

Taux de sédimentation dans l'étang de Thau à partir des données géochronologiques, géochimiques et des repères stratigraphiques

Sédiment
Lagune
Géochronologie
 ^{210}Pb
Thau

Sediment
Basin
Geochronology
 ^{210}Pb
Thau

Fabrice MONNA ^{**,} Joël LANCELOT ^{*,} Michel BERNAT ^b et Henri MERCADIER ^a

^a Laboratoire de Géochimie Isotopique, UMR 5567 CNRS-Université de Montpellier II, Place E. Bataillon, case 066, F 34095 Montpellier Cedex 05, France.

E-mail: monna@dstu.univ-montp2.fr

^{*} *Present address*: Institut F.A. Forel, 10 route de Suisse, CH 1290 Versoix, Suisse.

^b Laboratoire de Géochimie Isotopique, URA 132 CNRS-Université de Nice - Sophia Antipolis, Parc Valrose, F 06000 Nice, France.

Reçu le 14/03/96, révisé le 05/09/96, accepté le 12/09/96.

RÉSUMÉ

Les données radiochronologiques (^{210}Pb) obtenues sur quatre carottes de sédiment, couplées à l'analyse des éléments majeurs, aux radiographies par rayons X et aux données météorologiques ont permis de retracer une histoire sédimentaire récente et cohérente du bassin de Thau (Hérault, France). L'analyse par groupe, effectuée à partir des données géochimiques, individualise des horizons qui possèdent une forte signature terrigène, et qui sont également identifiés aux rayons X. Ils sont caractérisés par des teneurs en Al, Fe, Ti et K élevées et tout semble indiquer qu'ils sont la conséquence de la crue catastrophique qui eu lieu en septembre 1875. Cette dernière est utilisée pour compléter ou confirmer les données radiochronologiques dont la limite de validité ne dépasse pas un siècle; les zones proches des apports fluviaux ayant très bien enregistré cet événement. Les taux de sédimentation mesurés sont compris entre 0,09 et 0,18 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$ et sont en bon accord avec les connaissances actuelles concernant la dynamique de l'étang.

ABSTRACT

Sedimentation rate in the Thau basin (France) according to geochronological, geochemical and stratigraphical data.

Geochronological data (^{210}Pb) obtained on four sediment cores, coupled with geochemical analysis, X-ray radiography, meteorological data and stratigraphical observations, made it possible to provide a recent and coherent sedimentary history of the Thau basin (Hérault, France). Cluster analysis of major elements isolates some horizons presenting a strong terrigenous signature, which are also identified by X-ray. These strata, characterized by high Al, Fe, Ti and K contents, are the consequence of the exceptional flood which occurred in September 1875. This event serves to calibrate the radiochronological data, which are limited at 100 years. Cores located close to the continental and fluvial inputs accurately

record the flood horizon. Measured sedimentation rates range between 0.09 and $0.18 \text{ g.cm}^{-2}.\text{yr}^{-1}$ and are in general agreement with the knowledge concerning the dynamic of the basin.

Oceanologica Acta, 1997, 20, 4, 627-638.

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, on étudie dans les environnements lacustres, marins et estuariens la colonne sédimentaire pour reconstituer l'historique des apports terrigènes et/ou anthropiques. La chronologie est le plus souvent déterminée à l'aide du radio-isotope ^{210}Pb (Krishnaswamy *et al.*, 1971; Koide *et al.*, 1972; Robbins et Edgington, 1975). Cette méthode suppose une bonne conservation de la colonne sédimentaire et le respect d'un certain nombre d'hypothèses concernant la vitesse de sédimentation, le flux en ^{210}Pb et l'activité en surface. Dans un milieu naturel, toutes ces hypothèses préalables ne sont malheureusement que très rarement respectées : des périodes brutales de sédimentation peuvent subvenir (Smith et Walton, 1980), à l'opposé l'érosion par les courants de fonds risque d'éliminer une période de sédimentation (Dominik *et al.*, 1992), les bouleversements biologiques (bioturbation) ou physiques (diffusion) peuvent modifier les profils en ^{210}Pb , enfin l'activité humaine peut induire un changement brutal dans les conditions de dépôt. Pour pallier ces difficultés, on a souvent couplé la mesure du ^{210}Pb avec celle du ^{137}Cs qui présente l'avantage de fournir deux dates absolues (1963-1964 et 1986). Enfin, une autre possibilité consiste à étalonner les données géochronologiques à l'aide d'événements exceptionnels ayant entraîné des modifications dans les conditions de sédimentation comme par exemple la construction d'un barrage, le détournement d'un cours d'eau (Dominik *et al.*, 1981), une arrivée brutale de matériel terrigène à la suite d'une crue (Smith et Walton, 1980) ou le développement d'un marais (Zwolsmann *et al.*, 1993).

