

# **Terres crues en Bretagne : composition par analyse granulométrique**

*Document de travail IRMAR - OSUR*

Éric Darrigrand, Fabrice Mahé, François Pustoc'h, Yoann Chantreau, Simon Puaud

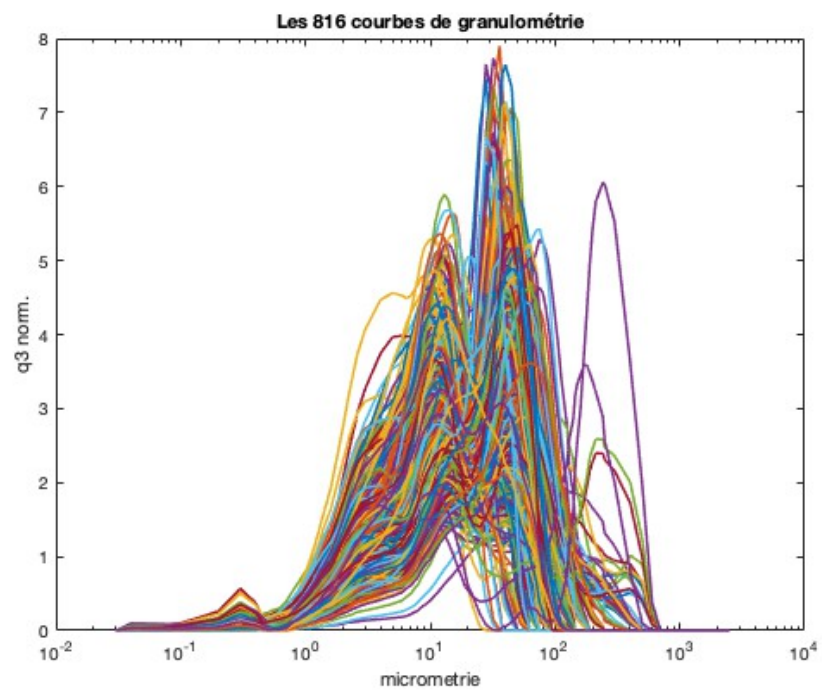
31 mai 2023

Ce travail commencé en 2018 a donné lieu à plusieurs essais d'analyse en commençant par une analyse de la composition en Altérites et Loess sur la base de calcul explicite de la combinaison linéaire de courbes de références pour ces éléments. Pour améliorer et généraliser plus aisément l'analyse, une recherche optimale des composantes positives des courbes de granulométrie a été élaborée en minimisant le reste de l'écart entre la courbe et la combinaison linéaire des courbes de référence. Elle a d'abord été obtenue pour les 2 composantes ci-dessus, puis pour les 6 composantes suivantes en fonction de l'appartenance à un intervalle du diamètre correspondant à un pic de la courbe :

1. Argiles fines pour un pic inférieur à 1 micron
2. Argiles classiques pour un pic entre 1 et 7 microns
3. Altérites pour un pic entre 7 et 20 microns
4. Loess pour un pic entre 20 et 55 microns      ou      4b. Limons grossiers Loess      ou  
4c. Limons grossiers
5. Sables fins pour un pic entre 55 et 100 microns
6. Sables grossiers pour un pic au-dessus de 100 microns

Nous présentons tout d'abord le calcul des courbes de référence pour chacun des composants, puis la méthode de calcul de la composition et ses résultats. L'ancienne courbe de référence des Limons Grossiers est renommée Limons Grossiers Loess car déterminés à partir du pic des courbes de loess et une nouvelle courbe de référence des Limons Grossiers est construite à partir de nouvelles courbes spécifiques aux limons grossiers (à partir de prélèvement en pleine terre et pas sur des bâtiments) fournis en février 2023. Il y a donc 3 calculs de décomposition effectués correspondant aux cas 4a, 4b et 4c ci-dessus.

Ci-dessous est donné une représentation des 816 courbes du fichier initial mais nous utilisons dans ce qui suit le nouveau fichier de 853 courbes du 02/02/2023 fourni par Fañch et complété par les 2 courbes Bla0011 et Bla0054 qui sont utilisées pour la courbe de référence des limons grossiers.



