

**Nouveaux formalismes,
nouveaux paramètres,
nouvelle place des paramètres :
passage de STICS v6.9 à ModuloSTICS v1.1**

Document préparé par E. Justes, M. Launay, B. Mary, D. Ripoche, F. Ruget, E. Coucheney

A ce document est associé un fichier Excel avec l'ensemble des paramètres et variables cités (Liste-parametres.xlsx).

Contenu

A.	NOUVEAUX FORMALISMES ET PARAMETRES ASSOCIES	4
1.	FORMALISMES LIES AU BILAN AZOTE.....	4
a.	Volatilisation de l'ammoniac (NH ₃) issu des résidus organiques de type « lisier»	4
b.	Apports de matières organiques au sol et bilan C et N organique des simulations.....	5
i.	Les flux d'entrée (apports organiques cumulés) et de sortie (CO ₂ cumulé)	5
ii.	Les apports de résidus aériens à la récolte.....	7
iii.	Les apports de résidus racinaires à la récolte ou à la fauche	8
iv.	Stocks de C et N des résidus en mulch ou incorporés au sol et de la biomasse microbienne associée à la décomposition des résidus	9
v.	Calcul du bilan organique en fin de simulation.....	9
vi.	Liste des routines concernant les apports de matières organiques au sol et leur décomposition (minéralisation, humification)	12
c.	Nouvelle gestion du mulch végétal.....	13
d.	Décomposition des résidus et du mulch	13
i.	Effet de la température sur la minéralisation des résidus et de la MO humifiée	13
ii.	Effet de l'humidité sur la minéralisation des résidus et de la MO humifiée.....	13
iii.	Effet de l'excès d'eau sur la minéralisation des résidus et de la MO humifiée	14
iv.	Modification des valeurs des paramètres de décomposition des résidus de culture (cultures matures et cultures CIPAN) dans le fichier param.par	14
v.	Effet limitant de l'azote minéral disponible pour la décomposition des résidus	14
e.	Nitrification	15
i.	Potentiel de nitrification	16
ii.	Effet du pH.....	16
iii.	Effet de la température	16
iv.	Effet de l'humidité	16
2.	FORMALISMES LIES AU FONCTIONNEMENT DES PRAIRIES	17
a.	Prise en compte de la dynamique des talles.....	17
<p>Chez les graminées pérennes, il existe des phases (sécheresse, phase reproductrice) durant lesquelles on assiste à la mortalité de talles et non de plantes. Dans ces conditions il est plus pertinent de modéliser une densité de talles qu'une densité de plantes, afin de bien rendre compte de l'évolution du fonctionnement du peuplement durant ces phases. Par ailleurs on assiste à une reprise du tallage à la levée de ces périodes de stress hydrique qui était également important de modéliser. Cette reprise est permise grâce à la mobilisation de réserves.</p>		
b.	Fonctions racinaires	18
3.	FORMALISMES LIES A L'UTILISATION DE STICS POUR LES ETUDES D'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	19
a.	Stades BBCH en sortie	19
b.	Fertilisation azotée avec dates d'apports calculés en UPVT	19
c.	Adaptation de la biomasse microbienne aux changements climatiques	19
B.	PARAMETRES ET FORMALISMES DE LA VERSION STICS v 6.9 EN TEST DANS LE PARAM.V6, TRANSFERES DANS LES FICHIERS PLANTE, SOL, TECHNIQUE DE LA VERSION MODULOSTICS v1.1	20
1.	INNOVATION RACINE	20
a.	Option effet azote sur la répartition des racines codazorac.....	20

b.	Option liaison trophique codtrophrac	21
2.	DEMARRAGE PLANTULE.....	21
3.	FIXATION SYMBIOTIQUE	22
4.	CALCUL DU POTENTIEL DE BASE.....	22
5.	Les paramètres psihumin et psihucc ont été transférés dans le fichier param.par.....	22
6.	CALCUL DU DEBOURREMENT DES PLANTES PERENNES	22
7.	SPECIFICITES DES SORTIES	23
8.	SPECIFICITE FAUCHE PERENNES	23
9.	INNOVATION AZOTE PLANTE.....	23
10.	INN instantané	24
11.	INFLUENCE DE L' ALTITUDE.....	24
12.	INNOVATION GERMINATION	25
13.	INNOVATION CROISSANCE FRUIT	25
14.	INNOVATION BATTANCE	25
15.	FORME VIA LES TECHNIQUES (PALISSAGE)	26
16.	STRESS PHOTOPERIODIQUE SUR LA DUREE DE VIE DES FEUILLES	26
17.	EXECUTABLES SPECIFIQUES	27
18.	DECISION DE RECOLTE DES CULTURES ASSOCIEES	27
19.	MODIFICATION SOL PAR TECHNIQUES	27
a.	Activation détassement.....	27
b.	Activation tassement semis/récolte.....	27
c.	Nombre de couches affectées par le tassement.....	27
20.	REGLES DE DECISION SEMIS-DECISION	28
a.	Semis-activation	28
b.	Récolte-activation.....	28
21.	SPECIFICITES BETTERAVE.....	28
22.	SPECIFICITE DES ENTREES	28
a.	Lecture de hautmaxtec, largtec dans *.tec	28
b.	DST-lecture zesx, cfes, z0solnu dans *.sol.....	28
23.	Calcul de la température des fauches en somme de températures	28
24.	Spécificités quinoa.....	28
25.	Spécificités vigne (<i>Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 3.5.4, eq.3.43</i>).....	28

A. NOUVEAUX FORMALISMES ET PARAMETRES ASSOCIES

1. FORMALISMES LIES AU BILAN AZOTE

a. Volatilisation de l'ammoniac (NH_3) issu des résidus organiques de type « lisier »

(voir Brisson et al., 2009, p. 152-154, § 8.4, éq. 8.17-8.22 et fig. 8.11)

Ce calcul n'est effectué que lorsque l'option « nitrification » est activée.

La quantité totale de NH_3 volatilisé (QN_{volorg}) est calculée par le modèle "Morvan", avec un paramétrage lisier. Le résidu organique est caractérisé par la quantité d'azote ammoniacal apportée ($N_{mineral}$), par sa teneur en eau et par le travail du sol qui est fait (enfouissement ou non). Les étapes de calcul sont les suivantes :

Calcul de la proportion initiale d'azote volatilisable propvolat : propvolat dépend de la teneur en eau du lisier et du travail du sol

Calcul de la quantité initiale d'azote volatilisable $N_{volatorg}$

$$N_{volatorg}(0) = \text{propvolat} * N_{mineral}$$

Calcul de la quantité d'azote volatilisable au jour n :

$$N_{volatorg}(n) = N_{volatorg}(0) - QN_{volorg}$$

Calcul de l'augmentation maximale de pH (dpH_{vol}). dpH_{vol} dépend du pH du sol et de la quantité d'azote minéral du lisier. La variation de pH ne peut excéder un maximum dpH_{volm} (lui-même inférieur ou égal à dpH_{volmax}).

Calcul de l'évolution du pH au cours du temps. Le pH du mélange sol+lisier (pH_{vol}) revient progressivement au pH du sol (pH), l'écart étant proportionnel à la quantité de NH_4 volatilisable restante : $\Delta pH = dpH_{volm} * N_{volatorg}(n) / N_{volatorg}(0)$

Décomposition des calculs :

Le pH de la surface du sol pH_{vol} est modifié le jour de l'apport de résidus contenant de l'azote minéral (type « lisier »). Au jour de l'apport (jour 0), on calcule :

$$\text{ - l'augmentation maximale du pH : } dpH_{vol} = dpH_{volm} * (pH_{vols} - pH) / (pH_{vols} - 7)$$

où dpH_{volm} dépend de la quantité d'azote ammoniacal apportée ($N_{mineral} = q_{res} * N_{minres} * 10$) et pH_{vols} est le pH maximal atteint en cas de nouvel apport (paramètre général, effet tampon du sol).

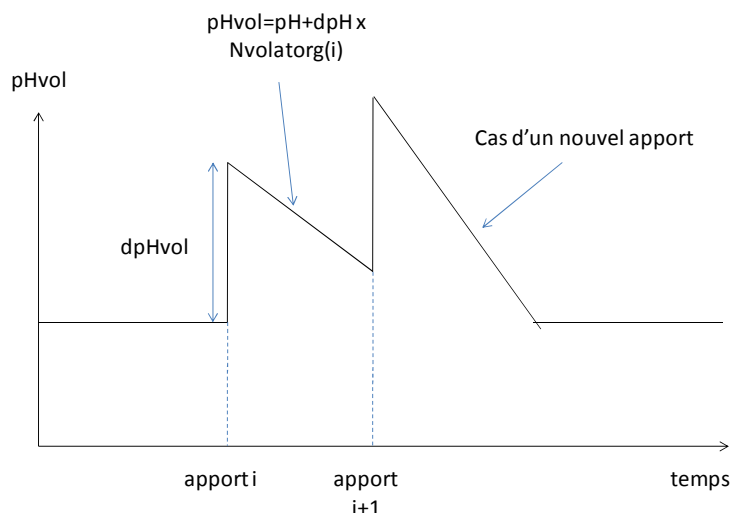
- l'augmentation effective de pH le jour de l'apport : $pH_{vol} = pH + dpH_{vol}$, où pH est le pH permanent du sol (paramètre du fichier sol).
- un ratio (dpH) qui servira ensuite : $dpH = dpH_{vol} / N_{volatorg}(0)$

Pour chaque jour qui suit :

- on calcule la quantité journalière de N volatilisé (N_{volorg})
- on actualise $N_{volatorg}$: $N_{volatorg}(n) = N_{volatorg}(n-1) - N_{volorg}$
- on actualise pH_{vol} : $pH_{vol} = pH + dpH * N_{volatorg}(n)$

Lorsque $N_{volatorg}$ est nul (tout a été volatilisé), pH_{vol} redevient égal à pH .

