

# Caractérisation du sol de la subéraie et des plantations d'eucalyptus de la Maâmora au Maroc

AROUI-BOUKBIDA H. <sup>(1)</sup>, NABIL H. <sup>(2)(3)(4)</sup>, EL GHADDARI M. <sup>(3)</sup>, SMAILI L. <sup>(1)</sup> GRIMALDI M. <sup>(1)</sup>

(1) IEES—Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris, Département Transferts dans la Zone critique (TZC), équipe Fonctionnement biophysique du sol (BIOPHYS), IRD, 32 Avenue, Henri-Varagnat, 93143 Bondy cedex, France. [michel.grimaldi@ird.fr](mailto:michel.grimaldi@ird.fr). [hanane.aroui@ird.fr](mailto:hanane.aroui@ird.fr). [lotfi.smaili@ird.fr](mailto:lotfi.smaili@ird.fr)

(2) IEES, Département ECOEVO équipe ECOTERM, IRD, 32 Avenue, Henri-Varagnat, 93143 Bondy cedex, France. [hananabil@gmail.com](mailto:hananabil@gmail.com)

(3) Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc, [Mourad.enfi@gmail.com](mailto:Mourad.enfi@gmail.com)

(4) IAV Hassan II- Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, département des ressources naturelles & environnement, équipe Gestion Conservatoire des Eaux et des Sols. Rabat, Maroc.

Mission au Maroc du 7 au 16 mars 2016 sur le dispositif expérimental  
de Hana NABIL (Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs ; doctorante en cotutelle  
UPEC/IAV Hassan II)

## Objectifs de la mission

La mission au Maroc de Hana Nabil (ENFI, UPEC/IRD), Hanane Aroui (IRD) et Michel Grimaldi (IRD) avait pour premier objectif de connaître la diversité du sol sur le dispositif expérimental mis en place en 2014 par Hana Nabil et Corinne Rouland (IRD) afin de comparer les communautés d'organismes du sol (faune et microorganismes) dans des plantations d'eucalyptus et dans la forêt de chêne-liège de la Maâmora. Il s'agissait de vérifier que les caractéristiques du sol et leur variation spatiale sont comparables dans les sites d'étude de la biodiversité retenus dans les deux écosystèmes forestiers, autrement dit que le dispositif expérimental ne présente pas un biais, lié au milieu physique, qui compliquerait les analyses écologiques. A cette fin, notre étude, d'une durée limitée (six jours de terrain), s'est basée sur des descriptions morphologiques et des profils hydriques du sol à partir de sondages à la tarière.

Les données jusqu'alors acquises par Hana Nabil concernent la diversité et l'activité des organismes, ainsi que des caractéristiques chimiques du sol. Un second objectif de la mission a donc été de comparer l'état physique du sol sous les deux couvertures végétales, par des mesures de densité et d'humidité du sol, là encore suffisamment rapides à réaliser pour être répétées afin de prendre en compte la variabilité spatiale du sol. Pour les mesures physiques, nous avons bénéficié du laboratoire de l'ENFI à Salé et de la collaboration de son responsable technique, Mourad El Guaddari, qui s'est également beaucoup impliqué sur le terrain.

## Rappels sur le milieu physique

La forêt de la Maâmora, de 133 853 hectares de superficie (IFN, 1996), se situe au nord-ouest du Maroc, en bordure de l'océan Atlantique, entre les méridiens 6° et 6° 45' ouest, et les parallèles 34° et 34° 20' nord (Fig.1).

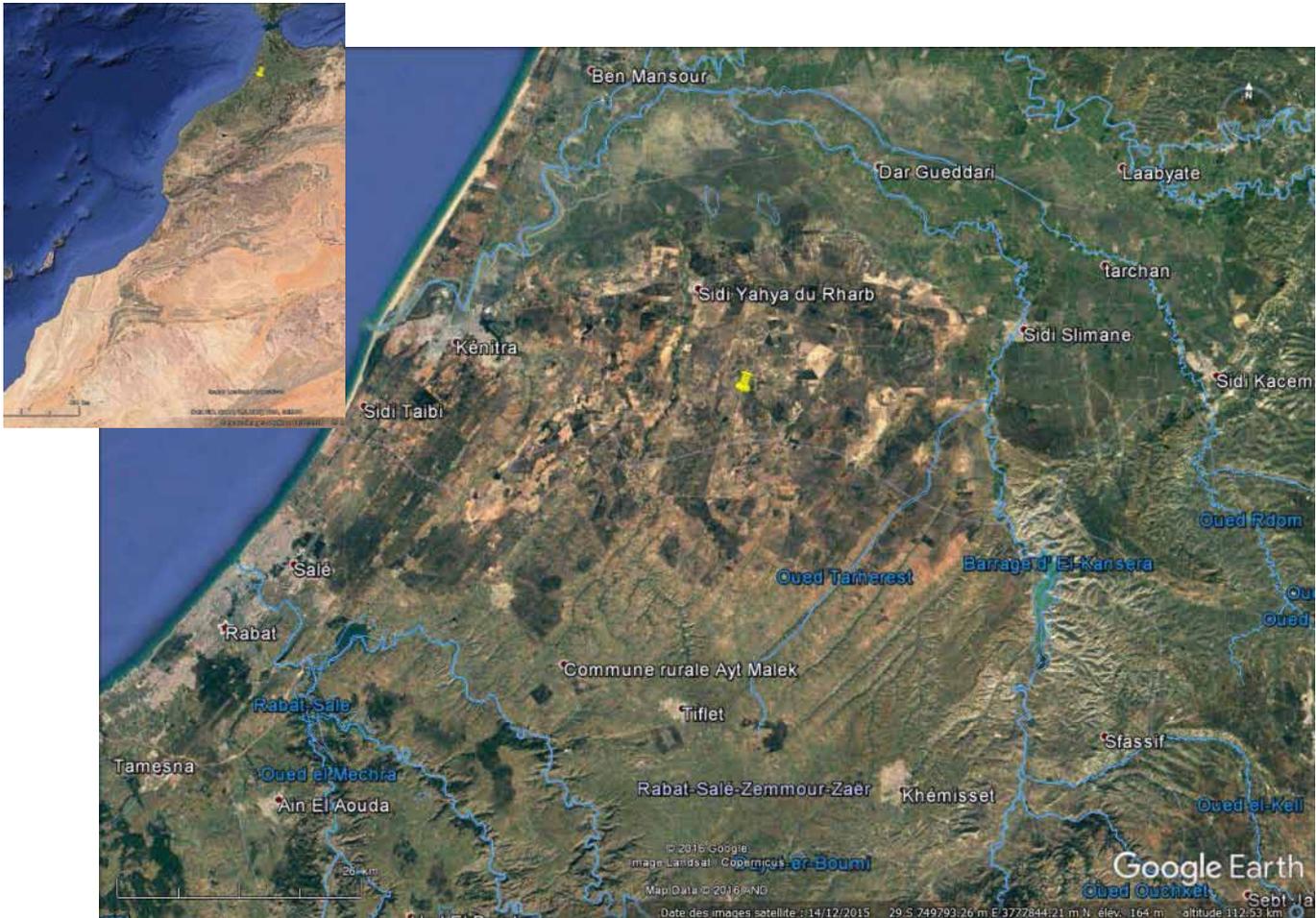


Figure 1: Localisation géographique du site d'étude

La Maâmora est une vaste plate-forme qui s'étend depuis l'Océan Atlantique, entre Rabat et Kénitra, sur 70 km vers l'intérieur du pays, et dont l'altitude s'élève de 130 à 300 m du sud-ouest au sud-est, et s'abaisse progressivement vers le nord. Elle est divisée en cinq compartiments principaux (correspondant d'ouest en est aux cantons A à E), d'orientation sud-ouest - nord-est, séparés par des oueds encaissés qui rejoignent la plaine du Rharb, bordure septentrionale de la Maâmora (Zouhri *et al*, 2001).

Cette plate-forme est constituée de dépôts sédimentaires plus ou moins récents qui recouvrent un substratum paléozoïque. Les sédiments sont successivement (Nafaa, 1997 ; Zouhri *et al*, 2001) : des formations marneuses miocènes qui constituent le plancher de l'aquifère ; des grès et sables calcaires pliocènes à quaternaires ; enfin, une formation de la période villafranchienne (s'étendant du pliocène au pleistocène), appelée « argile sableuse rouge de Maâmora » dont l'épaisseur, très variable, peut atteindre 20 m. La pédogenèse

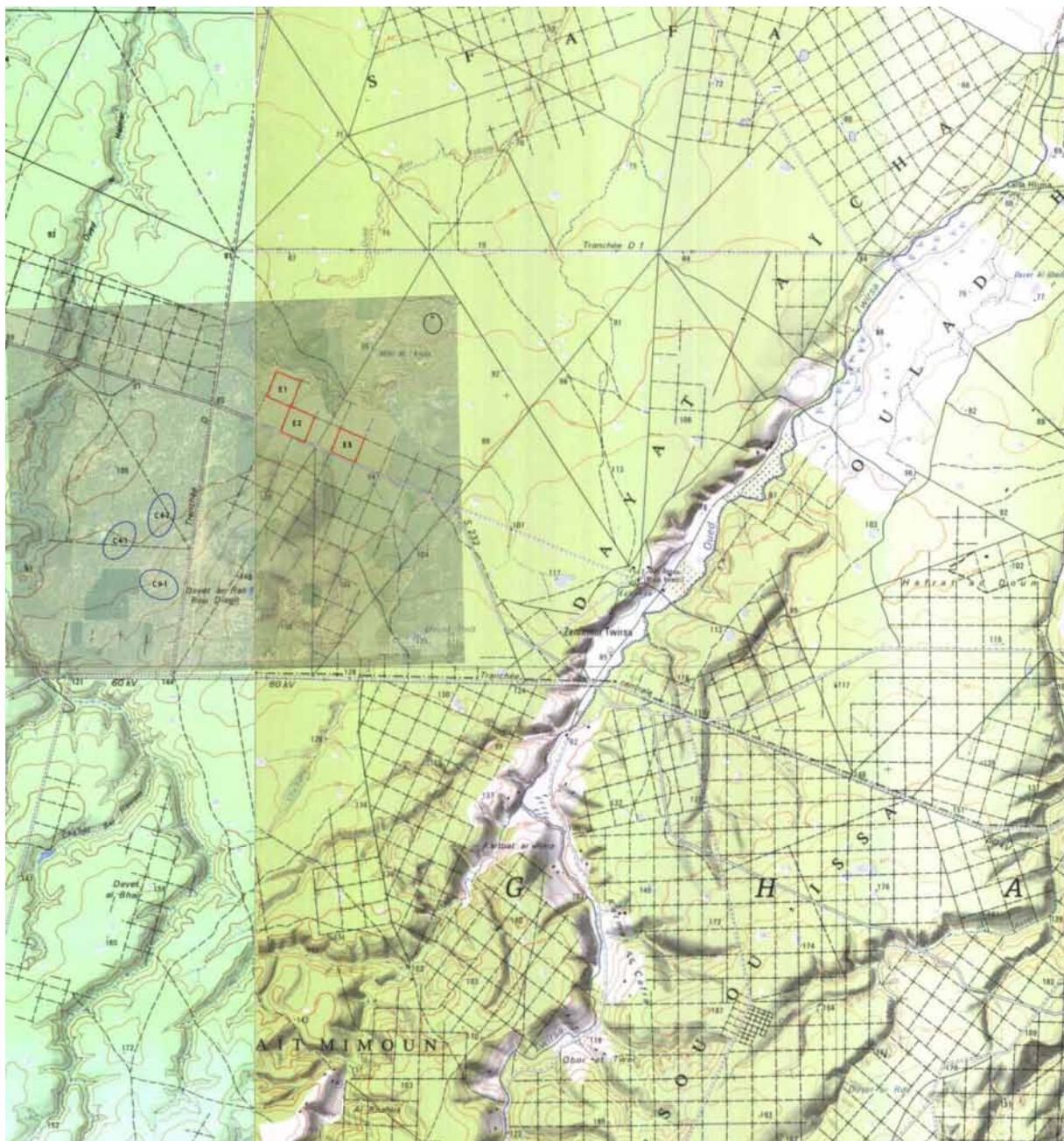
(décarbonatation, lessivage de l'argile) et plusieurs remaniements au cours du quaternaire ont affecté ces formations, notamment la plus récente, conduisant au dépôt superficiel d'un sable beige d'épaisseur variable (de 0,2 à plus de 2 m). La géomorphologie est également déterminée localement par l'importance des dépôts sableux récents et par leur érosion hydrique et éolienne.

Les sols sont plus divers que le laisse penser leur texture uniformément sableuse en surface. La couleur et l'épaisseur des horizons sableux sont en effet variables dans l'espace, résultant en premier lieu de la complexité des dépôts sédimentaires, aux échelles régionale et locale (Lepoutre et Combes, 1967 ; Nafaa, 1997), en second lieu des autres facteurs de pédogenèse (végétation, topographie, régime hydrique du sol ou « pédoclimat »). Les processus de pédogenèse qui se manifestent sur la morphologie du sol sont le lessivage de l'argile dans les horizons supérieurs et l'hydromorphie (se manifestant par des taches blanchâtres et des concrétions ferrugineuses) au-dessus des horizons imperméables plus argileux. Il est cependant difficile d'affirmer que ces processus sont actuellement actifs, en particulier le lessivage de l'argile dans des horizons déjà fortement appauvris en argile (Lepoutre et Combes, 1967). En outre, certains caractères du sol sont interprétés comme hérités d'une pédogenèse ancienne : la couleur rouge des sables est admise comme une rubéfaction ancienne du sol, dans des conditions climatiques différentes (Lepoutre et Combes, 1967).

Le climat actuel se caractérise par des précipitations réparties entre octobre et avril, de manière irrégulière d'une année à l'autre ; la pluviosité annuelle moyenne varie entre 600 mm à Kénitra et 500 mm à Tiflet (à 50 km de l'océan), avec une variabilité interannuelle plus marquée que la variation spatiale régionale : de 450 mm à plus de 1000 mm. Les températures sont très élevées pendant les mois sans pluie, de juin à septembre, où l'évapotranspiration potentielle est aussi maximale ; les températures maximales moyennes, en août, atteignent 34 °C à Tiflet, contre 28 °C à Kénitra, tandis que les températures minimales moyennes, en janvier, sont respectivement de 6 et 7 °C seulement pour ces deux stations (Nafaa, 1997).