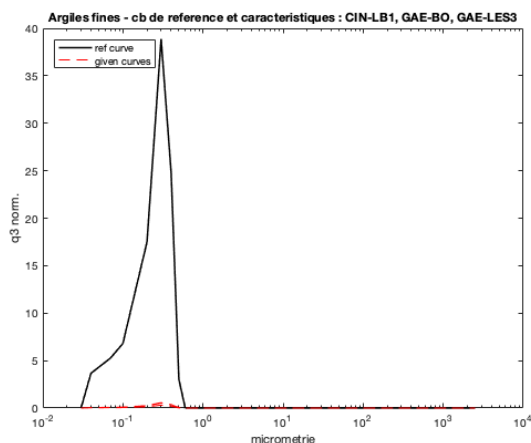
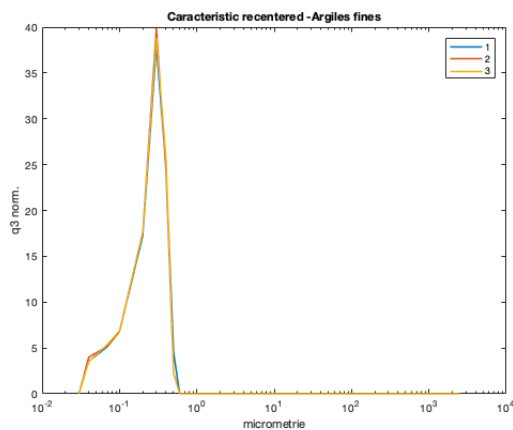
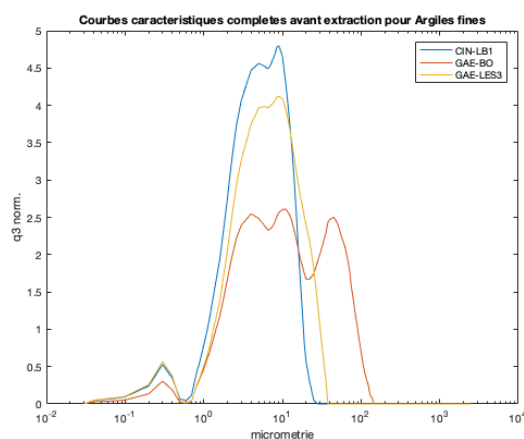
## 1) Calcul des courbes de référence

Pour chaque composant des courbes caractéristiques sont sélectionnées. Si le composant ne se trouve pas seul dans les courbes, celui-ci est isolé en annulant les courbes de part et d'autre et en appliquant une transition linéaire si besoin. La plupart des courbes caractéristiques ont été fournies par François Pustoc'h, mais certaines manquantes ont été recherchées parmi les 809 disponibles et validées par Fañch.

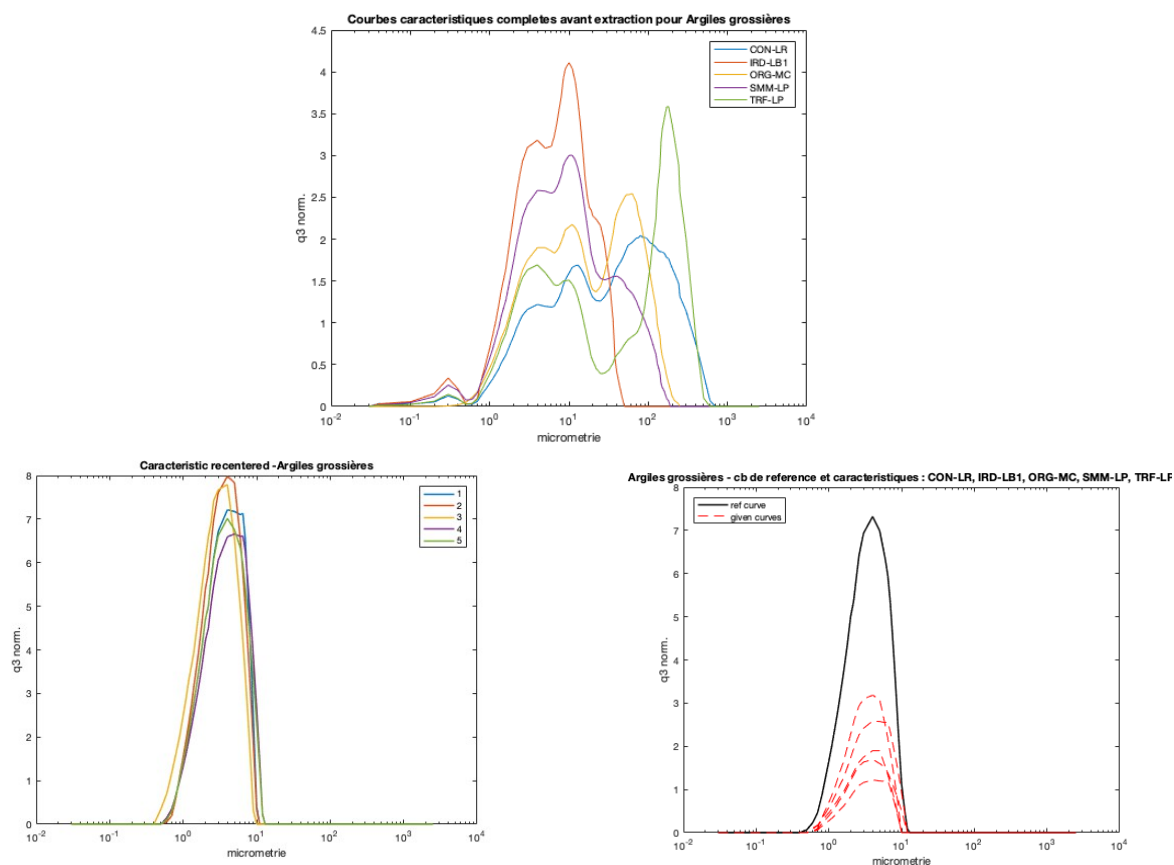
Pour chaque courbe caractéristique normalisée, on détermine le pic puis on fait la moyenne de tous les pics obtenus pour avoir le pic de référence pour ce composant. Chacune des courbes est alors recentrée sur ce pic de référence avant de faire la moyenne et de normaliser.