Dans le cadre de cette étude, une datation par la méthode ^{210}Pb a été effectuée sur quatre carottes de sédiments prélevées dans l'étang de Thau. De plus, afin d'identifier d'éventuels repères stratigraphiques, radiographies aux rayons X et mesure des éléments majeurs ont également été réalisées. Les données géochronologiques, stratigraphiques, chimiques et historiques peuvent alors être confrontées pour permettre une reconstitution fiable de l'histoire sédimentaire de la lagune.

LE SITE

Le bassin de Thau est la plus grande lagune languedocienne (fig. 1). Situé à $43^\circ 22' \text{ N}$ et $3^\circ 35' \text{ E}$, à une trentaine de kilomètres à l'ouest de Montpellier, il s'étend sur une longueur maximale de 19,5 km par 4,5 km de large et développe une surface de 70 km^2 pour un volume de 265 M m^3 . Sa profondeur moyenne varie entre 4 et 5 m mais peut ponctuellement atteindre 10 à 11 m. Il est soumis à un climat méditerranéen caractérisé par de très violents orages en automne. La pluviométrie moyenne annuelle est voisine

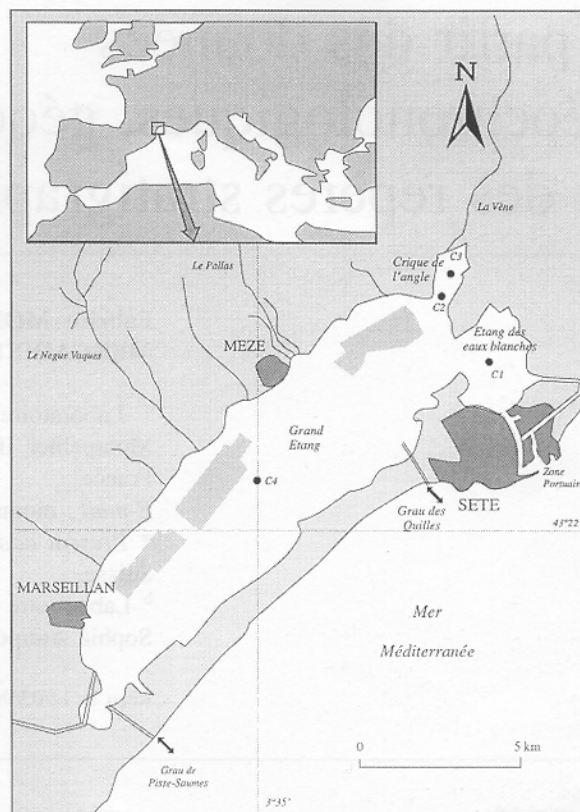


Figure 1

L'étang de Thau : situation générale et emplacement des prélèvements (d'après Guelorget *et al.*, 1994).

Thau basin: General situation and core locations (after Guelorget et al., 1994).

de 680 mm (donnée Météo France). Dans sa partie nord, deux importantes rivières l'alimentent (la Vène et le Pallas), mais aussi de nombreux petits ruisseaux dont le débit très irrégulier dépend essentiellement des précipitations. Au sud, l'étang est séparé de la Méditerranée par un cordon littoral sableux.

Le bassin est divisé en trois grandes unités. Au centre, le Grand Étang est relié avec la mer par deux chenaux artificiels : le Grau de Pisses-Saumes et le canal des Quilles. À l'est, l'étang des Eaux Blanches communique avec le port, et la mer, par les canaux de la ville de Sète qui sont l'exutoire de nombreux rejets industriels. Au nord la Crique de l'Angle reçoit les eaux de la Vène. Notons également que neuf stations de traitement des eaux usées rejettent leurs effluents dans l'étang.

Le bassin versant, à forte dominance agricole, développe une superficie de près de 300 km^2 ; il est essentiellement composé de calcaires jurassiques dans sa partie Nord-Est, de marnes Miocène comblant le fossé d'effondrement de Montbazin-Gigean, et de quelques formations crétacées au Nord.

