



Centre de coopération Internationale en
Recherche Agronomique
pour le Développement

Cahier des charges

Systeme Expert Réunionnais D'Aide à la Fertilisation (SERDAF)

Auteur(s)	Sandrine Auzoux P. F. Chabaliier Cynthia Borot	Version	4
Relecteur(s)	P. F. Chabaliier Patrick Légier Sandrine Auzoux	Date de création	08/12/2008

Table des matières

1. Présentation.....	3
1.1. L'objectif	3
1.2. Mots clés	3
1.3. Public visé	3
1.4. Charte graphique.....	3
1.5. Environnement de développement	3
2. Fonctionnement général	4
3. Description détaillée des différents modules.....	4
3.1. Schéma	6
3.2. Module initialisation	7
3.3. Module apport de matière organique.....	9
3.4. Module chaulage	13
3.5. Module produits chaulant.....	17
3.6. Module paille.....	21
3.7. Module CEC	23
3.8. Module oligo-éléments.....	26
3.9. Module azote	28
3.10. Module phosphore	30
3.11. Module potasse.....	32
3.12. Module ajustement NPK	35
3.13. Module formule	38

1. Présentation

1.1. L'objectif

Le laboratoire d'analyse des sols du Cirad Réunion souhaite développer un outil de diagnostic de fertilité des sols et de conseil en fertilisation pour la canne et d'autres cultures, à partir de bulletins d'analyse. Les résultats d'analyse ainsi que les conseils en fumure et en fertilisation seront accessibles via une interface web.

Un système expert de conseil en fertilisation a déjà été développé sous Fox Pro® par Patrick Légier à partir des travaux de recherche de Pierre-François Chabalière. Le nouveau système devra reprendre les fonctionnalités de base de l'existant et intégrer de nouvelles fonctionnalités pour être plus performant quant aux interprétations des analyses de sol. Il devra tenir compte d'un certain nombre d'éléments de la conduite du système de culture pour conseiller la fertilisation : de la fertilité du sol, des niveaux de rendement recherchés, de la gestion des résidus, de l'utilisation de sous produits organiques, etc..

L'île de la Réunion ayant des sols très variés et très différents, l'identification préalable du grand type de sol concerné par l'analyse est une étape nécessaire pour élaborer le conseil. Le nouveau système devra intégrer cette fonctionnalité pour vérifier l'homogénéité des unités de sol et automatiser leur identification à partir des analyses (sans supprimer le recours au technicien), c'est à dire mettre en œuvre un système basé sur l'intelligence artificielle (boosting).

Un LIMS, Laboratory Information Management System, système d'informations pour la gestion du laboratoire est actuellement en cours de développement et configuré par Sébastien Touron, VCAT au laboratoire d'analyse des sols du CIRAD Réunion. Le modèle de données du nouvel outil d'interprétation des analyses devra être compatible et même complètement intégré à celui du LIMS.

1.2. Mots clés

Ile de la Réunion, typologie des sols, système expert, analyse des sols, diagnostic de fertilité des sols, conseil en fertilisation, fumure d'entretien, canne à sucre.

1.3. Public visé

Agriculteurs, planteurs, techniciens de laboratoire, et chercheurs

1.4. Charte graphique

Relative à celle du CIRAD et suivant celle du portail web Margouill@.
Une maquette de la partie graphique du système sera présentée dans les spécifications.

1.5. Environnement de développement

L'application sera développée en langage PHP.
L'interface graphique sera réalisée en HTML, via PHP.
Le logiciel de gestion de base de données à utiliser devra suivre les habitudes OpenSource du CIRAD.
PostgreSQL sera donc utilisé.

2. Fonctionnement général

Les informations à prendre en compte sont la culture, le type de sol et ses caractéristiques chimiques.

Le résultat est une proposition de fertilisation adaptée à chaque situation.

Le diagnostic de fertilité est basé sur des seuils qui permettent de qualifier les résultats d'analyse chimique. Les seuils sont spécifiques à chaque type de sol.

Les informations spécifiques aux cultures sont utilisées pour calculer des conseils en fumure de fond et d'entretien adaptées aux besoins des cultures et au niveau de la production escomptée.

Les résultats sont traduits sur les bulletins d'analyse par des plans de fumure (calendrier d'apport, doses traduites en engrais commercial).

Le logiciel existant repose sur la notion de fertilité chimique des sols. Il est construit autour d'un axe pédologique, sur lequel les besoins spécifiques des cultures viennent se greffer. Il définit d'une part les corrections nécessaires pour amener les caractéristiques chimiques du sol à un niveau acceptable pour la culture et d'autre part, un plan de fumure permettant son entretien.

Les données concernant

- le client
- l'échantillon analysé
- la fiche de demande d'analyse
- les résultats d'analyse proviennent du LIMS.

Les données concernant le paramétrage du système, autrement dit

- les seuils
- les phrases de diagnostic
- les variables utiles au calcul des doses seront stockées dans la base de données du SE.

Pour anticiper, sur l'éventualité d'ouvrir le SE à l'ensemble des cultures, il sera possible d'activer ou non certains modules et de définir l'ordre d'exécution de chacun d'eux.

3. Description détaillée des différents modules

Chaque module comporte des règles de décision. Elles sont représentées par un système de tableaux croisés dans les quels figurent soit des seuils définissant des classes, soit des diagnostics rapportant à une bibliothèque de phrases de commentaire spécifiques pour chaque module.

La règle principale est que le système doit rester ouvert et modifiable :

- les règles de décision et les calculs peuvent évoluer,
- les phrases de diagnostic doivent être facilement modifiables
- l'ensemble des valeurs utilisées pour les calculs ou prises de décision doivent être modifiables

Le paramétrage du système expert sera donc stocké en base données.

Chaque module est présenté de la façon suivante :

- Données en entrée

Sont listés l'ensemble des données (et leur provenance) utiles au module. Des tableaux de valeurs ont été insérés à titre d'exemple, les valeurs n'étant pas statiques.

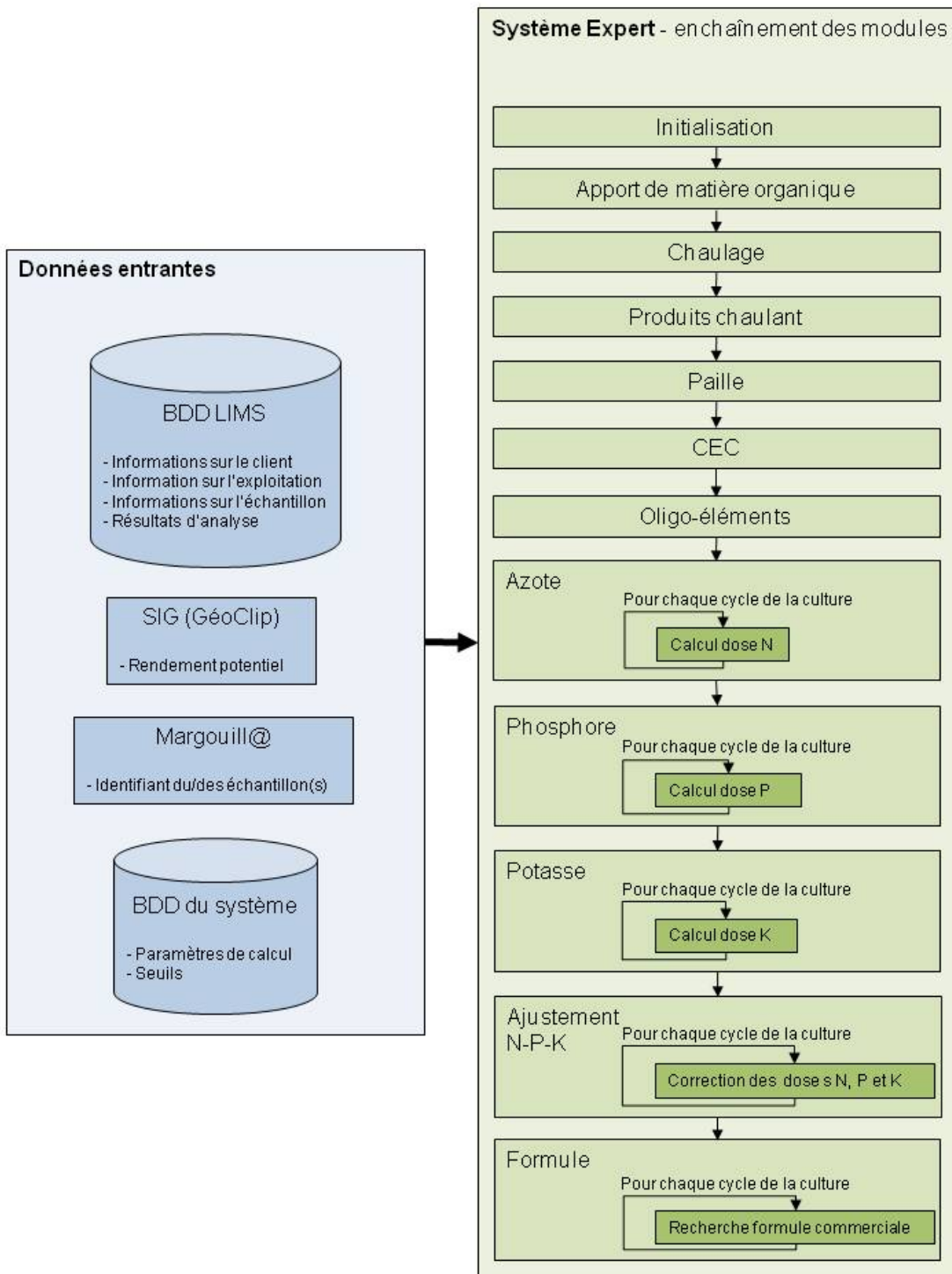
- Calculs intermédiaires

Sont listés ici les différentes étapes de calculs et de choix du diagnostic. Cette partie est organisée en fonction des données de sortie du module.

- Données en sortie

Liste des données disponibles en sortie de module.

3.1. Schéma



3.2. Module initialisation

Il se situe en amont de l'ensemble des modules d'interprétation.

3.2.1. Données en entrée

A partir du SIG on obtient,

- Le rendement potentiel (rp)

LIMS

- L'acidité du sol (pH)
- La teneur en C (tC)
- La teneur en N (tN)
- La teneur en Ca (tCa)
- La teneur en Mg (tMg)
- La teneur en K (tK)
- La teneur en Na (tNa)
- Le type de sol (type_sol)
- L'altitude
- Le rendement espéré (re)

Base de données

- Table du pouvoir fixateur du sol : pouvoir fixateur (pf) du sol en fonction de sa nature et de sa classe de pH

pf	pH < 5	5 ≤ pH < 5.5	5.5 ≤ pH < 6	6 ≤ pH < 7	pH ≥ 7
Andosols perhydratés	3	3	3	2	2
Andosols non perhydratés	3	3	3	2	2
Sols bruns andiques	3	2	2	1	1
Sols ferralitiques	3	2	2	1	1
Sols bruns	2	2	1	1	1
Sols vertiques	1	1	1	1	1

- Table des sols avec la densité apparente (da) et le coefficient de minéralisation (cm)

	da	cm
Andosols perhydratés	0.7	1.7
Andosols non perhydratés	0.8	1.4
Sols bruns andiques	1.1	1.8
Sols ferralitiques	1.2	1.8
Sols bruns	1.2	1.4
Sols vertiques	1.4	1.4

- Table du coefficient climatique (cclim)

Altitude (m)	0 < a ≤ 100	100 < a ≤ 250	250 < a ≤ 500	500 < a ≤ 750	a ≥ 750
cclim	1	0.94	0.83	0.69	0.55

- Table des diagnostics de rendement

diag_rend	Définition	Remarque
diag_rend_01	Attention le rendement que vous espérez n'est pas optimisé. Votre	Remplacer « rp »

3.2.2. Calculs intermédiaires

- **Calcul du pouvoir fixateur du sol en P (pf)**

En croisant les données pH et type de sol, on obtient un indicateur de bio-disponibilité du phosphore qui est le pouvoir fixateur du sol vis à vis du phosphore.