Dans les sous-sections suivantes, on donne les courbes sélectionnées, les courbes caractéristiques extraites et recentrées, la courbe de référence obtenue avec les courbes caractéristiques.

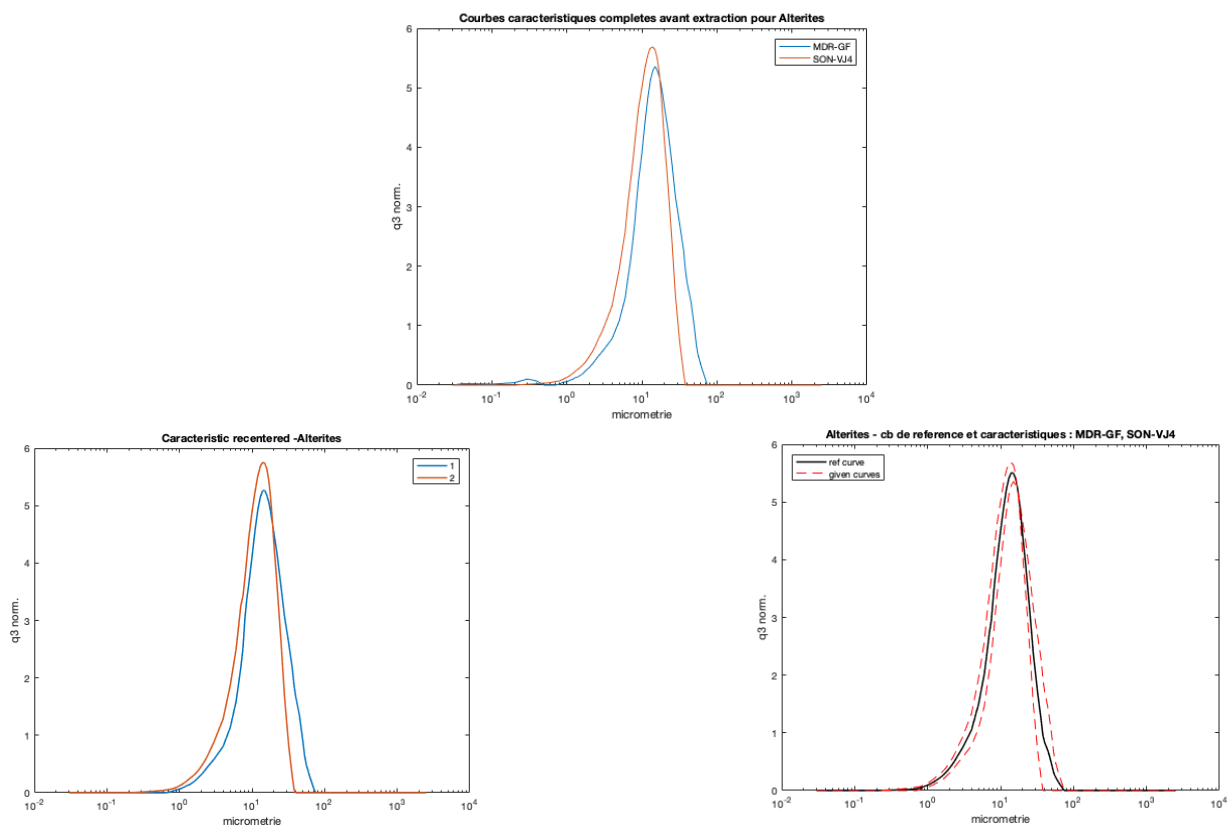
### 1.1) Argiles fines pour un pic inférieur à 1 micron : CIN-LB1, GAE-LES3, GAE-BO