## **Méthodes**

Le dispositif expérimental se situe dans le canton D, délimité par l'oued Tiflet à l'ouest et l'oued Tourza à l'est, à environ 20 km au sud de la ville de Sidi Yahia. Ce dispositif comprend trois parcelles de plantation d'eucalyptus (12 hectares chacune), choisies en raison de leur ancienneté (>50 ans), et trois sites de forêt de chêne-liège, considérées comme « témoin » ; en absence de parcellaire visible dans la subéraie, nous avons pris soin d'échantillonner des surfaces comparables aux parcelles d'eucalyptus. Une distance de 2 à 3 km sépare les parcelles d'eucalyptus et les sites sous chêne-liège (Fig. 2 & 3), localisés dans une même situation topographique (altitude et pentes semblables) sur les versants ouest (chêne-liège) et nord (eucalyptus), à pente douce, d'une colline qui les domine de 40 m environ (d'altitude maximum 144 m).



*Figure 2 : Carte topographique de la zone d'étude avec localisation des parcelles d'échantillonnage*

Entre la première mission de Hana Nabil en 2014 et notre mission, il convient de noter que les eucalyptus ont été coupés en août 2015 (le dessouchage est intervenu début 2016), afin d'en tenir compte dans l'analyse des profils hydriques. Notre mission a eu lieu pendant la dernière partie de la saison des pluies, donc à une époque où la réserve hydrique du sol est censée être reconstituée et où l'évapotranspiration est encore faible. Nous avons pris soin de sonder et d'échantillonner le sol en dehors des zones remaniées par le dessouchage ou tassées par les véhicules.



Figure 3: Localisations des parcelles du site d'étude en rouge les parcelles d'Eucalyptus (versant nord) et en bleu les parcelles témoin de chêne liège (versants ouest)

Les descriptions pédologiques morphologiques ont été faites les 8 et 9 mars à partir de sondages à la tarière (type « Riverside »), jusqu'à une profondeur de 1,20 m maximum (parfois moins lorsque le sol ne pouvait être sondé ou prélevé à cause de son état trop sec). Nous avons décrit deux sondages distants de 200 m environ, dans chaque parcelle ou site (Fig. 4). Bien que la topographie apparaisse en première observation assez plane sur le dispositif expérimental, l'altitude y varie de un à quelques mètres le long des transects que nous avons suivis. Ceux-ci traversent parfois des dépressions ou talwegs secondaires rejoignant un oued ; nous avons décrit ces situations particulières afin de mettre en évidence une variation du sol en fonction de la topographie, par comparaison avec les points d'altitude plus élevée. Cependant, en raison de la durée de la mission, nous ne sommes pas sortis du dispositif expérimental pour chercher à décrire la variation du sol le long de toposéquences reliant les points d'altitudes maximale et minimale d'une unité de relief représentative de la zone d'étude ; ceci aurait permis de décrire plus précisément l'organisation de la couverture pédologique dans le paysage. Le sol a été prélevé par couches de 10 cm d'épaisseur et décrit par sa couleur (déterminée avec une charte Munsell), sa texture, son humidité et sa consistance (friabilité ; cohésion), ces trois caractéristiques étant appréciées tactilement ; l'abondance d'éléments grossiers (concrétions ferrugineuses et charbons de bois de dimension millimétrique à centimétrique) et de racines était également estimée. Chaque échantillon prélevé de chaque profil fut conservé dans un pédocompteur (Fig. 5), afin de faciliter les comparaisons entre profils en visualisant les variations verticales et latérales du sol.

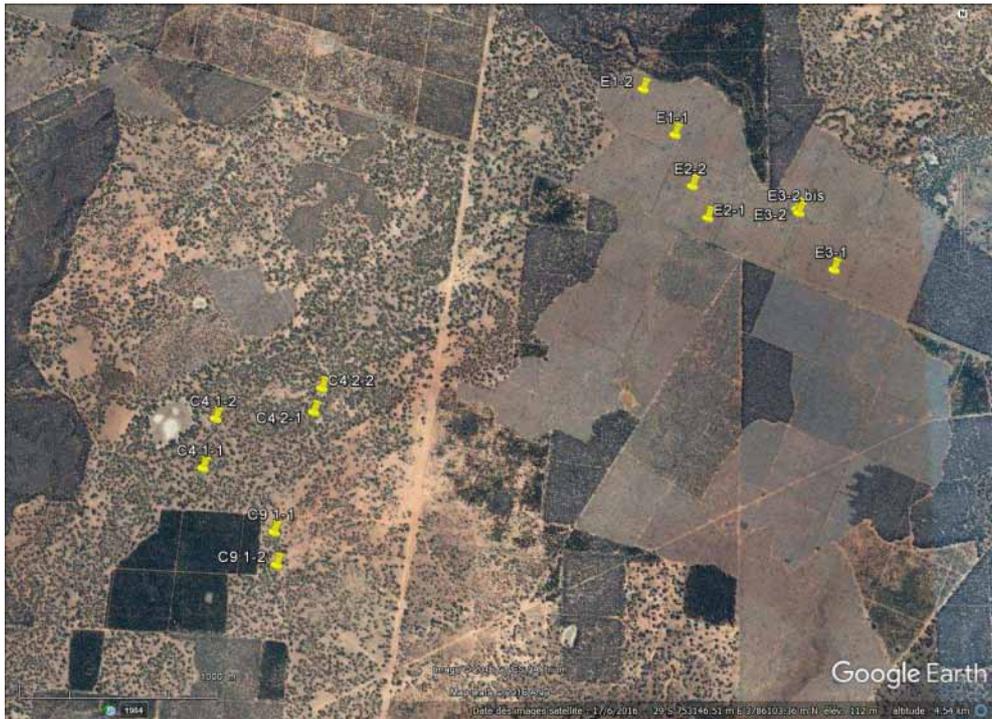


Figure 4: Localisation des points de sondage pédologiques dans les différentes parcelles



Figure 5: Photographie du pédocomparateur en cours de collecte

En complément de ces observations, trois autres sondages à la tarière ont été réalisés dans chaque parcelle (Fig. 6) les 10 et 11 mars, le sol étant prélevé par couches de 10 cm d'épaisseur jusqu'à 1,20 m, pour déterminer au laboratoire sa teneur en eau massique. Des sacs en plastique résistant à un chauffage à l'étuve à 105 °C ont été utilisés pour collecter le sol et mesurer sa masse à l'état d'humidité du prélèvement puis à l'état sec. Pour analyser les différences entre les profils hydriques, nous nous sommes référés aux profils pédologiques, conservés dans le pédocomparateur, en se basant sur la couleur.

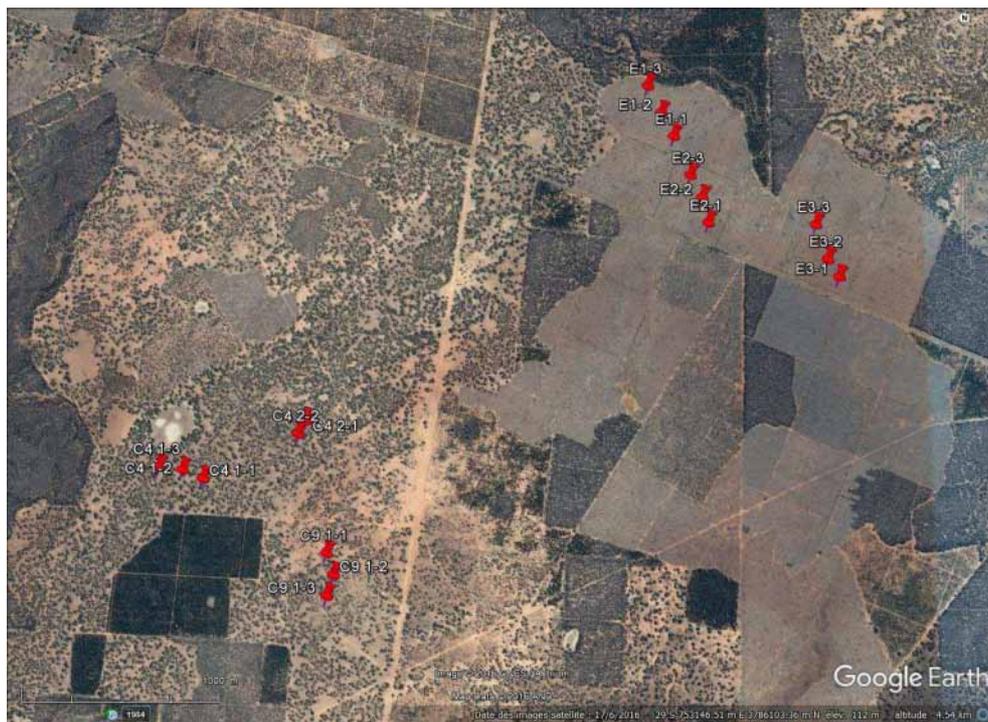


Figure 6: Localisation des profils hydriques sur une image satellite

Dans chaque parcelle des deux écosystèmes forestiers, de petites tranchées ont été ouvertes en cinq points (un point central et quatre autres distants de 55 à 80 m du point central en suivant les points cardinaux), pour prélever des échantillons de volume connu de sol à l'aide de cylindres (deux cylindres de 100 cm<sup>3</sup> pour chaque profondeur de prélèvement). Ces mesures ont permis de déterminer pour les couches 0-5, 5-10 et 10-20 cm la densité sèche (ou densité apparente) et les teneurs en eau massique et volumique du sol, à partir de la mesure des masses humide et sèche au laboratoire de l'ENFI à Salé.

Enfin, dans une seule parcelle de chaque écosystème forestier, des échantillons de sol à structure conservée ont été prélevés à l'aide de cylindres de 100 cm<sup>3</sup>, dans la couche 5-10 cm de profondeur, en cinq points par parcelle (profitant des tranchées ouvertes). Le but de ces prélèvements était de déterminer au laboratoire de l'IRD à Bondy les capacités de rétention de l'eau du sol, à trois valeurs de potentiel matriciel : pF 0,7 ; pF 2,5 ; pF 4,2, à l'aide d'une table à succion (pF 0,7) et d'appareils de Richards (pF 2,5 et pF 4,2). Les mesures de teneur en eau massique donnent accès à la distribution du volume poral en différentes classes de taille de pores (micropores saturés en eau à pF 4,2 : eau non disponible pour les

plantes ; mésopores retenant l'eau entre pF 2,5 et pF 4,2 : eau disponible ; macropores retenant l'eau entre pF 0,7 et pF 2,5 : eau peu disponible car drainée rapidement). La granulométrie et la densité réelle de chacun de ces échantillons ont également été déterminées au laboratoire de l'IRD à Bondy.

### Variation spatiale du sol sur le dispositif expérimental

Le sol est apparu plus variable dans l'espace que le laissait prévoir la monotonie du paysage. La diversité pédologique observée est cependant assez semblable dans les deux écosystèmes forestiers, comme l'atteste le pédocomparateur (Fig.7). Cette diversité se manifeste surtout sur la couleur de la matrice du sol, vive ou pâle, variant de rouge jaunâtre (5YR5/8) à brun très pâle (10YR7/4) ou jaune (10YR7/8), ainsi que sur l'épaisseur des horizons et leur homogénéité (absence ou présence de taches et de concrétions ferrugineuses) ; les autres caractères morphologiques abordables par des sondages à la tarière sont moins variables, particulièrement la texture et la consistance des horizons (Annexe. *Fiches de description des profils*).

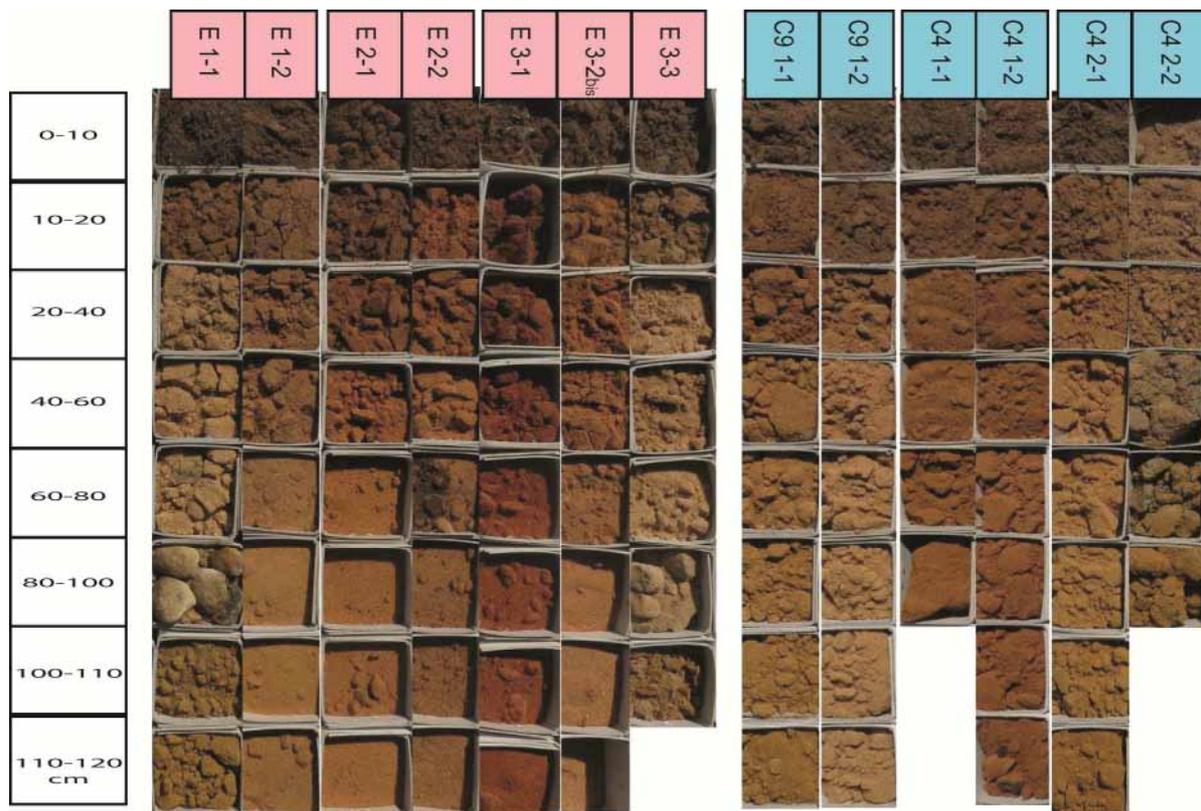


Figure 7: Photographie du pédocomparateur rassemblant tous les profils collectés

Le premier profil de sol décrit (E3-1), sous eucalyptus (parcelle E3), est brun sombre (7,5YR3/4) en surface, brun vif (7,5YR4/6) jusqu'à 50 cm, puis rouge jaunâtre (5YR5/8) à jaune rougeâtre (5YR6/8), tous les horizons étant de couleur homogène ; la couleur vive de ce profil est associée à une texture notée « sablo-limoneuse » car, bien que probablement très sableuse, des éléments fins colorent les doigts et donnent une sensation de talc ;

l'humidité diminue avec la profondeur, mais le sol reste frais et friable (la description eut lieu le lendemain d'une averse). A l'angle opposé de la parcelle, le profil pédologique (E3-2bis) se distingue du précédent par sa couleur plus rouge en sub-surface : rouge jaunâtre (5YR5/8) de 20 à 60 cm, jaune rougeâtre ensuite (7,5YR7/6 à 6/8), le sol étant sec dès 80 cm.