Figure 1 : évolution du pH de la surface du sol après un apport de résidus organiques de type lisier



b. Apports de matières organiques au sol et bilan C et N organique des simulations

La description des différents apports organiques au sol et de leur devenir (nature, localisation, transferts) a été revue et les variables du bilan organique complétées afin de dresser un bilan complet du carbone (C) et de l'azote (N) organiques lors d'une simulation. Les bilans C et N résultants sont maintenant explicités dans les fichiers de sortie 'bilan' du modèle : modb-----.sti.

On notera que les quantités de matière sèche sont toujours exprimés en t/ha, alors que les stocks et flux de carbone sont exprimés en kg C/ha et les stocks et flux d'azote en kg N/ha.

Les différents compartiments organiques du sol ainsi que les flux entrants et sortants (apports organiques, flux de minéralisation produisant du N minéral et du CO_2) sont résumés dans la figure ci-dessous. Les apports de matières organiques au sol se font soit en surface du sol (matières organiques exogènes, résidus de taille, feuilles tombées en cours de culture, résidus de culture à la récolte), soit sur la profondeur du profil pour les résidus racinaires arrivant au sol après récolte d'une culture ou la fauche d'une prairie. Les résidus apportés à la surface du sol forment un mulch qui persiste tant qu'il n'y a pas de travail du sol. Le mulch végétal comporte une fraction décomposable située au contact du sol, et une fraction non décomposable lorsque la quantité totale de mulch dépasse un seuil, ceci sera explicité dans le paragraphe suivant (1c).

i. Les flux d'entrée (apports organiques cumulés) et de sortie (CO_2 cumulé)

➤ Apport de feuilles mortes ou tiges sénescentes

QCplantetombe et QNplantetombe (code résidu ires = 2)

➤ Apports organiques exogènes

QCresorg et QNresorg (renseignés dans le fichier .tec in <formalisme nom="supply of organic residues"> ; code résidu ires = P_coderes(is))

➤ Apport par rognage et taille

QCrogne et QNrogne (code résidu ires = 2)

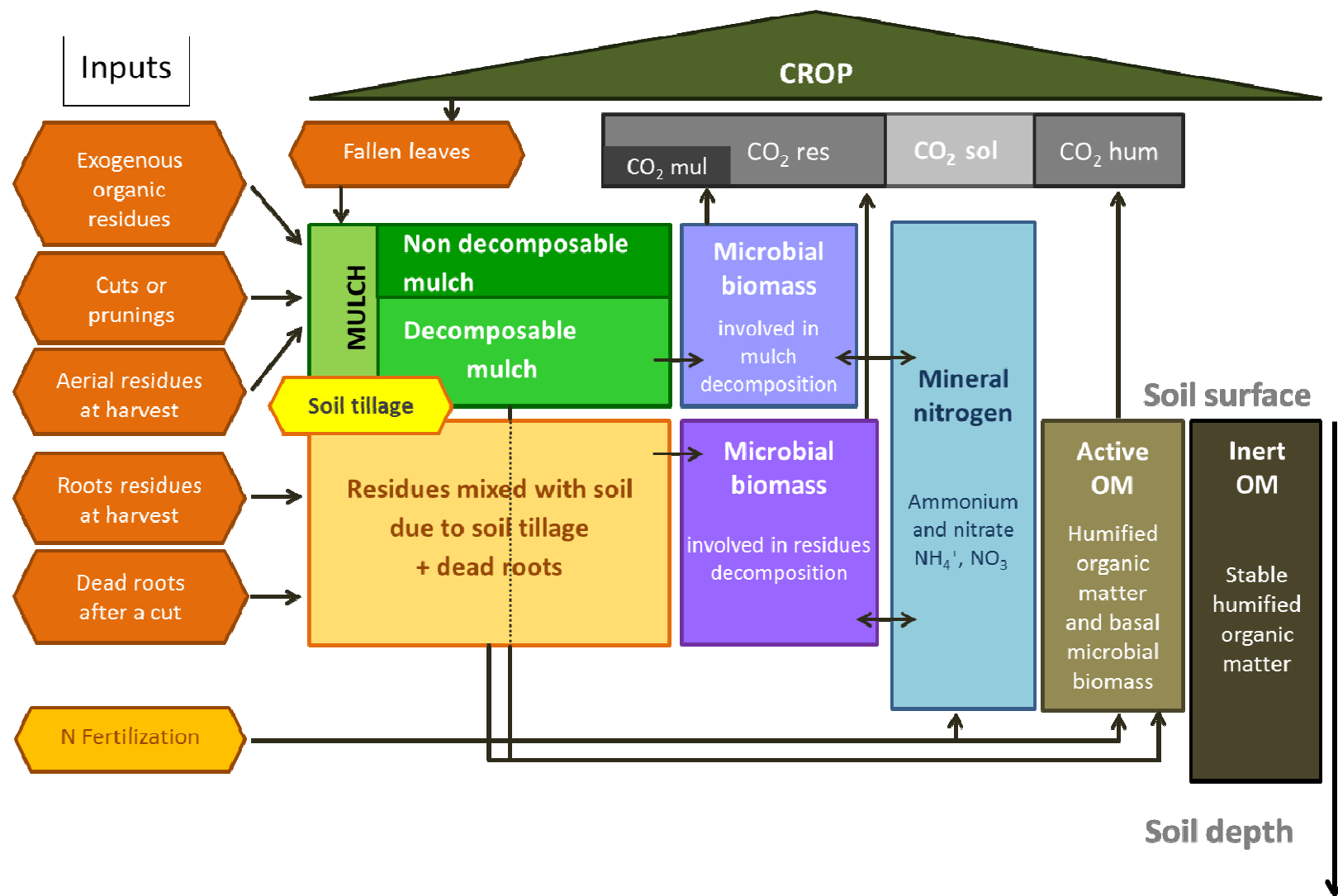
➤ Apport de résidus de culture aériens à la récolte

QCressuite et QNressuite (code résidu ires = 1 à 10 selon P_ressuite)

➤ Apport de résidus de culture racinaires à la récolte ou à la fauche

QCrac et QNrac (code résidu ires = 21)

Figure 2 : schéma des compartiments C-N du sol et des principaux flux entrant et sortant (apports organiques et minéralisation) dans ModuloStics



➤ **Organisation microbienne du sol d'une fraction de l'engrais azoté QN_{orgeng}**

➤ Cumul des apports de C et N organiques

$$QC_{app} = QC_{plantetombe} + QC_{ressuite} + QC_{rogne} + QC_{resorg} + QC_{rac}$$

$$QN_{app} = QN_{plantetombe} + QN_{ressuite} + QN_{rogne} + QN_{resorg} + QN_{rac} + QN_{orgeng}$$

➤ Minéralisation des résidus

CO₂ total émis par la décomposition des matières organiques (humus + résidus) :

$$QCO_{2sol} = QCO_{2hum} + QCO_{2res}$$

Par ailleurs, on calcule aussi QCO_{2mul} qui est le CO₂ cumulé émis par la décomposition du mulch, et représente une partie de QCO_{2res} .

ii. Les apports de résidus aériens à la récolte

Les quantités C et N apportées à la récolte ($QC_{ressuite}$ et $QN_{ressuite}$ respectivement) dépendent du type de résidu renseigné dans le fichier .tec (<formalisme nom="fertilisation"> et nom="ressuite"> $P_{ressuite}$ <). On transmet la quantité de matière sèche ($Q_{ressuite}$) correspondant aux parties restituées renseignées dans le code $P_{ressuite}$, quantité qui permet le calcul des quantités de C et N apportées au sol ($QC_{ressuite}$ et $QN_{ressuite}$; Table 1).

Table 1 : correspondance entre le code $P_{ressuite}$ renseigné dans le fichier .tec et les variables indiquant la quantité de matière sèche et de N apportée au sol à la récolte.

	ressuite	$Q_{ressuite}$	$QN_{ressuite}$
1	'whole_crop'	masec	$QN_{plante-Nrac}$
2	'straw+roots'	mspaille	$QN_{veget-Nrac}$
3	'stubble+roots'	$mspaille * 0.35$	$(QN_{veget-Nrac}) * 0.35$
4	'prunings'	maboïs	$maboïs * 5$
5	'stubble_of_residu_type_9+roots'	mspaille	$QN_{veget-Nrac}$
6	'stubble_of_residu_type_10+roots'	mspaille	$QN_{veget-Nrac}$

Dans le cas de la restitution de la plante entière après récolte (e.g. cultures intermédiaires), ou dans le cas d'apport de « bois » après une taille, ce sont les quantités *masec* (quantité totale de matière sèche aérienne de la plante) et *maboïs* (quantité totale de matière sèche des bois de taille) calculées en amont qui sont directement transmises. Dans le cas d'apport de pailles ou de chaumes, on calcule la matière sèche aérienne des organes non récoltés (*mspaille*) puis celle des parties végétatives incluant les racines (*msveget*) comme suit :

➤ Biomasse aérienne restituable :
 $mspaille = masec - magrain/100$

➤ Matière sèche et N contenus dans les parties végétatives (pailles + racines) :
 $msveget = mspaille + msrac$
 $QN_{veget} = QN_{plante} - QN_{grain}$

Pour le calcul de la teneur en azote des parties végétatives (CN_{veget}), on suppose que :

- QN_{plante} inclut l'azote des racines
- la teneur en N des racines est égale à celle des pailles
- les racines sont toutes dans la couche $[1, \min(\text{profhum}, \text{zrac})]$ (minimum entre profondeur de minéralisation et profondeur d'enracinement)

La teneur en azote est alors calculée comme suit :

$$CN_{veget} = QN_{veget} / msveget / 10$$

Les quantités de N apportées correspondantes sont :

- pour la plante entière : $QN_{ressuite} = QN_{plante} - N_{rac}$, c'est-à-dire la quantité totale d'azote dans la plante moins la quantité d'azote contenu dans les racines
- pour les bois de taille : $QN_{ressuite} = m_{bois} * 5$, en faisant l'hypothèse que la teneur en azote des bois de taille est de 5%
- pour les pailles et les chaumes : $QN_{ressuite} = QN_{veget} - N_{rac}$, c'est-à-dire la quantité totale d'azote dans les parties végétatives moins la quantité d'azote contenu dans les racines.