MÉTHODES

L'échantillonnage a été conduit en novembre 1993 à l'aide un carottier de type « Mackereth ». Les stations ont été choisies afin de cibler différents types d'apports (cf. fig. 1). Les carottes C2 et C3 se situent dans la Crique de l'Angle, près de l'embouchure de la Vène, tandis que la carotte C1 est prélevée au centre de l'étang des Eaux Blanches. La carotte C4, située au centre du Grand Étang, est la plus éloignée des apports continentaux et maritimes. Toutes ces carottes ont été radiographiées aux rayons X, puis réfrigérées à 4 °C dès leur arrivée au laboratoire. Peu après, le sédiment a été extrait par échantillonnage tous les centimètres sur les dix premiers centimètres, tous les 2 cm jusqu'à 20 cm, tous les 5 cm de 20 cm à 50 cm et enfin tous les 10 cm. La porosité est déterminée après séchage à 70 °C (Sugai *et al.*, 1994). Ensuite, les échantillons ont été tamisés à 60 µm afin de réduire les effets de grains ou de dilution dus à la présence de débris de coquilles et d'une fraction grossière (Rapin, 1981). Le $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ étant préférentiellement associé à la fraction silteuse ou à la matière organique (Benninger et Krishnaswami, 1981), on aurait pu aboutir sans tamisage à des variations essentiellement liées à la lithologie.

La datation radiométrique a été réalisée par la méthode ^{210}Pb , dont la théorie a été récemment résumée par Appleby et Oldfield (1992). L'activité totale en ^{210}Pb a été obtenue par le biais du ^{210}Po , supposé à l'équilibre avec le ^{210}Pb , et mesuré par scintillation liquide haute résolution PERALS® (Monna *et al.*, 1996). Il existe plusieurs modèles mathématiques pour calculer les vitesses de sédimentation. Le plus simple est le modèle CF:CS qui suppose constants le flux en ^{210}Pb et le taux de sédimentation (Goldberg, 1963; Krishnaswamy *et al.*, 1971). Plutôt que la profondeur en cm, on utilisera ici le poids cumulé (en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) pour s'affranchir des variations de porosité liées à la compaction (Smith et Walton, 1980; Baxter *et al.*, 1981). Le flux (P) et le taux de sédimentation (ω) sont alors exprimés respectivement en $\text{dpm}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$ et $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$ (dpm: désintégrations par minute). On obtient:

$$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(m) = ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(0) \cdot e^{-\lambda t} \text{ avec } m/\omega = t$$

où λ représente la constante de désintégration du ^{210}Pb , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(m)$ l'activité en $\text{dpm}\cdot\text{g}^{-1}$ du niveau m et $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(0)$ l'activité en surface, valant P/ω . Reporté dans un diagramme semi-logarithmique, le $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ définit une droite de régression dont la pente permet de calculer un taux de sédimentation moyen. Afin de minimiser l'influence des niveaux profonds qui présentent un forte indétermination, toutes les mesures sont pondérées par un facteur inversement proportionnel à leur erreur relative. L'ordonnée à l'origine permet d'estimer l'activité en ^{210}Pb initiale: $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(0)$.

Le second modèle, CIC (Constant Initial Concentration) repose sur l'hypothèse que, si P ou ω varient, ces variations sont opposées de sorte que l'activité initiale reste constante (Pennington *et al.*, 1976). Bien que la coïncidence de ces conditions paraisse peu probable, on peut calculer un âge pour chaque horizon en utilisant l'équation:

$$T_m = 1/\lambda \ln | ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(0) / ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(m) |$$

où T_m représente le temps écoulé depuis le dépôt de l'horizon m .

On peut aussi admettre (modèle CRS: Constant Rate Supply) que les variations des retombées en ^{210}Pb , contrôlées par les émanations de ^{222}Rn et le régime des vents, ont été négligeables sur le site pendant les 100 dernières années (Appleby et Oldfield, 1978). Comme précédemment, un âge pour chaque strate est calculé à partir de:

$$T = 1/\lambda \ln | \Sigma ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}} / ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(m) |$$

où $\Sigma ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ représente l'activité intégrée sur l'ensemble de la colonne sédimentaire et $\Sigma ^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}(m)$ l'activité intégrée au dessous de l'horizon m .