Bien que situé un peu en dehors de la parcelle E3, nous avons décrit un profil localisé dans le prolongement du transect suivi du premier au deuxième sondage, dans une dépression peu marquée (en fait, un axe de drainage qui rejoint un vallon observé au nord des parcelles d'eucalyptus). Ce profil est apparu très distinct des précédents : brun jaunâtre (10YR4/4 à 5/6) jusqu'à 30 cm, la couleur est ensuite hétérogène, jaune brunâtre (10YR6/6), puis jaune (10YR8/6) à 80 cm et enfin jaune rougeâtre (7,5YR6/8) à la base du profil ; cette dernière couleur est celle de volumes qui sont observés dès 40 cm, associées à des taches rouilles, tandis que des concrétions ferrugineuses apparaissent à 60 cm, devenant très abondantes et de taille centimétrique à 90 cm ; la texture reste sableuse, mais des volumes centimétriques plus argileux sont observés à partir de 80 cm, dans un horizon moins humide et de plus en plus difficile à sonder. La morphologie de ce dernier profil, plus différencié verticalement par sa constitution et son humidité, et plus hétérogène que les précédents, atteste d'une hydromorphie du sol (excès d'eau périodique) dans les conditions climatiques passées et probablement actuelles. Un profil pédologique similaire (E1-1) est observé dans la parcelle d'eucalyptus E1, situé également dans un talweg secondaire qui rejoint le vallon, visible sur l'image satellite (Fig. 6). Ce profil se caractérise notamment par l'abondance des concrétions ferrugineuses indurées rouge sombre entre 70 et 110 cm de profondeur, et un gradient d'humidité marqué autour de 90 cm, entre les horizons supérieurs sableux et friables et les horizons sous-jacents plus hétérogènes et cohérents.

Les trois autres sondages réalisés dans les parcelles d'eucalyptus E1 (E1-2) et E2 (E2-1 et E2-2) présentent des caractéristiques morphologiques intermédiaires entre celles des deux couples de profils précédemment décrits, que l'on peut considérer comme deux « pôles » de la variation pédologique observée sur le dispositif expérimental. Les profils E1-2 et E2-1 sont pratiquement dépourvus de concrétions ferrugineuses et de couleur vive : brun vif (7,5YR4/6 à 5/8) puis jaune rougeâtre (7,5YR7/6) à 90 cm (E1-2) ; rouge jaunâtre (5YR5/6 puis 6/8 à 70cm) (E2-1). Egalement de couleur assez vive, rouge jaunâtre (5YR5/8) puis jaune rougeâtre (5YR6/8) à partir de 50 cm, le profil E2-2 est plus différencié verticalement avec la présence d'abondantes concrétions ferrugineuses brun rougeâtre sombre (5YR3/3) entre 70 et 90 cm.

Les profils pédologiques décrits dans les sites de la subéraie sont comparables, par leur couleur notamment, à ceux décrits sous eucalyptus. En particulier, les deux profils du site C4\_1 présentent une variation de couleur avec la profondeur déjà observée pour le profil E3-1, passant de brun vif (7,5YR4/6 à 5/6) à rouge jaunâtre (5YR5/8) à partir de 90 cm (profil C4\_1-1) ou de 70 cm (C4\_1-2), tandis que les concrétions ferrugineuses sont rares (C4\_1-1) ou abondantes seulement à la base du profil (C4\_1-2).

Le profil C9\_1-2 s'apparente au profil E1-2, par sa couleur brun vif (7,5YR5/8) puis jaune rougeâtre (7,5YR6/8) et de rares concrétions ferrugineuses. Quant au profil C9\_1-1 de la même parcelle de subéraie, sa couleur rouge jaunâtre (5YR5/8) jusqu'à 50 cm de profondeur, jaune rougeâtre (7,5YR6/8) ensuite, le rapproche du profil E3-2bis. Comme ces derniers profils, mais de couleur plus pâle dans son ensemble, le profil C4\_2-1 est également de couleur plus vive jusqu'à 50 cm : brun vif (7,5YR4/6 à 5/8), plus claire de 50 à 100 cm : brun très pâle (10YR7/4) puis jaune (10YR7/6).

Enfin, le sondage réalisé en bordure d'une « daya », c'est-à-dire d'une dépression circulaire remplie d'eau en saison pluvieuse (peu remplie lors de notre mission, attestant d'un déficit pluviométrique), met en évidence un profil très différencié tant par la couleur que par les autres caractères morphologiques. De couleur grise, sableux et humide jusqu'à 30 cm, la texture devient progressivement plus argileuse dans une série d'horizons moins friables (de plus en plus consistants) et de couleur très hétérogène, jaune rougeâtre dominante. Les nodules ferrugineux sont observés, assez peu abondants, entre 10 et 70 cm de profondeur. La couleur devient presque homogène avec la profondeur, à partir de 90 cm, dans l'horizon le plus argileux et dépourvu de nodules ferrugineux, ce qui laisse penser que cet horizon est moins hydromorphe que les horizons sus-jacents en raison de son caractère imperméable, limitant le drainage vertical de l'eau en son sein.

A partir de ces descriptions, faisant l'hypothèse qu'il existe un lien entre la morphologie du sol (sa différenciation verticale, de couleur notamment) et son régime hydrique, lui-même influencé par la situation topographique, nous avons cherché à réordonner les profils, du mieux drainé au plus hydromorphe (Fig. 8 & 9). Il s'agit d'une construction subjective, qui pourrait être vérifiée par l'analyse détaillée de toposéquences et devrait être complétée par le suivi *in situ* du fonctionnement hydrique pendant des événements pluvieux (par des mesures tensiométriques répétées à intervalle de temps court).

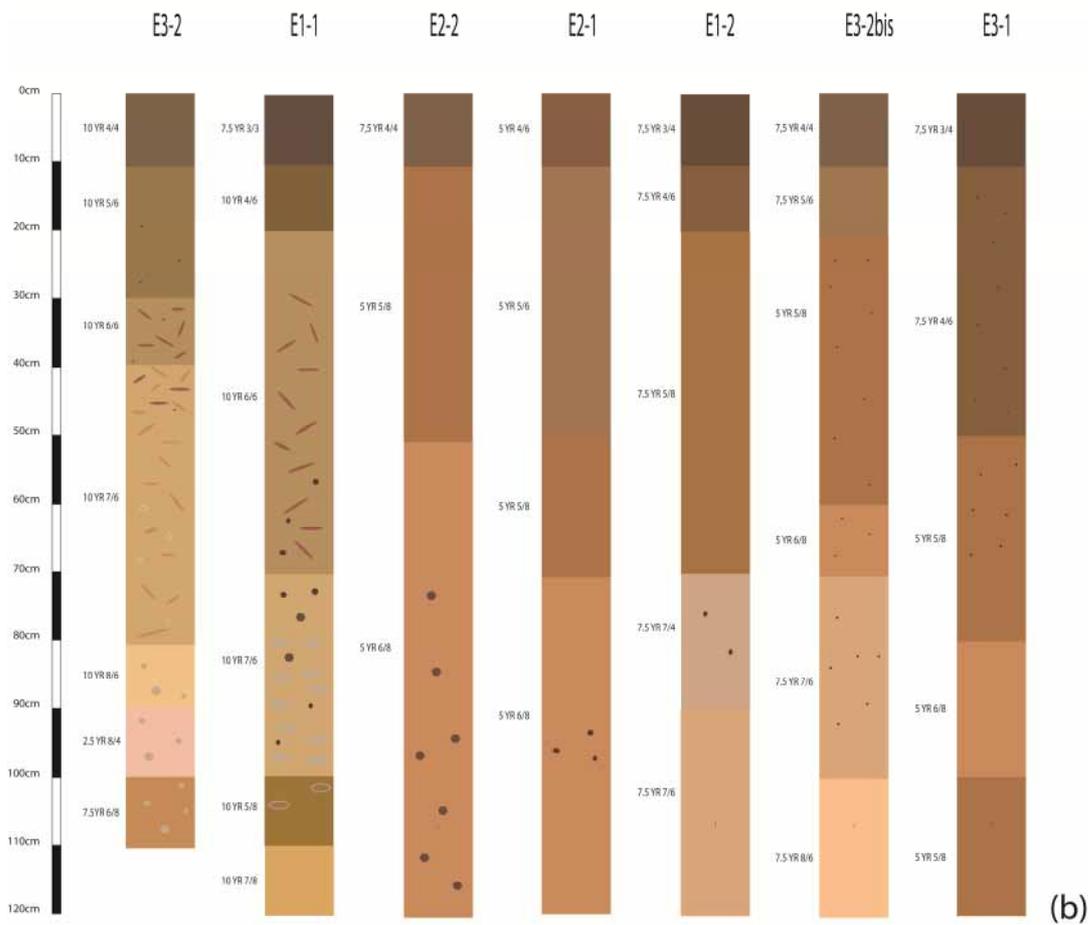
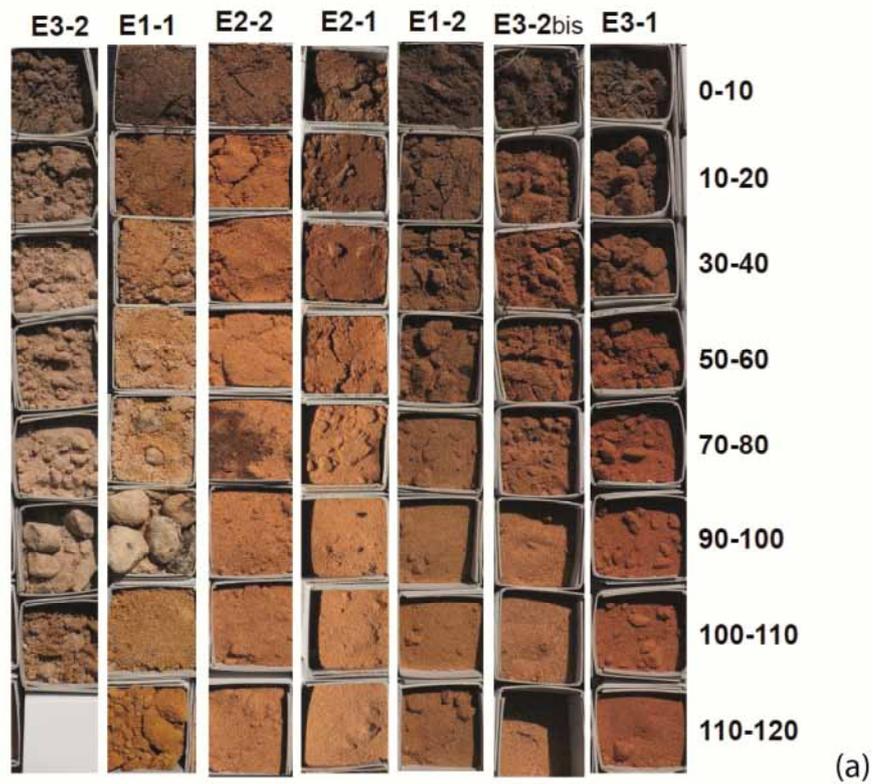
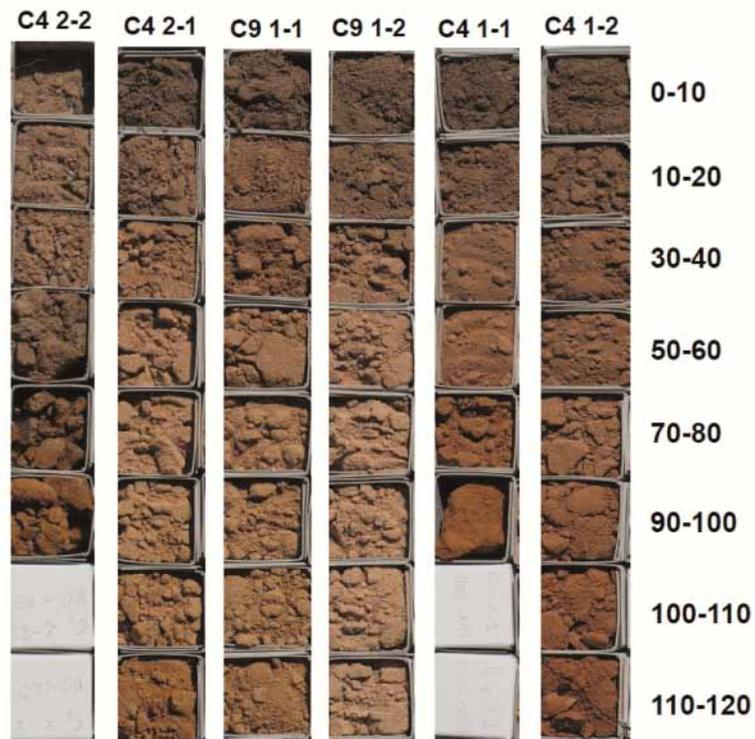
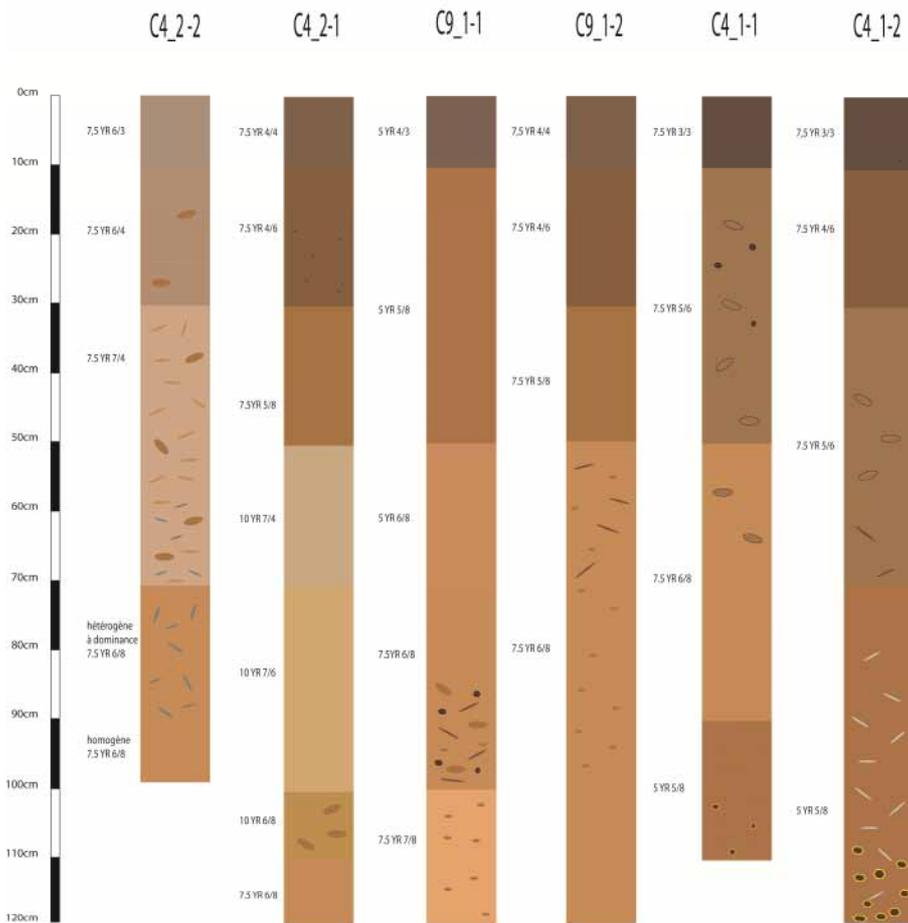


Figure 8: Ordination des profils pédologiques sous eucalyptus selon une interprétation pédogénétique: (a) photographie des profils dans le pédocomparateur ; (b) représentation schématique mentionnant les couleurs et traits pédologiques des horizons pédologiques.



