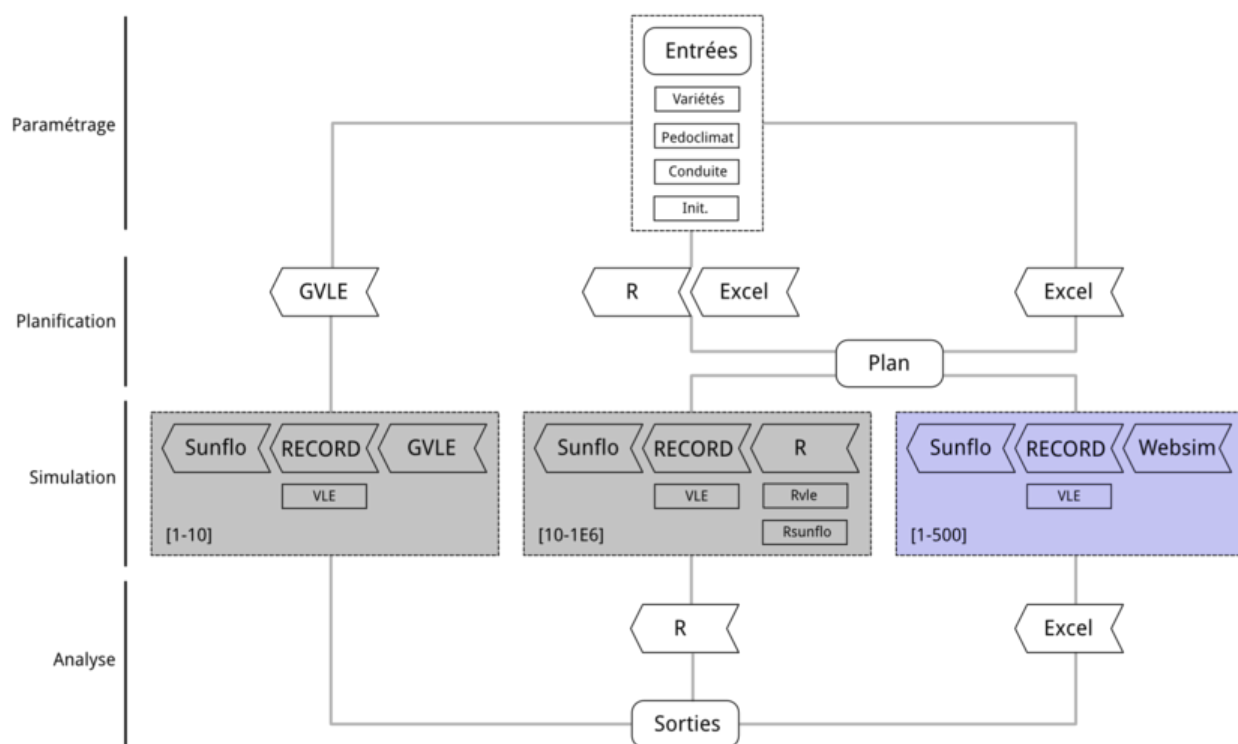
Cette notice présente les principales étapes nécessaires pour réaliser une expérimentation numérique avec le modèle SUNFLO. Selon les questions abordées (démonstration, simulation de réseaux d'essais multilocal, exploration, ...) le type de plan d'expérience conçu et les outils logiciels utilisés varient considérablement.

Différentes procédures sont proposées selon le volume de simulation :

- utilisation locale via une interface graphique (1-10 simulations : **GVLE**)
- utilisation distance via une interface web (10-500 simulations : **websim**)
- utilisation locale via un langage de script (10-1M simulations: **rsunflo**)

Pour chacune des ces procédures, 4 étapes successives sont nécessaires :

1. rassembler les données d'entrées et de paramétrage (paramétrage)
2. concevoir le plan de l'expérimentation numérique (**planification**)
3. réaliser les simulations (**simulation**)
4. organiser les sorties et analyser les données (**analyse**)



Procédures d'utilisation : Les traits gris représentent les différentes procédures d'utilisation des outils logiciels. Les cadres gris nécessitent une installation locale des logiciels mentionnés, le cadre bleu permet une utilisation distante, via une interface web. Les chevrons représentent des logiciels et les rectangles, des packages. Les formes arrondies représentent des jeux de données.

