

## Améliorer l'autonomie azotée des systèmes de production en terres de craie en Champagne-Ardenne et Picardie

Les deux régions impliquées dans le projet, la Champagne-Ardenne et la Picardie, sont connues pour les hauts niveaux de production atteints par les systèmes agricoles et l'importance du secteur agro-industriel (agro-alimentaire, chimie verte, agromatériaux et bioénergie), se traduisant par un poids important de l'agriculture dans l'économie régionale. L'intérêt spécifiquement porté à la fertilisation azotée dans ce projet tient à différents constats : des besoins en azote élevés des systèmes implantés en terres de craie, des particularités mal connues de la dynamique de l'azote dans ces types de sols et des questions économiques, environnementales et réglementaires qui pèsent sur la fertilisation azotée.

**Le projet vise à se donner les moyens de tester, de façon collaborative, par leur mise en place en grandeur réelle, dans un réseau d'exploitations volontaires, des systèmes de culture permettant de diminuer significativement la dépendance à l'azote minéral, tout en maintenant les niveaux de production et de qualité initiaux.**

### ► Objectifs

- Concevoir, évaluer et transférer des systèmes de culture associant les objectifs de production de biomasse (alimentaire et non alimentaire) et d'économie en azote minéral,
- Rendre accessibles et efficaces des sources d'azote alternatives à l'azote minéral de synthèse dans le système sol-culture (légumineuses en cultures pures, cultures intermédiaires, valorisation de produits organiques...).

### ► Actions

Le projet AUTO'N est structuré en plusieurs actions assurant (i) les fonctions transversales de gestion du projet, d'animation du collectif de partenaires associés sur toute la durée du projet, (ii) la valorisation et la diffusion des résultats et (iii) les activités qui constituent le cadre opérationnel du projet.

- Gouvernance du projet, établissement et animation du collectif de partenaires réalisant et accompagnant les différentes phases,
- Compilation et synthèse des références disponibles sur les « sols de craie » ainsi que sur les leviers disponibles pour améliorer l'autonomie azotée,
- Diagnostic régional : typologie des exploitations en champagne crayeuse, état des lieux des pratiques en lien avec la gestion de l'azote et marges de manœuvre pour améliorer l'autonomie azotée,

- Conception, évaluation a priori et sélection de systèmes de culture innovants permettant d'améliorer l'autonomie azotée des systèmes de culture en sols de craie de Champagne-Ardenne et de Picardie,
- Mise en œuvre et suivi des systèmes de culture innovants vis-à-vis du recours à l'azote minéral,
- Synthèse générale des travaux, valorisation des résultats et communication, transfert des acquis.

### ► Durée

Le projet est envisagé pour une durée de 8 ans (2013–2020) et permettra *a minima* le suivi d'une rotation complète, soit 5 à 7 ans selon les systèmes de culture déployés. Sur la base des références acquises au sein du réseau d'exploitations, des analyses multicritères régulières seront effectuées pour fournir des références opérationnelles à destination des conseillers et des agriculteurs.

### ► Moyens

Les moyens humains mobilisés pour la période 2013-2020 sont estimés à 26.2 ETP au total, la mise en œuvre et le suivi des systèmes de culture innovants au sein du réseau de fermes pilotes mobilisant les moyens les plus conséquents. Sur le plan financier, le coût du projet est estimé à 1 620 000 €.

### ► Résultats attendus

Les principaux livrables attendus du projet sont :

- Le réseau de fermes pilote et le collectif des partenaires impliqués,
- Des références techniques acquises lors du suivi des systèmes de culture co-conçus. Ces références seront des repères pour les conseillers et les agriculteurs pour un déploiement plus large des nouveaux systèmes performants et économes en azote minéral,
- La formalisation des questions de recherche avec les chercheurs partenaires du projet, pour développer des actions de recherche spécifiques (par exemple, sur les spécificités de la minéralisation de l'azote en terres de craie),
- Un réseau social, ouvert à un public plus large, sera un support et moyen durables d'échanger sur la démarche et les principaux résultats du projet.

Projet porté par la Chambre Régionale d'Agriculture de Champagne-Ardenne et conduit par Agro-Transfert Ressources et Territoires

Financiers :



Partenaires :



Soutiens :



## ► Formation des sols de craie

La champagne crayeuse constitue une unité pédologique d'environ 700 000 hectares s'étendant sur les départements de la Marne, de l'Aube, des Ardennes et de l'Aisne (figure 1).

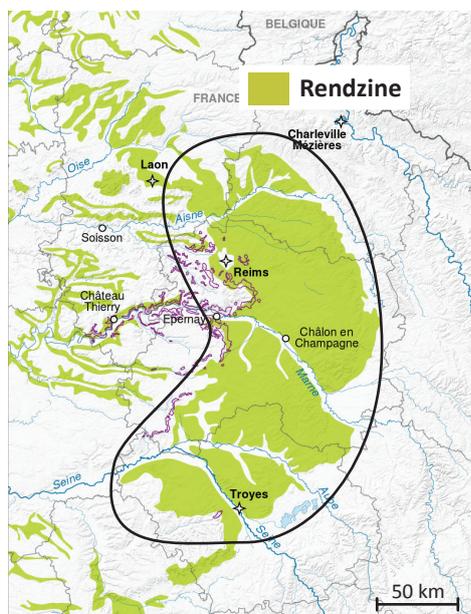


Figure 1 : Représentation des sols de type Rendzine  
Source : Corine European Soil database version 2

Les sols qui la constituent se sont formés à partir de la craie provenant de dépôts marins survenus pendant l'ère secondaire (crétacé supérieur de -100 millions à -65 millions d'années). Dans la région, après le retrait des eaux, la craie a émergé et a été soumise à l'érosion. Les transgressions et régressions marines se sont succédées et ont déposé sables, argiles et graviers. Par la suite, ces dépôts ont été largement érodés. La nature actuelle des sols a été façonnée sous le climat périglaciaire du quaternaire (de -1.6 millions d'années à aujourd'hui) par divers processus tels que la *solifluxion\**, la *cryoturbation\** et la *cryoclastie\** mais également l'érosion et le dépôt de limons éoliens. Ces différents phénomènes ont donné naissance à la diversité de sols que nous connaissons aujourd'hui.

## ► Propriétés chimiques de la craie

La craie est une roche carbonatée plus ou moins blanche, légère, tendre et poreuse. En champagne crayeuse, cette craie est majoritairement composée de calcaire (98.5% de  $\text{CaCO}_3$ ). Les sols dérivant de cette roche mère ont un pH généralement compris entre 7.9 et 8.5. Ils sont naturellement pauvres en éléments fertilisants (phosphore, potassium et magnésium notamment).