(a)



(b)

Figure 9: Ordination des profils pédologiques sous chêne-liège selon une interprétation pédogénétique: (a) photographie des profils dans le pédocomparateur ; (b) représentation schématique mentionnant les couleurs et traits pédologiques des horizons.

## Variabilité des profils hydriques du sol sur le dispositif expérimental

Les profils hydriques mettent également en évidence une variabilité spatiale du sol sur le dispositif expérimental (Fig. 10). Nous avons tenté de relier la variabilité de la teneur eau à la diversité morphologique du sol précédemment décrite dans chacun des écosystèmes. La comparaison des profils hydriques entre les deux écosystèmes forestiers est délicate en raison de la coupe des eucalyptus au cours de l'été 2015, et bien que l'évapotranspiration soit relativement faible au mois de mars et que l'on puisse alors admettre que les variations hydriques dépendront plus du sol que de la végétation.

Les teneurs en eau massiques mesurées sont toujours inférieures à  $0,09 \text{ kg.kg}^{-1}$ , souvent inférieures à  $0,06 \text{ kg.kg}^{-1}$ . Par comparaison avec l'appréciation tactile de l'humidité du sol, ces faibles valeurs sont surprenantes, particulièrement pour les horizons supérieurs du sol souvent décrits « humides ». Ceci est probablement lié à la texture très sableuse du sol : d'une part, en raison de la faible abondance de fraction fine, il n'y a pas ou très peu d'eau « liée » à des domaines argilo-humiques ou argilo-limoneux ; d'autre part, l'eau « libre », la seule ressentie tactilement, est l'eau retenue entre les particules de sable ; or, les grands pores ménagés par l'assemblage des particules de sable drainent rapidement les précipitations qui s'infiltrent dans le sol et retiennent en conséquence peu d'eau « libre ».

Dans les parcelles d'eucalyptus, trois types de profils hydriques se distinguent :

- Des profils où la teneur en eau est comprise entre  $0,05$  et  $0,06 \text{ kg.kg}^{-1}$  jusqu'à  $1 \text{ m}$  de profondeur puis diminue faiblement ; trois profils hydriques ont cette allure : deux, mesurés dans la parcelle E3, s'apparentent par leur couleur au profil pédologique E3-1, de couleur brun vif puis rouge jaunâtre (couleur « brique ») ; le troisième, de la parcelle E1, est en revanche comparable au profil pédologique E1-1 (ou E3-2), à caractère hydromorphe, jaune brunâtre puis jaune avec d'abondantes concrétions ferrugineuses.
- Des profils où la teneur en eau diminue fortement de  $0,05$  à  $0,01 \text{ kg.kg}^{-1}$  à partir d'une profondeur comprise entre  $0,6$  et  $0,9 \text{ m}$  ; cinq profils hydriques ont cette allure et peuvent se rattacher à l'un des profils pédologiques de la parcelle où ils ont été mesurés, présentant une couleur moins vive, jaune rougeâtre (« beige »), dans les horizons profonds par rapport aux horizons de sub-surface (E1-2 ; E2-1 ; E3-2bis).
- Un profil où la teneur en eau diminue continument entre la surface et  $0,6 \text{ m}$  de profondeur, de  $0,05$  jusqu'à  $0,01 \text{ kg.kg}^{-1}$  ; ce profil hydrique peut être rattaché par sa couleur au profil pédologique E1-2, mais avec un horizon très sableux et jaune brunâtre dès  $0,6 \text{ m}$  de profondeur.

Dans la subéraie, deux principaux types de profils hydriques peuvent être distingués :

- Cinq profils où le gradient vertical de teneur en eau est plus marqué entre  $0,2$  et  $0,6 \text{ m}$  de profondeur, la teneur en eau diminuant de  $0,08$  en surface jusqu'à moins de  $0,02 \text{ kg.kg}^{-1}$ , pour augmenter ensuite faiblement jusqu'à  $0,04 \text{ kg.kg}^{-1}$ , à l'exception de l'un des profils (C4\_2-a) où la teneur en eau croît jusqu'à  $0,08 \text{ kg.kg}^{-1}$  ; ce dernier se rattache

au profil pédologique C4\_2-1 jaune rougeâtre et moins friable à la base, tandis que les autres profils hydriques, les plus secs de la subéraie, correspondent morphologiquement aux profils C4\_1-2 et C4\_1-1, aux couleurs les plus rouges parmi ceux étudiés dans cet écosystème.

Trois profils où la teneur en eau diminue moins nettement, de 0,08 à 0,04 kg.kg<sup>-1</sup> jusqu'à 0,6 m, profondeur à partir de laquelle elle varie peu ou croît jusqu'à 0,07 kg.kg<sup>-1</sup> ; ces profils mesurés dans la parcelle C9\_1 sont proches des profils pédologiques qui y ont été décrits, de couleur moins vive dans l'ensemble, jaune rougeâtre en profondeur (C9\_1-1).

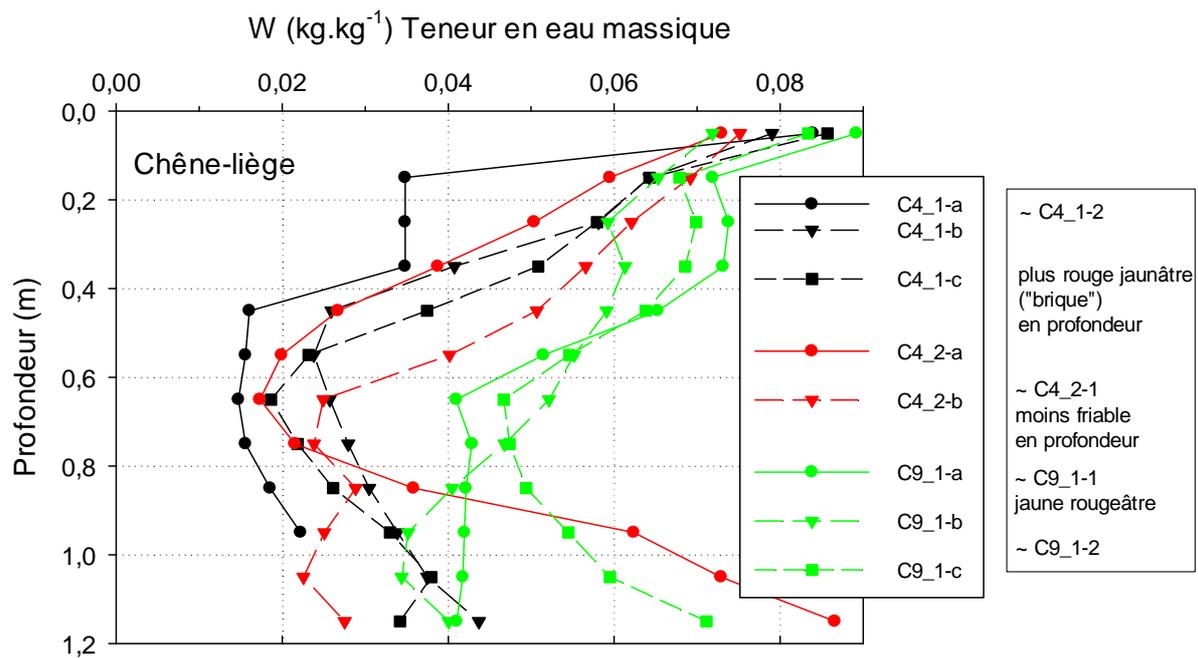
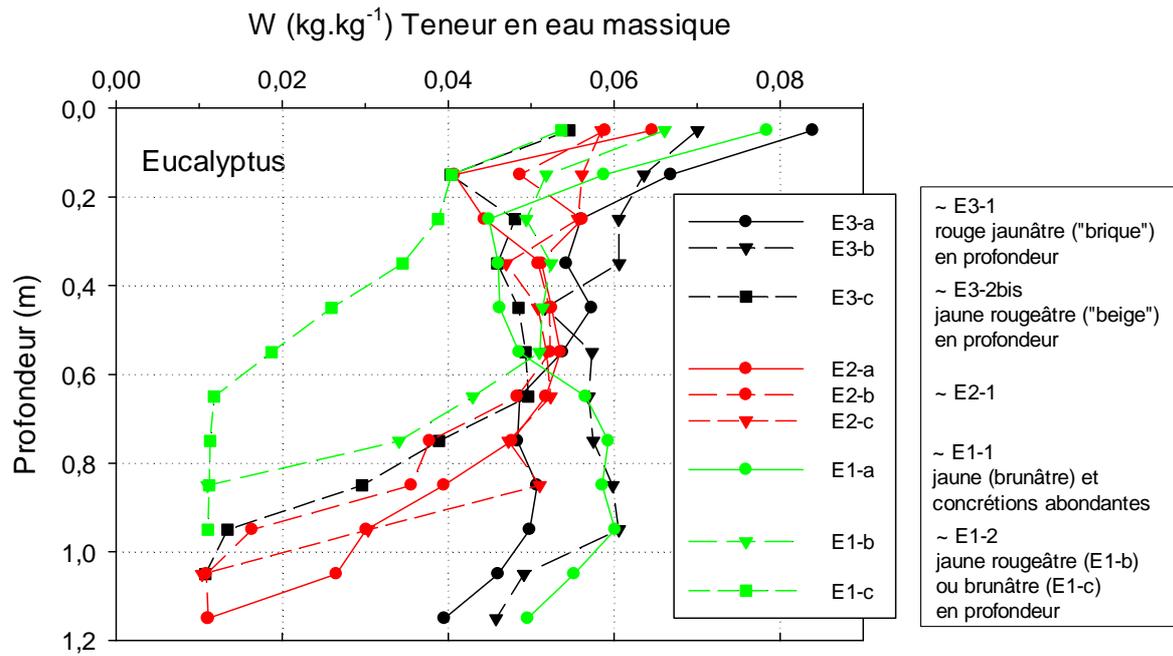


Figure 10: Variabilité des profils hydriques au sein des deux écosystèmes forestiers ; rattachement des profils hydriques aux profils pédologiques décrits sur les mêmes sites

## Comparaison de l'état physique de l'horizon superficiel du sol sous chêne-liège et eucalyptus

Les mesures de densité apparente et de teneur en eau massique effectuées dans différentes parcelles, à trois profondeurs distinctes, mettent en évidence un tassement du sol dans les plantations d'eucalyptus par rapport à la subéraie. L'augmentation de densité apparente est plus élevée et significative seulement dans la couche 5-10 cm (Tab. 1). En conséquence, la perte de porosité totale pour cet horizon sub-superficiel est de 7% environ en moyenne (49% sous chêne-liège, contre 42% sous eucalyptus). C'est dans l'horizon le plus tassé que les variabilités intra et interparcelles de la densité apparente sont les plus faibles (Fig. 11). Sous chêne-liège aux trois profondeurs, et sous eucalyptus à l'exception de la couche 5-10 cm, la variabilité intraparcelle est généralement importante, de sorte que les différences, notables graphiquement, entre parcelles sont rarement significatives (Tab. 1). La variabilité interparcelles de la densité apparente dans un même écosystème forestier est certainement à relier d'une part à la diversité du sol présentée précédemment, et d'autre part à la gestion du milieu (intensité du pâturage, etc.).

Aucune différence significative de teneur en eau entre les deux écosystèmes n'est observée quelle que soit la profondeur ; la variabilité intraparcelles est plus notable (très peu significative) que pour la densité (Fig. 11 & Tab. 1). La plus forte densité est associée à une teneur en eau massique plus faible, non significativement, en moyenne de 0,053 contre 0,067 kg.kg<sup>-1</sup>. En conséquence, les écarts de teneur en eau volumique (produit de la densité apparente et de la teneur en eau massique) moyenne entre les deux écosystèmes sont moindres que pour la teneur en eau massique, et restent non significatifs.

<b>Variables</b>	<b>Moyenne (<i>écart-type</i>) Eucalyptus</b>	<b>Moyenne (<i>écart-type</i>) Chêne-liège</b>	<b>P-value Facteur végétation</b>	<b>P-value Facteur parcelle dans végétation</b>
<b>Densité apparente 0-5 cm</b>	1,375 (0,11)	1,284 (0,13)	0,195 (NS)	0,113 (NS)
<b>Densité apparente 5-10 cm</b>	1,517 (0,04)	1,351 (0,12)	0,01 (*)	0,323 (NS)
<b>Densité apparente 10-20 cm</b>	1,513 (0,04)	1,471 (0,05)	0,104 (NS)	0,216 (NS)
<b>Teneur en eau massique (kg/kg) 0-5 cm</b>	0,070 (0,02)	0,078 (0,01)	0,363 (NS)	0,074 (.)
<b>Teneur en eau massique (kg/kg) 5-10 cm</b>	0,053 (0,01)	0,067 (0,01)	0,102 (NS)	0,085 (.)
<b>Teneur en eau massique (kg/kg) 10-20 cm</b>	0,052 (0,01)	0,054 (0,01)	0,754 (NS)	0,104 (NS)
<b>Teneur en eau volumique (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) 0-5 cm</b>	0,096 (0,02)	0,098 (0,01)	0,811 (NS)	0,062 (.)
<b>Teneur en eau volumique (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) 5-10 cm</b>	0,081 (0,02)	0,090 (0,01)	0,424 (NS)	0,057 (.)
<b>Teneur en eau volumique (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) 10-20 cm</b>	0,078 (0,01)	0,079 (0,01)	0,95 (NS)	0,073 (.)