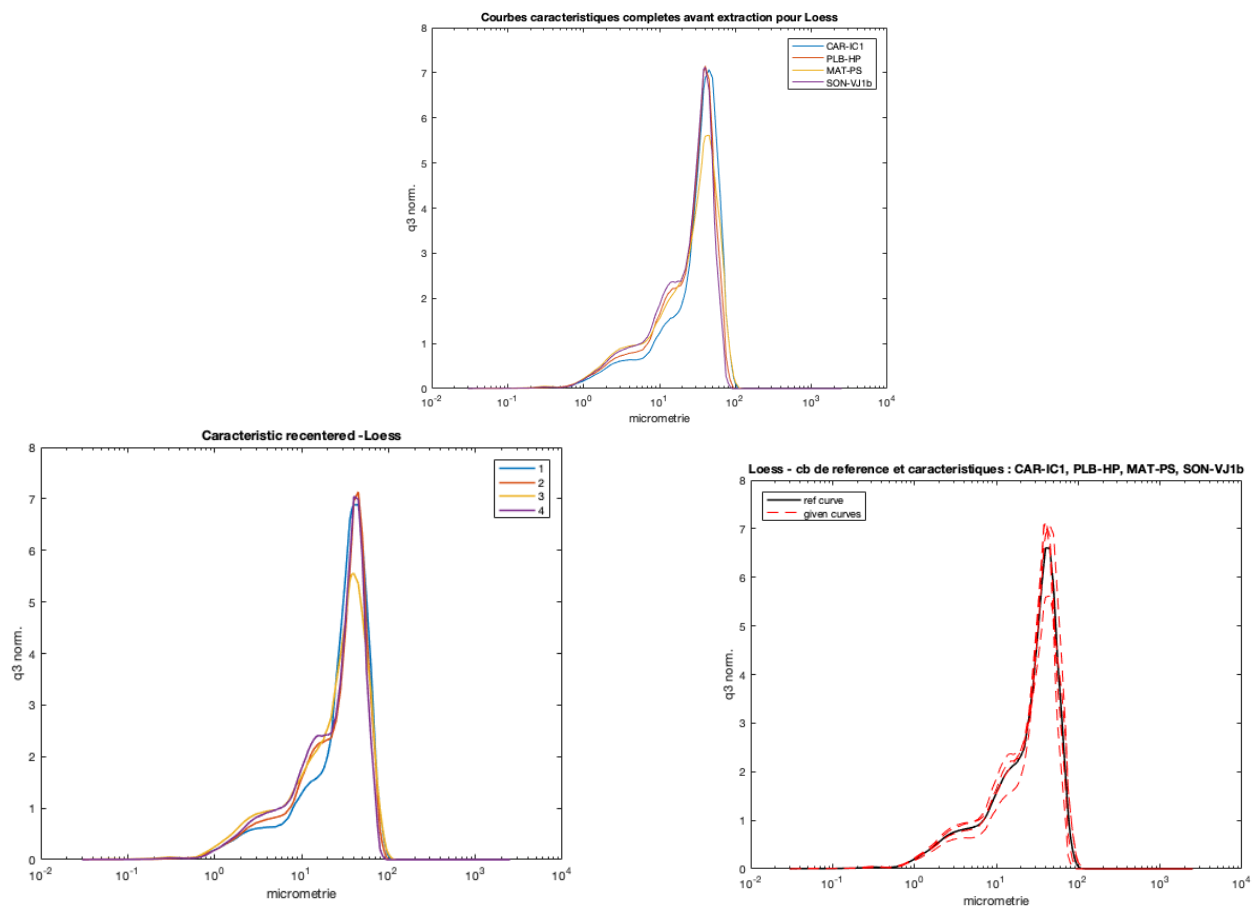
## 1.2) Argiles grossières pour un pic entre 1 et 7 microns : CON-LR, IRD-LB1, ORG-MC, SMM-LP, TRF-LP



