



Programme **Evo Sed Eau**

Carottages sédimentaires en domaine intertidal de la Baie de Saint-Brieuc

Partie 1 : matériels et méthodes



Auteur : Romain Le Gall

Coordination scientifique : David Menier, Anthony Sturbois

04/2025

Table des matières

1	Contexte.....	4
2	Réalisation de sondages.....	5
2.1	Choix des sites et organisation des opérations.....	5
2.2	Matériel utilisé.....	5
2.3	Equipe d'intervention.....	6
3	Stockage et transfère en vue de l'étude pétro-physique.....	6
4	Présentation du banc d'analyse Multi-Sensor Core Logger de GEOTEK.....	7
4.1	Caméra à balayage linéaire.....	9
4.2	Densité et porosité.....	10
4.3	Épaisseur de la demi-carotte.....	11
4.4	La résistivité électrique.....	11
4.5	La susceptibilité magnétique.....	11
4.6	Radioactivité naturelle.....	12
5	Utilisation du banc MSCL.....	13
5.1	Test de fonctionnement.....	13
5.2	Calibration des capteurs.....	14
6	Acquisition des données.....	17
6.1	Préparation des carottages.....	17
6.2	Acquisition des paramètres de radioactivité naturelle sur carottes entières	18
6.3	Découpages des carottages.....	20
6.4	Analyse des demi-carottes sur le banc multiparamètres.....	21
6.4.1	Imagerie.....	21
6.4.2	Banc multiparamètres.....	22
7	Post-traitement des données.....	24
7.1	Chargement des données brutes.....	24
7.2	Application des calibrations.....	24
7.3	Export des résultats.....	25
8	Conclusion de la section Matériels et Méthodes.....	26

Liste des figures :

Figure 1: Baie d'Yffiniac à mi-marée (source : Laboratoire Geo-Ocean / Université Bretagne Sud, 2024)	4
Figure 2: Foreuse SOMAC SD 250-70 sur les Grèves de Languieux.	5
Figure 3: Foreuse SOMAC SD 250-70 sur la plage du Valais.	6
Figure 4: Schéma descriptif du MSCL (source : GEOTEK)	7
Figure 5: Banc MSCL à gauche et centrale de gestion et d'acquisition du banc à droite	8
Figure 6: Caméra à balayage linéaire.....	9
Figure 7: Source de Césium 137 (en haut) et détecteur du rayonnement gamma (en bas) du MSCL.....	10
Figure 8: Outils de mesure de l'épaisseur des carottages monté sur un moteur sur l'axe Z	11
Figure 9: Capteurs du rayonnement gamma naturel du MSCL	13
Figure 10: Pièce de calibration pour le Gamma densité du MSCL (source : GEOTEK, 2022).	15
Figure 11: Courbe de mesure brute (gauche) et feuille de calcul des coefficients de calibration (droite) pour le Gamma densité du MSCL (source : GEOTEK, 2022 – Bureau et al.)	15
Figure 12: Calcul des coefficients de calibration pour la résistivité électrique du MSCL.	16
Figure 13: Paramètres d'acquisition pour la radioactivité naturelle. Exemple du carottages SC6 de la baie de Saint-Brieuc.....	18
Figure 14: Fenêtres d'acquisition pour la radioactivité naturelle (mesures de radioactivité, spectre détaillé, position des sections et panneau de contrôle).....	19
Figure 15: Photographie du carottages SC1b, section 6, après ouverture.	20
Figure 16: Calibration des paramètres d'acquisition de la caméra du banc MSCL (source : GEOTEK , Bureau et al.)	21
Figure 17: Paramètres d'acquisition sur MSCL 7.9 pour les demi-carottages.	22
Figure 18: Données brutes après acquisition, exemple du carottage SC3.	23
Figure 19: Stockage des sondages conservés dans des tubes rigides.	23

1 Contexte

Le programme **EvoSedEau – Baie de Saint-Brieuc** vise à fournir des éléments de connaissance à la fois qualitatifs et quantitatifs sur la **dynamique sédimentaire** et sur l'**évolution des paramètres physico-chimiques** de la masse d'eau.

Deux objectifs principaux structurent cette démarche :

- Comprendre les modalités de l'évolution sédimentaire du fond de baie à différentes **échelles spatiales et temporelles** ;
- Contribuer à la mise en place d'un **observatoire des paramètres physico-chimiques** de la colonne d'eau en baie de Saint-Brieuc.

Dans une optique d'amélioration de la compréhension de la **dynamique sédimentaire passée**, une campagne de carottages a été planifiée sur le pourtour de la baie, entre la plage des Valais et la plage de Saint-Maurice (Figure 1).



Figure 1: Baie d'Yffiniac à mi-marée (source : Laboratoire Geo-Ocean / Université Bretagne Sud, 2024)

Le présent rapport présente les modalités de réalisation des **carottages en milieu intertidal** ainsi que leur **analyse en laboratoire**, conduite au sein du **laboratoire OSERen (Université de Rennes 1)**.

2 Réalisation de sondages

2.1 Choix des sites et organisation des opérations

La sélection des sites de carottage a été réalisée en collaboration avec les partenaires scientifiques et techniques du projet, notamment le **CEREMA Ouest** et la **Réserve Naturelle de la Baie de Saint-Brieuc**. Les critères de sélection comprenaient :

- L'accessibilité des sites en fonction de la marée et de la géomorphologie locale ;
- L'intérêt scientifique (enregistrement sédimentaire potentiel, positionnement stratégique) ;
- La faisabilité logistique (temps de mobilisation, conditions techniques).

Les campagnes de terrain ont été conduites en **juin 2024** et **janvier 2025**. Le **CEREMA Ouest**, spécialiste en géotechnique, a assuré la conduite des sondages avec le soutien de personnels scientifiques de l'**Université Bretagne Sud** et de **Vivarmor Nature**.

2.2 Matériel utilisé

Les sondages ont été réalisés à l'aide d'une **foreuse SOMAC SD 250-70** (Figure 2 et 3), équipement mobile compact (écartement : 1,5 m ; poids < 5 tonnes), montée sur chenilles en caoutchouc pour limiter l'empreinte sur l'environnement intertidal. Cette foreuse est équipée d'un **carottier battu à marteau hydraulique** permettant l'extraction de carottes de **100 mm de diamètre** par **sections de 1 mètre**.



Figure 2: Foreuse SOMAC SD 250-70 sur les Grèves de Languoux.

Le tubage des puits en diamètre 150 mm s'est avéré nécessaire pour préserver l'intégrité des puits et limiter les contaminations inter-sections. Ce tubage est ainsi présent à partir du sondage SC2b.



Figure 3: Foreuse SOMAC SD 250-70 sur la plage du Valais.

2.3 Equipe d'intervention

L'équipe ayant participé à la réalisation des sondages se compose de :

Personnels scientifiques

- **Anthony Sturbois** (Chargé de mission, Vivarmor Nature / Réserve Naturelle de la Baie de Saint-Brieuc)
- **David Menier** (Professeur des universités, Université Bretagne Sud, laboratoire Geo-Ocean)
- **Romain Le Gall** (Ingénieur de recherche, Université Bretagne Sud, laboratoire Geo-Ocean)

Personnels techniques

- **Raphaël Benot** (Chargé d'étude en risque géotechnique, CEREMA Ouest)
- **Jérôme Mauxion** (Technicien supérieur sondeur, CEREMA Ouest)
- **Jérôme Rebours** (Technicien supérieur sondeur, CEREMA Ouest)
- **Julien Rouxel** (Technicien supérieur sondeur, CEREMA Ouest)

3 Stockage et transfère en vue de l'étude pétro-physique.

Les carottes ont été temporairement stockées au CEREMA Ouest (Saint-Brieuc), avant d'être transférées début 2025 vers l'Université de Rennes 1, au sein du bâtiment des collections géologiques.