Les quantités de C apportées par les parties aériennes sont déduites des quantités de matière sèche en faisant l'hypothèse que leur teneur en C est de 42% : $QC_{ressuite} = q_{ressuite} * 420$

Le calcul des quantités C et N racinaires ($Crac$ et $Nrac$) est explicité dans le paragraphe suivant.

iii. Les apports de résidus racinaires à la récolte ou à la fauche

A la récolte des cultures annuelles et à la fauche des cultures fauchées, les résidus racinaires (totalité des racines au moment de la récolte ou uniquement les racines « mortes » au moment d'une fauche) sont apportés au sol comme résidus mélangés au sol (ne passent pas par le mulch !) avec le code résidus ires = 21.

Calcul de la matière sèche de racines apportées au sol :

- Si $code_racine = 1$ (option 'profil_type') alors la masse racinaire de la plante n'est pas estimée en dynamique par le modèle. Une quantité forfaitaire de masse de racines est alors calculée à la récolte ou à la fauche en fonction de la quantité de biomasse aérienne par une relation affine (cf. équation ci-dessous)

$$msrac = masec * P_proprac + P_y0msrac$$

$$msracmorte = 0$$

- Si $code_racine = 2$ (option 'densité vraie') alors la masse racinaire « vraie » $msrac$ est simulée en dynamique par le modèle ; de plus la fraction de racines mortes est calculée pour les fauches uniquement.

$$msrac = msrac_prec$$

$$msracmorte = lracsentot / P_longsperac * 100$$

où $lracsentot$ est la densité de racines sénescentes au jour n (cm racine.cm⁻² sol) et $P_longsperac$ la longueur spécifique des racines (paramètre plante en cm g⁻¹)

Pour le calcul des quantités de C et de N apportées par les racines ($Crac$ et $Nrac$ respectivement), on fait l'hypothèse que la teneur en C des racines est de 38% et que la teneur en N des racines est égale à la teneur en N des parties végétatives :

$$Crac = msrac * 380$$

$$Nrac = msrac * CN_{veget} * 10$$

Dans le cas d'une récolte, la totalité des racines meurt et est restituée au sol ($Crac$ et $Nrac$). Dans le cas d'une fauche, une partie seulement des racines meurt et est ajoutée au sol ($Cracmorte$ et $Nracmorte$). Les différents pools sont alors remis à jour :

$$msrac = msrac - msracmorte$$

$$Cracmorte = msracmorte * Cracpc * 10$$

$$CsurNrac = Crac / Nrac$$

$$Nracmorte = Cracmorte / CsurNrac$$

$$Crac = Crac - Cracmorte$$

$$Nrac = Nrac - Nracmorte$$

Cumul des apports de racines mortes aux fauches successives :

$$QC_{rac} = QC_{rac} + Cracmorte$$

$$QN_{rac} = QN_{rac} + Nracmorte$$

Cumul des apports au sol racinaires (matière sèche) et rapport C/N correspondant :

$$q_{ressuite_tot} = q_{ressuite_tot} + msracmorte$$

$$C_{surNressuite_tot} = QCrac / QNrac$$

iv. Stocks de C et N des résidus en mulch ou incorporés au sol et de la biomasse microbienne associée à la décomposition des résidus

- Le mulch non décomposable est la somme de tous les types de résidus de surface ($ir = 1$ à 10)

$$C_{mulchnd} = \sum_{ir=1}^{10} C_{nondec}(ir)$$

$$N_{mulchnd} = \sum_{ir=1}^{10} N_{nondec}(ir)$$

- Le mulch décomposable est la somme de tous les types de résidus de surface ($ir = 1$ à 10)

$$C_{mulchdec} = \sum_{ir=1}^{10} C_{res}(ir)$$

$$N_{mulchdec} = \sum_{ir=1}^{10} N_{res}(ir)$$

- Le mulch total est la somme des fractions décomposable et non décomposable :

$$C_{mulch} = C_{mulchdec} + C_{mulchnd}$$

$$N_{mulch} = N_{mulchdec} + N_{mulchnd}$$

- La quantité de résidus incorporés au sol est la somme de tous les types de résidus incorporés ($ir = 11$ à 21) et sur toutes les profondeurs ($iz = 1$ à $itrav2$) où $itrav2$ est la profondeur du travail du sol

$$Cr = \sum_{ir=11}^{21} \sum_{iz=1}^{itrav2} C_{res}(ir, iz)$$

$$Nr = \sum_{ir=11}^{21} \sum_{iz=1}^{itrav2} N_{res}(ir, iz)$$

- Biomasse microbienne décomposant le mulch ; somme sur les types de résidus en mulch

$$C_{bmulch} = \sum_{ir=1}^{10} C_{bio}(ir)$$

$$N_{bmulch} = \sum_{ir=1}^{10} N_{bio}(ir)$$

- Biomasse microbienne décomposant les résidus incorporés; somme sur les types de résidus mélangés au sol

$$Cb = \sum_{ir=11}^{21} \sum_{iz=1}^{itrav2} C_{bio}(ir, iz)$$

$$Nb = \sum_{ir=11}^{21} \sum_{iz=1}^{itrav2} N_{bio}(ir, iz)$$

v. Calcul du bilan organique en fin de simulation

Les variables du bilan sont explicitées dans le tableau suivant (Table 2).

Table 2 : composantes du bilan N minéral (A) et C-N organique (B). Les variables finales surlignées en vert deviennent les valeurs initiales dans le cas de simulations enchainées.

A.		INITIAL		FINAL	
		Mineral N		Mineral N	
Pools	<i>QNplante0</i> Initial N in plant (perennial species)	<i>QNplante</i> N in living plant at harvest (perennials)			
		<i>QNexport</i> N in exported plant organs at harvest			
		<i>QNrest</i> N in crop residues added to soil at harvest			
	<i>QNH4i</i> Initial soil NH4	<i>QNH4f</i> Final soil NH4			
	<i>QN03i</i> Initial soil N03	<i>QN03f</i> Final soil N03			
Inputs	<i>pluieN</i> N contained in rain	Outputs	<i>Qles</i> N leaching		
	<i>irrigN</i> N contained in irrigation water		<i>Qlesd</i> N leaching in mole drains		
	<i>totapN</i> N added by fertilizers		<i>QNorgeng</i> N Fertiliser immobilized		
	<i>Qfix</i> N added by symbiotic fixation		<i>QNvoleng</i> N Fertiliser volatilized		
	<i>Qminh</i> N mineralized from humus		<i>QNvolorg</i> N manure volatilized		
	<i>Qminr</i> N mineralized from soil residues		<i>QNdenit</i> + <i>Qem_N2Onit</i> N ₂ and N ₂ O losses		

B.		INITIAL		FINAL	
		Organic C	Organic N	Organic C	Organic N
Pools	<i>Chuma0</i> Active humified	<i>Nhuma0</i>	<i>Chuma</i>	<i>Nhuma</i>	
	<i>Chumi0</i> Inert humified	<i>Nhumi0</i>	<i>Chumi0</i>	<i>Nhumi0</i>	
	<i>Cb0</i> + <i>Cbmulch0</i> Zymogeneous biomass	<i>Nb0</i> + <i>Nbmulch0</i>	<i>Cb</i> + <i>Cbmulch</i>	<i>Nb</i> + <i>Nbmulch</i>	
	<i>Cr0</i> Soil residues	<i>Nr0</i>	<i>Cr</i>	<i>Nr</i>	
	<i>Cmulch0</i> Mulch residues	<i>Nmulch0</i>	<i>Cmulch</i>	<i>Nmulch</i>	
Inputs		<i>QNorgeng</i> Fertiliser Immobilized			
	<i>QCresorg</i> Added Organic Fertil.	<i>QNresorg</i>			
	<i>QCressuite</i> Added Crop residues	<i>QNressuite</i>			
	<i>QCrac</i> Added roots	<i>QNrac</i>			
	<i>QCplantetombe</i> Added fallen leaves	<i>QNplantetombe</i>			
	<i>QCrogne</i> Added trimmed leaves	<i>QNrogne</i>			
Outputs	Priming (PE)		<i>Cprimed</i>	<i>Nprimed</i>	
	Mineralisation -PE		<i>QCO₂sol</i> - <i>Cprimed</i>	<i>Qmin</i> - <i>Nprimed</i>	

Figure 3 : exemple d'un extrait du fichier de sortie *mod_b---.sti* présentant le bilan N minéral et C-N organiques (pools initiaux et finaux encadrés en bleu ; entrées encadrées en vert et sorties encadrées en orange), les émissions cumulées de gaz à effet de serre (CO₂ et N₂O ; encadré en gris) et la nature et la quantité de résidu de culture restitué au sol (t.ha⁻¹ ; encadré en jaune).