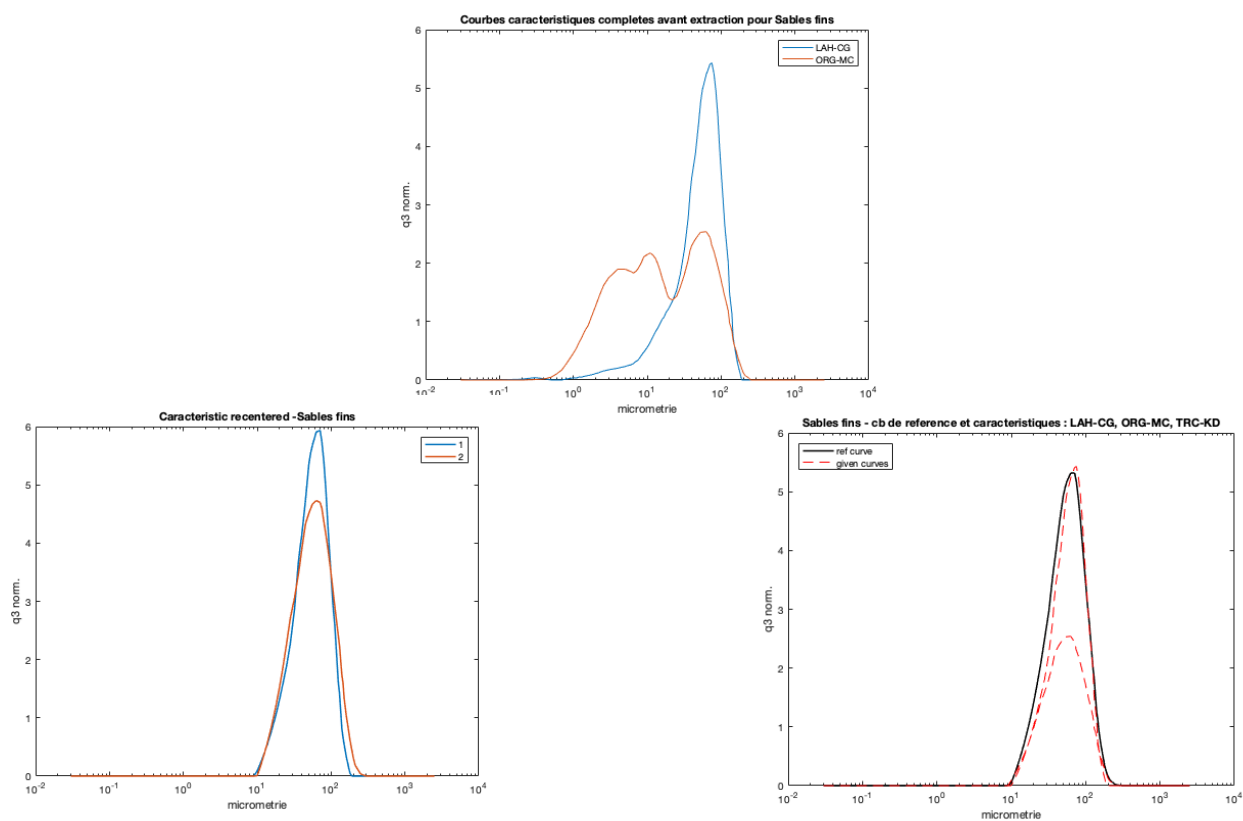
## 1.3) Altérites pour un pic entre 7 et 20 microns : MDR-GF, SON-VJ4



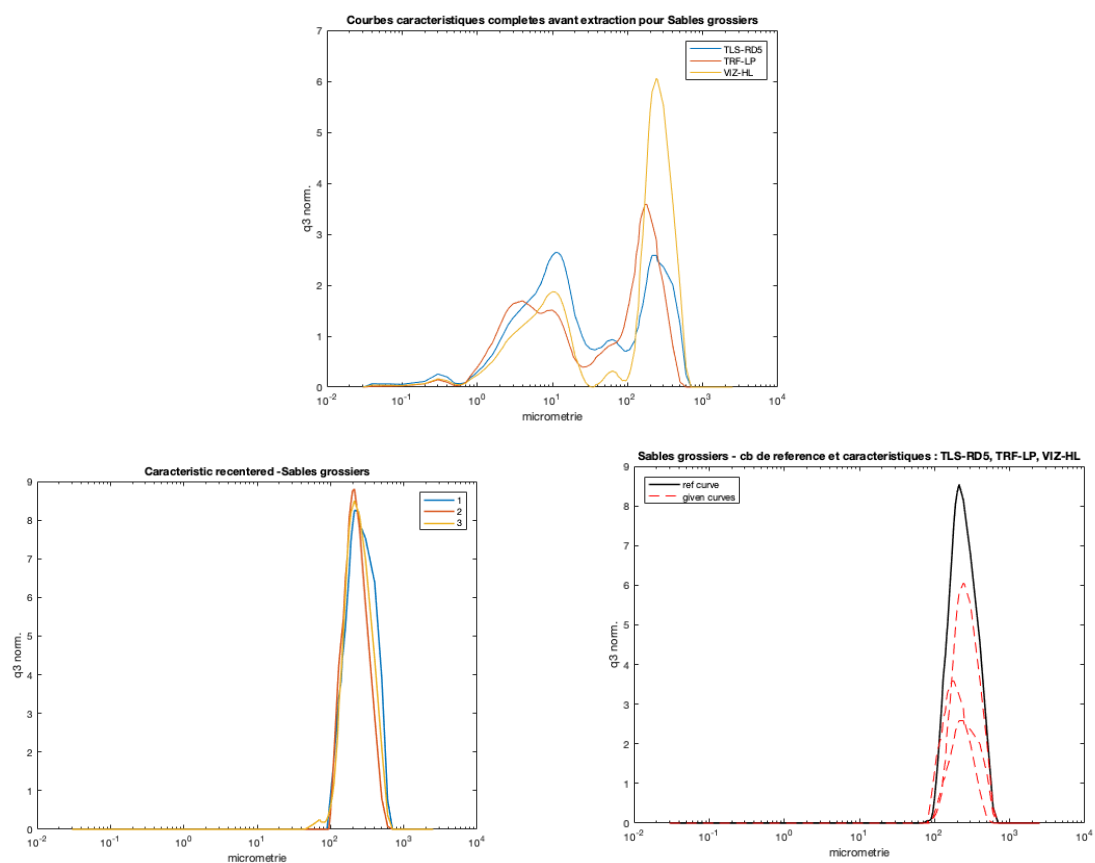
#### 1.4) Loess pour un pic entre 20 et 55 microns : CAR-IC1, PLB-HP, MAT-PS, SON-VJ1b