- **Calcul du rendement espéré potentiel (rep) et initialisation de la phrase d'alerte (diag_rend)**

On vérifie la crédibilité du rendement espéré du planteur et on calcule :

$$\text{min_rp} = 0,7 * \text{rp}$$

$$\text{max_rp} = 1,3 * \text{rp}$$

Le rendement espéré potentiel de la parcelle, noté rep se définit ainsi :

Si $\text{min_rp} \leq \text{re} \leq \text{max_rp}$

$$\text{rep} = \text{re}$$

Sinon

$$\text{rep} = \text{rp}$$

$$\text{diag_rend} = \text{diag_rend_01}$$

- **Calcul de la densité apparente (da)**

On obtient la da en prenant l'entrée de la table sol correspondant au type_sol.

- **Calcul du coefficient de minéralisation de N par type de sol (cmN)**

On obtient le cm en prenant l'entrée de la table sol correspondant au type de sol.

A partir de l'altitude, on obtient un coefficient climatique Cclim (cf table ci-dessus) qui affecte la vitesse de minéralisation de l'azote dans le sol selon une loi de Q10.

On calcule ensuite le cmN :

$$\text{cmN} = \text{cclim} * \text{cm}$$

- **Calcul du rapport C/N**

$$\text{CsurN} = \text{tC} / \text{tN}$$

- **Calcul du taux de saturation (t_sat)**

$$\text{t_sat} = (\text{tCa} + \text{tMg} + \text{tK} + \text{tNa}) / \text{CEC}$$

3.2.3. Données en sortie

- cmN : Coefficient de minéralisation de N par type de sol
- diag_rend : Diagnostic lié au rendement
- pf : Pouvoir fixateur du sol en P
- rep : Rendement potentiel espéré
- da : Densité apparente
- CsurN : Rapport C/N

3.3. Module apport de matière organique

3.3.1. Données en entrée

A partir du LIMS, on obtient les informations suivantes pour le raisonnement de la fumure azotée :

- tC : Teneur en carbone
- Liste de la nature et de la dose d'effluent apporté à chaque cycle (table_dose_eff)
- Type de sol
- Altitude

A partir du module initialisation :

- Rapport C/N (CsurN)

Base de données :

- Tableau de compositions des effluents : N, P, K, Ca, Mg pour 1 t ou 1 m³ d'effluent. comp_eff[mo,X,val] ou comp_eff[mo,X,coef], avec mo, MO choisie et X valant N, P, K, Ca ou Mg.

comp_eff	N		P		K		Ca		Mg		CsurN_eff
	val	coef	val	coef	val	coef	val	coef	val	coef	
Fientes séchées de poule p.	30	0.6	25	0.65	21	1	60	1	7	1	6
Lisier de porc	3.5	0.6	2.3	0.85	3.4	1	2.1	1	1	1	4.8
Lisier de bovin	3.3	0.4	1.8	1	3.8	1	2	1	1.2	1	8
Boue d'épuration pâteuse	10.3	0.4	4.7	0.6	0.8	1	2.3	1	1.2	1	6.2
Compost de fumier de bovin	7.6	0.2	3	1	7.3	1	5.9	1	2.7	1	16.6
Compost de fumier de poule p.	13.2	0.4	25	0.65	14.7	1	30	1	6	1	11.4
Fumier de bovin	6.2	0.4	3.1	1	4.2	1	4.6	1	3	1	16
Ecumes	7.4	0.1	9.1	1	1.2	1	8.5	1	1.8	1	20
Vinasses	2.6	0.2	0.7	1	16	1	2.8	1	2.1	1	12.8

- Table de seuils du rapport C/N

classe_C/N	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Ferralitique	C/N < 10	10 ≤ C/N < 11	11 ≤ C/N < 12.6	11.6 ≤ C/N < 13.5	C/N ≥ 13.5
Vertique	C/N < 9	9 ≤ C/N < 10	10 ≤ C/N < 11.2	11.2 ≤ C/N < 12	C/N ≥ 12
Brun	C/N < 9	9 ≤ C/N < 10	10 ≤ C/N < 11.2	11.2 ≤ C/N < 12	C/N ≥ 12
Brun andique	C/N < 10.8	10.8 ≤ C/N < 11.6	11.6 ≤ C/N < 13.2	13.2 ≤ C/N < 14	C/N ≥ 14
Andosol	C/N < 10.8	10.8 ≤ C/N < 11.6	11.6 ≤ C/N < 13.2	13.2 ≤ C/N < 14	C/N ≥ 14
Andosol perhydraté	C/N < 11.5	11.5 ≤ C/N < 12	12 ≤ C/N < 13.3	13.3 ≤ C/N < 14	C/N ≥ 14

- Table des seuils de la teneur en carbone, tC en mg/kg

classe_tC	0 Très faible	1 Faible	2 Moyen faible	4 Fort	5 Très fort
Ferralitique	tC < 1.9	1.9 ≤ tC < 2.2	2.2 ≤ tC < 2.9	2.9 ≤ tC < 3.3	tC ≥ 3.3
Vertique	tC < 1.6	1.6 ≤ tC < 2	2.0 ≤ tC < 2.4	2.4 ≤ tC < 2.7	tC ≥ 2.7
Brun	tC < 1.6	1.6 ≤ tC < 2	2 ≤ tC < 2.4	2.4 ≤ tC < 2.7	tC ≥ 2.7
Brun andique	tC < 2.1	2.1 ≤ tC < 2.5	2.5 ≤ tC < 3.3	3.3 ≤ tC < 3.7	tC ≥ 3.7
Andosol	tC < 3.1	3.1 ≤ tC < 3.9	3.9 ≤ tC < 5.3	5.3 ≤ tC < 6	tC ≥ 6
Andosol	tC < 5.2	5.2 ≤ tC < 6.7	6.7 ≤ tC < 9.6	9.6 ≤ tC < 11	tC ≥ 11

perhydraté					
------------	--	--	--	--	--

- Table des cycles de la culture

type_culture	cycle_culture	description	seuil_dose_eqN	seuil_dose_eqP	seuil_dose_eqK
Canne à sucre	1	Vierge	200	600	400
Canne à sucre	2	Repousse 1	250	150	400

- Table des phrases de diagnostic

diag_mo	Définition
diag_mo_01	La teneur en matière organique de votre sol est insuffisante. De plus, son C/N faible indique que son activité biologique est intense. La minéralisation de la matière organique est donc très rapide.
diag_mo_02	Votre sol est normalement pourvu en matière organique. Cependant, son C/N faible indique que son activité biologique est intense. La minéralisation de la matière organique est donc très rapide.
diag_mo_03	Votre sol est très riche en matière organique. Cependant, son C/N faible indique que son activité biologique est intense. La minéralisation de la matière organique est donc très rapide.
diag_mo_04	La teneur en matière organique de votre sol est insuffisante. Le C/N indique que son activité biologique est normale. La minéralisation de la matière organique se déroule donc dans de bonnes conditions.
diag_mo_05	Votre sol est normalement pourvu en matière organique. Le C/N indique que son activité biologique est normale. La minéralisation de la matière organique se déroule donc dans de bonnes conditions.
diag_mo_06	Votre sol est très riche en matière organique. Le C/N indique que son activité biologique est normale. La minéralisation de la matière organique se déroule donc dans de bonnes conditions.
diag_mo_07	La teneur en matière organique de votre sol est insuffisante. Le C/N indique que son activité biologique est ralentie. La minéralisation de la matière organique est trop lente.
diag_mo_08	Votre sol est normalement pourvu en matière organique. Le C/N indique que son activité biologique est ralentie. La minéralisation de la matière organique est trop lente.
diag_mo_09	Votre sol est très riche en matière organique. Le C/N indique que son activité biologique est ralentie. La minéralisation de la matière organique est trop lente.
diag_mo_10	De forts apports de matière organique à C/N élevés (type fumiers ou composts) sont conseillés à chaque replantation jusqu'à retour d'un équilibre normal.
diag_mo_11	Privilégiez plutôt des apports de matière organique à C/ N élevés type fumiers ou composts en forte quantité.
diag_mo_12	Utilisez les effluents organiques que vous avez prévus en grande quantité
diag_mo_13	Des apports de matière organique à C/N élevés (type fumiers ou composts) sont conseillés à chaque replantation jusqu'à retour d'un équilibre normal
diag_mo_14	Privilégiez plutôt des apports de matière organique à C/ N élevés type fumiers ou composts.
diag_mo_15	Utilisez les effluents organiques que vous avez prévus
diag_mo_16	Le stock de matière organique risque de diminuer assez rapidement. Surveiller son évolution avant chaque replantation
diag_mo_17	Utilisez les effluents organiques que vous avez prévus en quantité raisonnable
diag_mo_18	De forts apports de matière organique à C/N moyens (type lisier de bovin) sont conseillés à chaque replantation jusqu'à retour d'un équilibre normal
diag_mo_19	Utilisez les effluents organiques que vous avez prévus en grande quantité
diag_mo_20	Surveiller l'évolution à long terme en maintenant un niveau élevé de restitution des pailles.
diag_mo_21	Surveiller l'évolution à long terme.

diag_mo_22	De forts apports de matière organique riche en N sont conseillés (C/N inférieur ou égal à 12) type lisiers de porc, fientes de volailles
diag_mo_23	Privilégiez plutôt des apports de matière organique à C/N inférieur ou égal à 12, type lisiers de porc, fientes de volailles en grande quantité (ou engrais chimiques azotés)
diag_mo_24	Des apports d'effluents riches en N (ou engrais chimiques azotés) sont conseillés.
diag_mo_25	Privilégiez plutôt des apports de matière organique à C/N inférieur ou égal à 12, type lisiers de porc, fientes de volailles (ou engrais chimiques azotés)
diag_mo_26	Diminuez vos apports d'effluents

3.3.2. Calculs intermédiaires

En croisant les données type de sol et C/N, on obtient une classe classe_CsurN trouvée dans la table des seuils de C/N.

En croisant les données type de sol et tC, on obtient une classe classe_tC trouvée dans la table des seuils de tC.

En se référant à l'algorithme ci-dessous, on obtient les diagnostics relatifs aux variables ci-dessus :

classe_tC = 0 ou 1 et classe_CsurN = 0 ou 1	diag_mo_01	Si table_dose_eff [dose] = 0	diag_mo_10
		Sinon CsurN_eff < 10	diag_mo_11
		Sinon CsurN_eff > 10	diag_mo_12
classe_tC = 2 ou 3 et classe_CsurN = 0 ou 1	diag_mo_02	Si table_dose_eff [dose] = 0	diag_mo_13
		Sinon CsurN_eff < 10	diag_mo_14
		Sinon CsurN_eff > 10	diag_mo_15
classe_tC = 4 ou 5 et classe_CsurN = 0 ou 1	diag_mo_03	Si table_dose_eff [dose] = 0	diag_mo_16
		Sinon CsurN_eff < 10	diag_mo_17
		Sinon CsurN_eff > 10	diag_mo_15
classe_tC = 0 ou 1 et classe_CsurN = 2	diag_mo_04	Si table_dose_eff [dose] = 0	diag_mo_18
		Sinon CsurN_eff < 10	diag_mo_15
		Sinon CsurN_eff > 10	diag_mo_19
classe_tC = 2 ou 3 et classe_CsurN = 2	diag_mo_05	Si table_dose_eff [dose] = 0	diag_mo_20
		Sinon CsurN_eff < 10	diag_mo_17
		Sinon CsurN_eff > 10	diag_mo_15
classe_tC = 4 ou 5 et classe_CsurN = 2	diag_mo_06	Si table_dose_eff [dose] = 0	diag_mo_21
		Sinon CsurN_eff < 10	diag_mo_17
		Sinon CsurN_eff > 10	diag_mo_17
classe_tC = 0 ou 1 et classe_CsurN = 3 ou 4	diag_mo_07	Si table_dose_eff [dose] = 0	diag_mo_22
		Sinon CsurN_eff < 10	diag_mo_19
		Sinon CsurN_eff > 10	diag_mo_23
classe_tC = 2 ou 3 et classe_CsurN = 3 ou 4	diag_mo_08	Si table_dose_eff [dose] = 0	diag_mo_24
		Sinon CsurN_eff < 10	diag_mo_17
		Sinon CsurN_eff > 10	diag_mo_25
classe_tC = 4 ou 5 et classe_CsurN = 3 ou 4	diag_mo_09	Si table_dose_eff [dose] = 0	diag_mo_24
		Sinon CsurN_eff < 10	diag_mo_17
		Sinon CsurN_eff > 10	diag_mo_25

- **Calcul des doses d'équivalent, dose_eq_x**

On calcule les doses en N, P, K, Ca, Mg apportés pour chacun des cycles indiqués dans le tableau table_dose_eff que l'on stock dans le tableau table_dose_mo :

table_dose_mo[N,x] = table_dose_eff[x] * com_eff[table_dose_eff[x],N,val,]
table_dose_mo[P,x] = table_dose_eff[x] * com_eff[table_dose_eff[x],P,val]

$table_dose_mo[K,x] = table_dose_eff[x] * com_eff[table_dose_eff[x],K,val]$
 $table_dose_mo[Ca,x] = table_dose_eff[x] * com_eff[table_dose_eff[x],Ca,val]$
 $table_dose_mo[Mg,x] = table_dose_eff[x] * com_eff[table_dose_eff[x],Mg,val]$

Avec x étant le numéro du cycle en cours de calcul.