Du fait de leur forte teneur en calcaire actif et du pH élevé, la bio-disponibilité de certains éléments tels que le bore et le phosphore est réduite. D'autre part, la forte proportion de calcaire ralentit la minéralisation de la matière organique.

Dans certains sols décrits dans les fiches jointes, le calcaire dissous en surface est re-précipité dans les horizons plus profonds et forme alors une barrière physique qui entrave la percolation de l'eau et la progression des racines. La fréquence de ces phénomènes est encore inconnue à ce jour.

## ► Propriétés physiques de la craie

### ⇒ Couleur des sols

La plupart des sols se caractérisent par un horizon de surface de couleur claire. Dans certaines situations, lorsque la craie affleure, la couleur des sols tire vers le blanc. Du fait d'un *albédo\** plus important, on attribue aux sols blancs un retard de réchauffement ainsi qu'un défaut de minéralisation pénalisant ainsi le démarrage des cultures. Cependant, peu de références scientifiques permettent de quantifier le phénomène.

### ⇒ Caractéristiques hydriques

La texture des horizons de surface permet un ressuyage rapide de ces sols. Alliées à son caractère « peu usant », ces propriétés en font un sol facile à travailler.

Concernant les horizons sous-jacents, le grain relativement fin de la craie confère une très bonne capacité à retenir l'eau et assure ainsi une alimentation hydrique correcte aux cultures. Lorsqu'aucun obstacle n'est présent, les remontées par *capillarité\** en provenance de la nappe souterraine permettent de renforcer l'alimentation hydrique des plantes. Il est difficile de quantifier ce phénomène mais les apports d'eau par cette voie pourraient aller de 1 à 10 mm par jour.

A la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, DELBET, entrepreneur à BARBONNE-FAYEL (51) notait :

« Vienne la sécheresse, qui partout ailleurs grille le sol et les moissons, qu'importe ? La craie offre à la plante un inépuisable réservoir d'humidité. Tombe-t-il des pluies diluviennes, qu'importe ? La craie absorbera ces pluies diluviennes indéfiniment. »

## ► Toposéquences pédologiques des sols de craie

Les toposéquences\* pédologiques présentées ci-dessous (figure 2) illustrent la répartition des types de sols de craie en fonction du relief. En champagne crayeuse, deux toposéquences majeures se dessinent : l'une à pente forte et l'autre à pente faible (figure 2), avec pour chacune, des types de sols spécifiques décrits plus précisément dans les fiches de ce document.

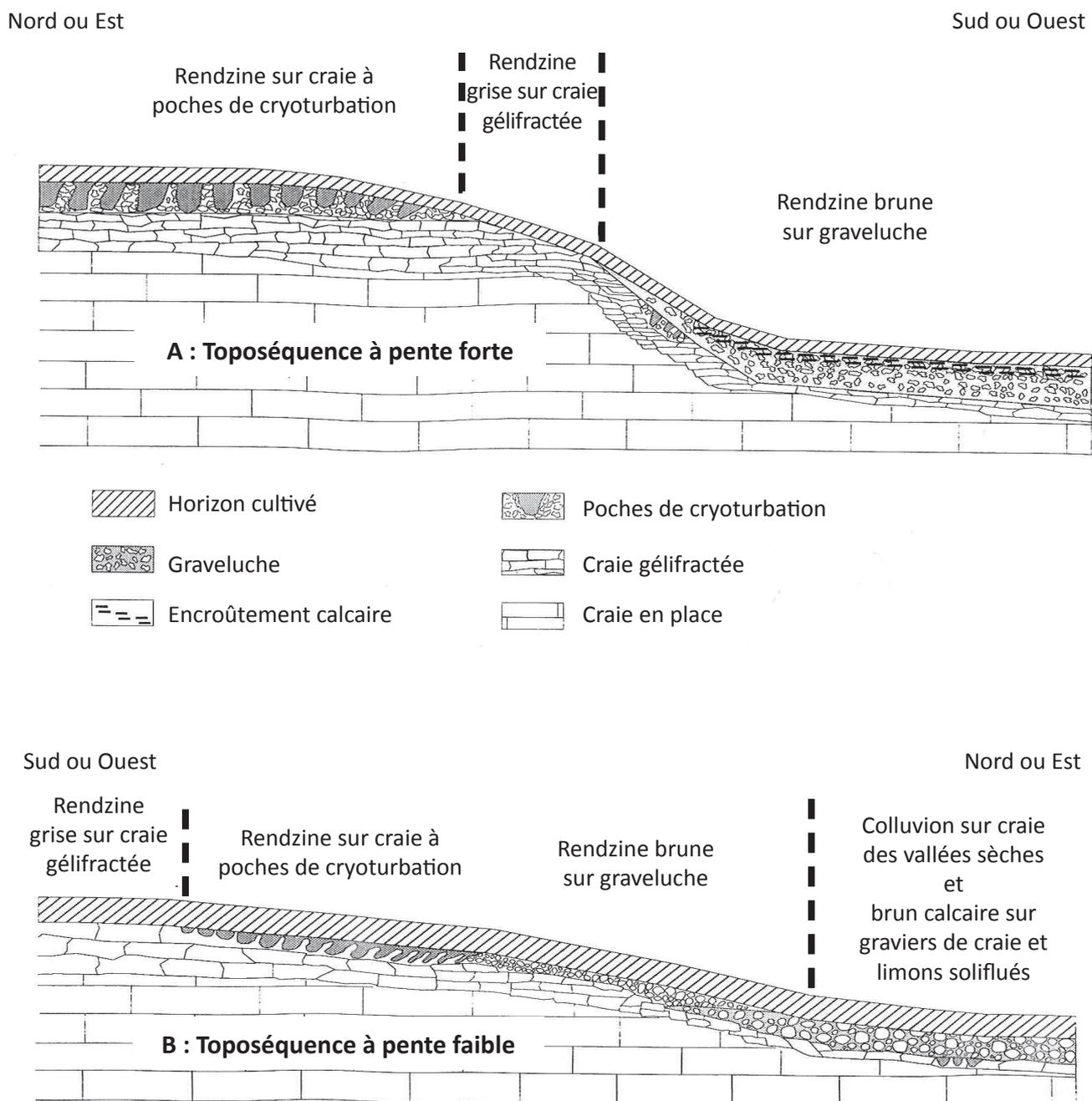


Figure 2: Deux principales toposéquences pédologiques rencontrées en sol de craie.  
A : toposéquence à pente forte. B : toposéquence à pente faible. Source [3]

Ces éléments permettent de distinguer les localisations « préférentielles » des différents types de sol. Cependant, étant donnée la diversité des phénomènes qui ont conduit à la genèse de ces sols, il n'est pas rare que la position d'un type de sol donné ne réponde pas à la logique de succession du schéma dominant présenté en figure 2.