Tableau 1 : Moyenne et écart-type de la densité apparente et des teneurs en eau, massique et volumique, dans les parcelles d'eucalyptus et de la subéraie. Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs, modèle hiérarchisé : végétation et parcelle dans végétation (P-value : 0,01 <P <0,05 peu significatif (\*); 0,05 <P <0,1 (.)) très peu significatif ; >0,1 (NS : effet non significatif).

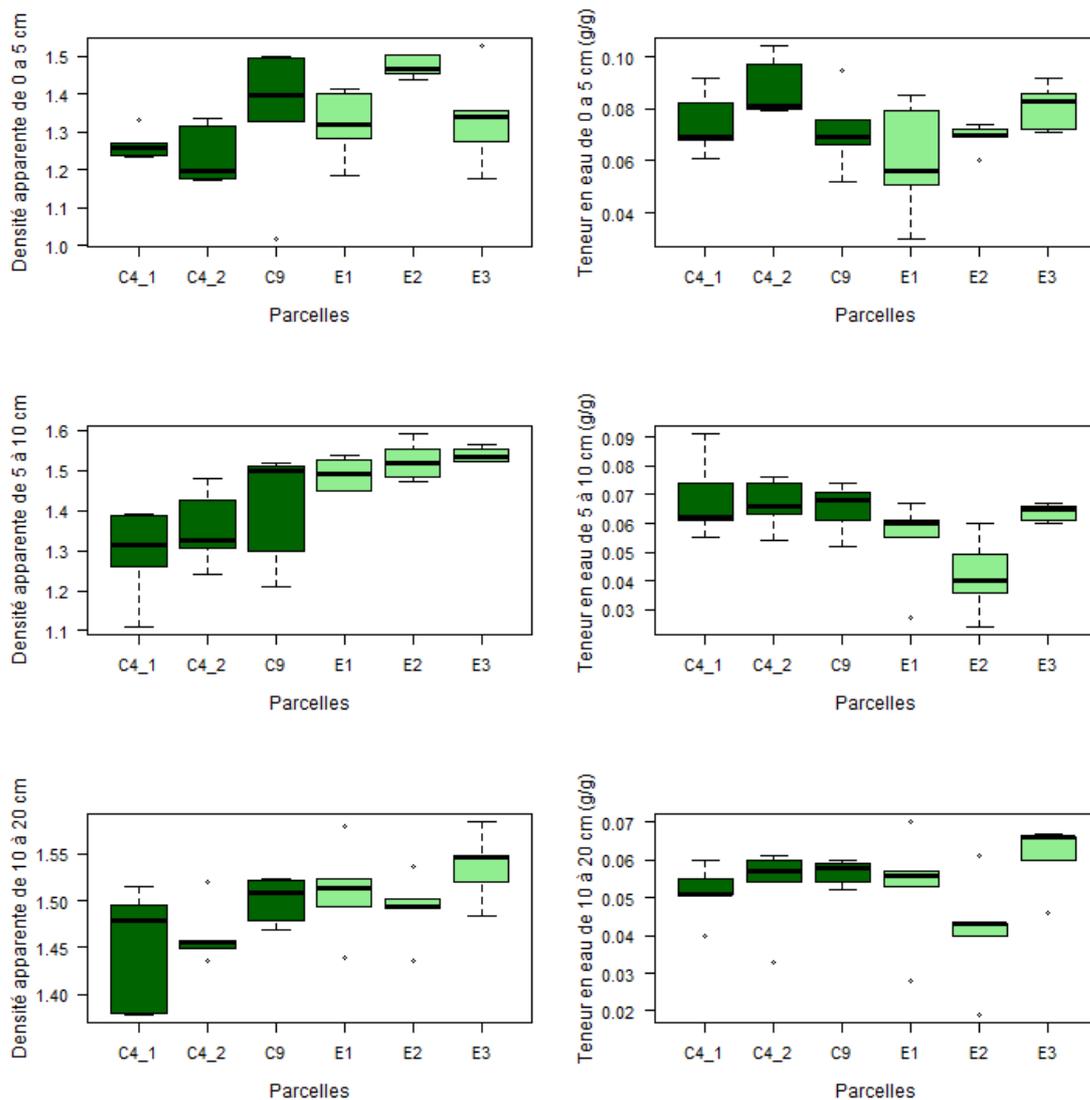


Figure 11: Représentation en boxplot de la variabilité intra et interparcelles des mesures de densité apparente et de teneur en eau massique sur les six parcelles

### Comparaison des propriétés de rétention de l'eau du sol de la subéraie et d'une plantation d'eucalyptus

Les propriétés de rétention de l'eau du sol ont été déterminées au laboratoire pour une seule couche, 5-10 cm, dont les mesures de densité présentées au paragraphe précédent ont montré qu'elle est la plus tassée. Cette étude avait surtout pour objectif de comprendre la raison pour laquelle les teneurs en eau mesurées en saison pluvieuse sont faibles (en général inférieures à 0,08 kg.kg<sup>-1</sup>). Une seule parcelle (ou site) a été échantillonnée pour ces mesures dans chacun des écosystèmes : les répétitions des mesures sont des « pseudo-réplicas » ; on ne peut alors pas dire que l'on compare les deux écosystèmes, seulement deux sites que l'on espère représentatifs de chacun des écosystèmes.

La granulométrie du sol est nettement sableuse (90% environ de la masse du sol), la fraction de sable grossier dominant légèrement sur celle de sable fin, davantage dans la parcelle d'eucalyptus échantillonnée (E1) (Tab. 2). Cette petite différence est compensée par les teneurs en limons très légèrement plus élevées (très significativement pour les limons fins ; Tab. 6) dans le sol sous chêne-liège (C4\_1), tandis que la fraction argileuse y est très légèrement et significativement plus faible (Tab. 2 & 6).

Les valeurs plus faibles en moyenne, mais non significativement, de densité de solide obtenues pour le sol sous eucalyptus sont étonnantes (Tab. 3 & 6), car les échantillons prélevés sous chêne-liège sont semble-t-il plus organiques selon les premières estimations (à partir de l'analyse granulométrique, après attaque à l'eau oxygénée). En revanche, la différence significative de teneur en eau massique entre les deux écosystèmes (Tab. 4 & 6) au pF le plus élevé (pF4,2) peut s'expliquer par une constitution plus organique du sol de la subéraie, puisque celui-ci est un peu moins riche en argile, à moins que la fraction de limons fins significativement deux fois plus élevée ne soit en cause (Tab. 2 & 6).

La différence de densité apparente mise en évidence précédemment avec un jeu de données plus robuste, prenant en compte trois parcelles dans chaque écosystème, se retrouve ici (Tab. 3). Le tassement se manifeste significativement sur les teneurs en eau (Tab. 4 et 5), massique et volumique, à pF0,7 et pF2,5, les écarts entre les sols des deux écosystèmes croissant de pF4,2 à pF0,7 (Tab. 6 et Fig. 12). Ceci exprime une différence de distribution du volume poral entre les classes de macropores (drainés entre pF0,7 et pF2,5) et de mésopores (drainés entre pF2,5 et pF4,2) (Fig. 13) ; les écarts moyens observés entre les deux parcelles sont significatifs lorsqu'ils sont exprimés par rapport à la masse sèche de sol (volume poral massique), mais pas lorsqu'ils le sont par rapport au volume total de sol (porosité) (Tab. 6).

Les différences de propriétés de rétention d'eau observées dans ce sol très sableux sont toutefois assez minces et subtiles, et semblent dépendre autant de la constitution des éléments fins du sol (écart à pF4,2) que de l'arrangement des grains plus grossiers de sable et limon (écarts à pF2,5 et pF0,7).

<b>Ecosystème forestier</b>	<b>Argile</b> ( $<2\mu\text{m}$ )	<b>Limon fin</b> ( $2-20\mu\text{m}$ )	<b>Limon grossier</b> ( $20-50\mu\text{m}$ )	<b>Sable fin</b> ( $20-200\mu\text{m}$ )	<b>Sable grossier</b> ( $0,2-2\text{mm}$ )
<b>Subéraie</b>	1,8 [1,1-2,3]	5,4 [4,7-6,0]	4,7 [3,7-6,5]	39,1 [37,8-40,4]	49,1 [48,0-50,0]
<b>Plantation d'eucalyptus</b>	2,9 [2,4-4,0]	2,3 [1,7-3,5]	3,3 [0,5-6,2]	37,9 [34,8-40,6]	53,6 [49,3-60,0]

Tableau 2 : Granulométrie des échantillons (n=5) prélevés dans les parcelles de chêne-liège (C4\_1) et d'eucalyptus (E1) pour les mesures de rétention de l'eau (fractions en % de la masse sèche minérale).

<b>Ecosystème forestier</b>	<b>Densité de solide</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]	<b>Densité apparente</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]	<b>Porosité totale (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]
<b>Subéraie</b>	2,67 (0,05) [2,59-2,72]	1,35 (0,12) [1,16-1,47]	0,496 (0,038) [0,448-0,553]
<b>Plantation d'eucalyptus</b>	2,64 (0,01) [2,63-2,66]	1,47 (0,05) [1,41-1,52]	0,445 (0,016) [0,430-0,464]

Tableau 3 : Densités de solide et apparente des échantillons (n=5) prélevés dans les parcelles de chêne-liège (C4\_1) et d'eucalyptus (E1) pour les mesures de rétention de l'eau.

<b>Ecosystème forestier</b>	<b>Volume massique poral (cm<sup>3</sup>/g)</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]	<b>Volume massique d'eau à pF0,7 (cm<sup>3</sup>/g)</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]	<b>Volume massique d'eau à pF2,5 (cm<sup>3</sup>/g)</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]	<b>Volume massique d'eau à pF4,2 (cm<sup>3</sup>/g)</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]
<b>Subéraie</b>	0,373 (0,065) [0,304-0,478]	0,302 (0,045) [0,270-0,378]	0,074 (0,022) [0,057-0,111]	0,048 (0,026) [0,029-0,093]
<b>Plantations d'eucalyptus</b>	0,304 (0,021) [0,284-0,329]	0,220 (0,025) [0,193-0,258]	0,037 (0,008) [0,031-0,049]	0,021 (0,007) [0,016-0,033]

Tableau 4 : Rétention de l'eau à différents potentiel matriciel (pF), exprimée par rapport à la masse de sol sec et comparée au volume poral total des échantillons (n=5) prélevés dans les parcelles de chêne-liège (C4\_1) et d'eucalyptus (E1).

<b>Ecosystème forestier</b>	<b>Porosité totale (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]	<b>Teneur en eau volumique à pF0,7 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]	<b>Teneur en eau volumique à pF2,5 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]	<b>Teneur en eau volumique à pF4,2 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b> Moyenne ( <i>écart-type</i> ) [Min-Max]
<b>Subéraie</b>	0,496 (0,038) [0,448-0,553]	0,402 (0,022) [0,378-0,437]	0,098 (0,019) [0,080-0,128]	0,063 (0,027) [0,041-0,108]
<b>Plantations d'eucalyptus</b>	0,445 (0,016) [0,430-0,464]	0,322 (0,028) [0,286-0,364]	0,055 (0,011) [0,046-0,070]	0,031 (0,008) [0,024-0,046]

Tableau 5 : Rétention de l'eau à différents potentiel matriciel (pF), exprimée par rapport au volume total de sol et comparée à la porosité totale des échantillons (n=5) prélevés dans les parcelles de chêne-liège (C4\_1) et d'eucalyptus (E1).

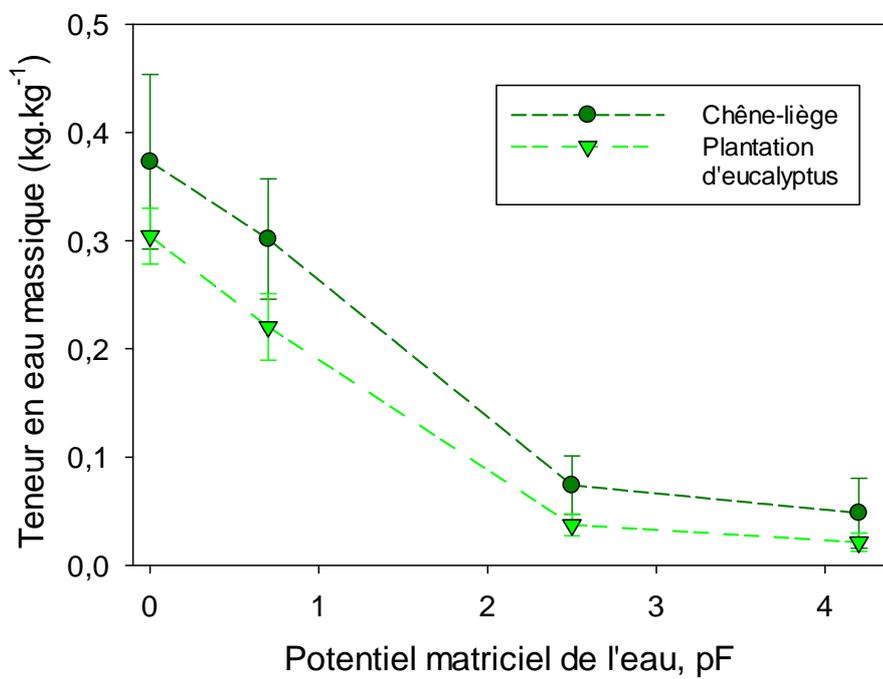
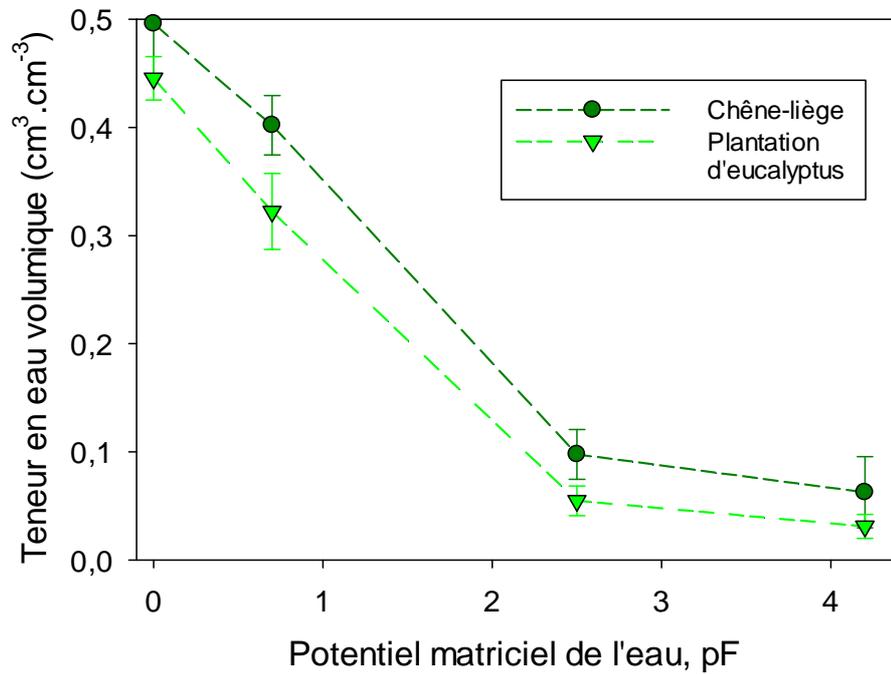


Figure 12: Comparaison des courbes de rétention d'eau obtenues en laboratoire. Moyenne des teneurs en eau massique et volumique, en fonction potentiel matriciel de l'eau exprimé en pF. Intervalle de confiance de la moyenne à 95%.