- **Choix du diagnostic, diag_mo**

Après concaténation des 2 diagnostics correspondants, on en déduit la phrase finale, diag_mo.

Pour chaque cycle, on déduit la phrase de diagnostic appropriée :

En fonction du cycle, on obtient à partir de la table cycle culture, les seuils de dose d'équivalent en N, P et K.

Si $table_dose_mo[N,x] > seuil_dose_eqN$ ou Si $table_dose_mo[P,x] > seuil_dose_eqP$ ou Si $table_dose_mo[K,x] > seuil_dose_eqK$
diag_mo = DiagMO26

On obtient ainsi un tableau de diagnostics de la MO, appelé table_diag_mo.

3.3.3. Données en sortie

- table_dose_mo : Table listant les doses d'équivalent en N, P, K, Ca, Mg de l'effluent pour chaque cycle ayant eu un apport en MO.
- table_diag_mo : Diagnostic issu de la teneur en C et du rapport C/N

3.4. Module chaulage

3.4.1. Données en entrée

On obtient à partir du LIMS les informations suivantes :

- tpHeau : Teneur en pH eau
- tpHKCl : Teneur en pH KCl
- tCa : Teneur en Ca
- tMg : Teneur en Mg
- Type de sol

On obtient à partir de la base de données

- Table des seuils de la teneur en pH eau :

classe_pHeau	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Ferralitique	tpHeau < 5	5 ≤ tpHeau < 5.5	5.5 ≤ tpHeau < 6	6 ≤ tpHeau < 7	tpHeau ≥ 7
Vertique	tpHeau < 5	5 ≤ tpHeau < 5.5	5.5 ≤ tpHeau < 6	6 ≤ tpHeau < 7	tpHeau ≥ 7
Brun	tpHeau < 5	5 ≤ tpHeau < 5.5	5.5 ≤ tpHeau < 6	6 ≤ tpHeau < 7	tpHeau ≥ 7
Brun andique	tpHeau < 5	5 ≤ tpHeau < 5.5	5.5 ≤ tpHeau < 6	6 ≤ tpHeau < 7	tpHeau ≥ 7
Andosol	tpHeau < 5	5 ≤ tpHeau < 5.5	5.5 ≤ tpHeau < 6	6 ≤ tpHeau < 6.5	tpHeau ≥ 6.5
Andosol perhydraté	tpHeau < 5	5 ≤ tpHeau < 5.5	5.5 ≤ tpHeau < 6	6 ≤ tpHeau < 6.5	tpHeau ≥ 6.5

- Table de l'acidité potentielle

classe_delta_pH	0 Faible	1 Moyenne	2 Forte
Tout sol	delta_pH < 0.5	0.5 ≤ delta_pH < 1	delta_pH ≥ 1

- Table des seuils de la teneur en Ca

classe_tCa	0 Carencé	1 Normal	2 Excessif
Ferralitique	tCa < 2.5	2.5 ≤ tCa < 10	tCa ≥ 10
Vertique	tCa < 2.5	2.5 ≤ tCa < 22	tCa ≥ 22
Brun	tCa < 1.5	1.5 ≤ tCa < 12	tCa ≥ 12
Brun andique	tCa < 2.0	2.0 ≤ tCa < 12	tCa ≥ 12
Andosol	tCa < 1.5	1.5 ≤ tCa < 12	tCa ≥ 12
Andosol perhydraté	tCa < 0.5	0.5 ≤ tCa < 12	tCa ≥ 12

- Table des seuils de la teneur en Mg

classe_tMg	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Ferralitique	tMg < 1.4	1.4 ≤ tMg < 2.7	2.7 ≤ tMg < 4.0	4.0 ≤ tMg < 5.0	tMg ≥ 5.0
Vertique	tMg < 0.7	0.7 ≤ tMg < 2.2	2.2 ≤ tMg < 4.0	4.0 ≤ tMg < 11	tMg ≥ 11
Brun	tMg < 0.7	0.7 ≤ tMg < 2.2	2.2 ≤ tMg < 4.0	4.0 ≤ tMg < 5.0	tMg ≥ 5.0
Brun andique	tMg < 1.5	1.5 ≤ tMg < 3.0	3.0 ≤ tMg < 5.0	5.0 ≤ tMg < 6.0	tMg ≥ 6.0
Andosol	tMg < 0.7	0.7 ≤ tMg < 3.0	3.0 ≤ tMg < 5.0	5.0 ≤ tMg < 6.0	tMg ≥ 6.0
Andosol perhydraté	tMg < 0.3	0.3 ≤ tMg < 2.5	2.5 ≤ tMg < 5.0	5.0 ≤ tMg < 7.0	tMg ≥ 7.0

- Table des seuils du rapport tMg / tCa

classe_t Mg_tCa	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Tout sol	tMg/tCa < 0.1	0.1 ≤ tMg/tCa < 0.5	0.5 ≤ tMg/tCa < 0.8	0.8 ≤ tMg/tCa < 1.5	tMg/tCa ≥ 1.5

- Table des phrases de diagnostic

diag_Ch	Définition
diag_Ch_01	votre sol est acide et carencé en calcium et magnésium. Un amendement chaulant Ca-Mg est indispensable, aux doses recommandées
diag_Ch_02	votre sol est acide et carencé en calcium, bien que relativement riche en magnésium. Respectez les doses d'amendement chaulant préconisées pour remonter le pH.
diag_Ch_03	votre sol a un pH correct mais présente des carences en calcium et magnésium. C'est un cas fréquent dans les andosols. Un apport chaulant Ca-Mg permettra d'éviter les éventuelles carences nutritives en calcium et magnésium sur la culture.
diag_Ch_04	votre sol a un pH correct mais est carencé en calcium. C'est un cas fréquent sur les sols sableux basaltiques. Un apport de calcium permettra d'éviter les éventuelles carences nutritives en calcium sur la culture
diag_Ch_05	votre sol est acide et carencé en magnésium, bien que bien pourvu en calcium. Respectez les doses d'amendement chaulant préconisées pour remonter le pH.
diag_Ch_06	votre sol a un pH correct mais est carencé en magnésium. Un apport chaulant Mg permettra d'éviter les éventuelles carences nutritives en calcium et magnésium sur la culture
diag_Ch_07	votre sol est plutôt basique mais est carencé en magnésium. Un apport de magnésium permettra d'éviter les éventuelles carences nutritives en magnésium sur la culture
diag_Ch_08	le pH de votre sol est correct avec des teneurs normales en calcium et magnésium. Vérifier l'acidité du sol à la prochaine analyse.
diag_Ch_09	votre sol a un pH correct et est bien pourvu en calcium mais il est carencé en magnésium. Un apport de magnésium permettra d'éviter les éventuelles carences nutritives en magnésium sur la culture
diag_Ch_10	votre sol est plutôt basique et est bien pourvu en calcium mais il est carencé en magnésium. Un apport de magnésium permettra d'éviter les éventuelles carences nutritives en magnésium sur la culture.
diag_Ch_11	cas non prévu par le système , interprétation manuelle spécifique
diag_Ch_12	votre sol est acide alors que les teneurs en calcium et magnésium sont normales. Cela peut correspondre à un apport récent d'engrais.
diag_Ch_13	votre sol risque de s'acidifier davantage au cours du temps, rendant l'amendement chaulant incontournable.

3.4.2. Calculs intermédiaires

- **Choix du diagnostic, diag_Ch**

A partir du renseignement « type de sol » et de la teneur pH eau, on détermine la classe du pH eau notée classe_pHeau.

Grâce aux teneurs en pH KCl et pH eau, on obtient le delta PH, noté delta_pH
 $\text{delta_pH} = \text{tpHeau} - \text{tpHKCl}$

En s'appuyant sur la table de l'acidité potentielle, on obtient la classe du delta (pH), notée classe_delta_pH.

On détermine des classes de pH rectifiées à partir de la classe du pHeau et de la classe du delta_pH :

classe_pH_rect		classe_pHeau				
		0	1	2	3	4
classe_delta_pH	0	0	1	2	3	4
	1	0	0	2	3	4
	2	0	0	1	3	4

Avec 0 ⇔ très faible, 1 ⇔ faible, 2 ⇔ normal, 3 ⇔ fort et 4 ⇔ très fort.

Tableau croisé de la classe de la teneur en Mg et de la classe du rapport tMg / tCa :

classe_ferti_en_Mg		tMg				
		0	1	2	3	4
tMg / tCa	0	0	1			
	1	0	2	3	3	3
	2	1	3	3	3	3
	3	1	3	3	3	4
	4	1	3	3	4	5

Avec 0 ⇔ très carencé, 1 ⇔ carencé, 2 ⇔ légèrement carencé, 3 ⇔ normal, 4 ⇔ riche et 5 ⇔ très riche.