Les analyses en éléments majeurs ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre à fluorescence X SIEMENS SRS1 après fusion alcaline, sauf le NaO qui a été mesuré par spectrophotométrie à flamme. La précision analytique est de l'ordre $\pm 2\%$ (2σ), excepté pour le MgO, le MnO et le NaO où elle atteint $\pm 5\%$.

L'analyse par groupe a été menée sur les variables chimiques afin de regrouper objectivement les échantillons ayant des caractéristiques voisines, et éventuellement de mettre en évidence certains niveaux anormaux. Cette méthode de classement est, le plus souvent, bien adaptée à l'étude de la colonne stratigraphique (Swan et Sandilands, 1995). La procédure se compose d'une réduction préalable des données (soustraction de la moyenne et division par la déviation standard) du calcul de la matrice des distances euclidiennes, puis du regroupement à l'aide de l'algorithme de classement.

RÉSULTATS

Description des carottes

Les quatre carottes ont une couleur allant du beige clair au beige foncé (fig. 2). En surface, on peut trouver une zone plus foncée, épaisse d'un centimètre, très riche en eau, qui correspond à la remise en suspension des sédiments pendant l'échantillonnage. L'examen visuel et les radiographies aux rayons X permettent d'individualiser différentes séquences sédimentaires. La carotte C1 évolue entre 15 et 20 cm à partir d'une vase beige clair contenant des débris de coquilles jusqu'à une boue gris foncé à forte odeur d' H_2S qui témoigne d'un milieu réducteur. De 20 à 25 cm, des structures obliques indiquent un probable bouleversement de la colonne sédimentaire. Les carottes C2 et C3 sont marquées par des passages vaseux gris foncé à forte odeur d' H_2S , très nettement repérables aux rayons X par leur aspect opaque. Les plus profondes, à respectivement 27-32 cm et 42-47 cm, sont les plus nettes. Elles ont des limites très franches et sont composées de matériel de taille inférieure à 60 µm. Deux autres séquences possédant approximativement les mêmes caractéristiques, apparaissent dans C2 et C3 à respectivement 8-10 cm et 18-23 cm, mais de façon moins marquée. Enfin, dans la carotte C4, de nombreuses lamines légèrement inclinées semblent témoigner d'une bonne conservation de la colonne stratigraphique.

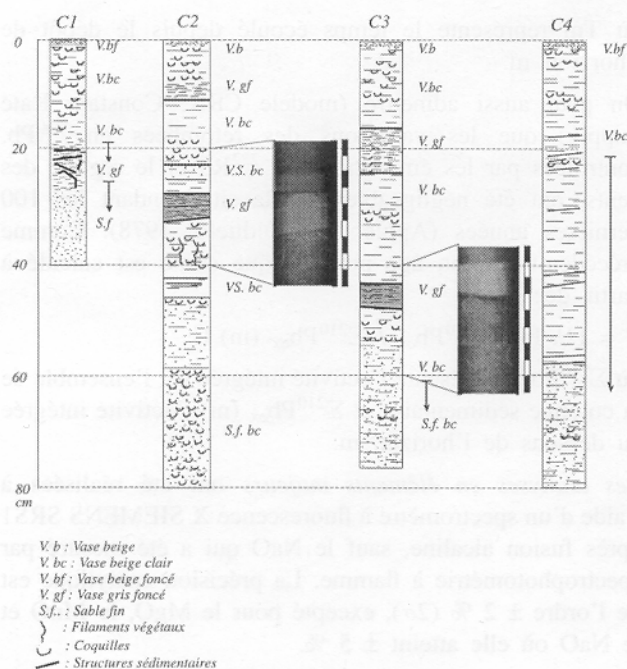


Figure 2

Logs stratigraphiques des quatre carottes reconstitués à partir des observations visuelles et des radiographies aux rayons X.

Stratigraphic log of four cores according to visual observations and X-ray radiographies.