Ce transfert a été assuré par **Anthony Sturbois** (Vivarmor Nature), avec l'assistance de **Damien Gendry**, technicien responsable des collections géologiques de

l'université de Rennes 1. Ce dernier a permis le stockage et le bon fonctionnement opérationnel des transferts de sondages au cœur du campus de Beaulieu entre le lieu de stockage et le lieu d'analyse.

L'analyse pétrophysique a ensuite été menée entre janvier et mai 2025 par **Romain Le Gall** au sein du **laboratoire OSERen**, sous la supervision de **Mathieu Martinez** (Maître de conférences, équipe Paléoenvironnement).

4 Présentation du banc d'analyse Multi-Sensor Core Logger de GEOTEK

Le **banc d'analyse Multi-Sensor Core Logger (MSCL)** (figure 4 et 5), développé par la société britannique **GEOTEK Ltd**, est un dispositif dédié à l'acquisition de paramètres pétrophysiques de carottes sédimentaires et de roches consolidées. Cet appareil est conçu pour fournir des mesures rapides, reproductibles et non destructives sur des sections entières ou ouvertes de carottes. Il permet notamment de documenter de manière fine les propriétés physiques des sédiments, en lien avec leur texture, leur composition, leur porosité, ou encore leur structure interne.

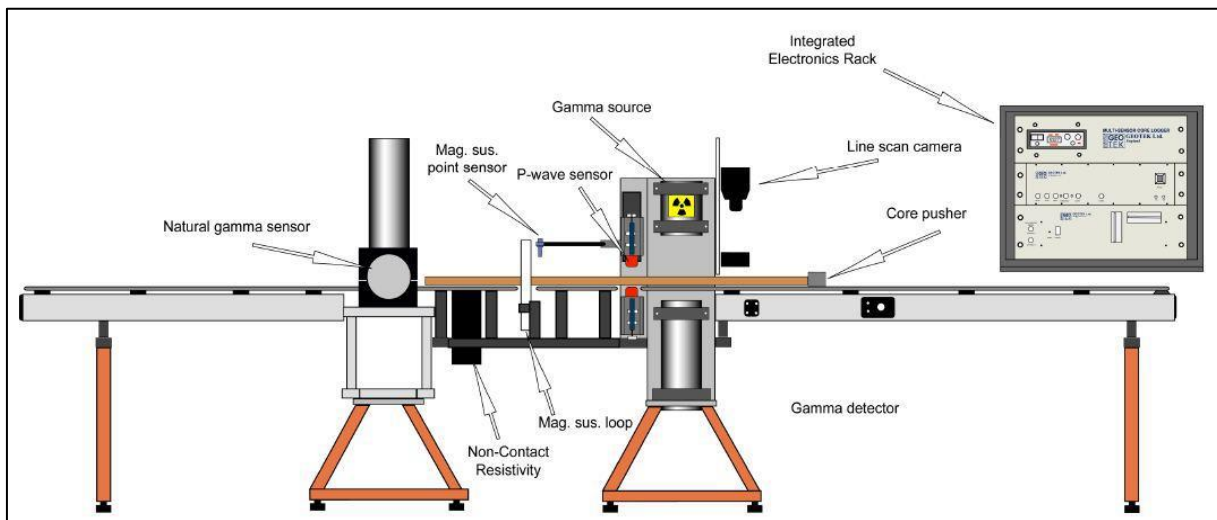


Figure 4: Schéma descriptif du MSCL (source : GEOTEK)

Principe de fonctionnement

Le MSCL repose sur un système motorisé linéaire : les carottes sont déposées sur un rail guidé et se déplacent automatiquement sous une série de capteurs fixés dans un cadre rigide. Ce déplacement lent et régulier permet d'effectuer des mesures continues sur la totalité de la carotte. Le fonctionnement est comparable à celui d'un scanner médical, en ce sens que chaque section passe successivement devant ou sous plusieurs instruments sans être altérée.

Les capteurs intégrés réalisent différents types de mesures selon des protocoles calibrés. Les données acquises sont automatiquement enregistrées via une **unité centrale informatique**, pilotée par un PC dédié sous Windows XP, utilisant plusieurs logiciels propriétaires de GEOTEK (figure 5) :

- **MSCL 7.9** pour la gestion des capteurs et de l'acquisition,
- **Utilities 7.9** pour les tests préalables et les diagnostics,
- **Imaging 3.2** pour la capture des images linéaires haute résolution.
- L'ensemble du dispositif est installé dans le **laboratoire OSERen (Université de Rennes 1)**, dans un environnement thermique stable, ce qui est indispensable pour la fiabilité des mesures.

Paramètres mesurés dans cette étude

Le MSCL permet d'acquérir les données suivantes, sélectionnées pour leur pertinence vis-à-vis de l'analyse des carottes intertidales de la baie de Saint-Brieuc :

- **Imagerie haute résolution** (photographies continues au format TIFF + spectres de couleur RGB) ;
- **Densité apparente et porosité** par atténuation gamma ;
- **Température de surface** ;
- **Épaisseur physique de la demi-carotte** ;
- **Résistivité électrique** ;
- **Susceptibilité magnétique** ;
- **Radioactivité naturelle** par spectrométrie gamma.

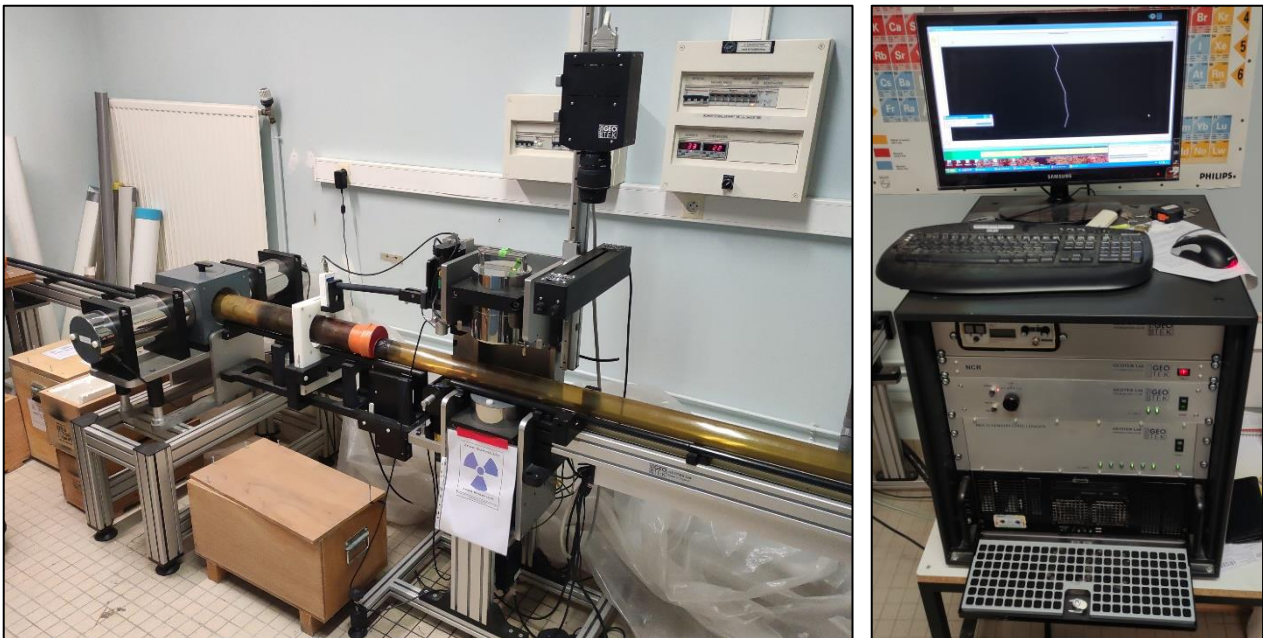


Figure 5: Banc MSCL à gauche et centrale de gestion et d'acquisition du banc à droite

Ces paramètres sont acquis sur des **carottes entières** ou **découpées longitudinalement** (demi-carottes), selon la méthode. Les mesures sont prises à des intervalles d'échantillonnage réglables, généralement de 1 à 10 cm selon la résolution souhaitée.