- **Choix du diagnostic, diag_Ch, de la dose conseillée, dose_Ch, la composition du produit, compo_Ch**

On définit un diagnostic, diag_Ch, une dose conseillée en t/ha, dose_Ch, et une composition de produit, compo_Ch à partir du pH rectifié, de la fertilité en Mg et de la teneur en Ca :

classe_tCa	classe_ferti_en_Mg	classe_pH_rect				
		0	1	2	3	4
0	0	diag_Ch_01 5.5 Ca Mg	diag_Ch_01 3.5 Ca Mg	diag_Ch_03 1.8 Ca Mg	diag_Ch_03 0.8 Ca Mg	diag_Ch_11
	1	diag_Ch_01 4.5 Ca Mg	diag_Ch_01 2.3 Ca Mg	diag_Ch_03 1.3 Ca Mg	diag_Ch_03 0.8 Ca Mg	diag_Ch_11
	2	diag_Ch_01 3.5 Ca Mg	diag_Ch_01 1.8 Ca Mg	diag_Ch_03 0.8 Ca Mg	diag_Ch_04 0.8 Ca	diag_Ch_11

	3	diag_Ch_02 2.3 Ca	diag_Ch_02 1.3 Ca	diag_Ch_04 0.8 Ca	diag_Ch_04 0.8 Ca	diag_Ch_11
	4	diag_Ch_02 1.8 Ca	diag_Ch_02 1.3 Ca	diag_Ch_04 0.8 Ca	diag_Ch_04 0.8 Ca	diag_Ch_11
	5	diag_Ch_11	diag_Ch_11	diag_Ch_04 0.8 Ca	diag_Ch_04 0.8 Ca	diag_Ch_11
1	0	diag_Ch_11	diag_Ch_05 1.3 Ca Mg	diag_Ch_06 0.5 Ca Mg	diag_Ch_07 0.2 Mg	diag_Ch_07 0.2 Mg
	1	diag_Ch_11	diag_Ch_05 0.8 Ca Mg	diag_Ch_06 0.5 Ca Mg	diag_Ch_07 0.1 Mg	diag_Ch_08 0
	2	diag_Ch_11	diag_Ch_05 0.5 Ca Mg	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0
	3	diag_Ch_11	diag_Ch_12	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0
	4	diag_Ch_11	diag_Ch_12	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0
	5	diag_Ch_11	diag_Ch_11	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0
2	0	diag_Ch_11	diag_Ch_11	diag_Ch_09 0.2 Mg	diag_Ch_10 0.2 Mg	diag_Ch_10 0.2 Mg
	1	diag_Ch_11	diag_Ch_11	diag_Ch_09 0.1 Mg	diag_Ch_10 0.1 Mg	diag_Ch_08 0
	2	diag_Ch_11	diag_Ch_11	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0
	3	diag_Ch_11	diag_Ch_11	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0
	4	diag_Ch_11	diag_Ch_11	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0
	5	diag_Ch_11	diag_Ch_11	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0	diag_Ch_08 0

3.4.3. Données en sortie

- diag_Ch : diagnostic de chaulage
- dose_Ch : dose conseillée en t/ha
- compo_Ch : composition du produit

3.5. Module produits chaulant

3.5.1. Données en entrée

On récupère en sortie du module chaulage :

- La dose conseillée en Ch (dose_Ch)
- Le diagnostic de chaulage (diag_Ch)

A partir du LIMS, on obtient :

- Le type de sol (type_sol)
- Dose de cendre prévue à l'apport, après échantillonnage du sol (dose_cendre)

A partir de la base de données, on obtient :

- Le tableau des produits chaulant, table_prod_ch

nom	type	val_neutral	tP	coefP	tK	coefK	tMgO	tCaO
	Chaux Mg	110					37	57
	Chaux Mg							
	Chaux Ca	85						85
	Dolomie	50					15	30
	Cendres à 30% d'humidité	6.6	1.04	0.5	3.1	0.5	2	3.8
Physiolith	Physiolith	44					3	40
	Calcaire	40						50
	Sulfate de Mg							

Avec nom : Nom du produit commercialisé

type: Type du produit chaulant

val_neutral : Valeur neutralisante, équivalence en CaO pur pour 100kg de produit chaulant

tP : Teneur en P (en kg pour 100 kg de cendres)

coefP : Coefficient de libération de P du produit

tK : Teneur en K (en kg pour 100 kg de cendres)

coefK : Coefficient de libération de K du produit

tMgO : Teneur en MgO (en kg pour 100 kg de cendres)

tCaO : teneur en CaO (en kg pour 100 kg de cendres)

3.5.2. Calculs intermédiaires

- **Calcul de la dose conseillée en produit chaulant, dose_prod_Ch (action sur le PH):**

$$\text{dose_prod_Ch} = \text{dose_Ch} * 100 / \text{val_neutral}$$

- **Calcul de la dose conseillée en produit magnésien, dose_prod_Mg (action sur la carence en Mg):**

$$\text{dose_prod_Mg} = \text{dose_Ch} * 100\ 000 / \text{tMgO}$$

- **Calcul du diagnostic, diag_prod_Ch**

Définition du diagnostic en fonction de l'apport en cendre, noté cendres et du diagnostic Ch, noté diag_Ch.

Phrases intermédiaires :

Nom diagnostic	Portion de diagnostic	Calcul de tab_prod_dose
diag_cendres	tab_prod_dose	Avec tab_prod_dose, tableau

	Le conseil est donné pour une matière humide à 30 %. Enfouir après application (attention à la poussière si elle sèche).	contenant 1 ligne pour chaque produit de type cendres, exemple : « pour prod_com, utiliser dose_prod_Ch t/ha »
diag_chaux_Mg	tab_prod_dose Enfouir après application	Avec tab_prod_dose, tableau contenant 1 ligne pour chaque produit de type chaux Mg, exemple : « pour prod_com, utiliser dose_prod_Ch t/ha »
diag_dolomie	tab_prod_dose Enfouir après application	Avec tab_prod_dose, tableau contenant 1 ligne pour chaque produit de type dolomie, exemple : « pour prod_com, utiliser dose_prod_Ch t/ha »
diag_chaux_Ca	tab_prod_dose Enfouir après application	Avec tab_prod_dose, tableau contenant 1 ligne pour chaque produit de type chaux Ca, exemple : « pour prod_com, utiliser dose_prod_Ch t/ha »
diag_physiolith	tab_prod_dose Peut être enfoui ou laissé en surface. La dose conseillée peut être apportée en 2 fois (tous les 3 ans).	Avec tab_prod_dose, tableau contenant 1 ligne pour chaque produit de Physiolith, exemple : « pour prod_com, utiliser dose_prod_Ch t/ha »
diag_sulfate_Mg	tab_prod_dose Enfouir après application	Avec tab_prod_dose, tableau contenant 1 ligne pour chaque produit de type sulfate Mg, exemple : « pour prod_com, utiliser dose_prod_Mg t/ha »

Diagnostic final :

Pour définir certaines phrases conseil on a besoin du calcul suivant :

dose_a = dose_cendre * val_neutral

dose_b = dose_prod_Ch

dose_cendres	diag_Ch	diag_prod_Ch
= 0	diag_Ch_01	« Effectuez un apport en cendres, » + diag_cendres + « ou effectuez un apport en chaux Mg, » + diag_chaux_Mg + « ou effectuez un apport en dolomie, » + diag_dolomie
	diag_Ch_02	« Effectuez un apport en cendres, » + diag_cendres + « ou effectuez un apport en chaux Ca, » + diag_chaux_Ca + « ou effectuez un apport en Physiolith, » + diag_physiolith
	diag_Ch_03	« Effectuez un apport en chaux Mg, » + diag_chaux_Mg
	diag_Ch_04	« Effectuez un apport en chaux Ca, » + diag_chaux_Ca + « ou effectuez un apport en Physiolith, » + diag_physiolith
	diag_Ch_05	« Effectuez un apport en chaux Mg, » + diag_chaux_Mg
	diag_Ch_06	« Effectuez un apport en chaux Mg, » + diag_chaux_Mg
	diag_Ch_07	« Effectuez un apport en sulfate Mg, » + diag_sulfate_Mg
	diag_Ch_08	« Aucun amendement chaulant n'est nécessaire pour le cycle »

	diag_Ch_09	« Effectuez un apport en sulfate Mg, » + diag_sulfate_Mg
	diag_Ch_10	« Effectuez un apport en sulfate Mg, » + diag_sulfate_Mg
> 0	diag_Ch_01	Si dose_a > dose_b *1.2
	diag_Ch_02	"Attention vous mettez plus de cendre que nécessaire, essayer de réduire l'apport. Dose minima = dose_b/0.066"
	diag_Ch_03	Si dose_a = dose_b +/- 20% "L'apport de cendre prévu couvre bien les besoins de chaulage" Si dose_a < dose_b * 0.8 "Votre apport prévu est insuffisant, il faudrait apporter au minimum : dose_b/0.066"
	diag_Ch_04	"L'apport de cendre doit rester limité à 50 t/ha"
	diag_Ch_05	« Idéalement votre sol aurait besoin d'un apport en chaux Mg, » + diag_chaux_Mg + « Si vous désirez malgré tout effectuer votre apport en cendres, apportez au maximum, » + diag_cendres
	diag_Ch_06	« Idéalement votre sol aurait besoin d'un apport en chaux Mg, » + diag_chaux_Mg + « Si vous désirez malgré tout effectuer votre apport en cendres, apportez au maximum, » + diag_cendres
	diag_Ch_07	« Idéalement votre sol aurait besoin d'un apport en sulfate Mg, » + diag_sulfate_Mg + « Si vous désirez malgré tout effectuer votre apport en cendres, apportez au maximum, » + diag_cendres
	diag_Ch_08	« Aucun amendement chaulant n'est nécessaire pour le cycle. »
	diag_Ch_09	L'apport de cendre n'est pas recommandé. Prévoir un apport en magnésium si vous décelez des carences sur canne
	diag_Ch_10	L'apport de cendre n'est pas recommandé. Prévoir un apport en magnésium si vous décelez des carences sur canne

- **Calcul de P, K, Ca, Mg apportés :**

Si des cendres sont prévues ou conseillées il est nécessaire de calculer les doses en P, K, Ca et Mg apportées, notées dose_app_P, dose_app_K, dose_app_Ca et dose_app_Mg.

Choix de la dose de cendre, notée dose, à utiliser pour le calcul.

Si dose_cendre = 0 et (diag_Ch = diag_Ch_01 ou diag_Ch_02)

Ou

Si dose_cendres > 0 et (diag_Ch = diag_Ch_01 ou diag_Ch_02 ou diag_Ch_03 ou diag_Ch_04 ou diag_Ch_05 ou diag_Ch_06)

→ dose = dose_prod_Ch

Si cendres = oui et (diag_Ch = diag_Ch_07 ou diag_Ch_09 ou diag_Ch_10)

→ dose = dose_prod_Mg

$dose_app_P = dose * tP * 1000 / 100 = dose * tP * 10$

(On a une teneur pour 100 kg de cendre et l'on souhaite une dose pour 1 t)

$dose_app_K = dose * tK * 10$

$dose_app_Ca = dose * tCa * 10$

$dose_app_Mg = dose * tMg * 10$

Avec teneur_cendre(X), paramètre provenant de la table des éléments nutritifs

3.5.3. Données en sortie

- dose_app_P : Dose apportée en P
- dose_app_K : Dose apportée en K
- dose_app_Ca : Dose apportée en Ca

- dose_app_Mg : Dose apportée en Mg
- diag_prod_Ch : Diagnostic pour le choix du produit chaulant

3.6. Module paille

3.6.1. Données en entrée

A partir du LIMS, on obtient les informations suivantes :

- La dose exportation de paille (dose_exp) (0 ⇔ pas d'exportation, 0.5 ⇔ 50% d'exportation, 1 ⇔ exportation totale)
- Type de coupe (type_coupe)

A partir du module « matière organique » on obtient les apports en NPK exogènes organiques

- dose_eq_x avec x = N, P, K, Mg, Ca
- diag_mo

A partir du module « initialisation », on obtient :

- le rendement espéré potentiel (rep)
- le pouvoir fixateur (pf)

Base de données

- Table des phrases de diagnostic :

diag_paille	Définition
diag_paille_01	Les exportations de paille ne sont pas conseillées
diag_paille_02	Veillez à ce que les apports de matière organique exogène (fumiers, composts) compensent les exportations de matière organique des pailles
diag_paille_03	Les exportations de paille sont possibles sans compensation organique jusqu'à la prochaine analyse.

- Table des majorations

type_coupe	Description	maj_N	maj_P	maj_K
A	Coupe et chargement manuels	0	0	0
B	Coupe manuelle et chargement mécanique	10	15	50
C	Coupe mécanique tronçonnée	10	15	70
C1	Coupe méca et export 100 % paille	30	35	155
C2	Coupe méca et export 50 % paille	15	25	85
D	Coupe culture brûlée	40	15	45

Avec maj_N, maj_P et maj_K les majorations ou besoins supplémentaires en N, P et K (rendement 100 t/ha) liés à la masse de résidus exportés selon les modes de coupe.

3.6.2. Calculs intermédiaires

- **Choix du diagnostic, noté diag_paille**

Si dose_exp ≠ 0

et diag_mo = diag_mo_01 ou diag_mo_04 ou diag_mo_07 → diag_paille_01
et diag_mo = diag_mo_02 ou diag_mo_05 ou diag_mo_08 → diag_paille_02
et diag_mo = diag_mo_03 ou diag_mo_06 ou diag_mo_09 → diag_paille_03

- **Calcul des doses de compensations à apporter**

On cherche les compensations en NPK à apporter, notées dose_comp_N, dose_comp_P, dose_comp_K.