Profils en ²¹⁰Pb

Le ²¹⁰Pb décroît globalement de façon exponentielle (tab. 1, figs. 3, 4). Toutefois, pour la carotte C1, l'activité maximale n'est pas rencontrée à l'interface eau-sédiment mais juste en dessous. De même, on note une certaine irrégularité de l'activité en ²¹⁰Pb dans les cinq premiers centimètres de la carotte C2. La carotte C4 montre un profil extrêmement régulier avec une légère inflexion entre 7 et 13 cm. En profondeur, ces profils tendent asymptotiquement vers une activité limite qui permet d'estimer le ²¹⁰Pb supporté (Ritson *et al.*, 1994): 1,47 ± 0,10 dpm.g⁻¹ pour C2, 1,75 ± 0,10 pour C4, 2,00 ± 0,10 dpm.g⁻¹ pour C3; une valeur de 1,5 ± 0,10 dpm.g⁻¹ est supposée pour C1 bien que nous ne disposons pas d'analyse correspondant aux niveaux profonds. Compte tenu de la variation de la composition des sédiments, il n'est pas évident que ce ²¹⁰Pb, en équilibre avec le ²²⁶Ra, soit constant sur toute la colonne sédimentaire. Toutefois ces activités sont faibles et d'éventuelles variations du Pb_{sup} seront sans grand effet sur la détermination des taux de sédimentation.

Analyse par groupe

Les profils en éléments majeurs ainsi que la porosité et la perte au feu (LOI) sont présentés sur les figures 3 et 4. A partir de ces analyses, l'analyse par groupe permet de définir plusieurs familles dont les individus présentent des caractéristiques voisines.

Tableau 1

Taux de sédimentation apparents (en considérant que les niveaux anomaux sont consécutifs de la crue de 1875) puis calculés à l'aide du ²¹⁰Pb par les modèles CF:CS et CRS, concentration initiale, flux et inventaire du ²¹⁰Pb_{ex}.

Apparent sedimentation rate (considering that the anomalous layers are due to the flood of 1875), calculated with the ²¹⁰Pb data by CF:CS and CRS model, initial concentration, flux and ²¹⁰Pb_{ex} inventory.

Profondeur (cm)	Profondeur (g.cm ⁻²)	²¹⁰ Pb _{tot} (dpm.g ⁻¹)	²¹⁰ Pb _{ex} (dpm.g ⁻¹)
0-1	0-0.8	7.36 ± 0.24	5.86 ± 0.34
1-2.2	0.8-1.7	10.12 ± 0.31	8.62 ± 0.41
2.2-3.4	1.7-2.5	8.94 ± 0.26	7.44 ± 0.36
4.6-5.8	3.4-4.3	6.66 ± 0.12	5.16 ± 0.22
5.8-7.0	4.3-5.3	3.93 ± 0.12	2.43 ± 0.22
7.0-8.5	5.3-6.3	3.54 ± 0.10	2.04 ± 0.20
8.5-9.5	6.3-7.3	2.98 ± 0.10	1.48 ± 0.20
9.5-11	7.3-8.3	2.37 ± 0.08	0.87 ± 0.18
11-12.5	8.3-9.2	2.67 ± 0.04	1.17 ± 0.14
13.8-15.0	10.1-10.9	1.99 ± 0.05	0.49 ± 0.15
0-1.0	0-0.6	7.09 ± 0.22	5.62 ± 0.32
1.0-2.2	0.6-1.2	7.64 ± 0.24	6.17 ± 0.34
2.2-3.4	1.2-1.9	5.29 ± 0.26	3.73 ± 0.36
3.4-4.6	1.9-2.6	6.35 ± 0.16	4.88 ± 0.26
4.6-6.0	2.6-3.4	4.83 ± 0.22	3.35 ± 0.32
6.0-7.2	3.4-4.2	3.70 ± 0.11	2.23 ± 0.21
7.2-8.4	4.2-5.1	2.67 ± 0.09	1.20 ± 0.19
8.4-9.6	5.1-6.0	2.42 ± 0.09	0.95 ± 0.19
9.6-10.8	6.0-6.9	1.96 ± 0.09	0.49 ± 0.19
10.8-12.0	6.9-7.7	2.78 ± 0.10	1.31 ± 0.20
16.0-17.0	10.9-11.8	2.11 ± 0.08	0.64 ± 0.18
21.0-22.5	13.9-14.5	2.06 ± 0.06	0.59 ± 0.16
26.5-27.5	19.2-19.9	1.97 ± 0.08	0.50 ± 0.18
32.5-33.5	23.8-24.7	1.72 ± 0.06	0.25 ± 0.16
40.0-41.0	28.5-29.1	1.58 ± 0.05	-
49.5-50.5	33.0-33.7	1.50 ± 0.05	-
68-69	46.8-47.6	1.45 ± 0.05	-
1.1-2.2	0.6-1.3	7.64 ± 0.19	5.64 ± 0.29
2.2-3.3	1.3-2.0	5.92 ± 0.09	3.92 ± 0.19
3.3-4.4	2.0-2.7	5.72 ± 0.10	3.72 ± 0.20
4.4-5.5	2.7-3.5	4.72 ± 0.17	2.72 ± 0.27
5.5-6.6	3.5-4.4	4.02 ± 0.09	2.02 ± 0.19
6.6-7.7	4.4-5.1	3.65 ± 0.09	1.65 ± 0.19
7.7-8.8	5.1-6.0	3.25 ± 0.07	1.25 ± 0.17
8.8-9.9	6.0-6.8	3.02 ± 0.08	1.02 ± 0.18
9.9-11	6.8-7.6	3.24 ± 0.09	1.24 ± 0.19
14-15	9.8-10.7	2.34 ± 0.08	0.34 ± 0.18
21-22	15.0-16.6	1.85 ± 0.06	-
27-28	20-21	2.25 ± 0.08	-
33-34	23.9-24.7	2.57 ± 0.09	-
42-43	28.6-29.5	2.43 ± 0.08	-
73-74	56-57	2.61 ± 0.09	-
0-1	0-0.6	10.89 ± 0.35	9.14 ± 0.45
1-2	0.6-1.4	8.72 ± 0.33	6.97 ± 0.43
2-4	1.4-2.2	6.92 ± 0.21	5.17 ± 0.31
4-5	2.2-3.2	5.76 ± 0.11	4.01 ± 0.21
5-7	3.2-4.0	5.02 ± 0.15	3.26 ± 0.25
7-8.5	4.0-4.8	4.75 ± 0.14	2.99 ± 0.24
8.5-10	4.8-5.6	4.48 ± 0.12	2.73 ± 0.22
10-11.5	5.6-6.5	4.36 ± 0.12	2.61 ± 0.22
11.5-12.5	6.5-7.3	3.77 ± 0.09	2.02 ± 0.19
16-17	9.5-10.3	2.42 ± 0.09	0.67 ± 0.19
22-23	13.5-14.5	2.07 ± 0.07	0.32 ± 0.17
29-30	19-3.20	1.77 ± 0.06	-
60-61	37-37.8	1.73 ± 0.07	-