4.1 Caméra à balayage linéaire

La caméra à balayage linéaire (figure 6) constitue le **premier instrument de mesure** dans la chaîne d'acquisition. Il s'agit d'un appareil **Nikon numérique** monté avec un



Figure 6: Caméra à balayage linéaire

objectif macro Sigma 105 mm F2.8 EX DG, destiné à capturer des images haute résolution de la surface des carottes ouvertes.

La photographie est réalisée par balayage progressif : la demi-carotte se déplace lentement sous l'objectif fixe, pendant que le capteur capture ligne après ligne une image continue. Cette technique permet d'obtenir une **résolution constante** sans distorsion. Le dispositif génère les fichiers suivants :

- Une image au format **TIFF** (200 à 500 Mo par image selon la longueur) ;
- Un fichier **RGB** séparé, représentant les composantes de couleur ;
- Un fichier **XML** qui contient les métadonnées de l'acquisition (paramètres de focus, ouverture, éclairage...).

L'éclairage est assuré par **deux néons latéraux**, à intensité réglable, disposés de manière symétrique afin de garantir un **éclairage homogène** et une restitution fidèle des couleurs sur toute la longueur de la section. Avant toute acquisition, un **réglage de la balance des blancs**, du **focus** et de l'**ouverture** est réalisé avec une **charte de calibration**.

L'analyse des spectres **RGB** peut fournir des indices indirects sur :

- La **lithologie** (différences de teintes entre niveaux sableux, limoneux ou argileux) ;
- Le **taux de matière organique** (notamment carbone) ;
- La **présence d'oxydes de fer** (ex. hématite) ;
- Ou la **teneur en carbonates**.

4.2 Densité et porosité



Figure 7: Source de Césium 137 (en haut) et détecteur du rayonnement gamma (en bas) du MSCL

La densité est mesurée par **atténuation de rayons gamma**, à partir d'une source radioactive scellée de **Césium 137** placée au-dessus de la carotte, et d'un **détecteur** situé en dessous (figure 7). Le faisceau gamma traverse la carotte, et le système enregistre le **nombre de photons reçus** par rapport au nombre émis.

La densité est calculée à partir du **coefficient d'atténuation**, qui permet une **détermination fine de la masse volumique** et, par comparaison avec les densités typiques des minéraux (tableau 1) et matrices poreuses, d'estimer la **porosité**.

L'acquisition peut se faire à intervalles réguliers sur carottes entières ou ouvertes, à condition que les sections soient parfaitement positionnées et stables.

Tableau 1 : Densité de certains minéraux communs (source : GEOTEK, 2022)

Minéral	Densité (g/cm ³)
Silice Biogénique [SiO ₂ .nH ₂ O] (Opale)	2,15
Quartz [SiO ₂]	2,65
Carbonate de calcium [CaCO ₃] (Calcite)	2,71
Carbonate de calcium [CaCO ₃] (Aragonite)	2,93
Pyrite [FeS ₂]	4,95 – 5,10
Galène [PbS]	7,40 – 7,60
Hématite [Fe ₂ O ₃]	4,90 – 5,30

4.3 Épaisseur de la demi-carotte

Un capteur vertical (figure 8) monté sur un **axe Z motorisé** permet de mesurer précisément l'**épaisseur réelle de la demi-carotte**. Ce paramètre est essentiel pour :

- Ajuster les calculs de densité et résistivité (qui dépendent de l'épaisseur) ;
- Identifier les éventuelles **déformations mécaniques** des sections ;
- Vérifier la régularité de la découpe.

Le capteur effectue une mesure relative à une **valeur de référence prédéfinie**, représentant l'épaisseur moyenne théorique de la carotte. La précision est de l'ordre de **0,01 mm**.

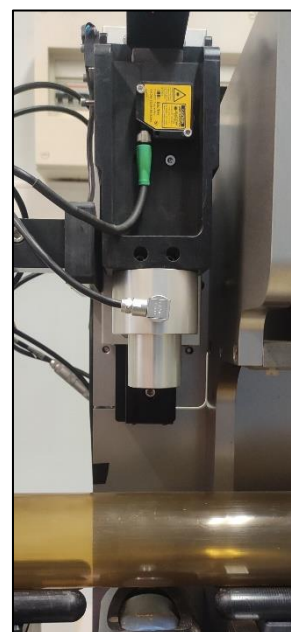


Figure 8: Outils de mesure de l'épaisseur des carottages monté sur un moteur sur l'axe Z

4.4 La résistivité électrique

La résistivité électrique est mesurée selon un système d'**induction électromagnétique**. Une **bobine émettrice** génère un champ alternatif qui traverse la carotte. Une **bobine réceptrice**, placée en vis-à-vis, capte le champ résultant. La perte d'intensité est proportionnelle à la **résistance électrique du matériau**.

Cette mesure est influencée par :

- La **teneur en eau interstitielle** ;
- La **salinité des fluides** présents dans les pores ;
- La **porosité** effective ;
- Et la **granulométrie**.

Elle permet d'évaluer indirectement des paramètres comme la **perméabilité** ou le **degré de saturation**. La résistivité est très **sensible à la température**, ce qui nécessite une **stabilisation thermique** préalable du banc avant chaque session d'analyse.

4.5 La susceptibilité magnétique

La **susceptibilité magnétique** mesure la réponse magnétique d'un matériau à un champ appliqué. Le capteur du MSCL détecte l'**intensité de l'aimantation induite**,

permettant de déterminer la présence et la concentration de **minéraux ferromagnétiques, paramagnétiques** ou **diamagnétiques**.

Cette mesure est un bon **traceur de provenance sédimentaire**, car certains minéraux magnétiques (ex. magnétite, hématite) sont caractéristiques de contextes géologiques ou environnementaux spécifiques. Elle est également utilisée pour :

- Repérer des **discontinuités stratigraphiques** ;
- Identifier des **changements d'origine des sédiments** ;
- Détecter des **conditions diagenétiques**.

Elle est souvent utilisée pour établir des corrélations entre des carottages voisins.

Le tableau 2 illustre la susceptibilité magnétique de certains minéraux commun.

Tableau 2 : susceptibilité magnétique de certains minéraux communs (source : GEOTEK, 2022).