Le calcul est le suivant, avec maj_X fonction de type_coupe :

$dose_comp_N = maj_N * rep / 100$

$dose_comp_P = maj_P * pf * rep / 100$

$dose_comp_K = maj_K * rep / 100$

3.6.3. Données en sortie

- dose_comp_N : Dose de compensation en N
- dose_comp_P : Dose de compensation en P
- dose_comp_K : Dose de compensation en K
- diag_paille : Diagnostic pour la paille

3.7. Module CEC

Ce module vise simplement à obtenir des phrases de commentaires sur le bulletin.

3.7.1. Données en entrée

On obtient à partir du LIMS les valeurs suivantes :

- La capacité d'échange cationique (CEC)
- Le type de sol (type_sol)

On obtient à partir du module initialisation,

- Le taux de saturation (t_sat)

On obtient depuis la base de données,

- Table des seuils du taux de saturation :

classe_t_sat	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Ferrallitique	t_sat < 60	60 ≤ t_sat < 80	80 ≤ t_sat < 90	90 ≤ t_sat < 95	t_sat ≥ 95
Vertique	t_sat < 40	40 ≤ t_sat < 71	71 ≤ t_sat < 90	90 ≤ t_sat < 99	t_sat ≥ 99
Brun	t_sat < 40	40 ≤ t_sat < 71	71 ≤ t_sat < 90	90 ≤ t_sat < 99	t_sat ≥ 99
Brun andique	t_sat < 40	40 ≤ t_sat < 85	85 ≤ t_sat < 99	99 ≤ t_sat < 105	t_sat ≥ 105
Andosol	t_sat < 40	40 ≤ t_sat < 85	85 ≤ t_sat < 99	99 ≤ t_sat < 105	t_sat ≥ 105
Andosol perhydraté	t_sat < 20	20 ≤ t_sat < 76	76 ≤ t_sat < 99	99 ≤ t_sat < 105	t_sat ≥ 105

- Table des seuils de la CEC :

classe_CEC	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Ferrallitique	CEC < 6.8	6.8 ≤ CEC < 10.8	10.8 ≤ CEC < 14.5	14.5 ≤ CEC < 18	CEC ≥ 18
Vertique	CEC < 7	7 ≤ CEC < 14.5	14.5 ≤ CEC < 18.5	18.5 ≤ CEC < 40	CEC ≥ 40
Brun	CEC < 7.4	7.4 ≤ CEC < 10	10 ≤ CEC < 14.5	14.5 ≤ CEC < 17	CEC ≥ 17
Brun andique	CEC < 7.4	7.4 ≤ CEC < 11	11 ≤ CEC < 16	16 ≤ CEC < 18	CEC ≥ 18
Andosol	CEC < 5.5	5.5 ≤ CEC < 11	11 ≤ CEC < 16	16 ≤ CEC < 18	CEC ≥ 18
Andosol perhydraté	CEC < 5	5 ≤ CEC < 10.5	10.5 ≤ CEC < 16	16 ≤ CEC < 19	CEC ≥ 19

- La table des phrases de diagnostic pour la CEC :

diag_CEC	Définition
diag_CEC_01	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est très petite et est presque vide. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité et la capacité de stockage.
diag_CEC_02	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est très petite et est presque vide. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité et la capacité de stockage.
diag_CEC_03	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est très petite et est presque vide. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité et la capacité de stockage.
diag_CEC_04	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est très petite mais saturée en éléments. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité et la capacité de stockage.

diag_CEC_05	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est très petite mais saturée en éléments. Voir les besoins en matière organique nécessaires pour améliorer la fertilité et la capacité de stockage
diag_CEC_06	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est petite et est presque vide. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité et la capacité de stockage.
diag_CEC_07	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est petite et est presque vide. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité et la capacité de stockage.
diag_CEC_08	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est petite et est presque vide. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité et la capacité de stockage.
diag_CEC_09	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est petite mais saturée en éléments. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité et la capacité de stockage.
diag_CEC_10	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est petite mais saturée en éléments. Voir les besoins en matière organique nécessaires pour améliorer la fertilité et la capacité de stockage.
diag_CEC_11	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est moyenne et est quasiment vide. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité.
diag_CEC_12	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est moyenne et est presque vide. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité.
diag_CEC_13	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est moyenne et peu remplie. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité.
diag_CEC_14	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est moyenne mais saturée en éléments. Voir les besoins en matière organique et en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité.
diag_CEC_15	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est moyenne mais saturée en éléments. Voir les besoins en matière organique nécessaires pour améliorer la capacité de stockage.
diag_CEC_16	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est forte mais est presque vide. Voir les besoins en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité. Cas anormal, vérifier les résultats d'analyse de sol.
diag_CEC_17	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est forte mais est presque vide. Voir les besoins en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité. Cas anormal, vérifier les résultats d'analyse de sol.
diag_CEC_18	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est forte et normalement remplie..
diag_CEC_19	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est forte et bien remplie.
diag_CEC_20	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est forte et presque saturée.
diag_CEC_21	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est très forte mais est quasiment vide. Voir les besoins en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité.
diag_CEC_22	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est très forte mais est presque vide. Voir les besoins en éléments nécessaires pour améliorer la fertilité.
diag_CEC_23	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est très forte et normalement remplie..
diag_CEC_24	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est très forte et fortement saturée.
diag_CEC_25	La capacité de stockage en éléments basiques du sol est très forte et presque saturée.

3.7.2. Calculs intermédiaires

- **Choix de la phrase de diagnostic**

A partir des classes de taux de saturation et de CEC, on en déduit le diagnostic, diag_CEC :

diag_CEC		classe_t_sat				
		0	1	2	3	4
classe_CEC	0	diag_CEC_01	diag_CEC_02	diag_CEC_03	diag_CEC_04	diag_CEC_05
	1	diag_CEC_06	diag_CEC_07	diag_CEC_08	diag_CEC_09	diag_CEC_10
	2	diag_CEC_11	diag_CEC_12	diag_CEC_13	diag_CEC_14	diag_CEC_15
	3	diag_CEC_16	diag_CEC_17	diag_CEC_18	diag_CEC_19	diag_CEC_20
	4	diag_CEC_21	diag_CEC_22	diag_CEC_23	diag_CEC_24	diag_CEC_25

3.7.3. Données en sortie

- diag_CEC : Diagnostic CEC

3.8. Module oligo-éléments

3.8.1. Données en entrée

On obtient à partir du LIMS,

- Teneur en Cu (tCu)
- Teneur en Mn (tMn)
- Teneur en Zn (tZn)
- Teneur en Fe (tFe)

Remarque : Pour obtenir la teneur en bore, il faudrait faire une analyse foliaire

On obtient depuis la base de données,

- Le tableau des seuils de la teneur en Fe (méthode DTPA : méthode de dosage internationale)

classe_tFe	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Tout sol	tFe < 10	10 ≤ tFe < 20	20 ≤ tFe < 100	100 ≤ tFe < 150	tFe ≥ 150

- Le tableau des seuils de la teneur en Mn (méthode DTPA)

classe_tMn	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Tout sol	tMn < 5	5 ≤ tMn < 10	10 ≤ tMn < 50	50 ≤ tMn < 80	tMn ≥ 80

- Le tableau des seuils de la teneur en Zn (méthode DTPA)

classe_tZn	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Tout sol	tZn < 0.4	0.4 ≤ tZn < 0.8	0.8 ≤ tZn < 5	5 ≤ tZn < 10	tZn ≥ 10

- Le tableau des seuils de la teneur en Cu (méthode DTPA)

classe_tCu	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Tout sol	tCu < 0.4	0.4 ≤ tCu < 0.8	0.8 ≤ tCu < 10	10 ≤ tCu < 30	tCu ≥ 30

- Les tableaux des phrases de diagnostic de Fe, Mn, Zn et Cu

diag_Fe	Définition
diag_Fe_01	Risque de carence en Fe
diag_Fe_02	Risque faible de malnutrition
diag_Fe_03	Teneur du sol excessive en Fe qui peut être corrélée à un pH acide et / ou un sol hydromorphe.

diag_Mn	Définition
diag_Mn_01	Risque de carence en Mn
diag_Mn_02	Risque faible de malnutrition
diag_Mn_03	Teneur du sol excessive en Mn qui peut être corrélée à un pH acide et / ou un sol hydromorphe.

diag_Cu	Définition
---------	------------

diag_Cu_01	Risque de carence en Cu
diag_Cu_02	Risque faible de malnutrition.
diag_Cu_03	Teneur du sol excessive en Cu qui peut être corrélée à de trop forts apports en effluents

diag_Zn	Définition
diag_Zn_01	Risque de carence en Zn
diag_Zn_02	Risque faible de malnutrition
diag_Zn_03	Teneur du sol excessive en Zn qui peut être corrélée à de trop forts apports en effluents.

diag_FeMn	Définition
diag_FeMn_01	En condition hydromorphe, ceci peut entraîner des désordres physiologiques : carences en fer induites ou toxicités manganiques.

3.8.2. Calculs intermédiaires

- Choix de la phrase de diagnostic de Fe, notée diag_Fe

	classe_tFe				
	0	1	2	3	4
diag_Fe	diag_Fe_01	diag_Fe_02	diag_Fe_02	diag_Fe_02	diag_Fe_03

- Choix de la phrase de diagnostic de Mn, notée diag_Mn

	classe_tMn				
	0	1	2	3	4
diag_Mn	diag_Mn_01	diag_Mn_02	diag_Mn_02	diag_Mn_02	diag_Mn_03

- Choix de la phrase de diagnostic de Zn, notée diag_Zn

	classe_tZn				
	0	1	2	3	4
diag_Zn	diag_Zn_01	diag_Zn_02	diag_Zn_02	diag_Zn_02	diag_Zn_03

- Choix de la phrase de diagnostic de Cu, notée diag_Cu

	classe_tCu				
	0	1	2	3	4
diag_Cu	diag_Cu_01	diag_Cu_02	diag_Cu_02	diag_Cu_02	diag_Cu_03

- Choix de la phrase de diagnostic, diag_FeMn

Si Fe/Mn < 1.5

diag_FeMn = diag_FeMn_01

3.8.3. Données en sortie

- diag_Fe : Phrase de diagnostic pour Fe
- diag_Mn : Phrase de diagnostic pour Mn
- diag_Zn : Phrase de diagnostic pour Zn
- diag_Cu : Phrase de diagnostic pour Cu
- diag_FeMn : Phrase de diagnostic pour le rapport Fe/Mn

3.9. Module azote

On ne s'intéresse dans ce module qu'aux besoins en fertilisation de la plante (base 100 t/ha) et à la fourniture de N par le sol.

Ce module est appelé pour chaque cycle de la culture (exemple pour la canne: vierge, 1^{ère} repousse, ...).

3.9.1. Données en entrée

On obtient à partir du LIMS,

- La teneur en azote (tN)

A partir du module initialisation, on obtient

- La densité apparente (da)
- Le coefficient de minéralisation de N (cmN)
- Le rendement potentiel espéré (rep)

A partir de la base de données,

- Table des cycles de la culture

type_culture	cycle_culture	coeff_abat_N
Canne à sucre	Vierge	0.7
Canne à sucre	Repousse	1

Avec coeff_abat_N ⇔ coefficient d'abattement à appliquer au calcul de la dose conseillée en N.