Tableau 2

$^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ et $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ calculés avec des activités en $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ de 1.50 ± 0.10 pour C1, 1.47 ± 0.10 pour C2, 2.00 ± 0.10 pour C3 et 1.75 ± 0.10 dpm.g⁻¹ pour C4.

$^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ calculated with $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ activities of 1.50 ± 0.10 for C1, 1.47 ± 0.10 for C2, 2.00 ± 0.10 for C3 and 1.75 ± 0.10 for C4.

	ω (g.cm ⁻² .an ⁻¹) Apparent	ω (g.cm ⁻² .an ⁻¹) Modèle CF:CS	ω (g.cm ⁻² .an ⁻¹) Modèle CRS	$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (θ) (dmp.g ⁻¹)	P (dpm.cm ⁻² .an ⁻¹)	Inventaire $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (dpm)
C1	-	0,099 ± 0,006	0,087	15,59 ± 0,75	1,16	37,7
C2	0,163	0,114 ± 0,020	0,187	7,59 ± 0,50	0,80	26,0
C3	0,228	0,123 ± 0,008	0,175	7,33 ± 0,26	0,78	25,0
C4	-	0,133 ± 0,006	0,108	9,24 ± 0,24	1,07	34,6

Carotte C1 (figs. 3a, 5)

Le premier groupe (1G1) est composé des échantillons superficiels. Il se caractérise par des teneurs en Al₂O₃, Fe₂O₃ et MnO faibles, avec un certain enrichissement en CaO et P₂O₅. Le groupe 1G2 a une composition voisine de la moyenne de tous les échantillons; seule la perte au feu semble légèrement plus élevée. L'échantillon 19, caractérisé par de fortes teneurs en Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, K₂O et par une faible concentration en CaO, ne présente aucune affinité avec les deux groupes précédents. Cet échantillon est référencé sous le nom 1G3.