Minéral	Susceptibilité magnétique (x10⁻⁵) SI
Eau	0,9
Calcite	-0,75 à -3,9
Quartz, Feldspath	-1,3 à -1,7
Kaolinite	-5
Halite, Gypse	-1 à -6
Illite, Montmorillonite	33 à 41
Biotite	150 à 290
Pyrite	0,5 à 350
Hématite	50 à 4000
Magnétite	100000 à 570000

4.6 Radioactivité naturelle

Le MSCL permet enfin la mesure de la **radioactivité gamma naturelle**, qui repose sur la désintégration spontanée de certains éléments présents dans les sédiments : **Uranium (238U)**, **Thorium (232Th)** et **Potassium (40K)**.

Le système intègre un **spectromètre gamma** composé de **deux cylindres métalliques** entourant la carotte (figure 9). Ce dispositif capte le **spectre énergétique** du rayonnement émis par les éléments radioactifs.

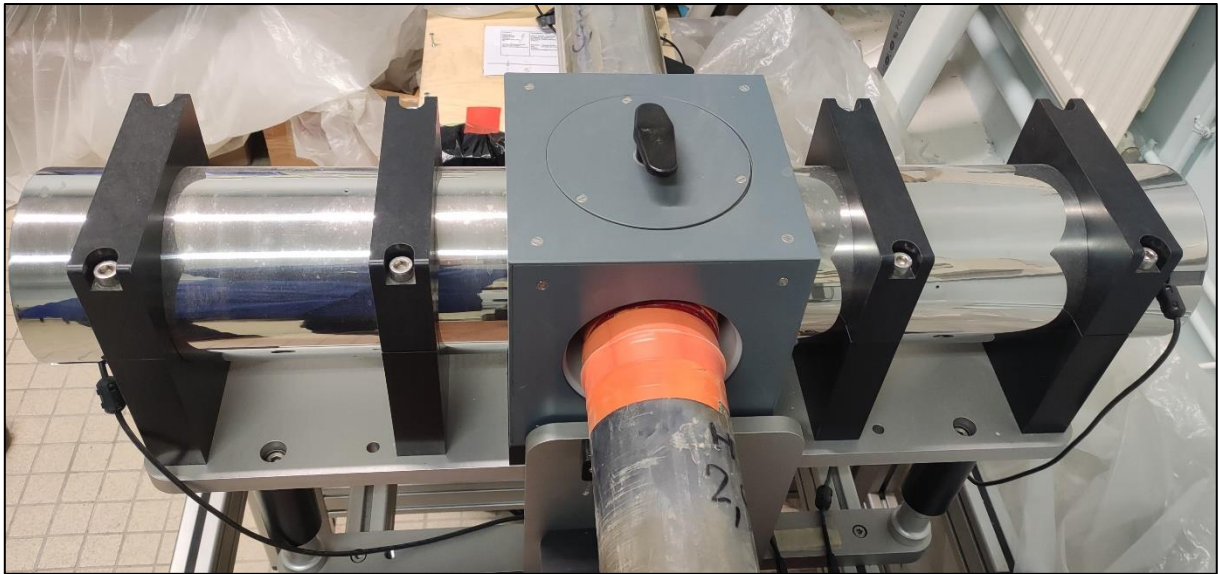


Figure 9: Capteurs du rayonnement gamma naturel du MSCL

Les spectres obtenus sont spécifiques à chaque isotope, ce qui permet de :

- **Quantifier les concentrations relatives** en K, U et Th ;
- **Discriminer les types de sédiments** (ex. : argiles riches en potassium, sables pauvres en éléments radioactifs) ;
- **Suivre des variations stratigraphiques** ou des changements environnementaux.

La radioactivité naturelle est le **seul paramètre mesuré sur les carottes entières**, sans ouverture préalable.

5 Utilisation du banc MSCL

Avant toute campagne d'acquisition de données, une **phase de préparation technique** est indispensable pour garantir la fiabilité des mesures multiparamétriques. Cela inclut des **tests de fonctionnement**, la **stabilisation thermique** du système, ainsi que la **calibration** des capteurs sensibles. L'ensemble des opérations est réalisé via les logiciels **MSCL 7.9** et **Utilities 7.9**, fournis par GEOTEK Ltd.

5.1 Test de fonctionnement

Stabilisation thermique préalable

Les capteurs intégrés au MSCL, en particulier ceux mesurant la résistivité et la susceptibilité magnétique, sont **hautement sensibles aux variations de température ambiante**. Il est impératif que le système soit **mis sous tension au minimum 30 minutes** avant toute manipulation, afin de permettre une homogénéisation thermique des composants électroniques.

La température ambiante du laboratoire doit être maintenue entre **20°C et 25°C** pour minimiser les erreurs liées à la dérive thermique des capteurs.

Séquence de vérification initiale

Une fois le système stabilisé, les opérateurs procèdent à une **vérification séquentielle des composants**, via l'interface Utilities 7.9 :

- **Sonde de température** : contrôle de la réponse thermique en conditions ambiantes ;
- **Laser de positionnement** : vérification de la position des sections ;
- **Moteurs d'axe X et Y** : test de déplacement et de réponse aux commandes (vitesse, retour à zéro) ;
- **Capteur de résistivité** : remise à zéro (offset), puis test à vide ;
- **Capteur de susceptibilité magnétique** : test de calibration à l'aide d'un **standard ferr0magnétique certifié** ;
- **Système de Gamma Densité** : tests sur carotte entière ou demi-carotte, permettant de valider les ouvertures de mesure et les niveaux d'atténuation attendus.

Ces tests permettent de **détecter d'éventuels dysfonctionnements mécaniques ou électroniques** avant de lancer l'acquisition sur les carottes réelles.

5.2 Calibration des capteurs

Principe général de la calibration

La calibration est une étape essentielle dans la chaîne de traitement des données. Elle permet **d'étalonner les capteurs** et de convertir les signaux bruts (tensions, fréquences, intensités, pixels) en valeurs **physiques absolues interprétables** (g/cm³, ohm.m, SI, etc.).

Chaque capteur suit un protocole de calibration spécifique, défini par le constructeur.

Caméra à balayage linéaire

Avant chaque série de photographies, il est nécessaire de calibrer manuellement la caméra via le logiciel **Imaging 3.2** :

- **Balance des blancs** : réalisée à l'aide d'une **carte de calibration chromatique** ;
- **Réglage de l'ouverture** : l'ouverture la plus petite possible est privilégiée (grande profondeur de champ) pour maximiser le contraste et la netteté ;
- **Focus** : ajustement manuel en fonction de l'épaisseur moyenne des carottes à photographier ;

- **Intensité des néons** : réglée pour fournir un éclairage constant et sans reflets.

La position des sources lumineuses reste fixe pour toute la session d'imagerie.

Les **paramètres de calibration sont conservés constants** pour toutes les sections d'un même carottage afin d'assurer une homogénéité des résultats, condition nécessaire pour des comparaisons inter-sections.

Gamma densité (Atténuation gamma)

La calibration de la densité gamma consiste à mesurer l'atténuation du rayonnement à travers une **pièce étalon en aluminium** (figure 10), dont la densité est précisément connue. Le processus dure plusieurs heures et produit :

- Une **courbe de mesure brute** (signal en fonction de la position) ;
- Une **courbe de calibration**, ajustée selon une équation polynomiale du second degré.