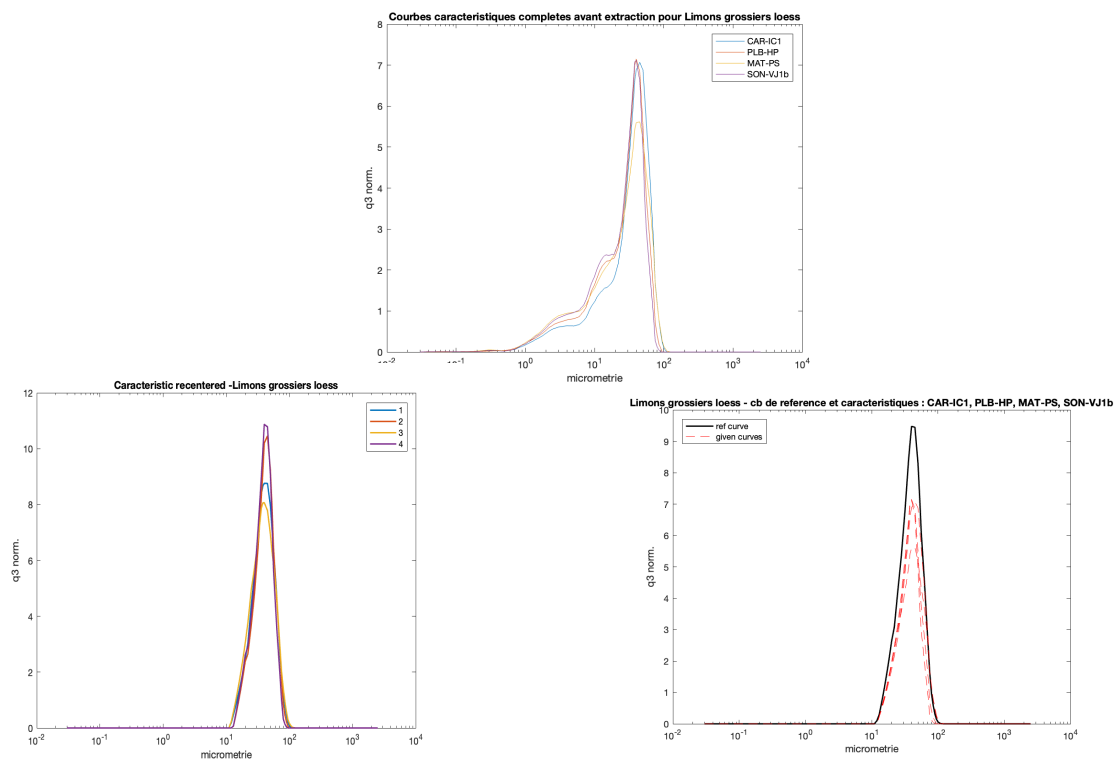
#### 1.5) Sables fins pour un pic entre 55 et 100 microns : LAH-CG (75), ORG-MC (63)