MINERAL NITROGEN BALANCE (kg N/ha)			
initial plant N	0.	final plant N	0.
		N uptake exported	119.
		N uptake returned	69.
initial soil NH ₄	2.	final soil NH ₄	1.
initial soil NO ₃	67.	final soil NO ₃	89.
rain	11.	leaching	12.
irrigation	0.	leaching in mole drains	0.
fertiliser	0.	fertiliser N immobilis.	0.
symbiotic fixation	152.	fertiliser N volatilis.	0.
humus mineralisation	62.	manure N volatilis.	0.
residue mineralisation	-1.	N ₂ and N ₂ O losses	5.
TOTAL INPUTS	293.	TOTAL OUTPUTS	293.
ORGANIC NITROGEN BALANCE (kg N/ha)			
Active humified pool	1497.		1436.
Inert humified pool	2781.		2781.
Zymogeneous biomass pool	0.		4.
Soil residues pool	0.		26.
Mulch residues pool	0.		56.
Fertiliser Immobilised	0.		
Added organic fertil.	18.		
Added Crop residues	56.		
Added Roots	11.		
Added Fallen leaves	0.	Priming (PE)	0.
Added Trimmed leaves	0.	Mineralisation - PE	61.
TOTAL INITIAL	4363.	TOTAL FINAL	4363.
ORGANIC CARBON BALANCE (kg C/ha)			
Active humified pool	14260.		13673.
Inert humified pool	26483.		26483.
Zymogeneous biomass pool	0.		51.
Soil residues pool	0.		1252.
Mulch residues pool	0.		1497.
Fertiliser Immobilised	0.		
Added organic fertil.	1064.		
Added Crop residues	1497.		
Added Roots	271.		
Added Fallen leaves	0.	Priming (PE)	0.
Added Trimmed leaves	0.	Mineralisation - PE	618.
TOTAL INITIAL	43575.	TOTAL FINAL	43575.
Heterotrophic Respiration (kg C/ha):			
	Residues		31.
	Humus		587.
	Total		618.
Cumulative N ₂ O emissions (kg N/ha):			
	nitrification		3.13
	denitrification		0.20
	Total		3.33
CROP RESIDUES returned to soil:	straw+roots	DM = 4.3 t/ha	C/N = 26.

Initial and final
pool of mineral N

Inputs / outputs

Initial and final
pool of organic N

Inputs / outputs

Initial and final
pool of organic C

Inputs / outputs

Greenhouse gases
emissions

ressulte

vi. Liste des routines concernant les apports de matières organiques au sol et leur décomposition (minéralisation, humification)

Table 2 : Arborescence des « call » des routines concernant les apports de matières organiques au sol et leur devenir

Sticsjour (1)		
• Stics_Lai_Developpement (2)		<i>Dans le cas d'un taillage / rognage IRES==2</i> → ResiduApportsSurfaceSol → ResiduParamDec
• Croissance (3)	→ ApportFeuillesMortes (31)	<i>Sénescence des feuilles IRES==2</i> → ResiduApportsSurfaceSol → ResiduParamDec
		<i>Sénescence des talles IRES==2</i> → ResiduApportsSurfaceSol → ResiduParamDec
• Apports (4)	→ Fertilisations (41)	→ ApportsNparEngrais Mineraux <i>Une part de N de l'engrais est organisée par la biomasse du sol ; rentre dans le pool humus*</i> → Perteng
		→ ApportsOrganiques EtTravailDuSol <i>Dans le cas d'un apport de résidu et/ou un travail du sol IRES==P_coderes(is) avec 'is' numero de l'apport (IRES peut prendre les valeurs 1 à 10)</i> → ResiduApportsSurfaceSol → ResiduParamDec → ResiduMelangeSol → ResiduParamDecMelange
	→ ApportResiduCulture (42)	<i>1-Dans le cas de la date de récolte a-résidu de biomasse aérienne IRES==1 à 10 selon P_ressuite</i> → ResiduApportsSurfaceSol → ResiduParamDec
		<i>b-résidu racinaires IRES==21 ou Nbresidus</i> → ResiduApportsSurfaceSol → ResiduParamDec
		<i>2-Dans le cas d'une fauche Apport de résidu racinaires IRES==21 ou Nbresidus</i> → ResiduApportsSurfaceSol → ResiduParamDec
• Mineral (5)	<i>Utilise les paramètres de décomposition de tous les types de résidus arrivés au sol et mis à jour dans les routines 'ResiduParamDec' pour calculer leur décomposition (minéralisation et humification) et mise à jour des pools mulch, résidu, humus et biomasse microbienne associée à la décomposition des résidus , ainsi que du pool d'azote minéral (NH₄⁺) et du CO₂ produit.</i>	

*seule la biomasse microbienne associée à la décomposition des résidus est représentée explicitement comme un pool dans le sol. Ici nous considérerons que le N organisé lors de l'apport d'engrais l'est par la biomasse microbienne 'basale' du sol incluse dans le pool 'matières organiques du sol', ici appelé 'humus'.

c. Nouvelle gestion du mulch végétal

Dans la version STICS v6.9, la présence du mulch végétal exerce d'abord un effet physique en modifiant l'évaporation et donc la température et l'humidité du sol. La décomposition du mulch est simulée selon le modèle "Scopel" (décroissance exponentielle) afin de déterminer sa « durée de vie » et donc le temps pendant lequel le mulch modifiera l'évaporation d'eau du sol. Cependant cette option ne modifie pas le cycle du carbone et de l'azote.

Dans la version ModuloSTICS, on utilise les propriétés physiques et chimiques (décomposition du mulch et participation aux bilans C et N) du mulch, en considérant le mulch comme les résidus organiques apportés via le fichier technique. Le modèle simule conjointement la décomposition du mulch (bilan C, N) et la modification physique de la surface du sol (bilan eau).

En termes de formalismes, la décomposition du mulch est simulée de façon analogue au modèle APSIM. On suppose que le mulch végétal se compose d'une partie décomposable (en contact avec le sol) et d'une partie non décomposable (située au-dessus). Au fur et à mesure que la partie décomposable disparaît, elle est réalimentée par la partie non décomposable. La quantité maximale de mulch décomposable (t MS/ha) est égale à $q_{mulchdec}$. Sa valeur est spécifique du type de mulch dans le fichier param.par.

En termes de technique, l'apport de mulch végétal ne passe plus par le paramètre *codepaillage* qui ne sert plus qu'à simuler l'effet d'un mulch plastique (avec *codepaillage* = 2). L'apport de mulch végétal est désormais simulé comme un apport de résidu non enfoui. Lorsque des résidus organiques arrivent au sol sans qu'il y ait de travail du sol, les résidus s'ajoutent au mulch végétal existant. Les paramètres de décomposition du mulch (*akres*, *bkres*, ...) sont différents des paramètres de décomposition des résidus mélangés au sol. Ces paramètres sont également spécifiques de chaque type de résidu : *coderes* = 1 (résidus mûrs), *coderes* = 2 (résidus jeunes), ... *coderes* = 10 (). Ils peuvent être obtenus par des expériences d'incubation avec des résidus grossiers laissés en surface du sol. Dès qu'il y a travail du sol, ces résidus sont enfouis et leurs paramètres de décomposition deviennent ceux des résidus mélangés au sol avec *coderes* = 11 (résidus mûrs), *coderes* = 12 (résidus jeunes), *coderes* = 20 (), *coderes* = 21 (racines).

d. Décomposition des résidus et du mulch

i. Effet de la température sur la minéralisation des résidus et de la MO humifiée

(Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 8.1, équation 8.3 et figure 8.2.)

La température de référence utilisée pour calculer la vitesse de décomposition de l'humus et des résidus est unique (*TREF*). *TREF* correspond à la température à laquelle les paramètres de décomposition potentielle ont été établis.

Attention : si l'on souhaite modifier le paramètre *TREF*, il faut modifier simultanément les paramètres *FTEMha* et *FTEMh* (pour l'humus) et *FTEMra* et *FTEMr* (pour les résidus) qui sont liés à *TREF* (cf. équation 8.3 de l'ouvrage).

ii. Effet de l'humidité sur la minéralisation des résidus et de la MO humifiée

(Voir Brisson et al., 2009 paragraphe 8.1, équation 8.2 et figure 8.1.)

Le calcul de l'effet de l'humidité sur la minéralisation de l'humus et des résidus a également été homogénéisé. On remplace le paramètre *FHUM* par *HMINM* qui est actif dans tous les cas.

On simule une augmentation linéaire du facteur humidité (compris entre 0 et 1) entre *HMINM* et *HOPTM* (correspondant à des proportions de *HUCC*) puis un plateau égal à 1 entre *HOPTM* et *HUCC*.

iii. Effet de l'excès d'eau sur la minéralisation des résidus et de la MO humifiée

Le modèle prend désormais en compte l'effet négatif de l'excès d'eau sur la décomposition et la minéralisation, à travers le paramètre *FHMINSAT*. On simule une diminution linéaire du facteur humidité (compris entre 0 et 1) entre *HUCC* (humidité à la capacité au champ) et *WSAT* (humidité à saturation). Ce facteur humidité est égal à *FHMINSAT* lorsqu'on est à *WSAT*.

iv. Modification des valeurs des paramètres de décomposition des résidus de culture (cultures matures et cultures CIPAN) dans le fichier param.par

De nouvelles valeurs des paramètres de décomposition des résidus de culture (de type 1 ou 2) sont proposées en se basant sur l'étude publiée par Justes et al. (2009). Les paramètres peuvent être communs à ces 2 types de résidus :

Table 3 : paramètres de décomposition des résidus de type 1 ou 2, mélangés au sol

Param.	Définition	Valeur initiale	Nouvelle valeur
awb	C/N ratio of zymogeneous microbial biomass	16.1	15.4
bwb		-123	-76
cwb		7.8	7.8
akres	Decomposition rate of plant residue	0.074*	0.098
bkres		1.94	0.76
kbio	Decay rate of microbial biomass	0.011	0.0076
yres	C assimilation yield	0.62	0.62
ahres	Humification rate of microbial biomass	0.69	0.73
bhres		11.2	10.2

Justes, E., Mary, B., Nicolardot, B., 2009. Quantifying and modeling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non-mature residues. *Plant&Soil*, 2009, DOI 10.1007/s11104-009-99-66-4.