- Table des seuils de N minéralisable

classe_N_min	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Tout sol	$N_{min} < 75$	$75 \leq N_{min} < 150$	$150 \leq N_{min} < 225$	$225 \leq N_{min} < 300$	$N_{min} \geq 300$

- Table des doses conseillées en N

classe_N_min	0	1	2	3	4
dose_N	180	150	120	80	0

- Table des phrases de diagnostic

diag_N	Définition
diag_N_01	Votre sol est déficient en azote minéralisable. La fourniture d'azote est jugée très insuffisante pour la canne à sucre. La fumure azotée doit donc être fortement renforcée
diag_N_02	Votre sol est légèrement déficient en azote minéralisable. La fourniture d'azote est jugée insuffisante pour la canne à sucre. La fumure azotée doit donc être renforcée
diag_N_03	Votre sol est correctement pourvu en azote minéralisable. La fumure azotée doit simplement satisfaire aux besoins de la canne.
diag_N_04	La teneur en azote minéralisable de votre sol est élevée. La fumure azotée peut être diminuée.
diag_N_05	La teneur en azote minéralisable de votre sol est très élevée. Une impasse sur la fumure azotée peut être envisagée sur les premiers cycles.

3.9.2. Calculs intermédiaires

- **Choix des phrases diagnostic et calcul de la dose conseillée**

On peut à présent utiliser la formule suivante pour calculer l'azote minéralisable potentiel du sol, N_min (sur 0.3 m d'épaisseur et sur 1 ha) :

$$N_{\min} = cmN * da * 30 * tN$$

N_min nous permet, depuis la table des seuils de N minéralisable, de déduire la classe et ainsi le diagnostic :

	classe_N_min				
	0	1	2	3	4
diag_N	diag_N_01	diag_N_02	diag_N_03	diag_N_04	diag_N_05

- **Calcul de la dose conseillée en N, dose_N**

$$dose_N = dose_N * coeff_abat_N$$

Ajustement de la dose par une loi moins que proportionnelle au rendement potentiel espéré (la formule a été définie à partir des données issues du guide de la fertilisation 2007) :

$$dose_N = -0,004 * rep^2 + 1,72 * rep - 15,3 - (120 - dose_N)$$

3.9.3. Données en sortie

- dose_N : Dose conseillée en N à apporter
- diag_N : Diagnostic N

3.10. Module phosphore

On ne s'intéresse dans ce module qu'aux besoins en fertilisation de la plante (base 100 t/ha) et à la fourniture de P par le sol.

Ce module est appelé pour chaque cycle de la culture (exemple pour la canne: vierge, 1^{ère} repousse, ...).

3.10.1. Données en entrée

A partir du LIMS, on obtient

- La teneur en P extractible (tP)
- Le type de la culture (type_culture)

On obtient à partir du module « initialisation »

- Le pouvoir fixateur du sol vis-à-vis du phosphore (pf)
- Le rendement potentiel espéré (rep)

On obtient à partir de la base de données,

- Le tableau des seuils de P extractible

classe_tP	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Ferralitique	tP < 60	60 ≤ tP < 100	100 ≤ tP < 200	200 ≤ tP < 300	tP ≥ 300
Vertique	tP < 60	60 ≤ tP < 100	100 ≤ tP < 200	200 ≤ tP < 300	tP ≥ 300
Brun	tP < 60	60 ≤ tP < 100	100 ≤ tP < 200	200 ≤ tP < 300	tP ≥ 300
Brun andique	tP < 100	100 ≤ tP < 200	200 ≤ tP < 300	300 ≤ tP < 400	tP ≥ 400
Andosol	tP < 100	100 ≤ tP < 200	200 ≤ tP < 300	300 ≤ tP < 400	tP ≥ 400
Andosol perhydraté	tP < 100	100 ≤ tP < 200	200 ≤ tP < 300	300 ≤ tP < 400	tP ≥ 400

- Le tableau des unités fertilisantes en P (apport de P205/ha) en fonction des cycles de culture. On trouvera un jeu de données par cycle de culture

type_culture	cycle_culture	pf	classe_tP				
			0	1	2	3	4
Canne à sucre	Vierge	1	200	100	70	50	0
Canne à sucre	Vierge	2	300	200	100	70	0
Canne à sucre	Vierge	3	400	300	200	100	70
Canne à sucre	Repousses 1 à 6	1	100	70	50	0	0
Canne à sucre	Repousses 1 à 6	2	140	100	70	50	0
Canne à sucre	Repousses 1 à 6	3	140	140	100	70	50

- Le tableau des phrases de diagnostic de P

diag_P	Définition
diag_P_01	L'offre du sol en P est très faible, un apport fort doit être envisagé.
diag_P_02	L'offre du sol en P est très faible, un apport renforcé doit être envisagé.
diag_P_03	L'offre du sol en P est très faible, le sol est très fixateur donc un apport très renforcé doit être envisagé.
diag_P_04	L'offre du sol en P est faible, un apport fort doit être envisagé.
diag_P_05	L'offre du sol en P est faible, un apport renforcé doit être envisagé.
diag_P_06	L'offre du sol en P est faible, le sol est très fixateur donc un apport très renforcé doit être

	envisagé.
diag_P_07	L'offre du sol en P est correcte.
diag_P_08	L'offre du sol en P est correcte, l'apport à apporter est légèrement supérieur aux besoins de la culture.
diag_P_09	L'offre du sol en P est correcte, le sol est très fixateur donc un apport renforcé doit être envisagé.
diag_P_10	L'offre du sol en P est élevée, un apport correspondant aux stricts besoins de la culture doit être envisagé.
diag_P_11	L'offre du sol en P est forte, un apport n'est pas nécessaire.
diag_P_12	L'offre du sol en P est élevée, le sol est très fixateur donc un apport léger doit être envisagé.
diag_P_13	L'offre du sol en P est élevée mais le sol est très fixateur donc un apport doit être envisagé.
diag_P_14	L'offre du sol en P est très élevée, un apport n'est pas nécessaire.
diag_P_15	L'offre du sol en P est très élevée, un apport n'est pas nécessaire sur les 1ères années.
diag_P_16	L'offre du sol en P est élevée, le sol est très fixateur donc un apport doit être envisagé.

3.10.2. Calculs intermédiaires

- Définition des phrases de diagnostic de P, diag_P et des indices de teneur en P, indice_tP

diag_P indice_tP		pf		
		1	2	3
classe_tP	0	diag_P_01 faible	diag_P_02 très faible	diag_P_03 très faible
	1	diag_P_04 faible	diag_P_05 faible	diag_P_06 très faible
	2	diag_P_07 correct	diag_P_08 correct	diag_P_09 faible
	3	si dose_p > 0 → diag_P_10 sinon diag_P_11 forte	diag_P_12 forte	diag_P_13 normale
	4	diag_P_14 très forte	diag_P_15 forte	diag_P_16 correct

- Dédution de la dose en P à apporter, dose_p

Pour obtenir dose_P, croiser le tableau des seuils et le tableau des doses qui est fonction du cycle de la culture.

Ajustement de la dose par une loi moins que proportionnelle au rendement potentiel espéré (la formule a été définie à partir des données issues du guide de la fertilisation 2007) :

$$\text{dose}_P = -0,0032 * \text{rep}^2 + 1,1125 * \text{rep} - 12 - (72 - \text{dose}_P)$$

3.10.3. Données en sortie

- dose_P : Dose conseillée de P à apporter
- diag_P : Phrase résultante du diagnostic de P
- indice_tP : Indice de teneur en P

3.11. Module potasse

On ne s'intéresse dans ce module qu'aux besoins en fertilisation de la plante (base 100 t/ha) et à la fourniture de K par le sol.

Ce module est appelé pour chaque cycle de la culture (exemple pour la canne: vierge, 1^{ère} repousse, ...).

3.11.1. Données en entrée

On obtient à partir du LIMS,

- La teneur en potasse échangeable (tK)
- La capacité d'échange cationique (cec)

On obtient à du module initialisation,

- Le rendement espéré potentiel (rep)

On obtient depuis la base de données,

- Le tableau des seuils de potasse échangeable en fonction de la nature du sol

classe_tK	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Ferralitique	$tK < 0.1$	$0.1 \leq tK < 0.4$	$0.4 \leq tK < 1$	$1 \leq tK < 1.5$	$tK \geq 1.5$
Vertique	$tK < 0.3$	$0.3 \leq tK < 0.6$	$0.6 \leq tK < 1.1$	$1.1 \leq tK < 3.2$	$tK \geq 3.2$
Brun	$tK < 0.1$	$0.1 \leq tK < 0.4$	$0.4 \leq tK < 1$	$1 \leq tK < 1.5$	$tK \geq 1.5$
Brun andique	$tK < 0.15$	$0.15 \leq tK < 0.45$	$0.45 \leq tK < 1$	$1 \leq tK < 1.5$	$tK \geq 1.5$
Andosol	$tK < 0.1$	$0.1 \leq tK < 0.4$	$0.4 \leq tK < 1$	$1 \leq tK < 1.5$	$tK \geq 1.5$
Andosol perhydraté	$tK < 0.1$	$0.1 \leq tK < 0.4$	$0.4 \leq tK < 1$	$1 \leq tK < 1.5$	$tK \geq 1.5$

- Tableau des seuils du pourcentage de K par rapport à la CEC

classe_K_cec	0 Très faible	1 Faible	2 Normal	3 Fort	4 Très fort
Tout sol	$K_{cec} < 2$	$2 \leq K_{cec} < 4$	$4 \leq K_{cec} < 6$	$6 \leq K_{cec} < 8$	$K_{cec} \geq 8$

- Le tableau des phrases de diagnostic de K

diag_K	Définition
diag_K_01	L'offre du sol en K est très faible et le complexe argilo humique n'est pas saturé. Un apport fortement renforcé doit être envisagé.
diag_K_02	L'offre du sol en K est très faible et le complexe argilo humique n'est pas saturé. Un apport renforcé doit être envisagé.
diag_K_03	L'offre du sol en K est très faible et le complexe argilo humique est saturé. Un apport renforcé doit être envisagé.
diag_K_04	Attention, la teneur en K de votre sol est anormalement élevée, vérifier avant tout si un apport en K n'a pas été récemment réalisé.
diag_K_05	L'offre du sol en K est faible et le complexe argilo humique n'est pas saturé. Un apport fortement renforcé doit être envisagé.
diag_K_06	L'offre du sol en K est faible et le complexe argilo humique n'est pas saturé. Un apport renforcé doit être envisagé.
diag_K_07	L'offre du sol en K est faible et le complexe argilo humique est saturé. Un apport renforcé doit être envisagé.
diag_K_08	L'offre du sol en K est faible et le complexe argilo humique est peu saturé. Un apport renforcé doit être envisagé.

diag_K_09	Attention, la teneur en K de votre sol est anormalement élevée, vérifier avant tout si un apport en K n'a pas été récemment réalisé.
diag_K_10	L'offre du sol en K est correcte mais le complexe argilo humique est fortement désaturé. Un apport renforcé doit être envisagé.
diag_K_11	L'offre du sol en K est correcte mais le complexe argilo humique est désaturé. Un apport renforcé doit être envisagé.
diag_K_12	L'offre du sol en K est correcte mais le complexe argilo humique est moyennement saturé. Un apport normal peut être envisagé.
diag_K_13	Attention, la teneur en K de votre sol est anormalement élevée, vérifier avant tout si un apport en K n'a pas été récemment réalisé. Si ce n'est pas le cas, l'offre du sol en K est correcte. Un apport léger peut être envisagé.
diag_K_14	L'offre du sol en K est forte mais le complexe argilo humique est moyennement saturé. Un apport normal peut être envisagé.
diag_K_15	L'offre du sol en K est forte mais le complexe argilo humique est moyennement saturé. Un apport léger peut être envisagé.
diag_K_16	L'offre du sol en K est forte mais le complexe argilo humique est saturé. Un apport léger peut être envisagé.
diag_K_17	Attention, la teneur en K de votre sol est anormalement élevée, vérifier avant tout si un apport en K n'a pas été récemment réalisé. Si ce n'est pas le cas, l'offre du sol en K est forte mais le complexe argilo humique est très saturé. Un apport très léger peut être envisagé.
diag_K_18	L'offre du sol en K est très forte mais le complexe argilo humique est moyennement saturé. Un apport normal peut être envisagé.
diag_K_19	L'offre du sol en K est très forte mais le complexe argilo humique est moyennement saturé. Un apport léger peut être envisagé.
diag_K_20	L'offre du sol en K est très forte mais le complexe argilo humique est saturé. Un apport léger peut être envisagé.
diag_K_21	Attention, la teneur en K de votre sol est anormalement élevée, vérifier avant tout si un apport en K n'a pas été récemment réalisé. Si ce n'est pas le cas, l'offre du sol en K est très forte mais le complexe argilo humique est très saturé. Aucun apport n'est nécessaire sur les 1ères années.