Paramétrage

L'utilisation par défaut de sunflo nécessite 42 paramètres et 5 variables d'entrées répartis en 4 volets : variétés, pédoclimat, conduite de culture et initialisation. Si une partie de ces informations n'est pas renseignée, la simulation échoue.

Les outils de multi-simulation (rsunflo, websim) fonctionnent avec un ensemble {données d'entrée, version du

modèle, type de sorties} fixé.

L'interface *websim* permet de créer différentes version d'un même modèle informatique utilisant *VLE+RECORD*. A chaque usage correspond donc une version *ad hoc*, nommée *patrons de simulation* dans *websim*. Bien que ces patrons peuvent être créés par les utilisateurs dans l'interface, trois patrons sont utilisables pour SUNFLO :

modèle	patron	usage	paramètres
SUNFLO	variato	version par défaut, évaluation variétale	42
SUNFLO	gem	version simplifiée, experimentation numérique	21
SUNFLO	genotype	paramétrage variétal uniquement	12

Ce mode d'emploi se base sur le patron *variato*. Le fichier [parameterization.xlsx](#) détaille le contenu des patrons de simulation, le détail du paramétrage et propose des valeurs par défaut.

Variété

nom	label	unité	référence
TDE1	Durée de la phase levée (A2) - initiation florale (E1	°Cd	(Lecoeur et al., 2012)
TDF1	Durée de la phase levée (A2) - floraison (F1)	°Cd	(Lecoeur et al., 2012)
TDM0	Durée de la phase levée (A2) - debut maturité (M0)	°Cd	(Lecoeur et al., 2012)
TDM3	Durée de la phase levée (A2) - maturité (M3)	°Cd	(Lecoeur et al., 2012)
TLN	Nombre de feuille potentiel	feuilles	(Lecoeur et al., 2012)
LLH	Rang (depuis le sol) de la plus grande feuille du profil foliaire à la floraison	feuilles	(Lecoeur et al., 2012)
LLS	Surface de la plus grande feuille du profil foliaire à la floraison	cm ²	(Lecoeur et al., 2012)
K	Coefficient d'extinction du rayonnement lors de la phase végétative (E1-F1)	-	(Lecoeur et al., 2012)
LE	Seuil de réponse de l'expansion foliaire à une contrainte hydrique	-	(Casadebaig et al., 2012)
TR	Seuil de réponse de la conductance stomatique à une contrainte hydrique	-	(Casadebaig et al., 2012)
HI	Indice de récolte potentiel	-	(Casadebaig et al., 2012)
OC	Teneur en huile dans l'akène en conditions potentielles	%, 0% humidité	(Casadebaig et al., 2012)

table des paramètres : variétés

Pédoclimat

nom	label	unité
file	Nom du fichier climatique	-
root_depth	Profondeur d'enracinement maximale	mm
field_capacity_1	Humidité massique à la capacité au champ dans l'horizon de surface (0 - 30 cm)	%
wilting_point_1	Humidité massique au point de flétrissement dans l'horizon de surface (0 - 30 cm)	%

nom	label	unité
field_capacity_2	Humidité massique à la capacité au champ dans l'horizon inférieur (30 cm - profondeur)	%
wilting_point_2	Humidité massique au point de flétrissement dans l'horizon inférieur (30 cm - profondeur)	%
soil_density_1	Densité apparente du sol dans l'horizon de surface (0 - 30 cm)	g.cm-3
soil_density_2	Densité apparente du sol dans l'horizon inférieur (30 cm - profondeur)	g.cm-3
stone_content	Taux de cailloux	[0; 1]
mineralization	Vitesse potentielle de minéralisation	kg/ha/jour

table des paramètres : pédoclimat

Données climatiques

Sunflo utilise des données climatiques disponibles dans des fichiers texte. Chaque fichier représente une année avec l'enregistrement de 5 variables (colonnes) au pas de temps journalier (lignes).