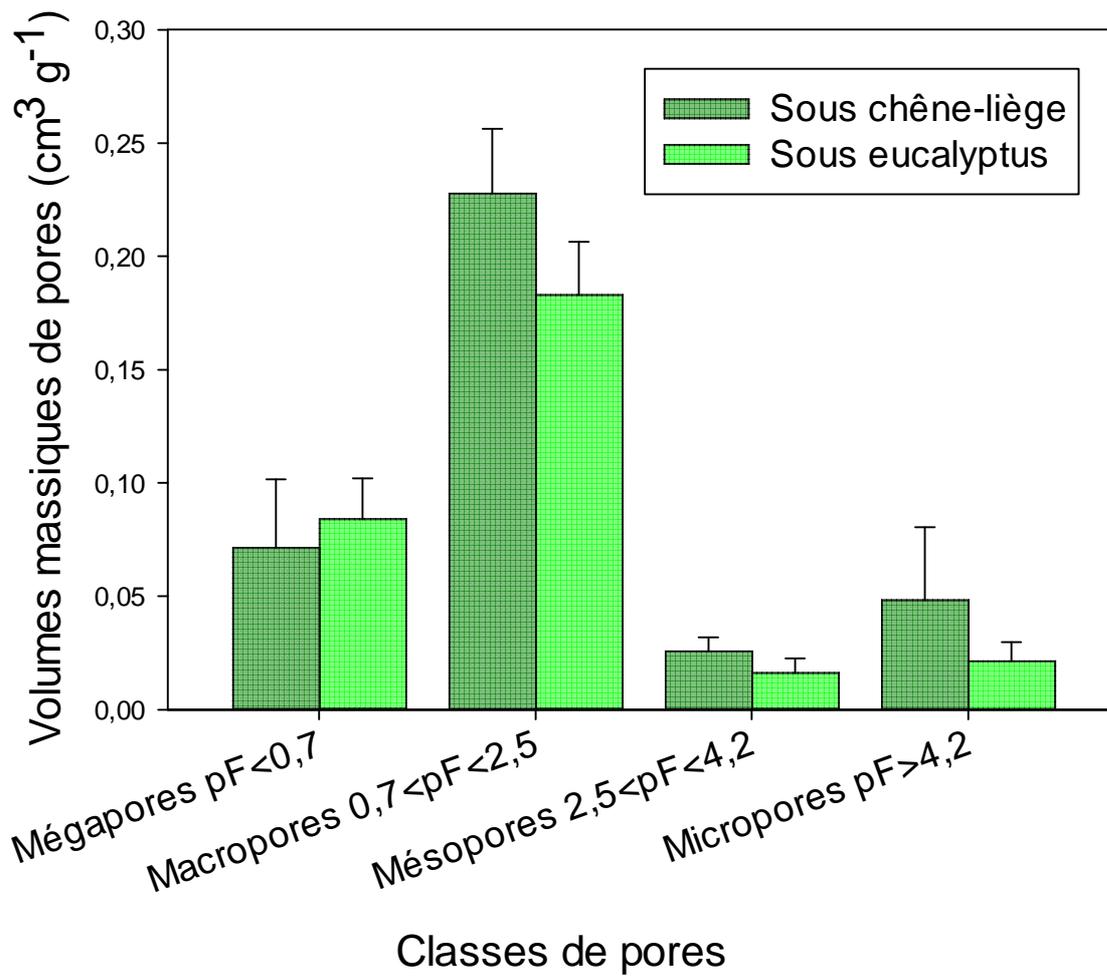


Figure 13: Distribution du volume poral en quatre classes de pores : micropores saturés en eau à pF 4,2 ; mésopores retenant l'eau entre pF 2,5 et pF 4,2 ; macropores retenant l'eau entre pF 0,7 et pF 2,5 ; mégapores non saturés en eau à pF 0,7. Moyenne (n=5) de chaque classe de pores et intervalle de confiance à 95% associé.

<b>Variabes</b>	<b>Différence entre les moyennes (Chêne - Eucalyptus)</b>	<b>P-value du test t de comparaison de moyennes</b>
Densité de solide	0,025	0,305 ( <sup>NS</sup> )
Teneur en argile (g.100g <sup>-1</sup> )	-1,16	0,010 (**)
Teneur en limons fins (g.100g <sup>-1</sup> )	3,04	8,10 10 <sup>-5</sup> (***)
Teneur en limons grossiers (g.100g <sup>-1</sup> )	1,43	0,222 ( <sup>NS</sup> )
Teneur en sables fins (g.100g <sup>-1</sup> )	1,15	0,346 ( <sup>NS</sup> )
Teneur en sables grossiers (g.100g <sup>-1</sup> )	-4,47	0,079 (.)
Volume massique poral total (cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> )	0,069	0,076 (.)
Volume massique d'eau à pF0,7 (cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> )	0,081	0,007 (**)
Volume massique d'eau à pF2,5 (cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> )	0,037	0,008 (**)
Volume massique d'eau à pF4,2 (cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> ) = Volume massique microporal	0,027	0,081 (.)
Volume massique non saturé en eau à pF0,7 (cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> ) mégaporal	-0,013	0,346 ( <sup>NS</sup> )
Volume massique d'eau drainée entre pF0,7 et pF2,5 (cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> ) macroporal	0,045	0,010 (**)
Volume massique d'eau drainée entre pF2,5 et pF4,2 (cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> ) mésoporal	0,009	0,017 (**)
Porosité totale (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	0,051	0,026 (*)
Teneur en eau volumique à pF0,7 (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	0,080	0,001 (***)
Teneur en eau volumique à pF2,5 (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	0,043	0,002 (**)
Teneur en eau volumique à pF4,2 (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> ) = microporosité	0,032	0,036 (*)
Porosité non saturée en eau à pF0,7 (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	-0,029	0,092 (.)
Macroporosité drainée entre pF0,7 et pF2,5 (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	0,037	0,013 (*)
Mésoporosité drainée entre pF2,5 et pF4,2 (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	0,011	0,066 ( <sup>NS</sup> )

Tableau 6 : Résultat du test t de comparaison de moyennes des différentes grandeurs physiques déterminées pour la couche de sol 5-10 cm sous chêne-liège et sous eucalyptus (P-value <0,001 (\*\*\*) effet très significatif du facteur ; 0,001 <P <0,01 (\*\*) significatif ; 0,01 <P <0,05 peu significatif (\*) ; 0,05 <P <0, 1 (.) très peu significatif ; >0,1 (NS : effet non significatif).

## **En conclusion**

Les observations et mesures réalisées sur le terrain, les plus simples à mettre en œuvre dans une courte mission, ont permis de vérifier que le dispositif expérimental de Hana Nabil n'est pas biaisé par une différence de milieu physique entre les deux écosystèmes. Les variations spatiales observées y sont semblables, tant en ce qui concerne le relief que le sol. Les changements de morphologie du sol ne sont cependant pas négligeables au sein du dispositif, donc sur de courtes distances. Ces changements se manifestent en premier lieu sur la couleur du sol. Liés à la topographie, ils témoignent de différences de régime hydrique du sol dans les conditions climatiques passées et vraisemblablement actuelles. Seule une étude de fonctionnement hydrique du sol, aux échelles de temps saisonnière et de l'événement pluvieux, permettrait de le vérifier par le suivi simultané des précipitations et de la variation spatiale du potentiel de l'eau du sol. Les profils hydriques réalisés, sur une période courte, indiquent déjà une forte variabilité spatiale de l'état hydrique du sol, sans qu'il soit possible d'établir un lien certain avec la morphologie du sol. Ce lien pourrait être recherché par une analyse structurale de la couverture pédologique réalisée le long de toposéquences (transects) couplant des observations morphologiques et des mesures géophysiques.

Les mesures de densité apparente et d'humidité du sol répétées dans les différentes parcelles du dispositif ont mis en évidence un changement d'état physique du sol entre la subéraie et les plantations d'eucalyptus. Ce changement se manifeste par un tassement, plus marqué et significatif en sub-surface (5-10 cm). Les mesures de rétention de l'eau au laboratoire montrent que le tassement affecte tant la macroporosité que la mésoporosité. Ce tassement est probablement lié à la gestion des parcelles, c'est-à-dire aux pratiques sylvicoles. Il sera intéressant de rechercher les liens avec à la fois les changements de constitution du sol (notamment organique) et de biodiversité.

# ANNEXE

# Eucalyptus

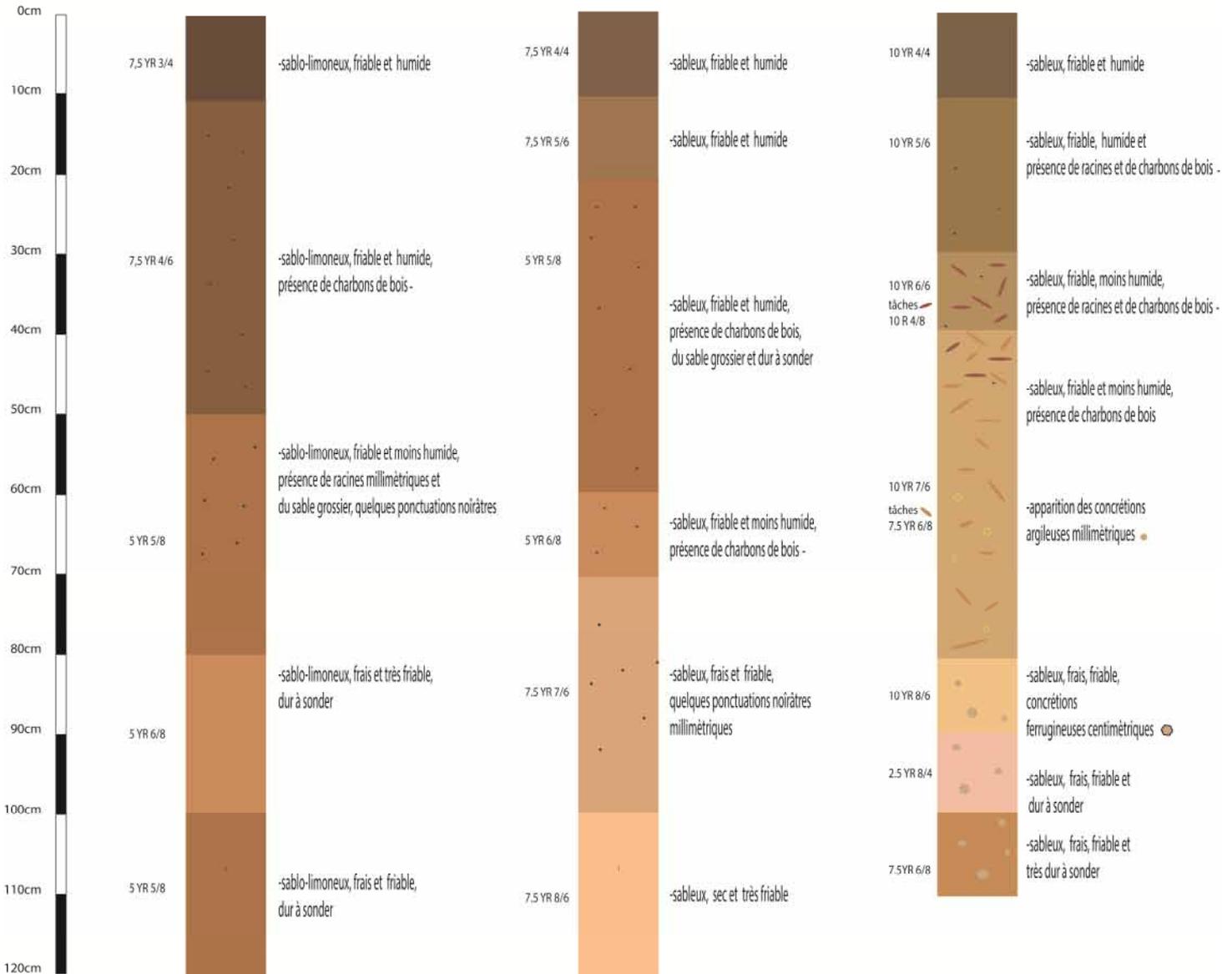
## Parcelle: E3

### Date: 08/03/16

Date: 08/03/16  
 Eucalyptus Parcelle: E3 Sondage: E3-1  
 Coordonnées GPS: UTM 020 ; Zone 29S  
 Longitude: 0754862 Latitude: 3786582 Altitude: 94 m

Date: 08/03/16  
 Eucalyptus Parcelle: E3 Sondage: E3-2bis  
 Coordonnées GPS: UTM 024 ; Zone 29S  
 Longitude: 0754721 Latitude: 3786831 Altitude: 94m

Date: 08/03/16  
 Eucalyptus Parcelle: E3 Sondage: E3-2  
 Coordonnées GPS: UTM 023 ; Zone 29S  
 Longitude: 0754668 Latitude: 3786899 Altitude: 94m



### **Sondage : E3-1**

**Environnement** : Parcelle d'Eucalyptus coupés en août 2015, désouchage plus récent

**Géomorphologie** : Plane (pente très faible)

**Climat** : pluie la veille ; journée ensoleillée

Sol brun vif (7,5YR4/6) à rouge jaunâtre (5YR5/8), sableux (voire sablo-limoneux), humide à frais, friable, sans concrétion ferrugineuse.