3.11.2. Calculs intermédiaires

- **Choix de l'unité fertilisante en K conseillée, noté dose_K**

Calcul du % de K par rapport à la CEC du sol, noté K_cec. Cette valeur permettra de déduire la dose_K :

$$K_{cec} = tK / cec$$

dose_K		classe_K_cec					
type_culture	cycle_culture	classe_tK	0	1	2	3	4
Canne à sucre	Vierge	0	300	250	200		
Canne à sucre	Vierge	1	250	200	160	160	160
Canne à sucre	Vierge	2	200	160	160	160	100
Canne à sucre	Vierge	3	200	160	100	100	0
Canne à sucre	Vierge	4	200	160	100	0	0
Canne à sucre	Repousse	0	400	350	300		
Canne à sucre	Repousse	1	300	300	250	250	250
Canne à sucre	Repousse	2	300	250	200	200	160
Canne à sucre	Repousse	3	300	200	160	160	100
Canne à sucre	Repousse	4	300	200	160	100	0

Ajustement de la dose par une loi moins que proportionnelle au rendement potentiel espéré (la formule a été définie à partir des données issues du guide de la fertilisation 2007):

$$\text{dose_K} = -0,0073 * \text{rep}^2 + 2,95 * \text{rep} - 29 - (200 - \text{dose_K})$$

- **Choix de la phrase de diagnostic de K, notée diag_K**

diag_K		classe tK				
		0	1	2	3	4
classe_K_cec	0	diag_K_01	diag_K_02	diag_K_03	diag_K_04	diag_K_04
	1	diag_K_05	diag_K_06	diag_K_07	diag_K_08	diag_K_09
	2	diag_K_10	diag_K_11	diag_K_12	diag_K_12	diag_K_13
	3	diag_K_10	diag_K_14	diag_K_15	diag_K_16	diag_K_17
	4	diag_K_10	diag_K_18	diag_K_19	diag_K_20	diag_K_21

3.11.3. Données en sortie

- dose_K : Dose conseillée en K à apporter
- diag_K : Phrase de diagnostic de K

3.12. Module ajustement NPK

3.12.1. Données en entrée

A parti du LIMS, on obtient :

- L'apport prévu en cendres (cendres)

A partir du module paille, on obtient

- La dose de compensation en N (dose_comp_N)
- La dose de compensation en P (dose_comp_P)
- La dose de compensation en K (dose_comp_K)

A partir du module matière organique, on obtient

- Un tableau indiquant les doses en N, P, K pour chacun des cycles (table_dose_mo[X,x])

A partir du module produits chaulant, on obtient

- Dose apportée en P (dose_app_P)
- Dose apportée en K (dose_app_K)

A partir du module azote, on obtient

- La dose conseillée en N pour chacun des cycles (table_dose[N,x])

A partir du module phosphore, on obtient

- La dose conseillée en P pour chacun des cycles (table_dose[P,x])

A partir du module potasse, on obtient

- La dose conseillée en K pour chacun des cycles (table_dose[K,x])

A partir de la base de données, on obtient

- Les taux de libération en P et K de la matière organique et du produit chaulant (cendres) depuis la table des éléments nutritifs (tx_lib_mo[X],tx_lib_ch[X]) (cf module produit chaulant)
- Tableau de compositions des effluents, noté com_eff contenant des valeurs et des coefficients : comp_eff[mo,X,val] ou comp_eff[mo,X,coef], avec mo, MO choisie et X valant N, P, K, Ca ou Mg (cf module apport de matière organique).

3.12.2. Calculs intermédiaires

Notons dose_aj_x la dose ajustée (avec x valant, N, P ou K), en cumulant les compensations d'export de paille (dose_comp_x) et en ôtant les apports liés aux matières organiques (table_dose_mo[X,x]) et aux cendres (dose_app_y avec y valant P ou K).

- **Calcul de la dose de N ajustée, notée table_dose_aj[N,x]**

Ce calcul est à réaliser pour tous les cycles.

On ajoute à la dose conseillée en N, la dose de compensation de N due à l'export de paille et on soustrait la dose de N liée à l'apport de matières organiques.

$table_dose_aj[N,x] = table_dose[N,x] + dose_comp_N - table_dose_mo[N,x]$ avec x le cycle en cours de calcul.

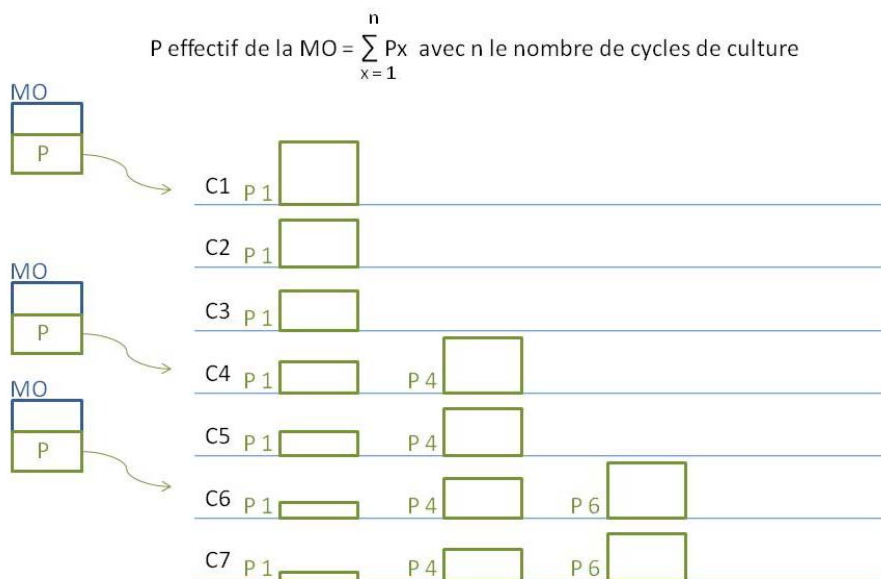
Note : On ne prévoit pas d'arrière effet de N résiduel sur les cycles suivant.

- **Calcul de la dose de P ajustée, notée table_dose_aj[P,x]**

Ce calcul est à réaliser pour tous les cycles.

On ajoute à la dose conseillée en P, la dose de compensation de P due à l'export de paille et on soustrait la dose de P liée à l'apport de matières organiques et de cendres.

Etant donné que le P est peut-être en excès dans le sol, on souhaite donner en conseil au producteur le nombre de cycle où il serait préférable de ne pas faire d'apport en P. La quantité de P disponible dans le sol décroît dans le temps, d'où le calcul de la dose effective de P de la matière organique, notée $dose_eff_P_mo$. Pour chaque apport, cette dose est à soustraire pour tous les cycles suivant.



Soit x, le cycle en cours de diagnostic,

$$table_dose_aj[P,x] = table_dose[P,x] + dose_comp_P - table_dose_mo[P,x] - dose_eff_P_pch[x] - dose_eff_P_mo[x] - table_dose_aj[P, x - 1],$$

sachant que pour le 1^{er} cycle $table_dose_aj[P, x - 1] = 0$

On applique un taux de libération en P annuel, noté tx

On note x, le cycle pour lequel on souhaite établir le conseil, ici $x = cycle_culture$.

On note y, la variable prise dans la liste des cycles auxquels a été réalisé un apport en MO.

On obtient alors la formule suivante (référence : INRA - RegiFert) :

$$dose_eff_P_mo[x] = \sum_{y=1}^x (table_dose_mo[P,y] - \sum_{n=1}^{x-1} dose_eff_P_mo[n,y]) * tx$$

$$tx = comp_eff[table_dose_eff[x],P,coef]$$

La somme globale ajoute les résidus résultant de chaque apport de MO.

Calcul de la dose effective de P dans le produit chaulant pour le cycle en cours de diagnostic :

Le produit chaulant est apporté une seule fois et sur le 1er cycle. On reprend donc la même méthode de calcul que pour la MO mais simplifiée :

$$dose_eff_P_pch[x] = dose_app_P - \sum_{n=1}^{x-1} dose_eff_P_pch[n] * tx$$

$$tx = table_prod_ch[type,coefP]$$

Ajustement des valeurs pour le conseil d'apport P pour chaque cycle :

Si $table_dose_aj[P,x] \leq 0$

$$table_dose_aj[P,x] = 0$$

Sinon

$$table_dose_aj[P,x] = table_dose[P,x]$$

- **Calcul de la dose de K ajustée, notée $table_dose_aj[K,x]$**

Ce calcul est à réaliser pour tous les cycles.

La culture a la capacité d'absorber une quantité importante de K, on ne peut donc pas se baser sur une dose de conseil. Le lessivage par pluie du K présent dans la cendre est important. On considère donc que s'il y a apport de cendres (toujours réalisé la 1^{ère} année), on conseil de ne faire aucun apport les n années suivantes.

Si $x \leq n$

$$table_dose_aj[K,x] = 0$$

Sinon

$$dose_eff_K_pch[x] = table_dose[K,x]$$

$$dose_eff_K_mo[x] = \sum_{y=1}^x (table_dose_mo[K,y] - \sum_{n=1}^{x-1} dose_eff_K_mo[n,y]) * tx \text{ et}$$

$$table_dose_aj[K,x] = table_dose[K,x] + dose_comp_K - table_dose_mo[K,x] - dose_eff_K_pch[x] - dose_eff_K_mo[x] - table_dose_aj[K, x - 1]$$

$$\text{avec } tx = comp_eff[table_dose_eff[x],K,coef]$$

3.12.3. Données en sortie

- $table_dose_aj[X,x]$: Le tableau des doses ajustées avec $X = N, P$ ou K et $x = 1$ à n avec n le nombre de cycles.

3.13. Module formule

3.13.1. Données en entrée

A partir du module ajustement NPK, on obtient :

- `table_dose_aj[X,x]` : Le tableau des doses ajustées avec $X = N, P$ ou K et $x = 1$ à n avec n le nombre de cycles.