La fonction `rsunflo::climate` permet de créer ces fichiers depuis les principaux formats (meteo-france, INRA climatik). Sinon, un exemple de fichier climatique formaté pour sunflo est disponible sur websim.

nom	label	unité
TN	Température minimale	°C
TX	Température maximale	°C
GR	Rayonnement global incident	MJ/m2
ETP	Evapotranspiration de référence	mm
RR	Précipitations	mm

table des variables climatique d'entrée

Conduite

nom	label	unité
crop_sowing	Date de semis	jj/mm
crop_harvest	Date de récolte	jj/mm
crop_density	Densité du peuplement à la levée	plantes/m2
nitrogen_date_1	Fertilisation (date)	jj/mm
nitrogen_dose_1	Fertilisation (dose)	kg/ha eq. azote minéral
nitrogen_date_2	Fertilisation (date)	jj/mm
nitrogen_dose_2	Fertilisation (dose)	kg/ha eq. azote minéral
water_date_1	Irrigation (date)	jj/mm
water_dose_1	Irrigation (dose)	mm
water_date_2	Irrigation (date)	jj/mm

nom	label	unité
water_dose_2	Irrigation (dose)	mm
water_date_3	Irrigation (date)	jj/mm
water_dose_3	Irrigation (dose)	mm

table des paramètres : conduite

Initialisation

nom	label	unité
begin	Date de début de la simulation	jj/mm/aaaa
duration	Durée de la simulation	jour
crop_emergence	Date de levée (forçage)	jj/mm
nitrogen_initial_1	Reliquats azotés dans l'horizon de surface (0 - 30 cm)	kg/ha eq. azote minéral
nitrogen_initial_2	Reliquats azotés dans l'horizon inférieur (30 cm - profondeur)	kg/ha eq. azote minéral
water_initial_1	Humidité massique initiale dans l'horizon de surface (0 - 30 cm)	%
water_initial_2	Humidité massique initiale dans l'horizon inférieur (30 cm - profondeur)	%

table des paramètres : initialisation

Planification

Cette étape consiste à concevoir un plan d'expérience numérique et à en préparer une représentation informatique (fichier ou objet) en vue de la simulation. Ce plan se présente comme une matrice, chaque simulation (ligne) est représentée par un vecteur de paramètres (colonnes). La longueur de ce vecteur est déterminée par le patron de simulation utilisé (par défaut, 42).

Ce plan peut être créé manuellement (séquentiellement, ligne après ligne) ou bien automatiquement, en combinant de manière définie les niveaux de différents facteurs étudiés.

La première solution correspond souvent à la simulation d'expérimentations réelles (MET). Dans ce cas, l'utilisation d'un tableur pour créer un fichier est préférable. Les entêtes des colonnes du fichier sont les noms des paramètres présentés dans les tableaux précédents.

La deuxième solution est utilisée plutôt pour l'exploration du modèle, les plans créés peuvent être des combinaisons factorielles de paramètres (s'ils sont peu nombreux) ou des plans issus de méthodes d'analyse de sensibilité.

Dans tout les cas, les plans créés peuvent être utilisés soit avec le simulateur local (rsunflo) ou distant (websim). Si ce dernier est utilisé, le format du fichier du plan est crucial (type et format des colonnes). La fonction `rsunflo::design` permet de convertir le fichier créé vers le format de websim (cf. aide de websim).

Exemple

Le plan (fichier [design.xlsx](#)) a été initialement créé avec un tableur en utilisant en entête les noms des paramètres et variables d'entrée présenté dans les tables précédentes. Le fichier du plan est simplement lu,

assemblé, et ré-écrit dans le format utilisé par websim. Le nom d'utilisateur utilisé dans websim doit être passé en argument à la fonction `rsunflo::design`. Les fichiers et données pour reproduire cet exemple sont fournis avec le paquet.

```
# Import des données
## Essais (n=2)
d <- readWorksheetFromFile(file="inst/doc/files/design.xlsx", sheet="essais")
## Genotypes (n=3)
g <- readWorksheetFromFile(file="inst/doc/files/design.xlsx", sheet="genotype")

# Plan factoriel complet
p <- expand.grid(carol=d$carol, genotype=g$genotype)
p <- p %>% join(d) %>% join(g)

# Ecriture au format websim
design(p, file="inst/doc/files/design_websim.xls", format="websim", user="casadebaig")
```

Simulation

Une fois le plan conçu et créé au format adapté au simulateur utilisé, les simulations sont effectuées en série. Les variables de sorties sont celles définies dans le patron de simulation. Selon la vue utilisée lors de la simulation, les sorties sont disponibles à chaque pas de temps (vue dynamique) ou bien seulement à la fin de la simulation (vue statique). Les deux tables suivantes résument le contenu de ces vues.