### **Sondage : E3-2bis (entre E3-1 et E3-2)**

**Environnement** : Parcelle d'Eucalyptus coupés en août 2015, désouchage plus récent

**Géomorphologie** : Plane (pente douce)

**Climat** : pluie la veille ; journée ensoleillée

Sol brun vif (7,5YR5/6), rouge jaunâtre (5YR5/8) à 20cm, jaune rougeâtre (7,5YR7/6 à 8/6), sableux, humide à sec (dès 90cm), friable, sans concrétion ferrugineuse.

### **Sondage : E3-2 (08-66)**

**Environnement** : Parcelle d'Eucalyptus coupés en août 2015, désouchage plus récent

**Géomorphologie** : dépression (système ouvert ? vers un axe de drainage principal), relief doux (pente faible)

Sol brun jaunâtre (10YR5/6) à jaune brunâtre (10YR6/6) à 30cm, puis jaune (10YR7/6 à 7/8) hétérogène (taches jaune rougeâtre 7,5YR6/8) dès 40cm, sableux, humide à sec (à la base), moins friable dès 1m, concrétions ferrugineuses indurées rougeâtre sombre à 60cm, abondantes à 90cm.

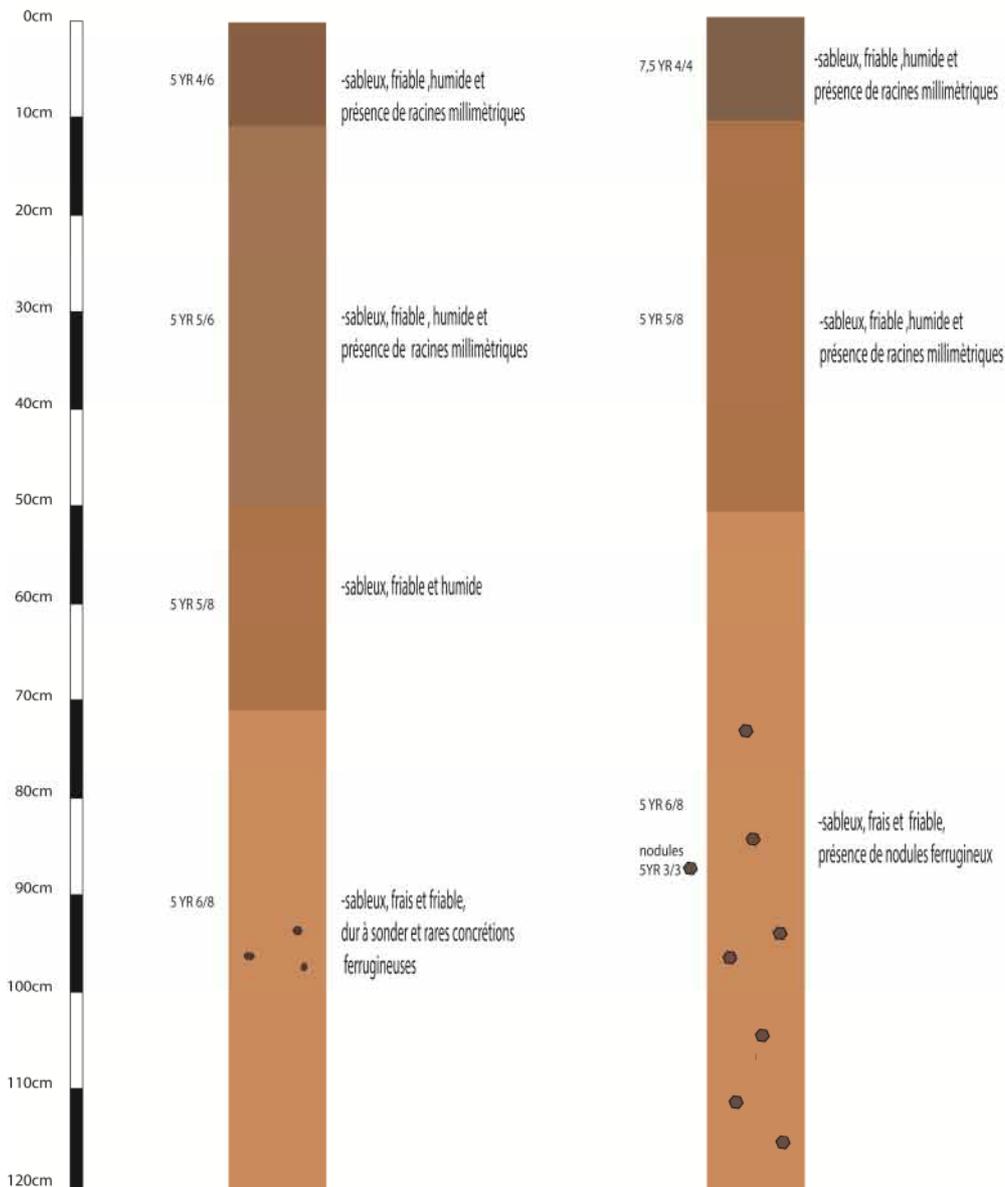
# Eucalyptus

Parcelle: E2

Date: 09/03/16

Date: 09/03/16  
Eucalyptus Parcelle: E2 Sondage: E2-1  
Coordonnées GPS: UTM 028 ; Zone 29S  
Longitude: 0754198 Latitude: 3786838 Altitude: 98 m

Date: 09/03/16  
Eucalyptus Parcelle: E2 Sondage: E2-2  
Coordonnées GPS: UTM 030 ; Zone 29S  
Longitude: 0754063 Latitude: 3787124 Altitude: 99m



### **Sondage : E2-1**

**Environnement** : Parcelle d'Eucalyptus coupés en août 2015, désouchage plus récent

**Géomorphologie** : Plane (pente douce)

**Climat** : journée ensoleillée, ciel bleu

Sol rouge jaunâtre (5YR5/6 à 6/8 à 70cm), sableux, humide à frais, friable, rares concrétions ferrugineuses.

### **Sondage : E2-2**

**Environnement** : Parcelle d'Eucalyptus coupés en août 2015, désouchage plus récent

**Géomorphologie** : Plane (pente douce)

**Climat** : journée ensoleillée

Sol rouge jaunâtre (5YR5/8) à jaune rougeâtre (5YR6/8) à 50cm, sableux, humide à frais, friable, concrétions ferrugineuses brun rougeâtre sombre abondantes à 70-90cm.

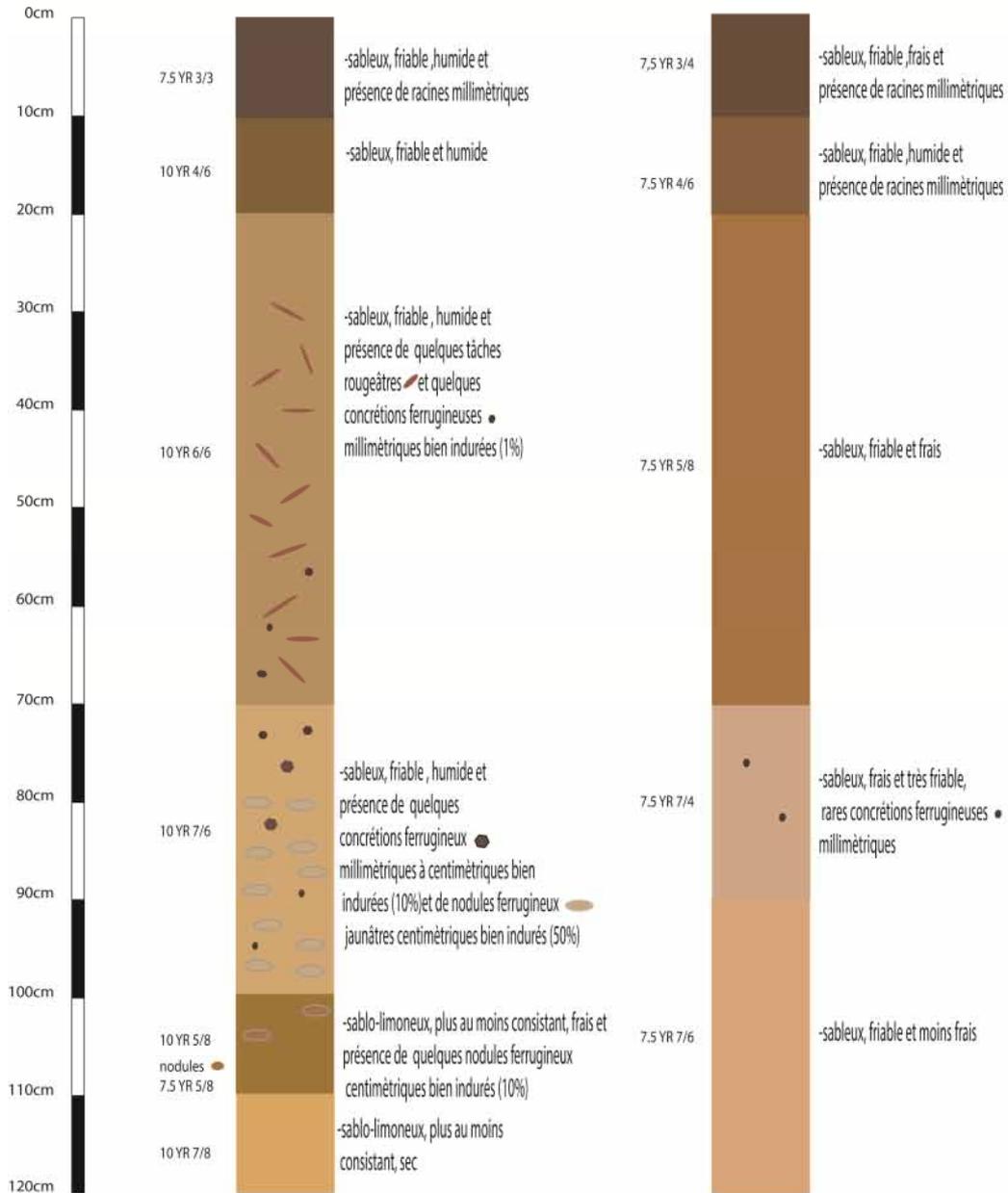
# Eucalyptus

Parcelle: E1

Date: 09/03/16

Date: 09/03/16  
 Eucalyptus Parcelle: E1 Sondage : E1-1  
 Coordonnées GPS : UTM 033 ; Zone 29S  
 Longitude : 0754023 Latitude : 3787281 Altitude : 99m

Date: 09/03/16  
 Eucalyptus Parcelle: E1 Sondage : E1-2  
 Coordonnées GPS : UTM 033 ; Zone 29S  
 Longitude : 0754023 Latitude : 3787281 Altitude : 95m



**Sondage : E1-1**

**Environnement** : Parcelle d'Eucalyptus coupés en août 2015, désouchage plus récent (parcelle 2)

**Géomorphologie** : dépression allongée, couloir, talweg

**Climat** : journée ensoleillée

Sol brun jaunâtre foncé (10YR4/6) à jaune brunâtre (10YR6/6) à 30cm, puis jaune (10YR7/6 à 7/8) hétérogène dès 70cm, sableux, humide à sec (à la base), moins friable dès 1m, concrétions ferrugineuses indurées rougeâtre sombre abondantes à 70-90cm.

**Sondage : E1-2**

**Environnement** : Parcelle d'Eucalyptus coupés en août 2015, désouchage plus récent (parcelle 2)

**Géomorphologie** : dépression allongée, couloir, talweg

**Climat** : journée ensoleillée

Sol brun vif (7,5YR4/6 à 5/8) à jaune rougeâtre (7,5YR7/6) à 90cm, sableux, humide à frais, friable, rares concrétions ferrugineuses.

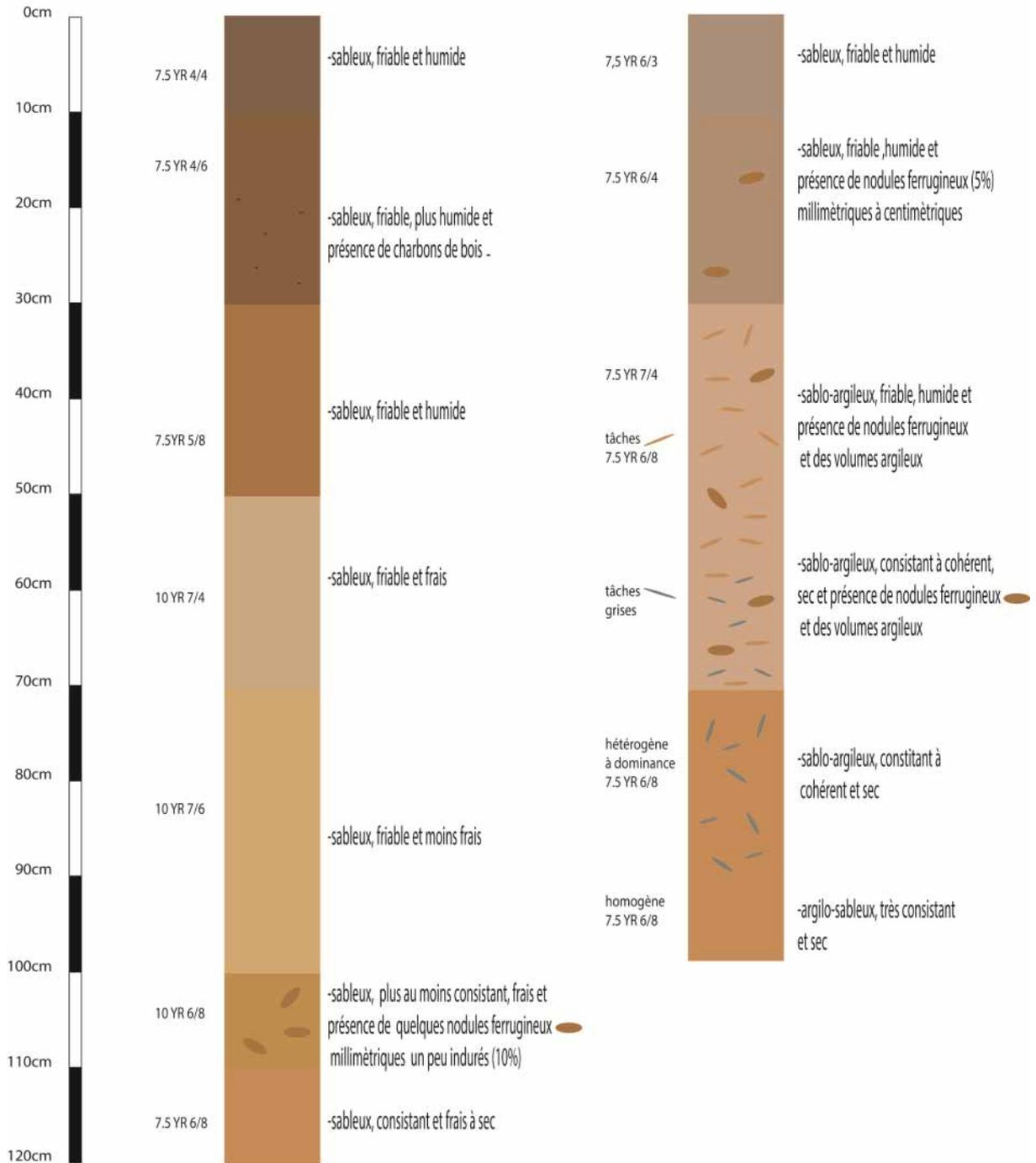
## Chêne-liège

Parcelle: C4\_2

Date: 09/03/16

Date: 09/03/16  
 Chêne-liège Parcelle: C4\_2 Sondage: C4\_2-1  
 Coordonnées GPS: UTM 036; Zone 29S  
 Longitude: 0752176 Latitude: 3785761 Altitude: 102 m

Date: 09/03/16  
 Chêne-liège Parcelle: C4\_2 Sondage: C4\_2-2  
 Coordonnées GPS: UTM 037; Zone 29S  
 Longitude: 0752218 Latitude: 3785902 Altitude: 106m



### **Sondage : C4\_2-1**

**Environnement** : Parcelle de chêne-liège, strate herbacée assez rase, surpâturage

**Géomorphologie** : surface à pente douce, relativement haute dans le paysage

Sol brun vif (**7,5YR4/6**) à jaune (**10YR7/6**) puis jaune rougeâtre (**7,5YR6/8**), homogène, sableux (sablo-limoneux ?), humide à frais (sec), friable (plus consistant à la base), rares concrétions ferrugineuses.