A ce jour, il n'existe pas de carte pédologique de la champagne crayeuse dans son ensemble. Quelques zones ont été cartographiées de manière précise. Ces éléments permettent d'affirmer que la champagne crayeuse est constituée d'une mosaïque de sols qui coexistent, ce qui ne facilite pas leur identification. La reconnaissance des différents types de sol par leur état de surface reste une tâche difficile. La réalisation d'un profil de sol demeure le meilleur moyen d'identifier le type de sol en présence et ainsi déterminer les profondeurs d'enracinement potentiel.

Sources du corps de texte : [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [12] [13] [14] [15] [16]

## RENDZINE SUR CRAIE À POCHEs DE CRYOTURBATION

### ► Critères de reconnaissance

A la différence des rendzines sur craie *gélifractée\**, la surface de ces sols est généralement plus colorée (sols aussi appelés rendzines brunes sur craie à poches de *cryoturbation\**) et présente à la fois des graviers et des cailloux de craie.

Dans certains cas, il est difficile de les distinguer des rendzines sur craie *gélifractée* car l'observation de l'état de surface ne permet pas une reconnaissance infaillible du type de sol.

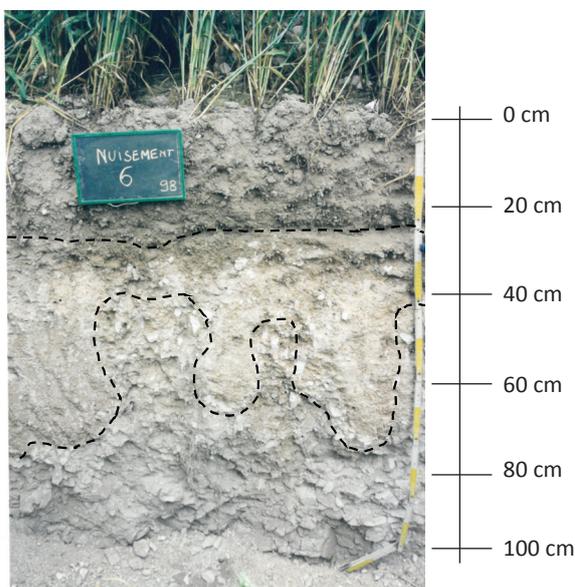
### ► Localisation

Les rendzines sur craie à poches se situeraient principalement sur les parties hautes des *toposéquences\** à pente forte ou sur la pente en elle-même lorsque celle-ci est faible. Ce type de sol représenterait environ 70 % du territoire de champagne crayeuse.

### ► Caractéristiques pédologiques

Le sol est généralement de faible épaisseur, environ 25 cm, et repose souvent sur un horizon relativement meuble, d'une épaisseur de 10 à 15 cm. Le haut des poches de cryoturbation apparaît à partir de 40 cm de profondeur. Ces dernières sont de diamètre et de hauteur variables ( $\pm 50$  cm). Elles sont constituées de graviers de craie et de limons fortement compactés (densité apparente 1.5 à 1.7). Cette propriété physique rend l'exploration racinaire dans les poches quasiment impossible. En revanche, la circulation d'eau et la diffusion des solutés se feraient normalement (Bruno MARY, comm. personnelle). Entre ces poches, apparaissent les cheminées constituées de morceaux de craie, qui permettent généralement une bonne exploration racinaire. Toutefois, dans quelques cas, les cheminées sont cimentées et contraignent l'enracinement. Dans d'autres situations, dont l'occurrence est méconnue, un encroûtement calcaire peut être observé au sommet des poches.

### ► Exemple de profil de sol sur la commune de Nuisement sur Coole (51)



© G. Cattin, CA51

**De 0 à 23 cm** : horizon labouré  
Horizon brun, structure grumeleuse à tendance polyédrique, racines abondantes, cailloux calcaires.

**De 23 à 70 cm** : horizon cryoturbé  
Poches de cryoturbation : structure brun clair avec sables et graviers calcaires indurés. Poches encroûtées au sommet, compactes à très compactes à la base  
Cheminées : cailloux calcaires redressés, emballés dans une pâte calcaire.

**Au-delà de 70 cm** : blocs de craie gélifractée emballés dans une pâte calcaire.

**NB** : La photographie ci-dessus illustre un exemple de profil de ce type de sol. Il est important de noter que les profondeurs d'apparition et épaisseurs des différents horizons peuvent légèrement varier.

\* Se reporter à la fiche « Lexique »

## 🕒 Description d'un «profil de sol type»

### De 0 à 25 cm : horizon labouré

Texture limono-argilo-sableuse à argilo-limono-sableuse. Couleur : brun. *Structure polyédrique\** moyenne à fine. Très forte teneur en calcaire total. Nombreux graviers et cailloux de craie.

Valeurs analytiques	Horizon 0 – 25 cm
Argile granulométrique (%)	25 - 35
[Argile décarbonatée (%)]	[8 - 12]
Limons (%)	40 - 45
Sables (%)	18 - 25
Calcaire (%)	55 - 65
pH	8.2 - 8.3
Matières organiques (%)	2.7 - 3.5

Sources : [3] [13] [17]

### De 25 à 80 cm : horizon cryoturbé

Horizon constitué d'une juxtaposition de poches larges et de cheminées étroites.

Poches : texture limono-argilo-sableuse. A la base des poches, une lentille de texture limoneuse est souvent présente. Couleur : beige. Structure compacte. Très forte teneur en calcaire total ; nombreux graviers de craie.

Cheminées : cailloux de craie disjoints qui prennent une orientation verticale à mesure que l'on s'approche de la surface.

*NB : Lorsque la pente est faible ou nulle, les poches sont généralement orientées verticalement alors qu'elles peuvent être inclinées quand la pente est plus prononcée.*

### Au-delà de 80 cm : craie en place

Cailloux et blocs de craie jointifs, plus ou moins fragmentés.

## 🕒 Caractéristiques agronomiques

En raison des matériaux qui le composent et de sa morphologie, ce sol se comporte de manière intermédiaire entre une rendzine sur craie gélifractée et une rendzine sur graveluche. La réserve utile est plus faible que dans les rendzines sur craie gélifractée mais c'est l'enracinement qui est déterminant. Ce dernier dépend de la taille des poches (volume de sol occupé) mais surtout de l'état de la craie composant les cheminées. Si aucun obstacle ne contraint l'enracinement dans les cheminées, l'alimentation en eau est convenable et les plantes peuvent bénéficier, par transferts latéraux, de l'eau et des solutés contenus dans les poches mais également de l'eau issue des remontées capillaires\*.