A partir de la base de données, on obtient :

- Le tableau formule d'engrais avec
`table_form` : tableau des formules NPK commercialisées,
`table_feN` : tableau des formules équivalentes en NPK, les 3 unités sont divisées par N,
 $table_fe[N] = 1$ $table_fe[P] = P/N$ $table_fe[K] = K/N$
`table_feP` : tableau des formules équivalentes pauvres en N, les 3 unités sont divisées par P
 $table_fepN[N] = N/P$ $table_fepN[P] = 1$ $table_fepN[K] = K/P$
`table_fbP` : tableau de formule binaire sans K, les unités N et P sont divisées par P et $K = 0$
 $table_fbP[N] = N/P$ $table_fbP[P] = 1$ $table_fbP[K] = 0$
`table_fbK` : tableau de formule binaire sans P, les unités N et K sont divisées par N et $P = 0$
 $table_fbK[N] = 1$ $table_fbK[P] = 0$ $table_fbK[K] = K/N$

table_form			table_feN			table_feP			table_fbP			table_fbK			Fournisseur
N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	
16	10	26	1	0.6	1.7										SIER
17	12	28	1	0.7	1.6										SIER
18	7	30	1	0.4	1.7										SIER
13	8	24	1	0.6	1.8										SIER
15	9	25	1	0.6	1.6										SIER
16	7	29	1	0.4	1.8										SIER
18	7	27	1	0.38	1.5										SIER
16	7	20	1	0.4	1.25										SIER
20	7	24	1	0.35	1.2										SIER
20	9	27	1	0.45	1.4										SIER
15	20	24	1	1.3	1.6										SIER
15	6	32	1	0.4	2.1										SIER
12	19	20	1	1.58	1.66										SIER
11	7	30	1	0.63	2.7										SIER
33	11	6	1	0.33	0.18										SIER
10	20	20	1	2	2	0.5	1	1							SIER
4	11	46	1	2.5	11.5	0.36	1	4.2							SIER
7	18	36	1	2.5	5.1	0.38	1	2							SIER
9	18	24	1	2	3	0.5	1	1.33							SIER
9	23	30	1	2.5	3.3	0.39	1	1.3							SIER
10	26	26	1	2.6	2.6	0.38	1	1							SIER
0	14	18				0	1	1.28							SIER
20	0	33										1	0	1.5	SIER
12	0	45										1	0	3.75	SIER
18	46	0							1	2.55	0				SIER

- Le tableau de composition des engrais simples notée `table_eng_spl`

Element	Nom commercial	Teneur en %
K	KCl	60

P	TSP	45
K	K ₂ SO ₄	50
P	Phosphate naturel	28.5
P	Physalg27	27
N	Urée46	46
N	NH ₄ NO ₃	34.5

3.13.2. Calculs intermédiaires

- **Algorithme A : Recherche de formules équivalentes N-P-K calées sur N**

Soit table_feNc, le tableau des formules équivalentes provenant de la dose conseillée réduites sur N.

$$\text{table_feNc}[N,x] = 1$$

$$\text{table_feNc}[P,x] = \text{table_dose_aj}[P,x] / \text{table_dose_aj}[N,x]$$

$$\text{table_feNc}[K,x] = \text{table_dose_aj}[K,x] / \text{table_dose_aj}[N,x]$$

On recherche à 20 % dans la colonne table_feN du tableau « formules d'engrais », les formules équivalentes les plus proches de celles de table_feNc. On aura en sortie, la ou les formules commerciales correspondantes.

Soit nb_form, le nombre de formules équivalentes trouvées dans la colonne table_feN du tableau « formules d'engrais ».

Soit nb_max_form, le nombre maximum de formules commerciales par cycle que l'on souhaite faire apparaître.

Si nb_form > nb_max_form

→ On ne conserve que les nb_max_form les plus proches de la formule conseillée

Sinon, si $1 \leq \text{nb_form} \leq \text{nb_max_form}$

→ On conserve toutes les formules trouvées

Pour chaque formule trouvée et pour chaque cycle, on calcule la dose conseil correspondant aux formules NPK trouvées (dose calée sur N) notée dose_calN[x,f], avec x, le numéro du cycle et f, la formule. Pour chaque couple (x,f) on aura le calcul suivant :

$$\text{dose_calN}[x,f] = \text{table_dose_aj}[N,x] * 100 / \text{table_form}[f,N]$$

→ Algo B (formules équivalentes réduites sur P)

- **Algorithme B : Recherche de formules équivalentes N-P-K réduites sur P (pauvres en N)**

Soit table_fePc, le tableau des formules équivalentes provenant de la dose conseillée réduite sur P.

$$\text{table_fePc}[N,x] = \text{table_dose_aj}[N,x] / \text{table_dose_aj}[P,x]$$

$$\text{table_fePc}[P,x] = 1$$

$$\text{table_fePc}[K,x] = \text{table_dose_aj}[K,x] / \text{table_dose_aj}[N,x]$$

On recherche à 20 % dans la colonne table_feP du tableau « formules d'engrais », les formules équivalentes les plus proches de celles de table_fePc. On aura en sortie, la ou les formules commerciales correspondantes.

Soit nb_form, le nombre de formules équivalentes trouvées dans la colonne table_feP du tableau « formules d'engrais ».

Soit nb_max_form, le nombre maximum de formules commerciales par cycle que l'ont souhaite faire apparaître.

Si nb_form > nb_max_form

→ On ne conserve que les nb_max_form les plus proches de la formule conseillée

Sinon, si $1 \leq nb_form \leq nb_max_form$

→ On conserve toutes les formules trouvées

Pour chaque formule trouvée et pour chaque cycle, on calcule la dose conseil correspondant aux formules NPK trouvées (dose calée sur P) notée $dose_calP[x,f]$, avec x, le numéro du cycle et f, la formule. Pour chaque couple (x,f) on aura le calcul suivant :

$$dose_calP[x,f] = table_dose_aj[P,x] * 100 / table_form[f,P]$$

Pour chaque formule trouvée et pour chaque cycle, on calcule la dose du complément azoté notée $dose_compN[x,f,p]$, avec x, le numéro du cycle, f, la formule et p, le produit commercial provenant du tableau « engrais simples » pour l'élément N. Pour chaque trio (x,f,p) on aura le calcul suivant :

$$dose_compN[x,f,p] = (table_dose_aj[N,x] - dose_calP[x,f] * 100 / table_form[f,N]) * 100 / table_eng_spl[N,p]$$

→ Sortie du module

- **Algorithme C : Recherche de formules équivalentes N-P-0 calées sur P négligeant K (formule binaire sans K)**

Si pour l'un des cycles x, $dose_calN$ (algo A) et $dose_calP$ (algo B) ne contiennent aucune formule

→ Suivre l'algorithme détaillé ci-dessous et afficher « Aucune formule ternaire sur le marché ne correspond à vos besoins sur cannes vierges »

Soit $table_fbPc$, le tableau des formules équivalentes provenant de la dose conseillée réduites sur P et négligeant K.

$$table_fbPc[N,x] = table_dose_aj[N,x] / table_dose_aj[P,x]$$

$$table_fbPc[P,x] = 1$$

$$table_fbPc[K,x] = 0$$

On recherche à 20 % dans la colonne $table_fbP$ du tableau « formules d'engrais », les formules équivalentes les plus proches de celles de $table_fbPc$. On aura en sortie, la ou les formules commerciales correspondantes.

Soit nb_form , le nombre de formules équivalentes trouvées dans la colonne $table_fbP$ du tableau « formules d'engrais ».

Si $nb_form \geq 1$

→ On ne conserve que la formule la plus proche de celle conseillée.

→ On calcul la dose conseil :

Pour chaque cycle répondant aux conditions ci-dessus, on calcule la dose conseil correspondant à la formule NPK trouvée (dose calée sur P sans K) notée $dose_calP_sK[x,f]$, avec x, le numéro du cycle et f la formule trouvée. On aura le calcul suivant :

$$dose_calP_sK[x,f] = table_dose_aj[P,x] * 100 / table_form[f,N]$$

→ Algo D (complément azoté et potassique en 1 seul produit)

Sinon

→ Algo E (complément phosphaté en éléments simples)

- **Algorithme D : Recherche de compléments azotés et potassiques en un seul produit N-0-K**

Calcul des doses de N et K restant à apporter, notées respectivement $dose_rest[x,N]$ et $dose_rest[x,K]$, pour les cycles x rentrant dans cet algorithme :

$$dose_rest[x,N] = table_dose_aj[N,x] / table_dose_aj[P,x] - dose_calP_sK[x,f] * 100 / table_form[f,N]$$

$$dose_rest[x,K] = table_dose_aj[K,x]$$

Soit $table_fbKc$, le tableau des formules équivalentes restant réduites sur N et négligeant P.

$$table_fbKc[N,x] = 1$$

$$table_fbKc[P,x] = 0$$

$$\text{table_fbKc}[K,x] = \text{table_dose_aj}[K,x] / \text{dose_rest}[x,N]$$

On recherche à 20 % dans la colonne table_fbK du tableau « formules d'engrais », les formules équivalentes les plus proches de celles de table_fbKc. On aura en sortie, la ou les formules commerciales correspondantes.

Soit nb_form, le nombre de formules équivalentes trouvées dans la colonne table_fbK du tableau « formules d'engrais ».

Si nb_form ≥ 1

→ On ne conserve que la formule la plus proche de celle conseillée.

→ On calcule la dose conseil :

Pour chaque cycle répondant aux conditions ci-dessus, on calcule la dose conseil correspondant à la formule NK trouvée (dose calée sur N sans P) notée dose_calN_sP1[x,f], avec x, le numéro du cycle et f la formule trouvée. On aura le calcul suivant :

$$\text{dose_calN_sP1}[x,f] = \text{table_dose_aj}[N,x] * 100 / \text{table_form}[f,N]$$

→ Sortie du module

Sinon

→ Algo G (complément azoté)

$$\text{avec dose_N} = (\text{table_dose_aj}[N,x] - \text{dose_calP_sK}[x,f]) * 100 / \text{table_form}[f,N]$$

→ Algo H (complément potassique) avec dose_K = table_dose_aj[K,x]

- **Algorithme E : Recherche de compléments phosphatés à N-0-K en éléments simples**

Pour chaque cycle x concerné, on calcule la dose du complément phosphaté noté dose_compP[x,p], avec p, le produit commercial provenant du tableau « engrais simples » pour l'élément K. Pour chaque couple (x, p) on aura le calcul suivant :

$$\text{dose_compP}[x,p] = \text{table_dose_aj}[P,x] * 100 / \text{table_eng_spl}[P,p]$$

→ Algo F (compléments azotés et potassiques en un seul produit)

- **Algorithme F : Recherche de compléments azotés et potassiques en un seul produit N-0-K**

Soit table_fbKc, le tableau des formules équivalentes réduites sur N et négligeant P.

$$\text{table_fbKc}[N,x] = 1$$

$$\text{table_fbKc}[P,x] = 0$$

$$\text{table_fbKc}[K,x] = \text{table_dose_aj}[K,x] / \text{table_dose_aj}[N,x]$$

On recherche à 20 % dans la colonne table_fbK du tableau « formules d'engrais », les formules équivalentes les plus proches de celles de table_fbKc. On aura en sortie, la ou les formules commerciales correspondantes.

Soit nb_form, le nombre de formules équivalentes trouvées dans la colonne table_fbK du tableau « formules d'engrais ».

Si nb_form ≥ 1

→ On ne conserve que la formule la plus proche de celle conseillée.

→ Calcul de la dose :

Pour chaque cycle répondant aux conditions ci-dessus, on calcule la dose conseil correspondant à la formule NK trouvée (dose calée sur N sans P) notée dose_calN_sP2[x,f], avec x, le numéro du cycle et f la formule trouvée. On aura le calcul suivant :

$$\text{dose_calN_sP2}[x,f] = \text{table_dose_aj}[N,x] * 100 / \text{table_form}[f,N]$$

→ Sortie du module

Sinon

→ Algo G (calcul du complément azoté) avec dose_N = table_dose_aj[N,x]

→ Algo H (calcul du complément potassique) avec dose_K = table_dose_aj[K,x]

- **Algorithme G : Recherche de compléments azotés en éléments simples**

Pour chaque cycle x concerné, on calcule la dose du complément azoté noté dose_compN[x,p], avec p, le produit commercial provenant du tableau « engrais simples » pour l'élément N. Pour chaque couple (x, p) on aura le calcul suivant :

$dose_compN[x,p] = dose_N * 100 / table_eng_spl[N,p]$ avec dose_N valeur passée en paramètre à l'algorithme.

- **Algorithme H : Recherche de compléments potassiques en éléments simples**

Pour chaque cycle x concerné, on calcule la dose du complément potassique noté dose_compK[x,p], avec p, le produit commercial provenant du tableau « engrais simples » pour l'élément K. Pour chaque couple (x, p) on aura le calcul suivant :

$dose_compK[x,p] = dose_K * 100 / table_eng_spl[K,p]$ avec dose_K valeur passée en paramètre à l'algorithme.

3.13.3. Données en sortie

dose_calN : Formules et doses calées sur N

dose_calP et dose_compN : Formules et doses calées sur P et dose d'engrais simple pour compléter N

dose_calP_sK : Formules et doses calées sur P sans K

dose_calN_sP1 : Formules et doses calées sur N sans P

dose_compP : Doses d'engrais simple pour compléter P

dose_calN_sP2 : Formules et doses calées sur N sans P

dose_compN : Doses d'engrais simple pour compléter N

dose_compK : Doses d'engrais simple pour compléter K

3.13.4. Schéma logique