* et non 0.070 comme indiqué dans l'article

v. Effet limitant de l'azote minéral disponible pour la décomposition des résidus

La vitesse de minéralisation des résidus organiques dans le sol est réduite lorsque l'azote est limitant de la décomposition.

• Réduction de la fraction d'azote minéral disponible pour la décomposition

Compte tenu du fait que les résidus occupent un volume restreint de sol, la biomasse microbienne décomposant ces résidus n'accède pas à la totalité de l'azote minéral du sol mais seulement à une fraction de cet azote (« notion de détritusphère »). On suppose que la quantité d'azote minéral disponible pour la décomposition dépend de 2 facteurs : la teneur en N minéral du sol et la masse de résidus (cf. schéma)

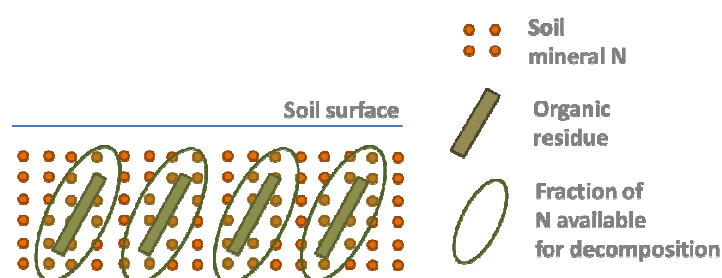


Figure 4 : Représentation schématique et théorique de la limitation de la décomposition des résidus par l'accessibilité à l'azote minéral du sol aux microorganismes décomposant ces résidus

La prise en compte de cette disponibilité partielle d'azote minéral est activée par le paramètre *codeNmindec* = 1 (nouveau paramètre) et désactivée lorsque *codeNmindec* = 2.

La fraction d'azote minéral disponible pour les décomposeurs (nouvelle variable $fNmindec$) dépend linéairement de la quantité de carbone contenue dans les résidus incorporés ($Cres$) via deux nouveaux paramètres :

$rapNmindec$: pente de la relation entre fraction de N minéral disponible et quantité de C dans les résidus incorporés. Sa valeur par défaut est de $0.001 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}$

$fNmindecmin$: proportion minimale d'azote minéral disponible lorsque la quantité de résidus tend vers 0. Sa valeur par défaut est de 0.10.

- *Effets de la limitation en N minéral sur les processus de décomposition*

Pour chaque couche de sol, lorsque la quantité d'azote minéral disponible est insuffisante par rapport aux besoins en azote des décomposeurs et des « besoins » en azote liés à l'humification, plusieurs effets successifs se produisent (effets en cascade) :

Effet 1 : réduction de la vitesse de décomposition

La vitesse de décomposition de chaque résidu organique est réduite : $kres(ir) = kres(ir) * fredkN$

Le taux de mortalité de la biomasse est également réduit : $kbio = kbio * fredlN$

La valeur par défaut des facteurs de réduction $fredkN$ et $fredlN$ est de 0.25 et 0.50 (Giacomini et al, 2008).

Effet 2 : réduction du rapport N/C de la biomasse microbienne

Si la disponibilité en azote minéral est encore insuffisante, il y a une adaptation de la microflore qui favorise les décomposeurs ayant des faibles besoins en azote. Cela revient à diminuer le rapport N/C de la biomasse microbienne d'un facteur allant de 1 (conditions optimales) à une valeur minimale $fNCbiomin$. Sa valeur par défaut est de 0.04 (Giacomini et al, 2008).

Effet 3 : réduction du rapport N/C de l'humus néoformé

Si la disponibilité en azote minéral est toujours insuffisante, on considère que l'humus néoformé change de composition et devient moins riche en azote, alors qu'il garde le rapport N/C du sol en absence de limitation en azote. La quantité d'azote humifié diminue jusqu'à ce que la quantité d'azote immobilisée s'ajuste à la quantité d'azote minéral disponible.

Effet 4 : apparition d'un "Priming effect"

Si la disponibilité en azote minéral est encore insuffisante, on considère que le processus de priming effect se déclenche afin de satisfaire les besoins en azote restants. C'est l'effet « banque de nutriments » (Fontaine et al., 2011) où la minéralisation de la matière organique humifiée est stimulée et libère un supplément d'azote minéral. La variable 'priming' est définie comme le rapport entre le C minéralisé avec priming et le C minéralisé sans priming. Elle est bornée à une valeur $Primingmax$, dont la valeur par défaut est de 3.

- ✓ Si $priming > Primingmax$, la vitesse de décomposition des résidus et de la biomasse est à nouveau réduite d'un facteur $fredNsup$. La valeur par défaut de ce paramètre est de 0.50.
 - $fredl = fredl \times fredNsup$
 - $fredk = fredk \times fredNsup$

Les quantités de C et N minéralisés par priming (nouvelles variables de sortie) sont :

- $PrimedC = -dChum \times (Priming-1)$
- $PrimedN = -dNhum \times (Priming-1)$

e. Nitrification

(voir Brisson et al., 2009, p. 148-151, § 8.3, éq. 8.12-8.16 et fig. 8.7-8.9)

La nitrification est décrite par le modèle "Sierra" : le taux de nitrification journalier (fraction du NH_4 nitrifié par jour) dépend du potentiel de nitrification (Fnx), du pH, de la température et de l'humidité du sol :

$$- \quad t_{nitrif} = F_{nx} * f_{pHn} * f_{tn} * f_{hn}$$

i. Potentiel de nitrification

F_{nx} (en jour^{-1}) est le taux maximal de nitrification journalier du sol en conditions optimales d'environnement (pH, température, teneur en eau).

ii. Effet du pH

Comme l'indique la figure 8.7, la fonction f_{pHn} passe de 0 à 1 lorsque le pH passe de pH_{minnit} à pH_{maxnit} puis reste égale à 1 lorsque le pH dépasse pH_{maxnit} .

iii. Effet de la température

Par rapport à la figure 8.9, on a ajouté un plateau dans la fonction $f_{tn}(T)$ en ajoutant un nouveau paramètre $T_{nitopt2} \geq T_{nitopt}$; sur cette plage de température, la vitesse de nitrification est optimale ($f_{tn} = 1$). La valeur par défaut est $T_{nitopt2} = 35^{\circ}\text{C}$.

iv. Effet de l'humidité

On simule une augmentation linéaire du facteur f_{hn} qui passe de 0 à 1 lorsque la teneur en eau relative du sol passe de H_{minn} à H_{optn} (la teneur en eau relative est le rapport avec la teneur en eau à la capacité au champ, H_{cc}) puis un plateau égal à 1 lorsque la teneur en eau relative du sol est comprise entre H_{optn} et 1.

Pour des teneurs en eau élevées ($H > H_{cc}$), on a ajouté une phase décroissante par rapport à la figure 8.8, afin de tenir compte de l'anoxie qui réduit la vitesse de nitrification. On simule une diminution linéaire de f_{hn} entre 1 et 0 lorsque la teneur en eau passe de H_{ucc} à W_{sat} (humidité à saturation).

2. FORMALISMES LIES AU FONCTIONNEMENT DES PRAIRIES

a. Prise en compte de la dynamique des talles

Chez les graminées pérennes, il existe des phases (sécheresse, phase reproductrice) durant lesquelles on assiste à la mortalité de talles et non de plantes. Dans ces conditions il est plus pertinent de modéliser une densité de talles qu'une densité de plantes, afin de bien rendre compte de l'évolution du fonctionnement du peuplement durant ces phases. Par ailleurs on assiste à une reprise du tallage à la levée de ces périodes de stress hydrique qui était également important de modéliser. Cette reprise est permise grâce à la mobilisation de réserves.

Pour activer l'ensemble des formalismes associés à la prise en compte des talles et de leur mortalité, il faut activer l'option « codedyntalle » en le fixant à la valeur 1. Le passage en densité de talles consiste simplement à remplacer la densité de plantes (densité du fichier *.tec) par une densité de talles. Le passage de densité de plantes en densité de talles multiplie le nombre d'individus par environ 200 dans le cas d'une graminée, il faut donc s'assurer de la cohérence de tous les paramètres faisant intervenir la densité (dlaimaxbrut et resplmax principalement). Il faut s'assurer que les paramètres « resplmax » et « swfacmin » sont respectivement égaux à 0.00008 kg/talle (au lieu de 0.66 kg/plante par défaut, défini pour la vigne) et 0.0 (au lieu de 0.1 par défaut pour « swfacmin »).

Le modèle qui fonctionnait jusqu'à présent avec une densité de plantes qui ne pouvait que diminuer en cas d'accident à la levée, peut maintenant avoir une densité de talles variable au cours du cycle, par mortalité au cours de la sécheresse ou pendant la phase reproductrice et reprise ensuite.