Utilisation locale via une interface graphique (1-10)

Cette utilisation ne fonctionne pas avec un plan d'expérience défini. Elle est donc adaptée à un faible nombre de simulation, car il faut changer chaque paramètre séquentiellement dans l'interface graphique GVLE. Cette solution permet par contre de facilement changer les variables de sorties observées lors de la simulation. L'utilisation de l'interface GVLE n'est pas documentée pour sunflo (cf. notices de l'équipe RECORD).

Utilisation distance via une interface web (10-500)

L'interface web *websim* permet, outre la création manuelle de simulations, d'automatiser le processus de simulation quand un fichier de plan d'expérience est disponible.

1. **Patrons de simulation** | **Utiliser** : choix du patron de simulation ([lien direct](#))
2. **Simulations** | **Gerer via des tableaux** : lecture du fichier de plan et création des simulations correspondantes
3. **Plan d'expérience** | **Gerer** : assemblage et simulation du contenu du plan
4. **Plan d'expérience** | **Acceder aux fichiers** : export des résultats (format excel, un fichier par simulation).

Utilisation locale via un langage de script (10-1E6)

L'utilisation de sunflo via R est plus abstraite que l'utilisation d'interfaces utilisateurs, mais constitue à la fois une procédure parfaitement reproductible et plus rapide (facteur ~10) pour réaliser des expérimentations numériques.

La fonction `rsunflo::play` permet de simuler une ligne d'une matrice qui représente le plan d'expérience

créé via un tableau. La fonction `rsunflo::shape` met en forme et renomme les variables de sorties. La fonction `rsunflo::display` représente chaque variable de sortie en fonction du temps. Le package `plyr` est utilisé pour itérer les simulations sur l'ensemble des lignes du plan. Ce calcul peut facilement être distribué sur plusieurs coeurs ou processeurs à l'aide du package `doMC` (cf aide de `plyr`). A cette étape, le résultat de chaque simulation est stocké dans un élément de liste. Les simulations qui échouent retournent un élément vide, les fonctions `Filter` et `compact` permettent de filtrer les simulations réussies. Pour l'instant, les causes de l'erreur ne sont pas remontées dans R (voir les logs de VLE).

Exemple

```
# Modèle et plan
sunflo <- new("Rvle", file = "sunflo_web.vpz", pkg = "sunflo")
design <- as.list(p)

# Paramétrisation par défaut
sunflo %>% run() %>% results() %>% shape(view="timed")

# Paramétrisation issue du plan d'expérience (1 unité de simulation)
sunflo %>% play(design, unit=1) %>% shape(view="timed")

# Sortie graphique
sunflo %>% play(design, unit=1) %>% shape(view="timed") %>% display()

# Multi-simulation du plan d'expérience (parallélisation possible : require(doMC), ?mply)
model <- function(x){sunflo %>% play(design, unit=x) %>% shape(view="timed")}
output <- mply(design$id, failwith(NULL, model))

# Agregation (1 unité -> une matrice)
output_timed <- output %>% compact() %>% ldply()

# Calcul d'indicateurs (1 unité -> un vecteur)
output_indicators <- output %>% compact() %>% ldply(indicate)
```

Variables de sorties et indicateurs

nom	label	unité
TN	Température minimale	°C
TX	Température maximale	°C
TM	Température moyenne	°C
GR	Rayonnement global incident	MJ/m2
ETP	Evapotranspiration de référence	mm
RR	Précipitations	mm
TTA2	Temps thermique cumulé depuis la levée	°C.j
PhenoStage	Index de phénologie	-
FTSW	Facteur de contrainte hydrique	-
FHTR	Facteur de réponse de la transpiration à la contrainte hydrique	-

nom	label	unité
FHRUE	Facteur de réponse de la photosynthèse à la contrainte hydrique	-
ETRETM	Ratio ETR/ETM	-
FTRUE	Facteur de réponse de la photosynthèse à la contrainte thermique	-
NAB	Azote absorbé	kg/ha/j
NNI	Indice de nutrition azoté	-
FNRUE	Facteur de réponse de la photosynthèse à la contrainte azote	-
LAI	Indice foliaire	-
RIE	Efficience d'interception de la lumière	-
RUE	Efficience d'utilisation de la lumière	-
TDM	Biomasse aérienne	g/m2
GY	Rendement en grain	q/ha
OC	Teneur en huile	%, grain à 0% humidite