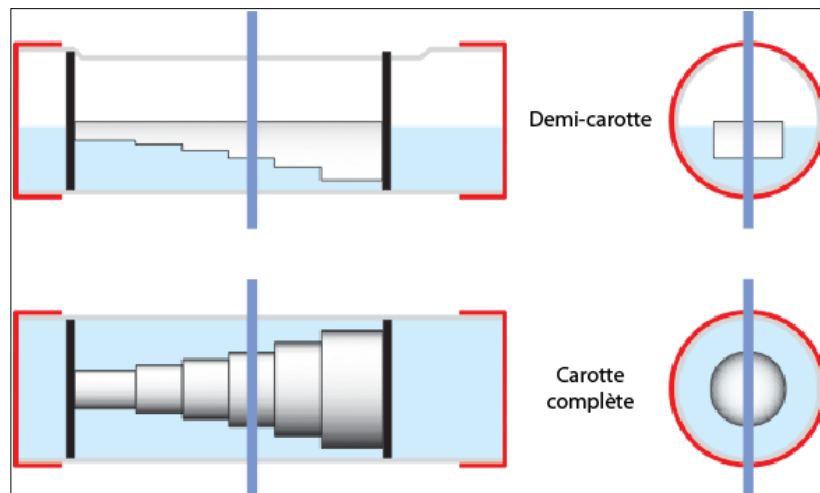


Figure 10: Pièce de calibration pour le Gamma densité du MSCL (source : GEOTEK, 2022).

L'équation de calibration prend la forme : $\rho = A \cdot V^2 + B \cdot V + C$
(où V est le signal mesuré (en volts) et ρ la densité estimée).

Les coefficients A, B et C sont ensuite **injectés dans le logiciel d'acquisition** pour corriger en post-traitement les mesures brutes (figure 11).

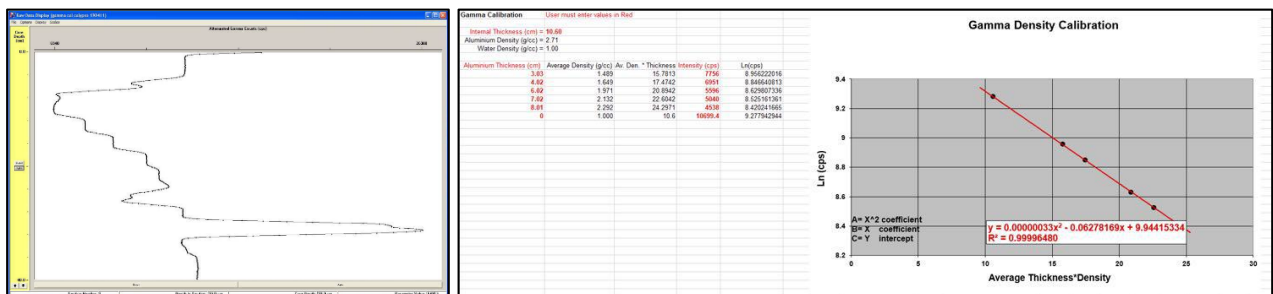


Figure 11: Courbe de mesure brute (gauche) et feuille de calcul des coefficients de calibration (droite) pour le Gamma densité du MSCL (source : GEOTEK, 2022 – Bureau et al.).

Résistivité électrique

La calibration de la résistivité est réalisée à l'aide d'une **série de solutions salines** de conductivité connue (généralement NaCl), versées dans des tubes de même diamètre que les carottes étudiées.

Le signal mesuré sur chaque solution permet d'établir une **courbe de calibration linéaire** (figure 12), dont l'équation est généralement de type : $\rho = A \cdot V + B$ (avec ρ la résistivité et V le signal détecté).

Cette calibration est particulièrement sensible à la température. Les solutions de référence doivent être **thermostatées** à température ambiante, ou une correction thermique peut être appliquée. (Figure...).

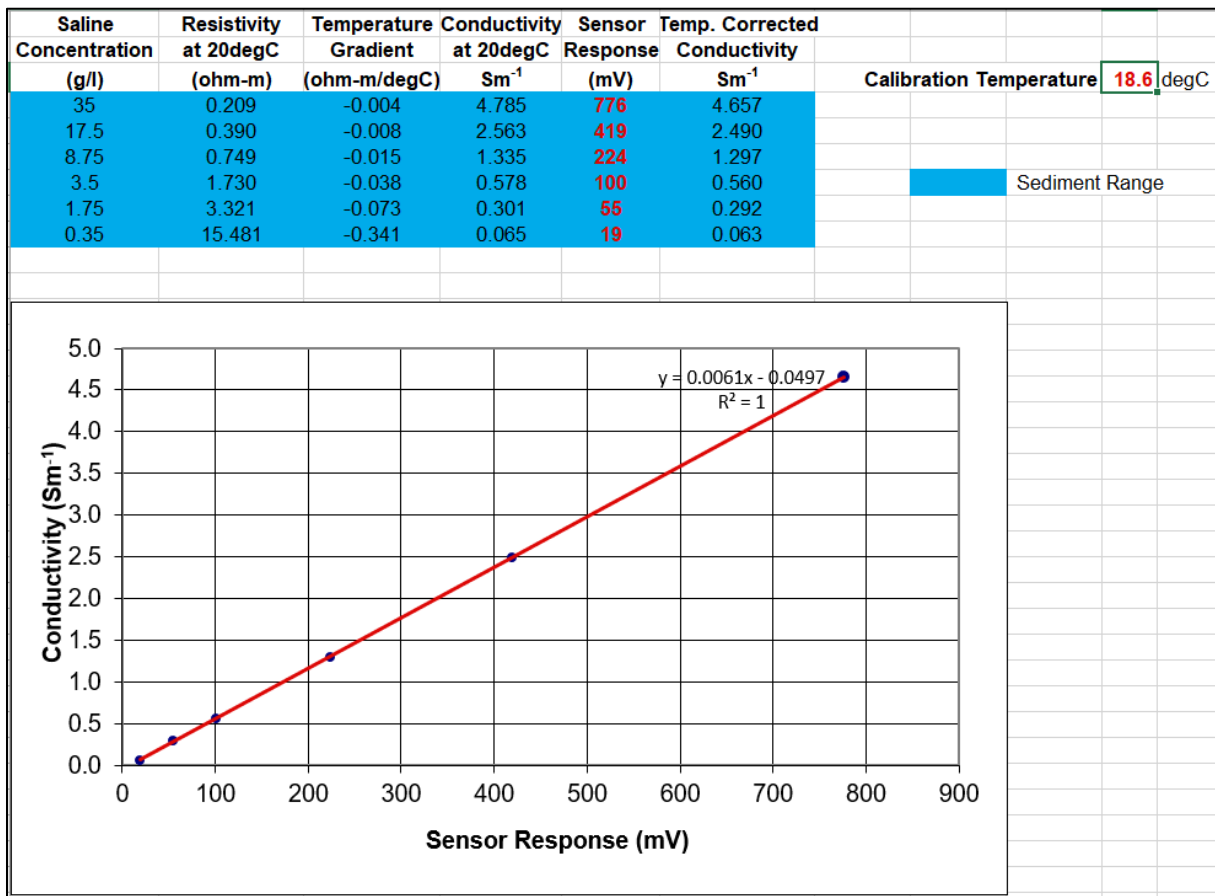


Figure 12: Calcul des coefficients de calibration pour la résistivité électrique du MSCL.

Susceptibilité magnétique

Le capteur est calibré en usine, mais une **vérification de la dérive** peut être effectuée à l'aide d'un **standard magnétique** (échantillon de calibration GEOTEK). La réponse du capteur est comparée à la valeur certifiée pour valider l'absence de déviation.