Le couvert est donc considéré comme un ensemble de talles, qui ne sont pas toutes dans les mêmes conditions : leur niveau de stress hydrique est distribué de façon à ne pas avoir une population totalement synchrone.

La loi de distribution du niveau de stress hydrique choisie est une loi gamma, qui a la qualité de ne pas pouvoir avoir de valeurs négatives, comme l'intensité du stress hydrique, compris entre 0 et 1. Cette loi est définie par sa moyenne (le niveau de stress), sa variance et sa forme, définies à partir de 2 paramètres reliés.

Les formalismes associés sont les suivants :

- Transpiration des gaines foliaires : maintien d'une transpiration lorsque le LAI devient très faible (en-dessous de SeuilLAIapex), un certain niveau de transpiration est maintenu grâce aux gaines foliaires et tissus enclos, sa valeur est LAIapex , il devient actif et transpirant (mais ne participe pas à la photosynthèse) LAIapex est égal à la densité de talle multipliée par une surface transpirante non photosynthétique par talle, Surfacpex. LAI + LAIapex ne peut être supérieur à SeuilLAIapex.
- Mortalité de talles : lorsque le LAI devient inférieur à $0.03 \times (\text{densité}/\text{Maxtalle})$ alors on déclenche la mortalité de talles (considérant qu'un LAI si faible est significatif d'un stress important). Celle-ci est déclenchée lorsqu'un seuil minimum de ET/Etp (codetranspitale=1) ou de T/Tp, (codetranspitale=2) passe sous un seuil, SeuilMorTalle. Ce seuil dépend de l'espèce et de la variété. La mortalité de talles entraîne une augmentation de la vitesse de sénescence racinaire, une diminution de la biomasse aérienne (correspondant aux talles qui meurent) et la minéralisation des talles mortes sur les 5 premiers centimètres de sol. Ces talles mortes sont constituées à la fois de biomasse structurelle mais aussi de réserves qui sont prises en compte dans la minéralisation.

Il est possible de choisir la variable qui définit le critère de sécheresse (évapotranspiration ou transpiration) et la nature (codée en dur) du paramètre de la loi gamma (1= coefficient de variation, 2 = variance, 3= écart-type). Par défaut, c'est l'écart-type qui est utilisé (valeur de même unité que la moyenne).

Les paramètres qui doivent être fixés par l'utilisateur sont le seuil de mortalité, le paramètre de distribution de la loi gamma, qui définit si la forme de la distribution évolue avec sa moyenne ou non

et sa dispersion. Le seuil de LAI à partir duquel entrent en jeu les fonctions de dynamique de talles peut également être modifié.

La mortalité de talles se traduit par une diminution de la biomasse aérienne (la masse des talles qui meurent). Elle entraîne une augmentation de la vitesse de sénescence racinaire et la minéralisation des talles mortes sur les 5 premiers centimètres du sol, minéralisation calculée en distinguant la biomasse structurale et les réserves.

Après le retour des pluies, le LAI reprend sa croissance et lorsqu'il dépasse une valeur seuil (une fraction du rapport densité réelle-densité maximale $0.03 \times (\text{densite}/\text{Maxtalle})$), le tallage reprend, le peuplement de talles se reconstitue à une densité jusqu'à une densité maximale (Maxtalle) à une vitesse dépendant de la température et du paramètre VitReconsPeupl. Si la densité est tombée en dessous du seuil SeuilReconsPeupl, le peuplement ne pourra pas se reconstituer en totalité, la densité maximale de peuplement possible la même année est calculée selon une équation faisant intervenir la densité minimale atteinte en fin de sécheresse ($-8e-7 * \text{densite}^2 + 1.9e-3 * \text{densite}$) : cela signifie que le peuplement se reconstitue d'autant plus doucement que la densité est descendue bas.

En cas d'enchaînement d'années, cette densité est cependant réinitialisée à la densité maximale initiale (correspondant au paramètre densiteMax) à chaque nouveau cycle.

b. Fonctions racinaires

Ralentissement de la sénescence racinaire en période de sécheresse

En période de sécheresse les fonctions racinaires sont ralenties, mais la durée de vie des racines n'est pas pour autant réduite. On introduit un effet négatif des températures élevées sur les fonctions racinaires en faisant agir le paramètre *tcxstop* sur le développement racinaire, et de fait sur la sénescence racinaire

Arrêt de la croissance racinaire le jour de la fauche, et lorsque la croissance aérienne est nulle.

Ajout d'un rapport tige/feuille spécifique le jour de la fauche

Jusqu'à maintenant le rapport tige/feuille (paramètre *tigefeuil*) utilisé le jour de la fauche, pour répartir la biomasse résiduelle entre limbes (LAI résiduel), gaines et réserves, était identique à celui utilisé pour la surface foliaire produite quotidiennement (*deltai*). Ce rapport est effectivement à peu près constant pour le delta de croissance du LAI. [ATTENTION à la terminologie : tige/feuille correspond en réalité à gaines/ limbes pour les graminées prairiales en phase de croissance végétative]. A la coupe, ce rapport est très différent, il y a beaucoup plus de gaines (et de réserves) que de limbes, et ce ratio dépend du port (dressé ou couché) des espèces et de leurs variétés.

La solution apportée consiste à ajouter un rapport tige/ feuille spécifique pour le jour de la coupe : paramètre *tigefeuilcoupe*.

Mise en place d'un déplafonnement des réserves pour le cycle reproducteur

A partir de la montaison, la mise en réserve de biomasse dans la tige est plus importante. Une façon de le modéliser consiste à ne plus plafonner les réserves à partir de ce stade, et à ne plus stopper la croissance aérienne en conséquence. Pour cela, il faut activer *codemontaison* (dans le fichier *paramv6.par*). On calcule la date du stade montaison à partir de l'entrée en vernalisation : elle correspond à une somme de température égale à *stlevamf* depuis l'entrée en vernalisation (*julvernal*).

3. FORMALISMES LIES A L'UTILISATION DE STICS POUR LES ETUDES D'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

a. Stades BBCH en sortie

Les valeurs de stades BBCH correspondant aux stades de développement de stics sont données dans le fichier bilan en sortie. Ces valeurs sont lues par le modèle dans chaque fichier plante.

b. Fertilisation azotée avec dates d'apports calculés en UPVT

Les dates d'apports d'engrais minéral peuvent être fournies en UPVT dans le fichier technique. On peut également prescrire un apport global, avec la proportion de cet apport à faire à chaque date (en activant codefracappN).

c. Adaptation de la biomasse microbienne aux changements climatiques

On fait l'hypothèse (en activant le code spécifique code_adaptCC_) que les micro-organismes du sol sont susceptibles de s'adapter à l'augmentation des températures inhérente aux changements climatiques. De ce fait, les fonctions de décomposition ne changent pas, seules les températures optimales « glissent » avec l'augmentation des températures liée aux CC. On calcule donc une température moyenne et du delta moyen de températures (à l'aide d'une moyenne glissante) sur une série climatique, afin de faire glisser ces températures optimales.

Il ne s'agit ici non pas d'inventorier de nouveaux formalismes de la version ModuloSTICS v1.1. Il s'agit en revanche de préciser la façon dont les formalismes de la version STICS v.6.9, qui étaient déjà implémentés mais activés via le fichier paramv6, ont été affectés à des fichiers « permanents » tels que le fichier param.par, le fichier plante ou le fichier station par exemple. Ces formalismes, correspondant jusqu'alors à des options en cours de test, avaient donc un caractère à usage « confidentiel » qu'ils n'auront plus désormais.

3. FIXATION SYMBIOTIQUE

(Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 8.7).

Les 2 premiers formalismes développés sont : le calcul de la fixation en fonction de la courbe de dilution critique qui fait l'hypothèse que la fixation couvre les besoins métaboliques (codesymbiose=1), ou en fonction de l'activité des nodosités (codesymbiose=2). Cette deuxième option avait été développée en considérant que la fixation maximale était constante (correspondant à codefixpot=1 dans paramv6) au cours du cycle des nodosités (paramètre fixmax). Deux sous-options de cette seconde option ont été testées dans paramv6.par, considérant que la fixation maximale évoluait au cours du cycle des nodosités, soit en fonction de la demande en azote de la plante (codefixpot=2), soit en fonction de la croissance aérienne de la plante (codefixpot=3). C'est finalement codefixpot=3 qui a été choisi dans le cadre du projet intercrop.

Les paramètres ont été modifiés et transférés de la manière suivante :

L'option **codesymbiose** a été transférée du fichier plante vers le fichier **param.par** ; sa valeur est portée à 2 par défaut (la fixation dépend de l'activité des nodosités et non des besoins métaboliques de la plante).

L'option **codefixpot** a été transférée du fichier paramv6.par vers le **fichier plante**, et ne peut plus prendre que les valeurs 1 (fixation maximale constante, paramètre fixmax) et 2 (fixation maximale dépendant de la croissance, paramètres fixmaxveg et fixmaxgr). La valeur par défaut est 1.

Le paramètre **fixmax** passe du statut de paramètre variétal du fichier plante à un statut de paramètre spécifique du fichier plante.

Les paramètres **fixmaxveg** et **fixmaxgr** ont été transférés du paramv6.par vers le fichier plante.

Les paramètres **afixmaxN** et **bfixmaxN** ont été supprimés.

Sachant que codefixpot ne peut donc plus prendre que 2 valeurs, 1 pour une fixation potentielle constante et 2 pour une fixation potentielle dépendant de la croissance.