Carotte C2 (figs. 3b, 5)

Trois groupes sont individualisés: 2G1, 2G2 et 2G3. Seul l'échantillon 28 est mal classé, mais une certaine similitude avec les échantillons 8 et 10 est mise en évidence après analyse en composantes principales (ACP). Les cinq échantillons superficiels forment le groupe 2G1 (NaO, P₂O₅ et LOI sont élevés et Al₂O₃, Fe₂O₃ et K₂O plus faibles). Le groupe 2G3 se caractérise par des teneurs en Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, SiO₂ de 15 à 40 % supérieures à celles des deux autres groupes tandis que porosité, LOI et NaO y sont bien plus faibles. Il correspond aux séquences terrigènes qui apparaissent blanchâtres aux rayons X (fig. 2). Enfin, le groupe 2G2 présente une composition chimique moyenne intermédiaire.

Carotte C3 (figs. 4a, 5)

Les deux niveaux superficiels forment le groupe 3G1. Ce dernier a sensiblement les mêmes caractéristiques que le 2G1 (LOI, P₂O₅ élevés et SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, TiO₂ faibles). Le groupe 3G2 est composé principalement des niveaux de sub-surface. Il se différencie peu du groupe 3G3, sinon par ses teneurs en K₂O et en P₂O₅. L'échantillon 42, appartenant à la séquence terrigène entre 42 et 47 cm, demeure isolé (3G4) et ne peut être rattaché à aucun autre groupe par l'ACP. Comme le groupe 2G3, il présente un enrichissement relatif en SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, et K₂O avec un appauvrissement en CaO.

Carotte C4 (figs. 4b, 5)

Le groupe 4G1 est composé des onze niveaux du sommet de la carotte. Le niveau 61 peut être rattaché au groupe 4G2 qui diffère du 4G1 par la LOI et le K₂O. L'échantillon 72 présente une composition atypique et définit le groupe 4G3.

DISCUSSION

C2 et C3 (Crique de l'Angle)

Dans C2, l'analyse par groupe et la radiographie aux rayons X individualisent deux séquences atypiques (entre 8-10 cm et plus particulièrement entre 27-32 cm). La plus profonde est la plus homogène. Peu poreuse et composée exclusivement d'un matériel inférieur à 60 μm, elle présente une composition chimique indiquant une forte contribution terrigène (Wahlen et Thompson, 1980), qui a été récemment confirmée par la mesure des isotopes du Pb (Lancelot *et al.*, 1995). Ces caractéristiques suggèrent un apport sporadique brutal et massif de particules silteuses et argileuses, probablement à la suite d'une forte crue. La séquence superficielle à 8-10 cm est moins marquée aux rayons X et montre des teneurs en Fe₂O₃, TiO₂ et Al₂O₃ plus faibles. On peut supposer que si ce dépôt est lui aussi consécutif à une crue, celle-ci a été d'une plus faible intensité. Néanmoins, il est relativement étonnant de rencontrer un matériel aussi fin après une crue alors que la plupart des auteurs repèrent ces événements grâce aux séquences grossières (Smith et Walton, 1980; Giresse *et al.*, 1994). Il est vraisemblable qu'ici les particules grossières ont sédimenté très rapidement près des embouchures.

La séquence la plus opaque de C3 à 42-47 cm a sensiblement les mêmes caractéristiques que celle située entre 27 et 32 cm dans C2. Ces ressemblances suggèrent que les deux niveaux sont contemporains du même événement. De même, et bien que l'analyse par groupe ne mette pas en évidence la séquence 18-22 cm de C3, on peut tenter de la faire correspondre avec celle située entre 8-10 cm dans C2, puisque tous deux ont de nombreuses similitudes chimiques et morphologiques.

Enfin, la carotte C3 présente globalement des caractéristiques sensiblement plus détritiques que C2. Située plus près de l'embouchure de la Vène, il n'est pas étonnant d'y rencontrer une influence terrigène légèrement plus marquée, et probablement un taux de sédimentation plus fort.

Radiochronologie et tentative de calibration stratigraphique

Après élimination des niveaux détritiques en raison de leur caractère sporadique (Smith et Walton, 1980; Sugai *et al.*, 1994), des taux de sédimentation de 0,114 et