Radioactivité naturelle

Le système de mesure de la radioactivité gamma naturelle est également **calibré en usine**. Aucune re-calibration n'est nécessaire en routine, mais une **lecture du bruit de fond** (spectre de fond ambiant) est obligatoire avant chaque série d'acquisitions. Ce spectre est ensuite **soustrait aux spectres mesurés**, afin de corriger les effets liés à l'environnement de mesure (fond naturel, présence de radon dans la pièce, etc.).

6 Acquisition des données

L'acquisition des données constitue l'étape centrale du protocole d'analyse, durant laquelle les carottes prélevées sur le terrain sont soumises à une série de mesures selon une **chaîne opératoire standardisée**. Les mesures sont réalisées sur des **carottes entières** ou **découpées longitudinalement (demi-carottes)**, en fonction du paramètre à analyser. Le protocole permet de garantir la **reproductibilité** et la **comparabilité** des résultats entre stations.

6.1 Préparation des carottages

Organisation des échantillons

La première étape consiste à **organiser les sections de carottes** obtenues pour chaque point de prélèvement :

- Les sections sont **numérotées** et **ordonnées** selon leur profondeur dans le forage.
- Chaque section est **orientée correctement** (haut/bas) afin de respecter la stratigraphie.
- Un **fichier de suivi** est rempli pour chaque carotte, incluant :
 - Le nom du carottage ;
 - Le numéro de section ;
 - La profondeur de base et la longueur exacte de la section.

Documentation initiale

Avant toute manipulation, une **photographie brute** des sections entières est réalisée, à l'aide d'un smartphone afin de constituer une **archive visuelle de l'état initial** des carottes.

6.2 Acquisition des paramètres de radioactivité naturelle sur carottes entières

Dispositif de mesure

La radioactivité naturelle est mesurée sur les **carottes entières non ouvertes**, directement après leur préparation. Cette analyse repose sur la **détection du rayonnement gamma** émis par les isotopes radioactifs naturellement présents dans les sédiments (U, Th, K).

L'acquisition est réalisée via le logiciel **MSCL 7.9**, qui pilote le capteur gamma du banc GEOTEK (figure 13).

Paramétrage des acquisitions

Les paramètres suivants sont définis pour chaque section :

- **Nom de la carotte** ;
- **Longueur de la section** ;
- **Intervalle d'échantillonnage** : 10 cm ;
- **Temps d'intégration** : 10 minutes par point de mesure ;
- **Capteur activé** : gamma naturel uniquement.

Figure 13: Paramètres d'acquisition pour la radioactivité naturelle. Exemple du carottages SC6 de la baie de Saint-Brieuc

The screenshot displays the 'SC6-GR setup' window in MSCL 7.9. The window title is ':geotek\St-Brieuc\Whole_core\SC6-GR setup'. It is divided into several sections for parameter configuration:

- General Core Parameters:** Core ID: SC6-GR, Nominal section length (cm): 150.0, Section Position Warning Pause (checked), Log Initial Calibration Piece (unchecked). Comments: Core SC6-GR logged at 08:08:04 on 04-07-2025.
- Section No.:** 7, Est. time = < 1 min.
- Sampling interval (cm):** 10.0, Core Depth (cm): 548.6, Tie Points, Enable All Sensors, Disable All Sensors.
- Boat:** unchecked, Section Length: 0.0.
- Variable Sampling:** unchecked, Automatic (unchecked), Add Pauses (unchecked).
- Core Thickness:** On (radio button selected).
- P-Wave:** Save wave form (checked).
- Temperature:** On (radio button selected).
- Magnetic Susceptibility (Sensor 1 point):** On (radio button selected).
- Gamma Attenuation:** Count time (secs): 1, Cycles: 1.
- Electrical Resistivity:** Averaging period (secs): 1, Zero before core (cm): 0.0.
- Zeroing Interval:** 1, Zero before core (cm): 0.0, Units: SI (radio button selected).
- Natural Gamma:** On (radio button selected).
- Background Reading:** Sampling Time: 0 hr 10 min 0 sec, Before core (radio button selected), Get reading now, Use existing file (radio button selected), No background reading (radio button selected), Browse, C:\geotek\St-Brieuc\Whole_core\SC6-GR.

Correction du bruit de fond

Avant le début de l'analyse, un **spectre de fond** est enregistré (acquisition sans carotte dans le capteur). Ce spectre est utilisé comme **référence de correction** pour soustraire les composantes environnementales indésirables (radioactivité ambiante, bruit instrumental).

Suivi de l'acquisition

Les sections sont insérées successivement dans le banc. L'opérateur peut **suivre en temps réel** (figure 14) :

- L'intensité du rayonnement détecté ;
- Le spectre gamma associé à chaque point mesuré ;
- La position de la carotte sur le rail ;
- L'état des capteurs.

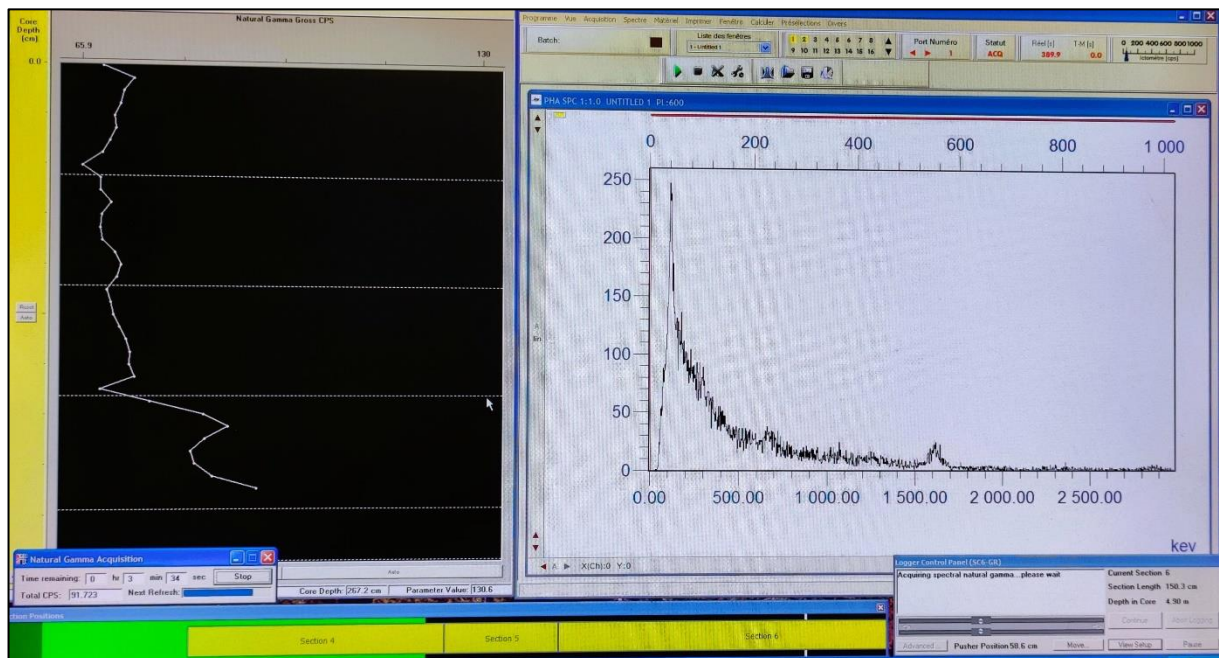


Figure 14: Fenêtres d'acquisition pour la radioactivité naturelle (mesures de radioactivité, spectre détaillé, position des sections et panneau de contrôle).

Les résultats sont enregistrés sous forme :

- De **fichiers de spectres détaillés (.spc)** ;
- De **données brutes (.dat ou .raw)** exploitables en post-traitement.