Par ailleurs l'effet de la présence d'azote minéral dans le sol sur l'activité des nodosités, via l'indice fxn, peut ne pas être opérant (codefxn=1), ou bien être calculé soit en fonction de la quantité d'azote minéral dans le sol (codefxn=2), soit en fonction de la concentration en azote minéral (codefxn=3) ; le paramètre **codefxn** a été transféré dans param.par.

4. CALCUL DU POTENTIEL DE BASE

5. Les paramètres **psihumin** et **psihucc** ont été transférés dans le fichier **param.par**.

6. CALCUL DU DEBOURREMENT DES PLANTES PERENNES

Le modèle peut calculer la date de débourrement des cultures pérennes, soit en sommes de températures journalières (**codegdhdeb**=1), soit en sommes de températures de l'air horaires reconstituées (on compare alors cette somme à stdordebour). Dans les deux cas des seuils de températures interviennent, **tdmindeb** et **tdmaxdeb**. Les paramètres codegdhdeb, tdmindeb et tdmaxdeb ont été transférés dans le **fichier plante**.

7. SPECIFICITES DES SORTIES

Ecritures spécifiques

Ecriture scientifique

Cette option, `codeoutscent`, a été transférée dans le `param.par`

Séparateur espace dans rapport

Cette option, `codeprapport`, ainsi que le paramètre `separateurrapport`, sont transférés dans le `param.par`.

8. SPECIFICITE FAUCHE PERENNES

La biomasse structurale (donc, non carbonée) des tiges est recalculée à la coupe en fonction de la biomasse résiduelle `msres`, du rapport de biomasses de tiges sur biomasse de feuilles (paramètre `tigefeuil`) et du paramètre `ratioresfauche` qui correspond à la proportion de réserves carbonées des tiges après la coupe :

$$matigestruc = msres \times \frac{(1 - ratioresfauche)}{1 + \frac{1}{tigefeuil}}$$

On décide de supprimer le calcul spécifique de `matigestruc` en fonction de `ratioresfauche` dans `inicoupe.for`, et donc de supprimer le paramètre `ratioresfauche`.

9. INNOVATION AZOTE PLANTE

Courbe de dilution pour populations peu denses

(Voir *Brisson et al., 2009, paragraphe 8.6*).

Ce formalisme permet de mieux caractériser les besoins azotés des plantes à de faibles niveaux de biomasse (concerne les plantes en peuplement peu denses comme la vigne, ou les plantes en début de croissance). Ce nouveau formalisme, activé lorsque `codeplisoleN=2`, se présente de la façon suivante :

courbe de dilution critique

Avant une biomasse seuil `masecmeta` (0.04 t/ha) correspondant à la biomasse de la plantule qui ne dispose que de son azote métabolique (`Nmeta`), on a un plateau :

$$N\% = adill \times (masec Nmeta)^{-bdill}$$

Après cette biomasse `masecmeta` et avant la biomasse seuil correspondant à la limite entre un peuplement peu dense et un peuplement dense (`masecNmax`), on a une courbe exponentielle :

$$N\% = adill \times (masec)^{-bdill}$$

Après la biomasse limite `masecNmax` on retrouve le formalisme antérieur, avec une courbe exponentielle :

$$N\% = adill \times masec^{-bdill}$$

On a donc 4 paramètres supplémentaires, `adill`, `bdill`, `masecmeta` et `Nmeta`. Mais `adill` et `bdill` sont calculés à partir de `masecmeta` et `Nmeta` ; il ne faut donc renseigner que `masecmeta`, considéré comme égal à 0.04 t/ha quelle que soit l'espèce (on le transfère donc dans `param.par`) et `Nmeta`, variable selon les espèces (on le transfère donc dans le `fichier plante`), mais qui peut être estimé par 6.47% pour les plantes en C3 (ex : blé) et 4.8% pour les plantes en C4 (ex : maïs).

Courbe de dilution maximale

La courbe de dilution maximale est construite de la même façon que la courbe de dilution critique, avec les mêmes seuils, mais on utilise cette fois-ci les paramètres `adilmaxI` et `bdilmaxI`. Contrairement au formalisme antérieur pour lequel ces paramètres devaient être estimés, ils sont maintenant calculés en considérant que l'écart entre la courbe critique et la courbe maximale est dû à une quantité d'azote de réserve (ou « de luxe ») `Nres`, paramètre spécifique, qui est donc transféré dans le **fichier plante**. Ce paramètre peut être calculé comme la différence de concentration en azote entre la courbe maximale et la courbe critique (telles que formalisées antérieurement) pour une biomasse `masecNmax`.

Table 5

Formalisme	Paramètres communs			Paramètres dépendant du formalisme				
	<code>adil</code>	<code>bdil</code>	<code>masecdil</code>	<code>adilmax</code>	<code>bdilmax</code>	<code>Nmeta</code>	<code>masecmeta</code>	<code>Nres</code>
Ancien	5.35	0.44	1.54	8.5	0.44	-	-	-
Nouveau	5.35	0.44	1.54	-	-	6.47	0.04	2.0

Le paramètre `codeplisoleN` permettant d'activer l'ancien calcul (`codeplisoleN=1`) ou le nouveau (`codeplisoleN=2`) est transféré dans le **fichier plante**.

10. INN instantané

(Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 3.4.2).

Le calcul d'un nouvel INN a été introduit, correspondant au ratio de variation instantanée (journalière) des quantités d'azote précédemment cumulées pour le calcul de l'INN classique : c'est donc le rapport entre la vitesse d'absorption effective de l'azote, et la vitesse d'absorption minimale permettant d'avoir la croissance maximale (pente de la tangente à la courbe de dilution critique).

$$INN_i = \frac{VabsN}{dQNc} \frac{abso(n) + offrenod(n)}{deltabso \left(\frac{dN}{dW} \right)_c} \text{ avec } deltabso = \left(\frac{dW}{dt} \right)$$

Un INN instantané « normalisé » est ensuite calculé, `INNinorm`, de façon à ce qu'il soit égal à 1 lorsque `INNi` = 1, et qu'il soit égal à `INNimin` lorsque `INNi` est égal à `INNimin` (valeur minimale rencontrée, estimée par optimisation).

$$INN_{inorm} = \frac{1 - INN_{min}}{1 - INN_{i\ min}} \times INN_i + \frac{INN_{min} - INN_{i\ min}}{1 - INN_{i\ min}}$$

L'option `codeINN` qui permet d'activer le calcul de l'INN cumulé (`codeINN=1`) ou bien de l'INN instantané (`codeINN=2`) ainsi que le paramètre `INNimin` ont été transférés dans le **fichier plante**.

Interaction eau-azote feuille

La sénescence des feuilles (dans l'option LAI brut) peut être accélérée par les stress. Le formalisme initial prévoit de raccourcir la durée de vie des feuilles en fonction du stress le plus fort entre le stress hydrique et le stress azoté. Une nouvelle option a été testée qui multiplie les 2 stress pour raccourcir la durée de vie des feuilles : cette option est finalement abandonnée car elle ne change rien en définitive. Le paramètre `codeHxN` a donc été supprimé mais un commentaire à ce sujet est laissé dans le code.

11. INFLUENCE DE L'ALTITUDE

Les paramètres `patm` (pression atmosphérique à l'altitude de la simulation, en hPa) et `corecTrose` (paramètre de correction de la température min pour le calcul de la pression de vapeur saturante, en °C) ont été transférés dans les fichiers **station** (« _sta.xml »).

12.INNOVATION GERMINATION

On considère qu'il n'y a humectation de la graine semée que si l'humidité du sol dans le lit de semences est au moins égale à un seuil correspondant à $\text{humecgraine} * \text{humidité}$ à la capacité au champ. Le paramètre `humecgraine` est donc compris entre 0 et 1 (c'est une proportion). Ce formalisme permet de conserver la graine intacte et sèche dans le sol tant que l'humidité du lit de semences ne permet pas son humectation. Par ailleurs, si le nombre de jours d'humectation (comptabilisés à partir du 1^{er} jour d'humectation) dépasse le seuil `nbjgerlim`, alors on déclenche la germination (`nger=n`) ; si à cette date la somme de température n'a cependant pas atteint la somme de température `stpltger` nécessaire à la germination de l'ensemble des graines on considère qu'on a des pertes à la germination :

$$\text{si } \text{nbjhumec} \geq \text{nbjgerlim} \text{ alors } \text{nger} = n \text{ et } \text{densiteger} = \text{densitesem} \times \frac{\text{somger}}{\text{stpltger}}$$

Les paramètres `humecgraine` et `nbjgerlim` ont été transférés dans le **fichier plante**.

13.INNOVATION CROISSANCE FRUIT

(Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 4.2.2).

La croissance des fruits a été modifiée par une normalisation de la croissance potentielle via l'option `codenormfruit`. Cette option a été rendue obligatoire (elle n'est plus utilisée dans le code depuis longtemps, même si ce paramètre est encore lu dans `paramv6.par` par le sous-programme `lecpamv6.for`), le paramètre `codenormfruit` a donc été supprimé. La croissance potentielle est maintenant décrite en deux phases, une phase exponentielle pour la multiplication cellulaire (dont les paramètres sont `cfpf` et `dfpf`, et qu'on peut annuler en posant `cfpf=0.0`) et une phase logistique pour l'élongation cellulaire, le tout étant normalisé entre 0 et 1 (calcul complexe de `afx`). Cette modification est obligatoire et non plus optionnelle : le paramètre `codefruitcroi` a donc été supprimé, et les paramètres `cfpf` et `dfpf` ont été transférés dans le **fichier plante**.