## ⇒ Profil hydrique

Ce type de sol présente une très bonne réserve hydrique, de l'ordre de 210 mm sur 1 m de sol. Cependant, c'est la profondeur d'enracinement, déterminée par plusieurs facteurs, qui va conditionner la réserve utile accessible aux cultures. Dans les situations où la proportion de cheminées de craie domine (par rapport aux poches) et qu'elles ne sont pas cimentées, les cultures peuvent alors bénéficier de remontées capillaires.

Profondeur (cm)	H <sub>cc</sub> sur terre sèche (Humidité à la capacité au champ en %)	H <sub>pf 4.2</sub> sur terre sèche (Humidité au point de flétrissement en %)	Da (Densité apparente)	RU (Réserve utile en mm)
0 – 30	25.2	9.2	1.2	58
30 – 60	20.3	6.5	1.5	62
60 – 90	20.5	5.4	1.5	68
90 – 120	23.0	3.0	1.3	78

Sources : [5] [17] [19] [20]

## ⇒ Profil d'enracinement des cultures

	Sous blé	Sous betterave	Sous orge de printemps
Nombre de profils	18	5	4
Moyenne (cm)	75	100	50
Profondeur mini-maxi (cm)	38 - 120	80 - 120	38 - 57

Sources : [13] [17]

Lorsqu'il n'y a pas d'encroûtements calcaires et que les cheminées ne sont pas compactées (cas général), les racines pénètrent dans les cheminées et peuvent même atteindre, dans certains cas, la craie en place sous-jacente. De manière générale, la profondeur d'enracinement est liée à la culture, à savoir 90 cm ou plus pour les espèces à enracinement profond (betterave, céréales d'hiver, colza) et 60 cm pour les cultures à enracinement superficiel (céréales de printemps). La réalisation des reliquats doit donc tenir compte à la fois du profil pédologique, et de la culture en place.

Sources du corps de texte : [1] [2] [3] [4] [5] [8] [11] [13]

Projet porté par la Chambre Régionale d'Agriculture de Champagne-Ardenne et conduit par Agro-Transfert Ressources et Territoires

Financeurs :

Partenaires :



## RENDZINE BRUNE SUR GRAVELUCHE

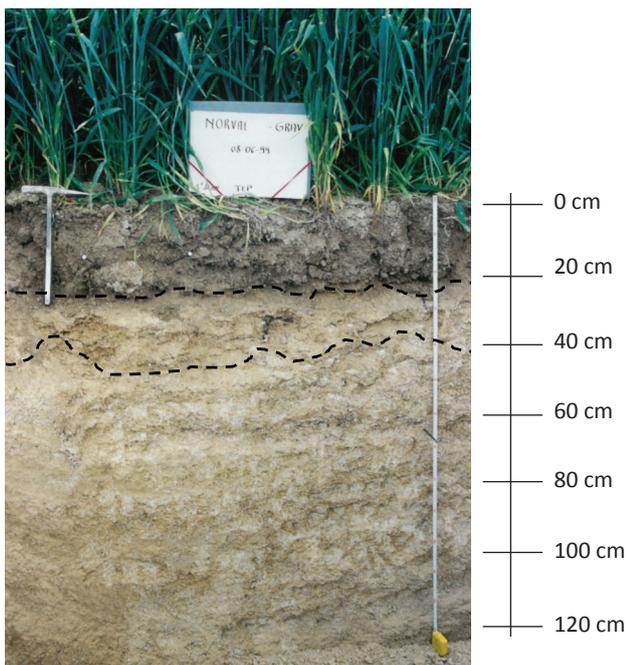
### ► Critères de reconnaissance

Les appellations locales (*graveluche\**, grève, gréveux, tuff...) peuvent constituer un premier élément d'identification. L'observation de l'état de surface est un autre moyen de reconnaissance : couleur brun clair tirant sur le beige, légèrement plus coloré que les rendzines sur craie *gélifractée\**, présence de nombreux petits graviers de craie et absence de cailloux de craie. Ce type de sol est en général sensible à la sécheresse et le flétrissement des plantes en période sèche peut confirmer le diagnostic.

### ► Localisation

Ces types de sol se situeraient essentiellement dans les parties basses des *toposéquences\** à pente « forte ». On les retrouve fréquemment entre Fère Champenoise et Anglure.

### ► Exemple de profil de sol sur la commune de Saint-Jean sur Tourbe, lieu-dit : Norval (51)



© G. Cattin, CA51

Ce type de sol est également présent le long de certaines vallées comme celles de la Coole ou de la Suiippe, mais également dans d'autres vallées sèches.

### ► Caractéristiques pédologiques

Sol de faible épaisseur, 22 à 25 cm, formé sur de la graveluche. Il s'agit d'un matériau constitué de sables crayeux ainsi que de graviers et cailloux de craie durcie dont le diamètre ne dépasse pas 1 cm. Ce matériau peut également contenir une part non négligeable de limons. Jusqu'à une profondeur de 50-60 cm la graveluche est relativement meuble et colonisée par les racines. Elle est beaucoup plus compacte par la suite. Ce type de sol présente parfois à 50 cm de profondeur un encroûtement calcaire qui limite encore les capacités d'enracinement.

#### De 0 à 25 cm : horizon labouré

Horizon brun clair, structure grumeleuse, graviers de craie.

**De 25 à 45 cm :** horizon de graveluche. Lits alternant graviers, sables et limons, plus ou moins compacts. Couleur beige.

**De 45 à 120 cm :** horizon de graveluche. Lits de graviers et sables indurés. Reprécipitations de calcite abondante.

*NB :* La photographie à gauche illustre un exemple de profil de ce type de sol. Il est important de noter que les profondeurs d'apparition et épaisseurs des différents horizons peuvent légèrement varier.

## ► Description d'un «profil de sol type»

### De 0 à 25 cm : horizon labouré

Le sol est peu épais (~25 cm), de texture limono-argilo-sableuse avec une forte proportion de sables grossiers et de petits graviers de craie durcie. Couleur : brun. Structure polyédrique moyenne. Très forte teneur en calcaire total.

Valeurs analytiques	Horizon 0 – 25 cm
Argile granulométrique (%)	22 - 28
[Argile décarbonatée (%)]	[8 - 12]
Limons (%)	35 - 40
Sables (%)	30 - 40
Calcaire (%)	60 - 70
pH	8.2 - 8.3
Matières organiques (%)	2.5 - 3.5

Sources: [3] [13] [17] [19]

### De 25 à 40 cm : horizon d'altération

Texture limono-argilo-sableuse avec une très forte proportion de sables grossiers et de petits graviers de craie durcie. Couleur : beige. Structure polyédrique moyenne à fine. Très forte teneur en calcaire total.