6.3 Découpages des carottages

Découpe longitudinale

Après l'acquisition des données sur carottes entières, chaque section est **ouverte longitudinalement** à l'aide :

- D'une **mini-scie circulaire** pour les extrémités plastiques ;
- De **spatules métalliques** pour séparer proprement les sédiments.

Un **gabarit fixe** est utilisé pour assurer l'homogénéité de l'ouverture et la stabilité des demi-carottes sur le banc d'analyse



Figure 15: Photographie du carottages SC1b, section 6, après ouverture.

Photographie et description préliminaire

Chaque demi-carotte ouverte est photographiée (au smartphone) (figure 15). Une **description macroscopique préliminaire** est ensuite effectuée afin de réaliser un **log stratigraphique synthétique** préliminaire.

Prélèvements granulométriques

Des **prélèvements sédimentaires ponctuels** sont réalisés avec une cuillère inox, à des positions ciblées :

- Chaque prélèvement correspond à environ **100 g** de sédiment ;
- Les échantillons sont placés dans des **sacs plastiques hermétiques** ;
- L'étiquetage suit une nomenclature stricte :
EvoSedEau / St-Brieuc 2024 / SCx-Px / xx cm,
(où la profondeur (xx cm) est mesurée depuis le haut de la section).

6.4 Analyse des demi-carottes sur le banc multiparamètres

Après ouverture et documentation, les demi-carottes sont soumises aux **mesures multiparamétriques** sur le MSCL, en deux étapes : **imagerie** et **analyse physique**.

6.4.1 Imagerie

L'imagerie est réalisée en premier à l'aide de la **caméra à balayage linéaire** du MSCL. L'opérateur paramètre la session via **Imaging 3.2** (figure 16) :

- **Balance des blancs** avec charte ;
- **Réglage de l'ouverture** : priorité à la plus petite valeur compatible pour maximiser la profondeur de champ ;
- **Focus** ajusté manuellement selon l'épaisseur moyenne de la demi-carotte ;
- **Éclairage** : intensité des deux néons latéraux réglée pour homogénéiser la lumière.

Les sections sont ensuite photographiées les unes après les autres. Pour chaque demi-carotte, le système génère :

- Un **fichier TIFF** (300 à 500 Mo) ;
- Un **fichier RGB** associé ;
- Un **fichier XML** de paramètres.

Tous les réglages sont maintenus constants pour chaque carotte afin de garantir une **comparabilité inter-sections**.

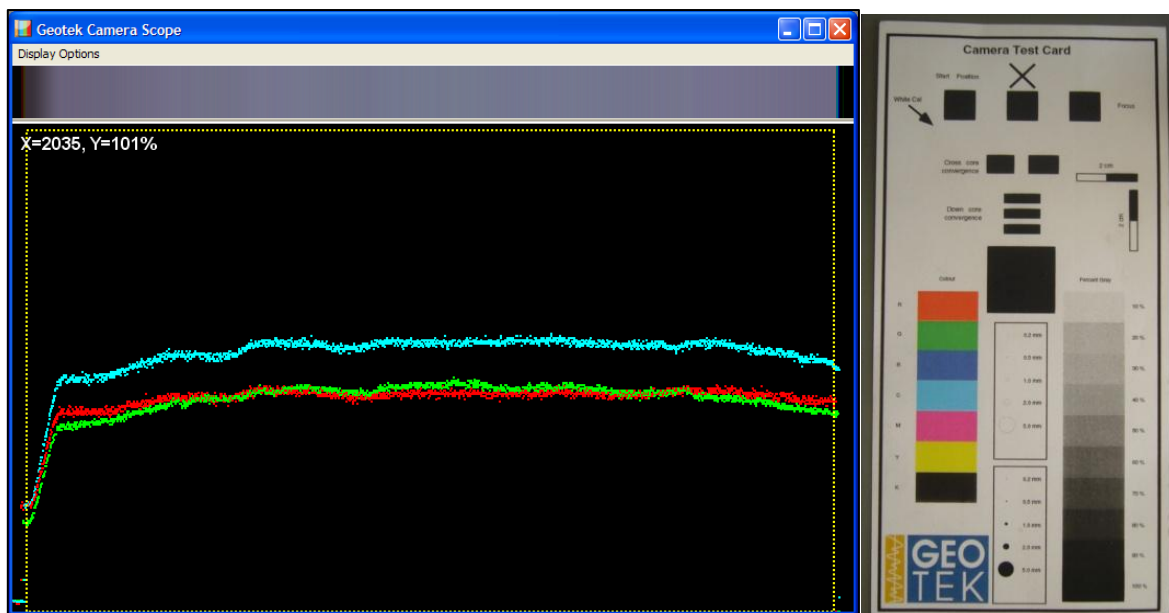


Figure 16: Calibration des paramètres d'acquisition de la caméra du banc MSCL (source : GEOTEK , Bureau et al.)

6.4.2 Banc multiparamètres

Avant le passage sous les capteurs, chaque demi-carotte est recouverte d'un **film plastique neutre (film alimentaire)**, afin de :

- Protéger la surface sédimentaire ;
- Garantir la propreté des capteurs de contact (ex. : épaisseur, susceptibilité).

L'acquisition est pilotée par le logiciel **MSCL 7.9** (figure 17) dans lequel l'utilisateur définit :

- Les **informations générales** (nom, longueur de la section) ;
- Les **outils activés** (densité, résistivité, susceptibilité, etc.) ;
- Les **paramètres d'échantillonnage** (intervalle et durée par point).

General Core Parameters

Core ID: Comments:
Core SC3_half logged at 08:58:13 on 03-13-2025

Nominal section length (cm):

Section Position Warning Pause

Log Initial Calibration Piece

Section No. Est. time = 5 mins
Length = 99.69 cm

Sampling interval (cm):

Core Depth (cm) Tie Points Enable All Sensors Disable All Sensors

Boat Section Length:

Variable Sampling Setup Automatic Add Pauses Setup

Core Thickness On Off

P-Wave Save wave form On Off

Temperature On Off

Gamma Attenuation On Off

Count time (secs):

Cycles:

Electrical Resistivity On Off

Averaging period (secs):

Zero before core (cm):

Magnetic Susceptibility (Sensor 1 point) On Off

Sampling time (secs): Zero before core(cm):

Sample Cycles: Units: SI cgs

Natural Gamma On Off

Sampling Time: hr min sec

Type of Data: Setup

Background Reading Before core Get reading now Use existing file Get Reading

No background reading Browse

Figure 17: Paramètres d'acquisition sur MSCL 7.9 pour les demi-carottages.

Les mesures enregistrées incluent (figure 18) :

- La **densité et la porosité** par atténuation gamma ;
- La **température superficielle** ;
- L'épaisseur **physique** (axe Z) ;
- La **résistivité électrique** ;
- La **susceptibilité magnétique**.