table des variables de sorties dynamiques

nom	label	unité
JSE	Nombre de jours de stress hydrique ($ETR/ETM < 0.6$) pour la période initiation florale - début floraison	jours
JSF	Nombre de jours de stress hydrique ($ETR/ETM < 0.6$) pour la période début floraison - début maturité	jours
JSM	Nombre de jours de stress hydrique ($ETR/ETM < 0.6$) pour la période début maturité - fin maturité	jours
GY	Rendement en grain	q/ha
OC	Teneur en huile	%, grain

table des variables de sortie statique

Analyse

Assemblage et traitements post-simulation

Le package `plyr` permet également d'appliquer un même traitement sur un ensemble d'éléments, qu'il s'agisse simplement d'un assemblage (exemple ci-dessus) ou d'une opération statistique (description, régression...). C'est cette possibilité qui est utilisée pour calculer un panel pré-défini d'indicateurs depuis des sorties dynamiques brutes (cf. fonction `rsunflo::indicate`).

nom	position	label	calcul	unité
SGR	cycle	Rayonnement incident (PAR)	sum(0.48*GR)	MJ/m2
SRR	cycle	Précipitations	sum(RR)	mm
SETP	cycle	Evapotranspiration	sum(ETP)	mm
SCWD	cycle	Déficit hydrique climatique	sum(P-ETP)	mm

nom	position	label	calcul	unité
SFTSW	cycle	Déficit hydrique édaphique (quantitatif)	sum(1-FTSW)	-
NETR	cycle	Déficit hydrique édaphique (qualitatif)	sum(ETR/ETM < 0.6)	jours
SFHTR	cycle	Effet de la contrainte hydrique sur la transpiration	sum(1-FHTR)	-
SFHRUE	cycle	Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse	sum(1-FHRUE)	-
SNNI	cycle	Déficit azoté	sum(1-NNI)	-
SNAB	cycle	Azote absorbé	diff(range(NAB))	kg/ha
SFNRUE	cycle	Effet de la contrainte azote sur la photosynthèse	sum(1-FNRUE)	-
SFTRUE	cycle	Effet de la contrainte thermique sur la photosynthèse	sum(1-FTRUE)	-
LAI	cycle	LAI maximum	max(LAI)	-
DSF	cycle	Durée de surface foliaire	sum(LAI)	-
SIR	cycle	Rayonnement intercepté (PAR)	sum(RIEGR0.48)	MJ/m2
MRUE	cycle	Photosynthèse	mean(RUE)	g/MJ/m2
STDM	cycle	Biomasse	max(TDM)	g/m2
TT	cycle	Temps thermique (base 4.8°C)	max(TTA2)	°C.j
GY	cycle	Rendement en grain	max(GY)	q/ha
OC	cycle	Teneur en huile	max(OC)	%

table des indicateurs calculés depuis des variables dynamiques

Méthodes d'analyse

L'import des données dans R permet de profiter de ses outils statistiques. Pour une question plus orientée vers le développement, l'analyse des données peut s'envisager dans l'outil web de simulation. Le framework de websim peut ainsi être installé pour servir de support à la construction d'un outil d'aide à la décision.

References

- Casadebaig, P., Debaeke, P., Lecoœur, J., 2008. Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. *European Journal of Agronomy* 28, 646–654.
- Casadebaig, P., Guillioni, L., Lecoœur, J., Christophe, A., Champolivier, L., Debaeke, P., 2011. SUNFLO, a model to simulate genotype-specific performance of the sunflower crop in contrasting environments. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 163–178.
- Lecoœur, J., Poiré-Lassus, R., Christophe, A., Pallas, B., Casadebaig, P., Debaeke, P., Vear, F., Guillioni, L., 2011. Quantifying physiological determinants of genetic variation for yield potential in sunflower. SUNFLO: a model-based analysis. *Functional Plant Biology* 38, 246–259.
- Valé, M., Mary, B., Justes, E., 2007. Irrigation practices may affect denitrification more than nitrogen mineralization in warm climatic conditions. *Biology and Fertility of Soils* 43, 641–651.