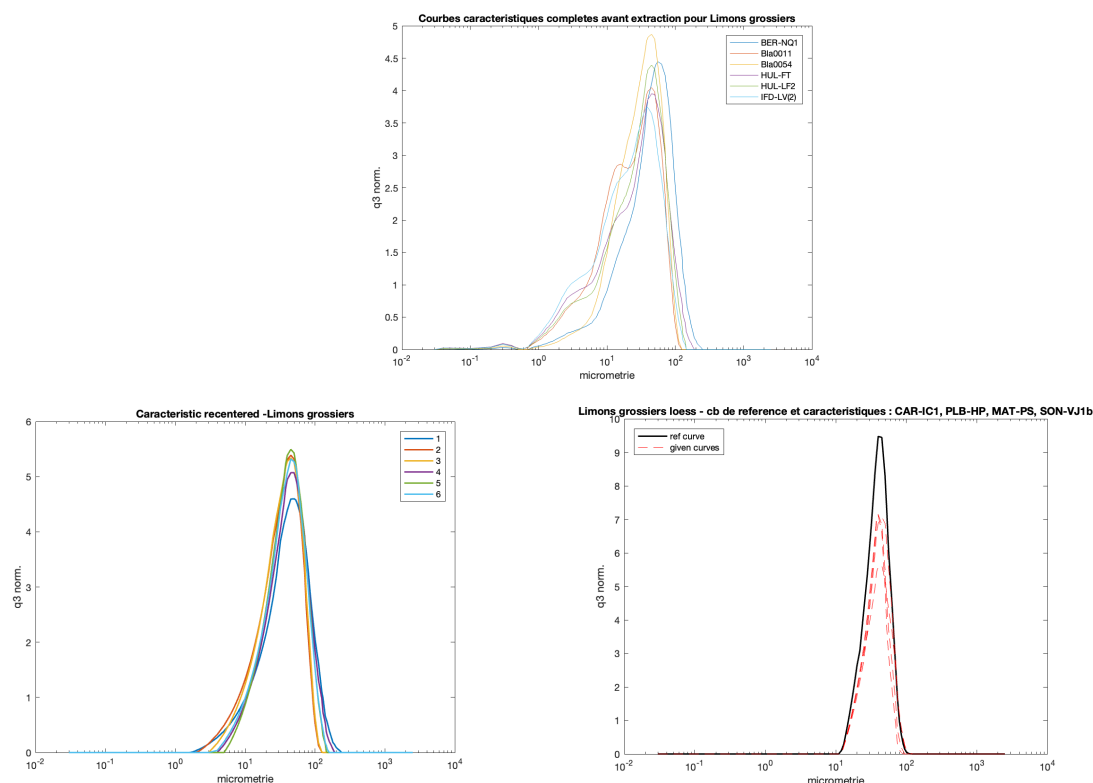
**1.6) Sables grossiers pour un pic au-dessus de 100 microns : TLS-RD5, TRF-LP, VIZ-HL**



**1.7) Limons Grossiers Loess en remplacement des Loess pour un pic entre 20 et 55 microns : CAR-IC1, PLB-HP, MAT-PS, SON-VJ1b**



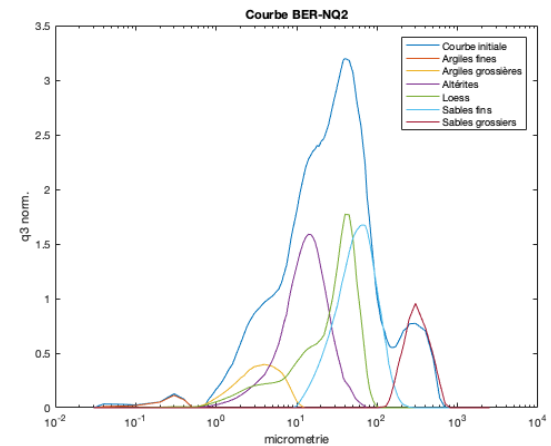
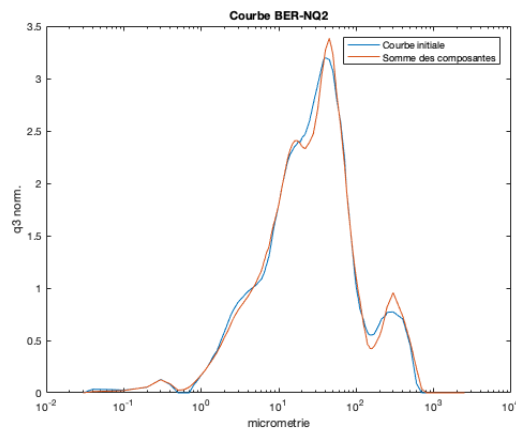
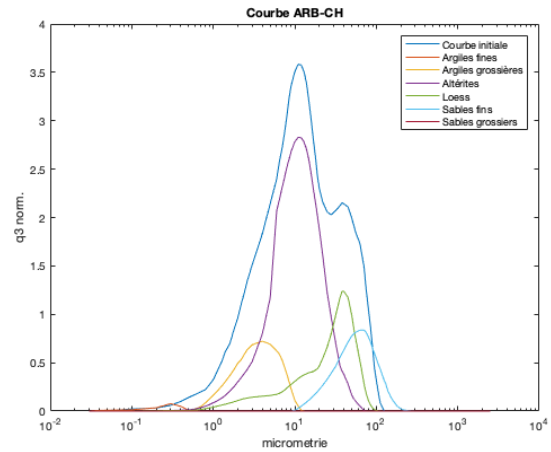
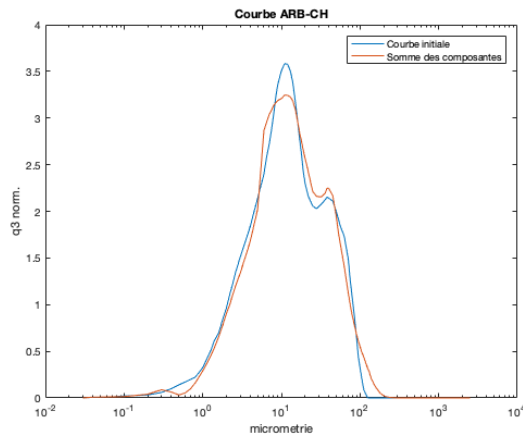
## 1.8) Limons Grossiers à partir des courbes fournies en février 2023 : BER-NQ1, Bla0011, Bla0054, HUL-FT, HUL-LF2, IFD-LV(2)