### De 50 à 100 cm : graveluche indurée – graveluche litée\*

Texture limono-argilo-sableuse avec une très forte proportion de sables grossiers et de petits graviers de craie durcie. Couleur : beige clair. Structure litée très grossière bien développée. Très forte teneur en calcaire total.

ATTENTION : dans ce type de sol, le carbonate de calcium dissous en surface peut se précipiter sous forme de *calcite*\* au dessous de l'horizon labouré. Cet encroûtement peut atteindre 10 cm et s'oppose à la pénétration des racines mais également au ressuyage des sols. Même si ce dernier peut être disloqué par sous-solage, il se reforme rapidement par la suite.

## ► Caractéristiques agronomiques

Au printemps, ces sols sont réputés pour se réchauffer plus rapidement que les rendzines grises, permettant un démarrage plus rapide de la végétation. En revanche, la nature du substrat limite l'enracinement et donc l'accès à la réserve hydrique du sol. De plus, la quasi-absence de phénomènes de *remontées capillaires*\* font de ce sol un des plus sensibles à la sécheresse ainsi qu'à la lixiviation des nitrates. Les potentiels de rendements dans ce type de sol sont limités et très dépendants des conditions météorologiques durant le cycle cultural.

## ⇒ Profil hydrique

La réserve en eau de ce type de sol est bonne, de l'ordre de 210 mm sur 1 m de sol. Cependant, la faible profondeur d'enracinement (généralement inférieure à 75 cm), ne permet pas aux cultures de bénéficier de l'ensemble de cette réserve. D'autre part, à la différence des rendzines grises sur craie géli fractée, ces sols ne bénéficient généralement pas de remontées capillaires.

Profondeur (cm)	H <sub>cc</sub> sur terre sèche (Humidité à la capacité au champ en %)	H <sub>pf</sub> 4.2 sur terre sèche (Humidité au point de flétrissement en %)	Da (Densité apparente)	RU (Réserve utile en mm)
0 – 30	24.7	7.5	1.2	60
30 – 60	19.6	4.4	1.4	64
60 – 90	18.8	4.4	1.5	65
90 – 120	18.2	4.2	1.5	63

Sources : [1] [17] [20]

## ⇒ Profil d'enracinement des cultures

	Sous blé	Sous betterave	Sous orge de printemps
Nombre de profils	9	2	2
Moyenne (cm)	47	50	47
Profondeur mini-maxi (cm)	36 - 70	46 - 55	40 - 55

Sources : [13] [17]

Pour les rendzines brunes sur graveluche, c'est la nature du sol qui détermine la profondeur d'enracinement et non l'espèce cultivée. Il est considéré que l'enracinement excède rarement les 60 cm. La mesure des reliquats d'azote minéral sortie hiver se fait donc sur 2 horizons (= 60 cm).

Sources du corps de texte : [1] [3] [4] [5] [8] [11] [13]

Projet porté par la Chambre Régionale d'Agriculture de Champagne-Ardenne et conduit par Agro-Transfert Ressources et Territoires

Financeurs :

Partenaires :



# RENDZINE GRISE SUR CRAIE GÉLIFRACTÉE

## ► Critères de reconnaissance

Ces sols sont localement appelés « terres blanches », « blanc », « bon gris » ou « blanc de champagne ».

En surface, ces sols sont de couleur brun clair tirant sur le gris. Ils se reconnaissent également à la présence de nombreux petits cailloux de craie (0.5 à 2 cm) en surface et à la remontée de morceaux de craie lors d'un labour un peu profond.

En conditions très sèches, la terre a tendance à adhérer au versoir de la charrue. Enfin, en raison des caractéristiques hydriques de ce sol, les cultures d'été et notamment la betterave manifestent rarement des symptômes de stress hydrique et ont une dynamique de croissance soutenue durant la période estivale.

## ► Localisation

Les rendzines sur craie *gélifractée*\* se retrouvent essentiellement à deux endroits : sur les points hauts des toposéquences à faible pente ou, à mi-pente dans les toposéquences à forte pente.

## ► Caractéristiques pédologiques

Le sol est de faible épaisseur, 20 à 25 cm, et repose directement sur de la craie géoliffractée (morceaux de taille moyenne d'environ 5 à 10 cm, taille augmentant avec la profondeur).

A partir de 100 à 120 cm, la craie en place apparaît. Les racines colonisent très facilement le profil, ce qui, lié aux caractéristiques hydriques de la craie, confère à ce type de sol une excellente réserve en eau.

## ► Exemple de profil de sol sur la commune de Saint-Jean sur Tourbe (51)



© G. Cattin, CA51

0 cm	De 0 à 20 cm : horizon labouré Horizon brun gris clair, structure grumeleuse, graviers et cailloux de craie. Nombreuses racines.
20 cm	De 20 à 50 cm : horizon de craie géoliffractée, nombreuses racines
40 cm	
60 cm	De 50 à 80 cm et plus : blocs de craie géoliffractée de tailles variables, débités en plaquettes. Racines abondantes.
80 cm	

**NB :** La photographie ci-dessus illustre un exemple de profil de ce type de sol. Il est important de noter que les profondeurs d'apparition et épaisseurs des différents horizons peuvent légèrement varier.

## 📍 Description d'un «profil de sol type»

### De 0 à 25 cm : horizon labouré

Texture limono-argilo-sableuse.

Couleur : gris brun clair.

Très forte teneur en calcaire total.

Structure grumeleuse\*.

Nombreux graviers et petits cailloux de craie.

Déterminations	Horizon 0 – 25 cm
Argile granulométrique (%)	30 - 35
[Argile décarbonatée (%)]	[8 - 15]
Limons (%)	45 - 50
Sables (%)	12 - 17
Calcaire (%)	70 - 78
pH	8.2 - 8.3
Matières organiques (%)	2.7 - 3.5

Sources : [3] [13] [18] [19]

### De 25 à 90 cm : craie géoliffractée

Craie fragmentée en cailloux d'environ 1 cm près de la surface et de l'ordre de 10 cm en profondeur.

### De 90 à 120 cm : craie en place

Cailloux et blocs de craie jointifs, plus ou moins fragmentés.

## 📍 Caractéristiques agronomiques

Ce type de sol se réchauffe lentement au printemps et se caractérise par un retard au démarrage de la végétation.

Lorsqu'une pluie assez forte survient après une préparation fine du lit de semences (betterave, luzerne), ce sol a tendance à « croûter » en surface et à gêner la levée. Il se ressuie rapidement ce qui facilite les interventions et sa bonne structure est favorable à l'enracinement des plantes.