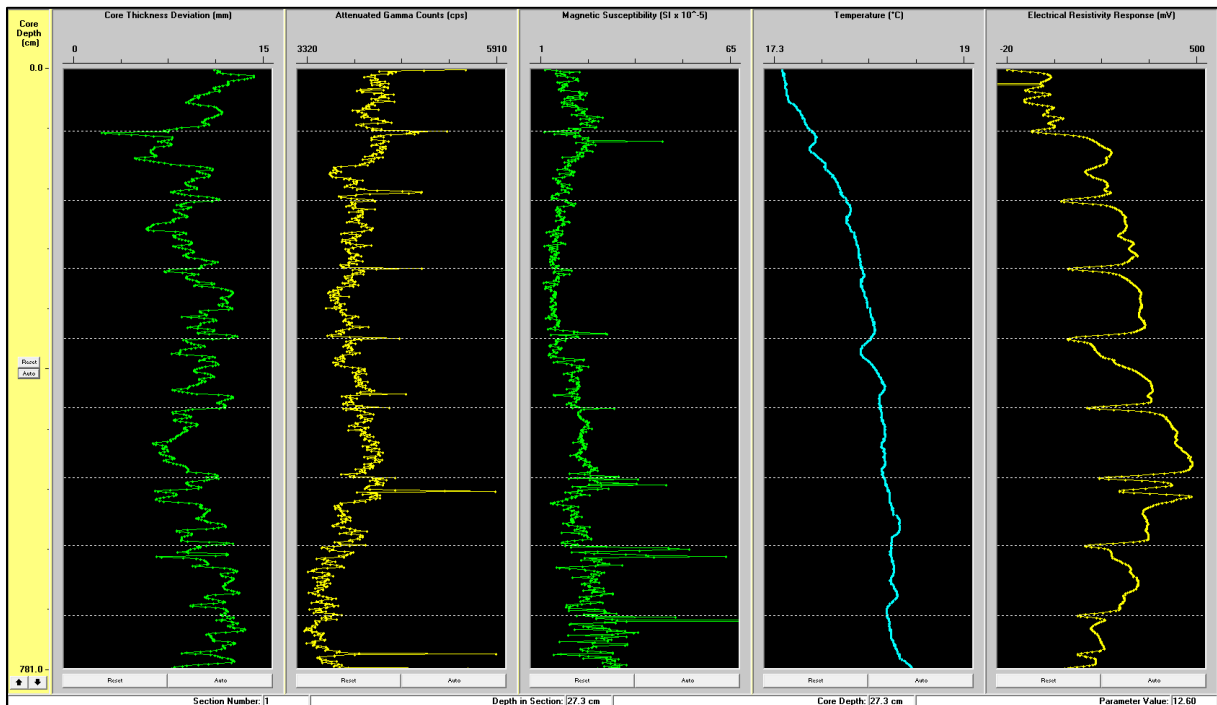


Figure 18: Données brutes après acquisition, exemple du carottage SC3.

Une fois l'acquisition terminée, les données sont sauvegardées et les demi-carottes sont **numérotées, emballées et stockées** dans des tubes rigides pour conservation (figure 19).



Figure 19: Stockage des sondages conservés dans des tubes rigides.

7 Post-traitement des données

Le **post-traitement** constitue l'étape finale de la chaîne d'analyse pétrophysique. Il permet de **transformer les données brutes**, acquises par les capteurs du MSCL, en **données exploitables scientifiquement**, via l'application de corrections, conversions, normalisations et formats de sortie. Cette phase est essentielle pour garantir la **qualité**, la **précision** et la **comparabilité** des résultats.

Le post-traitement est effectué à l'aide du logiciel **MSCL 7.9** (GEOTEK), qui intègre un module dédié au traitement des fichiers d'acquisition multiparamétrique.

7.1 Chargement des données brutes

Chaque session d'acquisition génère un ensemble de fichiers :

- Des **fichiers de données brutes** (.raw, .dat) pour chaque paramètre mesuré ;
- Des **fichiers associés** (.xml, .rgb, .tiff) pour l'imagerie et les métadonnées.

Le premier travail consiste à **importer ces fichiers dans le module de traitement**, en vérifiant l'intégrité des données (absence de corruption, noms cohérents, correspondance avec le journal de terrain).

7.2 Application des calibrations

Les mesures brutes issues du MSCL sont généralement exprimées en **unités arbitraires** (tension, intensité, réponse optique...) et doivent être **converties** en unités physiques standardisées à l'aide des **courbes de calibration** établies précédemment (cf. section 5.2).

Chaque paramètre suit une procédure distincte :

Gamma densité

- La courbe polynomiale obtenue lors de la calibration (voir coefficients A, B, C) est appliquée à chaque point de mesure.
- Les valeurs finales sont exprimées en **g/cm³**, soit la densité apparente du sédiment.
- Une **correction liée à l'épaisseur réelle** de la carotte est également intégrée, si la section est irrégulière.

Résistivité électrique

- Les signaux sont corrigés à l'aide de la **courbe de calibration linéaire** (voir coefficients A et B).

- Les résultats sont exprimés en **ohm·m**.
- Une correction peut être appliquée pour prendre en compte **l'effet de la température** sur la conductivité ionique.

Susceptibilité magnétique

- Déjà calibrée en usine, cette mesure est vérifiée et exprimée en **unités SI ($\times 10^{-5}$)**.
- Le signal est parfois **lissé** (filtrage) pour atténuer les effets de bruit ponctuel.

Épaisseur de la demi-carotte

- Les mesures en millimètres sont utilisées pour corriger les autres paramètres dépendants de la géométrie.
- Une valeur moyenne ou une **fonction de correction ponctuelle** peut être appliquée, selon la régularité des carottes.

Imagerie (RGB et TIFF)

Les images brutes des sections ainsi que leurs métadonnées sont injectées dans le logiciel **ImageTools 3.1** afin de :

- Concaténer toutes les sections d'un même carottage ;
- Ajouter une règle latérale ;
- Ajuster tous les carottages à une ouverture identique (ici 4.70 f.) ;
- Sortir une image finale en 2 versions. Une version redimensionnée à 50% dans sa globalité et une version dont l'échelle horizontale est réajustée à 25% et la verticale à 15%.

7.3 Export des résultats

Une fois les corrections appliquées, les données traitées sont **exportées dans différents formats**, en fonction des besoins :

- **.out** (fichier principal de sortie contenant toutes les valeurs calibrées) ;
- **.txt** (pour traitement statistique dans R, Python, Excel, etc.) ;
- **.xml** (métadonnées + structure) ;
- **.spc** (fichiers spectrométriques pour la radioactivité gamma).

Un **fichier de configuration de traitement général** (.pro) est également généré. Le fichier de sortie .out permet aussi de :

- Reproduire à l'identique une session de traitement ;
- Archiver la configuration exacte utilisée (utile pour vérification ou audit scientifique).

8 Conclusion de la section Matériels et Méthodes

L'ensemble des étapes méthodologiques décrites dans ce rapport vise à garantir la **qualité, la répétabilité et la comparabilité des données** acquises lors de la campagne de carottages sédimentaires menée en milieu intertidal dans la baie de Saint-Brieuc. La combinaison d'un **échantillonnage terrain structuré**, d'un **banc d'analyse multiparamétrique** calibré et d'un **protocole de traitement rigoureux** permet de produire des données physico-sédimentaires robustes, exploitables dans une optique descriptive et comparative à différentes échelles.

Les données obtenues via le Multi-Sensor Core Logger (MSCL) fournissent un cadre analytique précieux pour documenter la structure verticale des dépôts, détecter d'éventuelles discontinuités stratigraphiques, et appuyer des hypothèses sur l'évolution sédimentaire récente du fond de baie.

Bibliographie :

Bureau Jérémy, Lacouture Jérémy, Proust Jean-Noël, 2011. Manuel d'utilisation du Multi-Sensor Core Logger de GEOTEK. Rapport de stage de master 1. Université de Rennes 1.

GEOTEK 2021. Multi-Sensor Core Logger – Standard Manual.