## 2) Calcul de la composition des terres crues

Pour une courbe donnée à analyser, nous cherchons par minimisation une combinaison linéaire des 6 courbes de référence ci-dessus, en ajustant la courbe de référence sur le pic correspondant quand il existe. S'il n'y a pas de pic pour un composant donné, on utilise la courbe de référence telle quelle. On utilise la fonction de minimisation `fmincon` de Matlab qui permet une minimisation sous contraintes (de positivité des variables ici). Plusieurs algorithmes sont disponibles : nous utilisons SQP (pour Sequential quadratic programming) plutôt que l'algorithme par défaut de `Fmincon` « Interior Point » qui n'est pas assez précis (il donne des composantes non nulles pour les sables grossiers alors que la courbe initiale est nulle).

Le calcul pour les courbes ayant servi pour le calcul des courbes de références semble correct. Globalement, cela fonctionne de manière satisfaisante comme on peut le voir sur les deux exemples ci-dessous. Les problèmes rencontrés précédemment ont été résolus par un ajustement des paramètres. Il y aurait un problème si une courbe présentait plusieurs pics dans un des intervalles mais cela ne semble pas le cas parmi les 809 courbes.



Les résultats sont enregistrés dans un fichier sous la forme du pourcentage de chaque composant de la courbe calculée et de l'erreur relative l2 entre la courbe calculée et la courbe donnée. Ces pourcentages sont calculés sur les intégrales de chacune des composantes rapportées à l'intégrale de la courbe totale. Deux calculs sont proposés dans 2 fichiers différents : le premier avec la courbe de référence des Loess (rescomp6cb\_Loess.txt ) et le second avec la courbe de référence des Limons grossiers (rescomp6cb\_LimonsGrossiers.txt ). Les deux calculs sont fait en échelle log10 pour les diamètres ( correspondant plus aux courbes de granulométrie représentées en échelle semilogx : rescomp6cb\_log10(X).txt ).

L'écart entre la courbe initiale et la courbe calculée est mesurée sous forme d'écart relatif de 3 manières (E = l2, L2 ou L1) avec

Définition de l'erreur relative l2 :

$$\text{Errel\_E} = \| \text{dataY} - \text{calcY} \|_E / \| \text{dataY} \|_E$$

où dataY est le vecteur des ordonnées de la courbe donnée, calcY les ordonnées de la courbe calculée et 3 types de normes :

- norme l2 est définie par la racine carrée de la somme du carré des composantes du vecteur

$$\| V \|_{l2} = \sqrt{\sum_i V_i^2}$$

- norme L2 est définie par la racine carrée de l'intégrale (calculée par la méthode des trapèzes) du carré de la fonction représentée par les valeurs du vecteur (toujours avec une échelle log10 pour les diamètres)

$$\| V(x) \|_{L2} = \sqrt{\int_{\text{diamètres}} |V(x)|^2 dx}$$

- norme L1 est définie comme l'intégrale de la valeur absolue de la fonction et correspond à la



surface entre la courbe et l'axe des abscisse (l'erreur relative dans ce cas correspond au rapport de la surface entre les 2 courbes sur la surface sous la courbe initiale) :

$$\| V(x) \|_{L^1} = \text{Intégrale\_diamètres } |V(x)| \, dx$$

Voici la représentation des composantes pour 3 des 6 courbes posant problème dans le rapport précédent.