### **Sondage : C4\_2-2**

**Environnement** : entouré de chêne-liège, pas d'humus, état de surface sableux

**Géomorphologie** : en bordure d'une daya : dépression circulaire

**Climat** : journée ensoleillée (avant agréable pique-nique)

Sol brun clair (**7,5YR6/4**), à rose (**7,5YR7/4**) à 30 cm, hétérogène (taches jaune rougeâtre **7,5YR6/8** deviennent dominantes en profondeur) dès 20cm, sableux à argilo-sableux, humide à sec, friable à consistant dès 50cm, concrétions ferrugineuses dès 10 cm.

## Chêne-liège

Parcelle: C9\_1

Date: 09/03/16

Date: 09/03/16

Chêne-liège

Parcelle: C9\_1

Sondage: C9\_1-1

Coordonnées GPS : UTM 038 ; Zone 29S

Longitude : 0752001 Latitude : 3785142 Altitude : 104 m

Date: 09/03/16

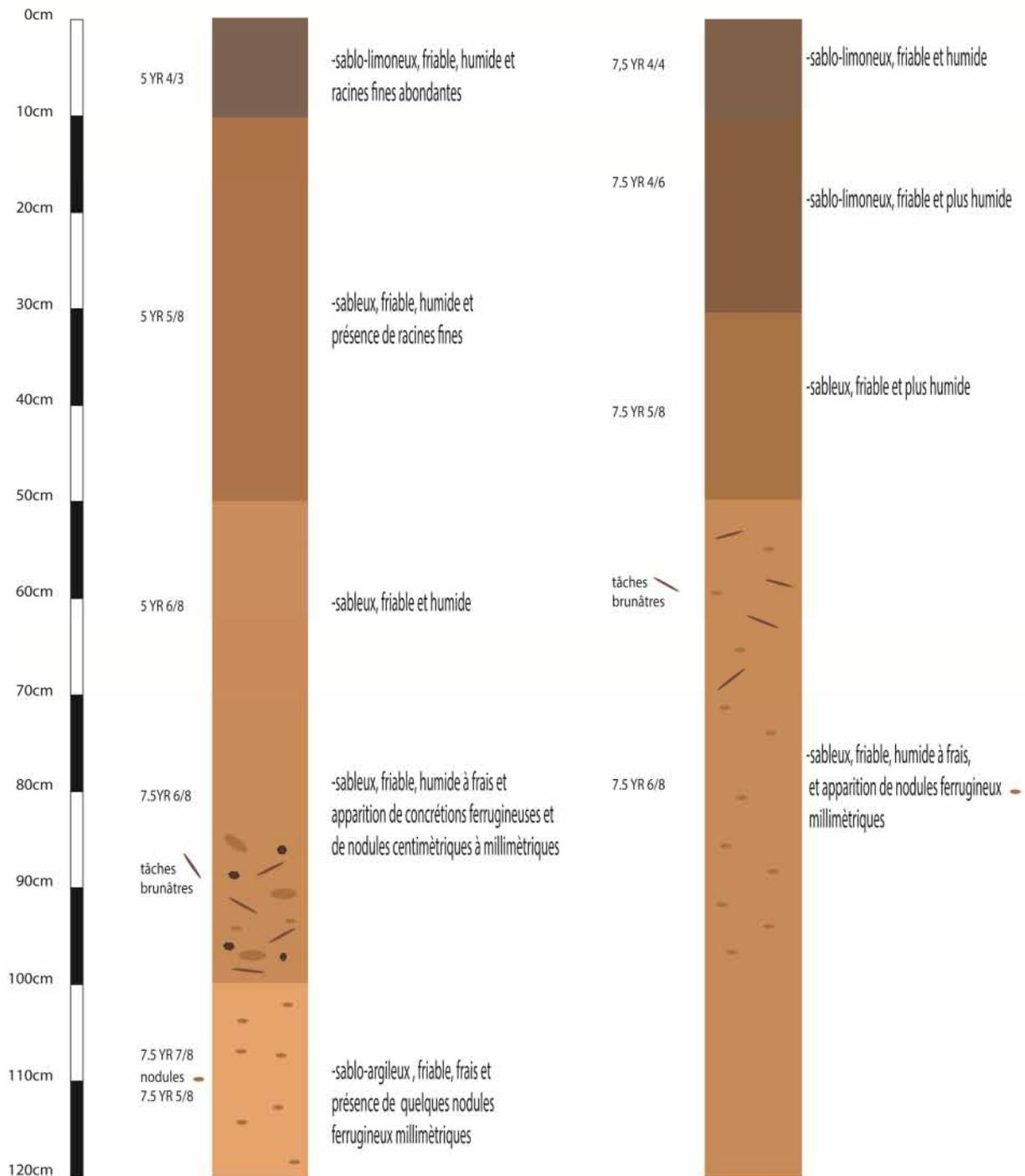
Chêne-liège

Parcelle: C9\_1

Sondage: C9\_1-2

Coordonnées GPS : UTM 039 ; Zone 29S

Longitude : 0752022 Latitude : 3784978 Altitude : 109m



**Sondage : C9\_1-1**

**Environnement** : Parcelle de chêne-liège, surpâturage

**Géomorphologie** : surface à pente douce, relativement haute dans le paysage

Sol rouge jaunâtre (**5YR5/8**), jaune rougeâtre (**5YR6/8** à **7,5YR6/8**) dès 50cm, sableux (plus argileux à 1m ?), humide à frais, friable, rares concrétions ferrugineuses.

**Sondage : C9\_1-2**

**Environnement** : Parcelle de chêne-liège, surpâturage

**Géomorphologie** : surface à pente douce, relativement haute dans le paysage Sol brun vif (**7,5YR 4/6** à **5/8**), jaune rougeâtre (**7,5YR6/8**) dès 50cm, sableux, humide à frais, friable, rares concrétions ferrugineuses.

## Chêne-liège

Parcelle: C4\_1

Date: 09/03/16

Date: 09/03/16

Chêne-liège

Parcelle: C4\_1

Sondage: C4\_1-1

Coordonnées GPS : UTM 040 ; Zone 29S

Longitude : 0751624 Latitude : 3785456 Altitude : 104 m

Date: 09/03/16

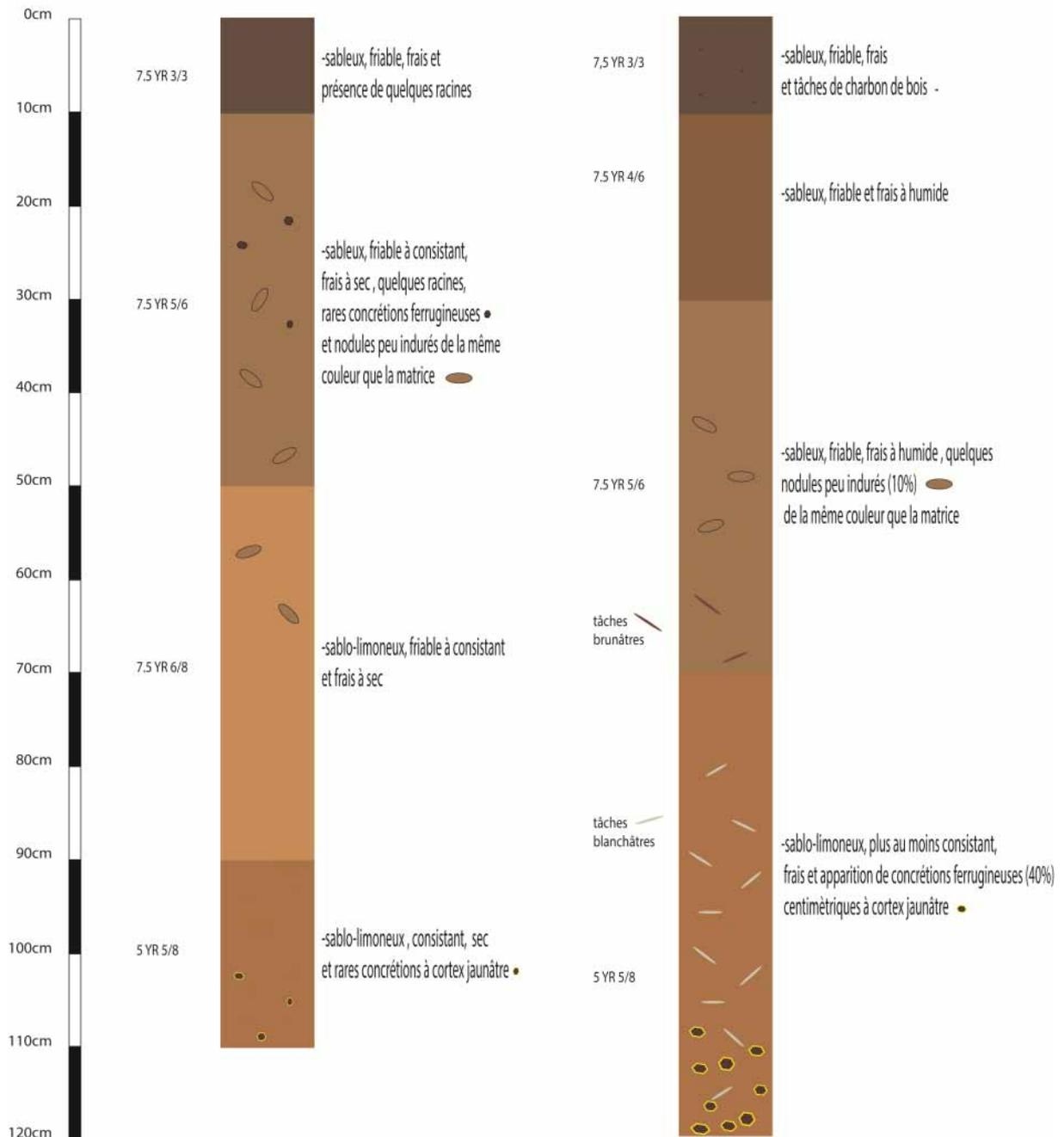
Chêne-liège

Parcelle: C4\_1

Sondage: C4\_1-2

Coordonnées GPS : UTM 041 ; Zone 29S

Longitude : 0751672 Latitude : 3785714 Altitude : 103m



### **Sondage : C4\_1-1**

**Environnement** : Parcelle de chêne-liège : pâturage intensif (vaches), beaucoup de Doum

**Géomorphologie** : idem 10

Sol brun vif (**7,5YR 5/6**), jaune rougeâtre (**7,5YR6/8**) à 50cm, à rouge jaunâtre (**5YR5/8**) à 90cm, sableux (sablo-limoneux ?), frais à sec, friable à plus consistant dès 70cm, rares concrétions ferrugineuses.

### **Sondage : C4\_1-2 (profil 13)**

**Environnement** : Parcelle de chêne-liège, moins de doum que dans point précédent, surpâturage

**Géomorphologie** : pente faible, proximité (100 m) d'une grande daya

Sol brun vif (**7,5YR4/6** à **5/6**) à rouge jaunâtre (**5YR5/8**), sableux (sablo-limoneux), humide à frais, friable (plus consistant à la base), abondantes concrétions ferrugineuses à la base.

## Références bibliographiques

Lepoutre, Bernard, et M. Combes. 1967. « La Mamora ». *Congrès de pédologie méditerranéenne, 2e part*, 279–295.

Nafaa, R. 1997. « Dynamique du milieu naturel de la Mâamora et de ses bordures. Paléoenvironnements et dynamique actuelle ». Thèse de Doctorat d'État, Université Mohammed V, Rabat.

Zouhri Lahcen, Christian Lamouroux, Daniel Vachard, et Alain Piqué. 2001. « Les corps perméables plio-quatérnaires de la Mamora (Maroc). Géométrie et influence structurale ». *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science* 332 (1): 1–4.

## Remerciements

Nos sincères remerciements à Madame Corinne Rouland, directrice de l'équipe ECOTERME, pour sa participation à la réalisation de cette mission.

Nous exprimons nos sincères remerciements à Monsieur AAFI, directeur de l'ENFI et Monsieur BEN JELLOUN directeur d'étude de l'ENFI qui ont mis tous les moyens logistiques et techniques pour l'élaboration de cette mission dans les meilleures conditions.

Et bien sûr nous assurons nos profondes gratitudee à nos partenaires du HCEFLCD, précisément ceux de la Direction Régionale du Nord-Ouest – Kénitra, La Direction Provinciale de Sidi Slimane et le Centre de Conservation de Sidi Yahya-Est et enfin au chef du secteur Ain Aassou qui, par leurs interventions depuis le haut responsable jusqu'au chef du secteur, ont été la clé de la réussite de notre mission en mettant à notre disposition les informations et l'accessibilité facile et précise sur le terrain.