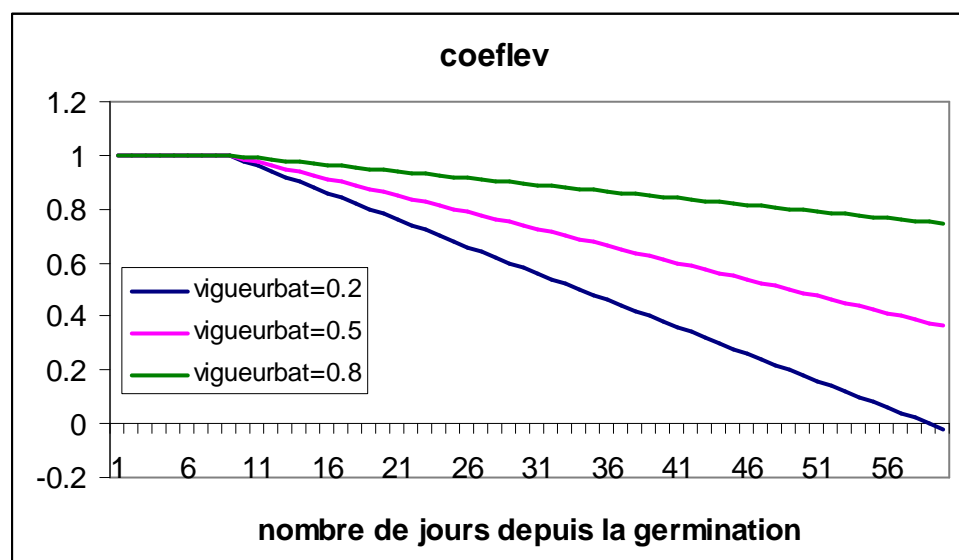
14.INNOVATION BATTANCE

(Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 2.2.1.d).

A la levée, l'élongation de l'hypocotyle et la densité de levée peuvent être affectés par la battance :

La densité de levée dépendait initialement du nombre de jours entre la germination et la levée, était égale à la densité de germination si ce nombre de jours était inférieur à `nlevlim1`, et était égale à 0 s'il était supérieur ou égal à `nlevlim2`. Désormais, en cas de battance (selon la valeur de la variable `levbat`), l'élongation de l'hypocotyle peut être freinée ce qui a pour conséquence d'allonger le temps entre germination et levée. Mais la plantule est caractérisée par sa résistance à la battance, grâce au paramètre `vigueurbat`, compris entre 0 et 1 (0 correspondant à l'absence de résistance à la battance et 1 à une résistance complète à la battance n'entraînant aucune perte à la levée). Le paramètre `vigueurbat` joue sur la pente qui détermine la proportion de plantes levées (`coeflev`) en fonction du nombre de jours depuis la germination.

Figure 7 :XX



L'élongation de l'hypocotyle peut être ralentie par la variable levbat : levbat est une fonction de plusieurs variables et paramètres dont pluiebat et mulchbat. Levbat prend la valeur 0 ou 1 :

Si la pluie cumulée depuis le semis est supérieure à pluiebat

Si l'extrémité de l'hypocotyle est dans la couche de mulch et que cette couche est plus épaisse que mulchbat

alors levbat=0

sinon levbat=1

$$sommelong = \sum udevlev \times levbat \times humirac$$

Le paramètre **vigueurbat** a été transféré dans le **fichier plante**.

Les paramètres **pluiebat** et **mulchbat** ont été transférés dans le **fichier sol**.

15.FORME VIA LES TECHNIQUES (PALISSAGE)

Les paramètres hautmaxtec et largtec permettent de prendre en compte l'effet des techniques culturales sur les caractéristiques de forme du profil de densité foliaire (dans le cas d'un calcul de l'interception du rayonnement par le module de transfert radiatif) : hautmaxtec correspond à la hauteur maximale du couvert au-dessus du tronc (donc au-dessus de hautbase, paramètre du fichier plante) et limite donc la hauteur maximale du couvert (initialement caractérisée par le paramètre spécifique hautmax du fichier plante) ; largtec limite la largeur du feuillage. Les deux paramètres, **hautmaxtec** et **largtec** ont été transférés dans le **fichier technique**. Un nouveau code permettant d'activer cette option de palissage a donc été créée, **codepalissage**.

16.STRESS PHOTOPERIODIQUE SUR LA DUREE DE VIE DES FEUILLES

La photopériode peut réduire la durée de vie des feuilles, et par conséquent accélérer la sénescence. L'option codestrphot permet d'activer cette option (codestrphot=1), qui nécessite les paramètres phobasesen (durée du jour en-deça de laquelle ce stress se déclenche), dltamsminsen, dltamsmassen et

alphaphot sont des paramètres permettant de calculer un stress photopériodique strphot qui réduit ensuite la durée de vie des feuilles :

$$strphot = \left(e^{dltams} - e^{dltams \min sen} \right)^{alphaphot}$$

$$phoi \leq phobasesen \Rightarrow durvie = durvie \times strphot$$

Les paramètres **codestrphot**, **phobasesen**, et **dltamsmaxsen** ont été transférés dans le fichier plante, tandis que **dltamsminsen** et **alphaphot** ont été transférés dans param.par.

17.EXECUTABLES SPECIFIQUES

Les codes permettant d'utiliser stics pour des applications très particulières :

- **codepitaf** (STICS epitaf, pour Thomas Nesme à l'origine), a été conservé dans paramv6.par
- **codedateappN** (date des apports d'engrais en sommes d'upvt, pour Caroline Godard à l'origine) a été transféré dans le fichier technique, et un **codedateappH2O** est ajouté sur le même principe pour les irrigations
- **codesensibilite** a été transféré dans param.par.

18.DECISION DE RECOLTE DES CULTURES ASSOCIEES

On peut récolter les deux cultures en même temps, et cela à la date de maturité de la plus précoce, ou bien on récolte chacune des deux cultures à sa propre date de maturité, indépendamment de la seconde. Dans le premier cas l'option **coderecolteassoc** prend la valeur 1 (récolte des deux cultures à la date de maturité de la plus précoce), dans le second cas **coderecolteassoc**=2 (récolte de chacune des deux cultures à sa propre date de maturité). Ce paramètre a été transféré dans le **fichier technique**.

19.MODIFICATION SOL PAR TECHNIQUES

a. Activation détasement

(Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 6.5.3).

Les paramètres **codeDST**, **dachisel**, **dalabour**, **rugochisel** et **rugolabour** ont été transférés dans le **fichier technique**. Les paramètres **proflabour** et **profravmin** ont été mis dans le fichier **param.par**, dans une section « technics » créée pour cela.

b. Activation tassement semis/récolte

(Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 6.5.2).

Les paramètres **codeDSTtass**, **prohumsem**, **dasemis**, **prohumrec** et **darecolte** ont été transférés dans le **fichier technique**. Le paramètre **prohumsem** est rebaptisé **prohumsemoir** et le paramètre **prohumrec** est rebaptisé **prohumrecolteuse** pour plus de compréhension. Les paramètres **humseuiltasssem** et **humseuiltassrec** ont été supprimés et remplacés par 1.2 x HCC et 1.0 x HCC dans le code.

c. Nombre de couches affectées par le tassement

Le paramètre **codeDSTnbcouche** a été transféré dans le **fichier technique**.

20. REGLES DE DECISION SEMIS-DECISION

a. Semis-activation

(Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 6.1.2).

Les paramètres **codedecisemis**, **nbjmaxapressemis** et **nbjseuiltempref** ont été transférés dans le **fichier technique**. Les paramètres **tnrefgelble**, **tnrefgelbet**, **tnrefgelmais**, **tnrefgelqui** sont supprimés et remplacés dans le code par **tdebgel**; les paramètres **tmrefgelble**, **tmrefgelbet**, **tmrefgelmais**, **tmrefgelqui** sont supprimés et remplacés dans le code par **tdmin**.

b. Récolte-activation

(Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 6.1.2).

Les paramètres **codedecirecolte** et **nbjmaxapresrecolte** ont été transférés dans le **fichier technique**.

21. SPECIFICITES BETTERAVE

Ces formalismes ont été abandonnés.

22. SPECIFICITE DES ENTREES

a. Lecture de hautmaxtec, largtec dans *.tec

Cette option permettait auparavant de mettre les paramètres **hautmaxtec** et **largtec** dans Les fichiers techniques et non de les lire dans le **paramv6.par**. Ces paramètres ayant été transférés dans le **fichier technique**, cette option n'a plus lieu d'être. Le paramètre **codelectec** a donc été supprimé.

b. DST-lecture zesx, cfes, z0solnu dans *.sol

Le paramètre **codesoldst** est maintenu dans le fichier **paramv6.par**.

23. Calcul de la température des fauches en somme de températures

La somme de températures pour le calcul des dates de fauche peut être calculée en somme d'unités de développement **upvt** (**codetempfauche**=1, option par défaut), ou en somme de températures de l'air udevair (**codetempfauche**=2). Cette option a été maintenue dans la fichier **paramv6.par**.

Le paramètre **tcxstop** a en revanche été transféré dans le **fichier plante**, dans la partie 'croissance en biomasse' et mis à la valeur 100.0 par défaut.

24. Spécificités quinoa

Les paramètres **codepluiepoquet** et **nbjoursrrversirrig** ont été maintenus dans **paramv6.par**.

25. Spécificités vigne (Voir Brisson et al., 2009, paragraphe 3.5.4, eq.3.43).

Le paramètre **resplmax** a été créé, et remplace la valeur 0.66 précédemment en dur dans le code. Il a été mis dans **paramv6.par**.