Les propriétés hydriques de ce sol le rendent peu sensible aux sécheresses estivales et permettent ainsi un potentiel de rendement élevé.

## ⇒ Profil hydrique

Ce type de sol présente une excellente réserve hydrique, de l'ordre de 280 mm sur 1 m de sol. D'autre part, des expérimentations (basées sur le calcul pluviométrie-évapotranspiration) ont mis en évidence des phénomènes de remontées capillaires\* en provenance de la nappe profonde. La quantité d'eau dont bénéficient les cultures est difficile à estimer mais pourrait atteindre 1 à 10 mm par jour.

Profondeur (cm)	H <sub>CC</sub> sur terre sèche (Humidité à la capacité au champ en %)	H <sub>PF</sub> 4.2 sur terre sèche (Humidité au point de flétrissement en %)	Da (Densité apparente)	RU (Réserve utile en mm)
0 – 30	27.8	11	1.20	60
30 – 60	26.6	2.6	1.30	94
60 – 90	26.6	2.6	1.30	94
90 – 120	26.3	1.7	1.35	100

Sources : [1] [2] [3] [13] [18]

## ⇒ Profil d'enracinement des cultures

	Sous blé	Sous betterave	Sous orge de printemps
Nombre de profils	19	7	4
Moyenne (cm)	84	107	75
Profondeur mini-maxi (cm)	66 - 120	80 - 140	70 - 80

Sources : [13] [17] [18]

Dans ce type de sol, sauf accident de structure ou présence d'un obstacle à l'enracinement, c'est l'espèce qui détermine la profondeur d'enracinement et donc la profondeur de réalisation des reliquats. Cette dernière est de l'ordre de 90 cm pour le blé voire plus. Dans le cas de la betterave, les racines peuvent descendre jusqu'à plus de 120 cm. Pour les cultures à faible enracinement (orge de printemps notamment), il est recommandé de ne pas considérer un enracinement supérieur à 75 cm.

Sources du corps de texte : [1] [3] [4] [5] [8] [11] [13]

Projet porté par la Chambre Régionale d'Agriculture de Champagne-Ardenne et conduit par Agro-Transfert Ressources et Territoires

Financeurs :

Partenaires :



## COLLUVION SUR CRAIE DES VALLÉES SÈCHES

### ► Critères de reconnaissance

Ces sols se distinguent par leur localisation dans le fond des vallées sèches.

Leur couleur brun à brun foncé est plus accentuée que celle des rendzines sur *graveluche*\* et se rapproche de celle des « terres rouges » avec lesquelles elles ne doivent pas être confondues.

C'est la combinaison des deux critères (localisation et couleur) qui permet de les identifier.

### ► Localisation

Ces sols se situeraient principalement au bas des *toposéquences*\* à faible pente, les colluvions recouvrant la craie, proviennent majoritairement de l'érosion du sol en amont.

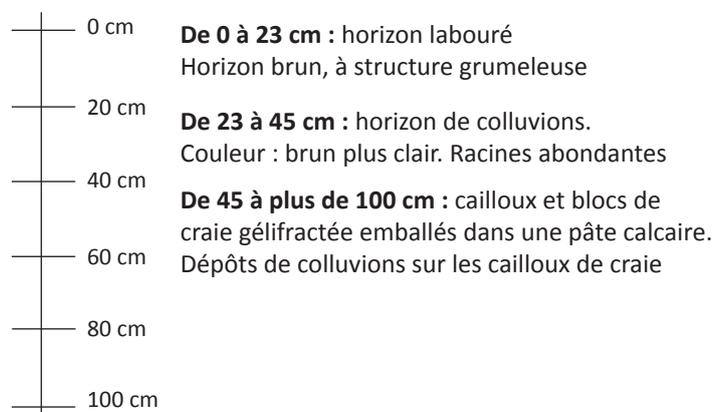
### ► Caractéristiques pédologiques

Le sol est plus épais que les rendzines et peut atteindre 30 cm de profondeur. Il repose sur des colluvions de texture limono-argilo-sableuse. L'épaisseur du dépôt de colluvions varie de 50 à 150 cm en fonction de la localisation par rapport à la pente.

### ► Exemple de profil de sol sur la commune de Courtisols, lieu-dit : Mont de Charme (51)



© G. Cattin, CA51



**NB** : La photographie ci-dessus illustre un exemple de profil de ce type de sol. Il est important de noter que les profondeurs d'apparition et épaisseurs des différents horizons peuvent légèrement varier.

## 🕒 Description d'un «profil de sol type»

### De 0 à 25 cm : horizon labouré

Texture limono-argilo-sableuse.

Couleur : brun foncé.

Particules de taille moyenne à fine de *structure polyédrique\**.

Teneur en calcaire total très forte.

Nombreux graviers de craie.

Déterminations	Horizon 0 – 25 cm
Argile granulométrique (%)	28 - 32
[Argile décarbonatée (%)]	[12 - 16]
Limons (%)	40 - 50
Sables (%)	20 - 25
Calcaire (%)	50 - 70
pH	8.2 - 8.3
Matières organiques (%)	2.7 - 4.0

Sources: [3] [17] [19]

### De 25 à 80 cm : horizon d'altération

Texture limono-argilo-sableuse.

Couleur : brun.

Structure polyédrique.

Teneur en calcaire total très forte.

Nombreux graviers de craie.

### Au-delà de 80 cm

Horizon de craie *gélifractée\**/cailloux de craie emballés d'une pâte calcaire et dépôt de limons. Certains colluvions reposent sur des graveluches, d'autres sur des poches de *crypturbation\** et cheminées de craie, voire directement sur la craie en place.

## 🕒 Caractéristiques agronomiques

Comparés aux rendzines et notamment aux rendzines grises sur craie gélifractée, ces sols sont favorables au développement des cultures au printemps.

Leur couleur permet un réchauffement plus rapide. Ils présenteraient un potentiel de minéralisation supérieur.

En revanche, ce sol peut s'avérer sensible aux tassements, d'autant plus qu'il se ressuie moins vite, en comparaison avec les rendzines. Lorsque les colluvions reposent sur de la craie gélifractée, l'enracinement n'est pas limité par le sol.

En revanche, quand l'épaisseur des colluvions est moindre et que ces dernières reposent sur de la graveluche, l'enracinement peut être limité.

Cette caractéristique peut ainsi limiter le potentiel de rendement des cultures.

### ⇒ Profil hydrique

Peu de références existent sur ce type de sol. Pour les colluvions sur craie gélifractée, la réserve utile sur 1 m est en moyenne de 230 mm.

Quand les colluvions sont peu épaisses et reposent sur de la graveluche, la réserve utile sur 1 m est alors inférieure à 190 mm.

### ⇒ Profil d'enracinement des cultures

	Colluvions profondes ou colluvions sur craie sous blé	Colluvions superficielles sur graveluche sous blé
Nombre de profils	3	2
Moyenne (cm)	105	63
Profondeur mini-maxi (cm)	80 - 120	55 - 70

Sources : [17] [19]

Dans ce type de sol, quelle que soit la culture, l'enracinement est donc variable et dépend des caractéristiques du sous-sol (craie en place ou graveluche).

Un profil de sol permet de distinguer la nature du substrat afin de déterminer la profondeur d'enracinement potentiel et préciser la profondeur pertinente à laquelle analyser les reliquats d'azote minéral sortie-hiver.

Sources du corps de texte : [1] [3] [4] [5] [8] [11] [13]

Projet porté par la Chambre Régionale d'Agriculture de Champagne-Ardenne et conduit par Agro-Transfert Ressources et Territoires

Financeurs :

Partenaires :



## BRUN CALCAIRE SUR GRAVIERS DE CRAIE ET LIMONS SOLIFLUÉS

### ► Critères de reconnaissance

Ces sols se distinguent des rendzines par leur coloration plus marquée (brun roux à brun foncé). Dans le secteur de Suippes (51), ce type correspond aux « terres rouges ».

D'autres appellations locales l'identifient comme « rouges gréveux », « rouges sur craie » ou encore « gréveux calcaires ». Ces sols ne doivent pas être confondus avec les colluvions principalement situées dans les vallées sèches.

### ► Localisation

Ces sols se situeraient préférentiellement dans les bas de pente des *toposéquences\** à faible pente.

### ► Exemple de profil de sol sur la commune de Saint-Hilaire le Petit, lieu-dit : Le Cerisier Macquart (51)



© Ballif, 1995

### ► Caractéristiques pédologiques

Le sol est plus épais que les rendzines et peut atteindre 30 cm de profondeur. Il peut reposer soit sur un horizon intermédiaire d'une quinzaine de centimètres, soit directement sur le sous-sol.

Si un horizon intermédiaire est présent, il est constitué de petits graviers de craie insérés dans une matrice limono-sableuse. Le sous-sol est composé d'un mélange de limons et de matériaux crayeux (graviers, cailloux) en proportions variables. A cause du phénomène de *solifluxion\**, l'ensemble forme une masse compactée. A partir de 100 à 130 cm, apparaît soit la craie en place, soit de la *graveluche\**.

#### De 0 à 25 cm : horizon labouré

Horizon brun foncé, structure polyédrique fine, tassé, avec des graviers de craie indurée, absence de cailloux.

#### De 25 à 45 cm : horizon brun ocre, à structure polyédrique fine, compact.

#### De 45 à 70 cm : horizon de graveluche limoneuse, friable, compacte par endroits, présence d'un encroûtement entre 60 et 70 cm.

#### De 70 à 100 cm : horizon de graveluche sableuse avec des reprécipitations de calcite abondantes et des racines jusqu'à 80 cm.

**NB :** La photographie ci-dessus illustre un exemple de profil de ce type de sol. Il est important de noter que les profondeurs d'apparition et épaisseurs des différents horizons peuvent légèrement varier.

## 🕒 Description d'un «profil de sol type»

### De 0 à 25 cm : horizon labouré

Texture limono-argileuse.

Couleur : brun foncé, brun-roux.

Structure polyédrique\* moyenne.

Teneur en calcaire total moyenne.

Graviers de craie peu nombreux.

Valeurs analytiques	Horizon 0 – 25 cm
Argile granulométrique (%)	25 - 30
[Argile décarbonatée (%)]	[12 - 16]
Limons (%)	50 - 55
Sables (%)	15 - 20
Calcaire (%)	30 - 45
pH	8.2 - 8.3
Matières organiques (%)	2.7 - 3.5

Sources: [3] [17] [19]

### De 25 à 40 cm : horizon d'altération

Texture limono-argileuse à argilo-limoneuse.

Couleur brun-ocre.

Structure polyédrique moyenne.

Teneur en calcaire total moyenne.

Graviers de craie peu nombreux.

### De 40 à 100 cm : horizon graveluche

Horizon hétérogène formé par la juxtaposition irrégulière de limon brun et de matériaux crayeux, devenant compact en profondeur.

## 🕒 Caractéristiques agronomiques

Sur le plan agronomique, ces sols sont favorables au développement des cultures de printemps en raison de leur couleur permettant un réchauffement rapide.

Cette caractéristique pourrait également influencer sur la minéralisation des matières organiques de ce sol. En raison de sa composition minéralogique et de la nature du substrat, ce type de sol ressuie plus lentement que les rendzines et est sensible au tassement. Le taux de calcaire est généralement plus faible que dans les autres sols de craie (30 à 45 %).

## ⇒ Profil hydrique

Ce type de sol présente une bonne réserve hydrique, de l'ordre de 190 mm sur 1 m de sol.

Cependant, le caractère compact du sous-sol limite fortement l'enracinement et ainsi l'accès à l'eau des horizons sous-jacents.

Profondeur (cm)	H <sub>cc</sub> sur terre sèche (Humidité à la capacité au champ en %)	H <sub>pf</sub> 4.2 sur terre sèche (Humidité au point de flétrissement en %)	Da (Densité apparente)	RU (Réserve utile en mm)
0 – 30	25.8	9.9	1.20	57
30 – 60	19.3	6.7	1.45	55
60 – 90	18.8	5.5	1.50	60
90 – 120	17.5	5.5	1.55	55

Sources : [1] [2] [17]

## ⇒ Profil d'enracinement des cultures

	Sous blé	Sous betterave
Nombre de profils	7	2
Moyenne (cm)	62	52
Profondeur mini-maxi (cm)	40 - 79	45 - 60

Sources : [17] [18]

Dans ce type de sol, quelle que soit la culture, l'enracinement est variable et dépendant de l'épaisseur et de la nature des matériaux présents sous la couche de sol arable.

Comme toujours, il est préférable de réaliser un profil afin de déterminer avec plus de précision la profondeur d'enracinement potentiel.

Sources du corps de texte : [1] [3] [4] [5] [8] [11] [13]

Projet porté par la Chambre Régionale d'Agriculture de Champagne-Ardenne et conduit par Agro-Transfert Ressources et Territoires

Financeurs :

Partenaires :



Soutiens :

## Albédo

L'albédo est défini comme la capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement lumineux reçu. Plus une surface est de couleur claire et plus l'albédo est élevé. Par conséquent, le rayonnement lumineux réfléchi ne contribue pas au réchauffement de la surface. Ainsi, pour un même rayonnement reçu, un sol de couleur clair se réchauffera moins vite qu'un sol de couleur foncé.

## Calcite

La calcite est la forme cristallisée du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ).

## Cryoturbation

Lors des périodes périglaciaires, le sol était gelé en profondeur. Sur des surfaces planes, l'alternance des périodes de gel et dégel de la surface des sols a induit des gradients de température entre la surface et les horizons plus profonds. Ce gradient vertical de température a ainsi généré un différentiel de densité entre les matériaux qui constituaient les horizons du sol. Lors du dégel, les matériaux gorgés d'eau des horizons supérieurs atteignaient une densité maximale lorsque leur température avoisinait les 4° C. Des cellules de convection se sont alors créées, faisant descendre les matériaux denses et remonter les matériaux plus légers. Ce phénomène a donné naissance aux poches de cryoturbation.

## Gélifraction ou cryoclastie

Les matériaux crayeux, gorgés d'eau, ont été fracturés en éléments plus ou moins fins lors des successions de périodes de gel-dégel. On appelle « craie gélifractée », des blocs de craie ayant été éclatés en morceaux de taille variable sous l'effet du gel.

## Graveluche et graveluche litée

Dès leur formation, les massifs crayeux ont été soumis à l'érosion (vent, ruissellement, coulée). Les matériaux des poches de cryoturbation ont alors été entraînés sur les pentes et au bas des pentes. Selon la nature de l'érosion, les matériaux arrachés au sommet des pentes ont pu être « triés ». Au gré des successions de dépôts, les matériaux issus de l'érosion ont été disposés en lit sur les pentes et bas de pentes. Ces phénomènes expliquent la nature stratifiée de la graveluche.

## Remontées capillaires

La craie est un matériau poreux. Les pores communiquent entre eux ce qui permet à l'eau située dans la nappe de remonter à des niveaux proches de la surface du sol. Grâce à ce phénomène, l'eau de la nappe pourrait parcourir jusqu'à 40 mètres. Les quantités d'eau ainsi accessibles aux cultures sont difficiles à estimer mais pourraient être de 1 à 10 mm par jour lorsqu'aucun obstacle ne s'oppose à la capillarité. Plus la nappe est proche et plus la quantité d'eau issue des remontées capillaires est importante.

## Solifluxion

Sous le climat périglaciaire, durant lequel se sont formés les sols de craie, les horizons superficiels des sols de l'époque, gorgés d'eau, pouvaient dégeler au printemps et en été. Le matériau fluide, composé principalement de craie finement fragmentée et de masses plus grossières, pouvait alors se déplacer sous formes de coulées boueuses, au gré de la pente.

## Structure grumeleuse

Des particules de sol ont une structure grumeleuse quand elles ont une forme globalement arrondie avec une surface irrégulière (face plane et face courbe). Les « grumeaux » sont plus ou moins agglomérés entre eux dans le sol.

## Structure polyédrique

Les particules de sol à structure polyédrique ont des formes plus anguleuses que les particules de sol à structure grumeleuse mais présentent également des faces et des arrêtes de forme arrondie.

## Toposéquences

Une toposéquence est une succession ordonnée de formations pédologiques (sol et sous-sol) en fonction du relief.

- [1] Ballif J-L. 1980. Caractères et réserves hydriques des sols sur craie et sur graveluche en Champagne. *Ann. Agronomie*. pp. 473-485.
- [2] Ballif J-L. 1981. Comportement hydrique d'une rendzine brune sur craie sous l'influence de la sécheresse. *Compte-rendu de l'Académie d'Agriculture*. T67. pp 395-402.
- [3] Ballif J-L., Guérin H., Muller JC. 1995. Eléments d'agronomie champenoise. Connaissance des sols et de leur fonctionnement, Rendzines sur craie et sols associés. Esquisse géomorphologique. Inra éditions.
- [4] Ballif J-L., Dutil P. 1971. Effet d'un film de matière plastique sur la culture du maïs en Champagne crayeuse. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 57, 286-302
- [5] Ballif J-L., Dutil P., 1983. Lysimétrie en sols de craie non remanié. I. – drainage, évaporation et rôle du couvert végétal. *Résultats 1973-1980. Agronomie*, 3 (9), 857-866
- [6] Boiffin J., Durr C., Fleury A., Marin-Lafèche A., Maillet I. 1992 - Analysis of the variability of sugar beet growth during the early stages. I – Influence of various conditions on crop establishment. *Agronomie* 12. p515-525.
- [7] Boiffin J., Meynard J-M., Sebillotte M., Caneil J. 1982 - Elaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne Crayeuse. III – Influence des variations pédologiques ; conséquences pour la conduite de la culture. *Agronomie*. pp. 417-428.
- [8] Cattin Gérard. 2002 - Description des principaux sols de la champagne crayeuse et leurs caractéristiques agronomiques. Document Chambre d'Agriculture de la Marne. 18p.
- [9] Cellier P., Richard G., Robin P. 1996 - Partition of sensible fluxes into bare soil and the atmosphere. *Agricultural and Forest Meteorology* 82. pp. 245-265.
- [10] Clavet Raoul. 2003 - Le sol. Propriétés et fonctions. Phénomènes physiques et chimiques. Applications agronomiques et environnementales. Tome 2. 509p.
- [11] Daouze J-P. 2005. Aide à la détermination « agricole » des sols de champagne crayeuse.
- [12] Dutil P., 1970. In Dutil P., 1970. Caractères généraux des sols de la champagne crayeuse. Actes du 95ème congrès national des sociétés savantes, Reims 1970, Section des sciences. Tome I., p. 215 à 222.
- [13] Francart Hélène. 1999 - Caractérisation des sols de craie (Relation type de sol, enracinement et risque de lessivage des nitrates). Document Chambre d'Agriculture de la Marne.
- [14] Richard G., Sillon J.F., Cousin I., Bruand A. 2014 - Travail du sol, structure et fonctionnement hydrique en régime d'évaporation. *Etude et gestion des sols*. Vol 11, pp. 59-68.
- [15] Rouxel-David. 2002 - Synthèse des études menées sur le bassin versant du champ captant de Couraux. BRGM. 159p.
- [16] Vachier P., Cambier P., Post R., 1979. Structure d'un milieu poreux : la craie. *Ann. Agronomie* 30. pp. 247-263.

## Organismes ressources :

- [17] Chambre d'agriculture de la Marne
- [18] INRA station de Châlons en Champagne
- [19] INRA de Laon
- [20] INRA de Reims