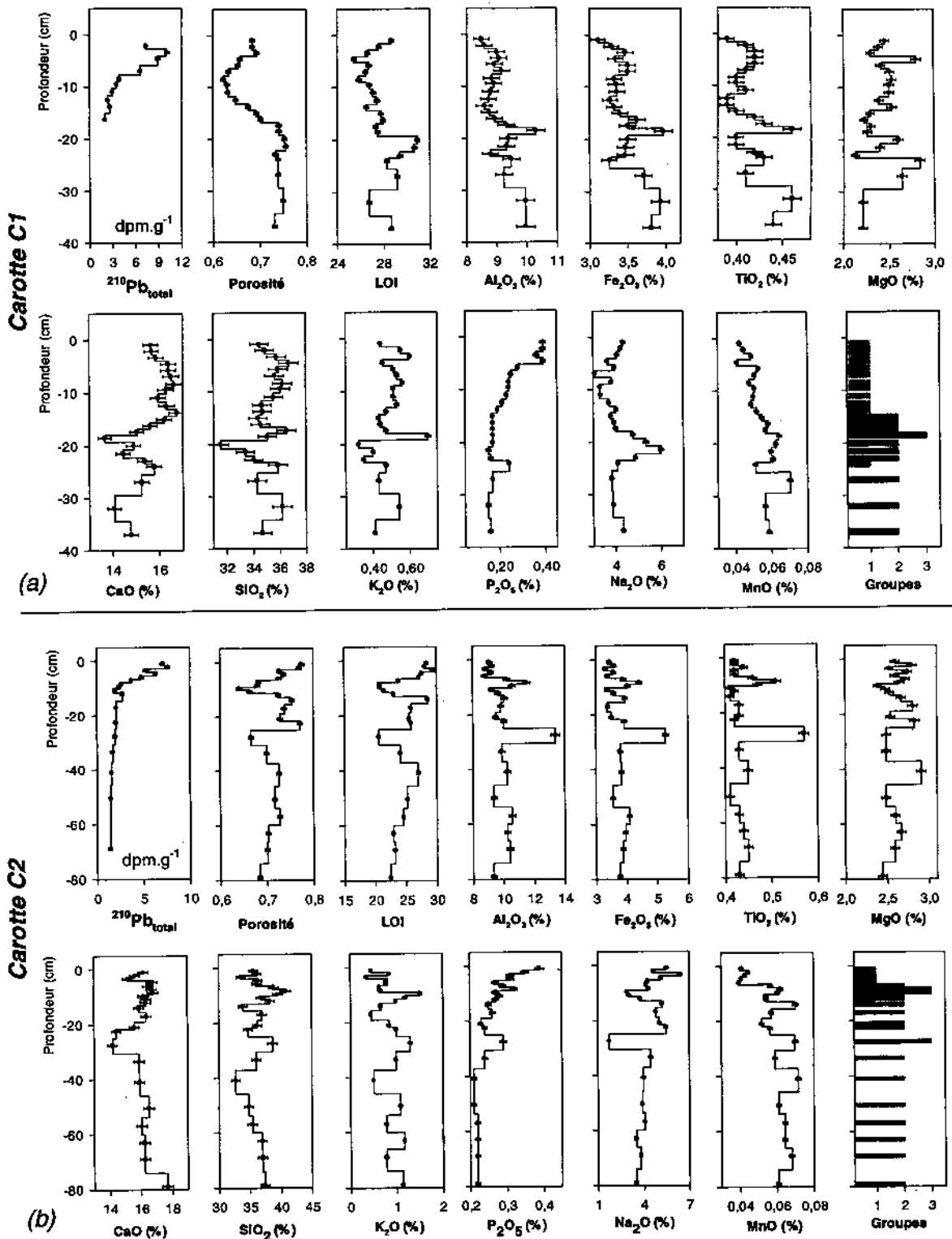


Figure 3

Profils en éléments majeurs, perte au feu à 1000 °C (LOI), porosité, $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$, et analyse par groupe pour les carottes C1 (3a) et C2 (3b).

Profiles of major elements, lost to ignition at 1000 °C (LOI), porosity, $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$, and cluster analysis for the cores C1 (3a) and C2 (3b).

0,123 g.cm⁻².an⁻¹ sont calculés pour les carottes C2 et C3. De telles valeurs peuvent alors être confrontées avec les repères géochimiques et stratigraphiques. Si l'on considère que les horizons très détritiques (C2: 27-32 cm et C3: 42-47 cm) sont la conséquence d'une même crue exceptionnelle, sa trace devrait être conservée dans les

annales météorologiques. Pour la station de Sète, les données météorologiques concernant les précipitations sont disponibles à partir de 1870, mais elles ont pu être partiellement complétées par les documents du Centre des Archives de Montpellier. Il apparaît qu'en septembre 1875 il s'est produit une crue dévastatrice, sans aucun

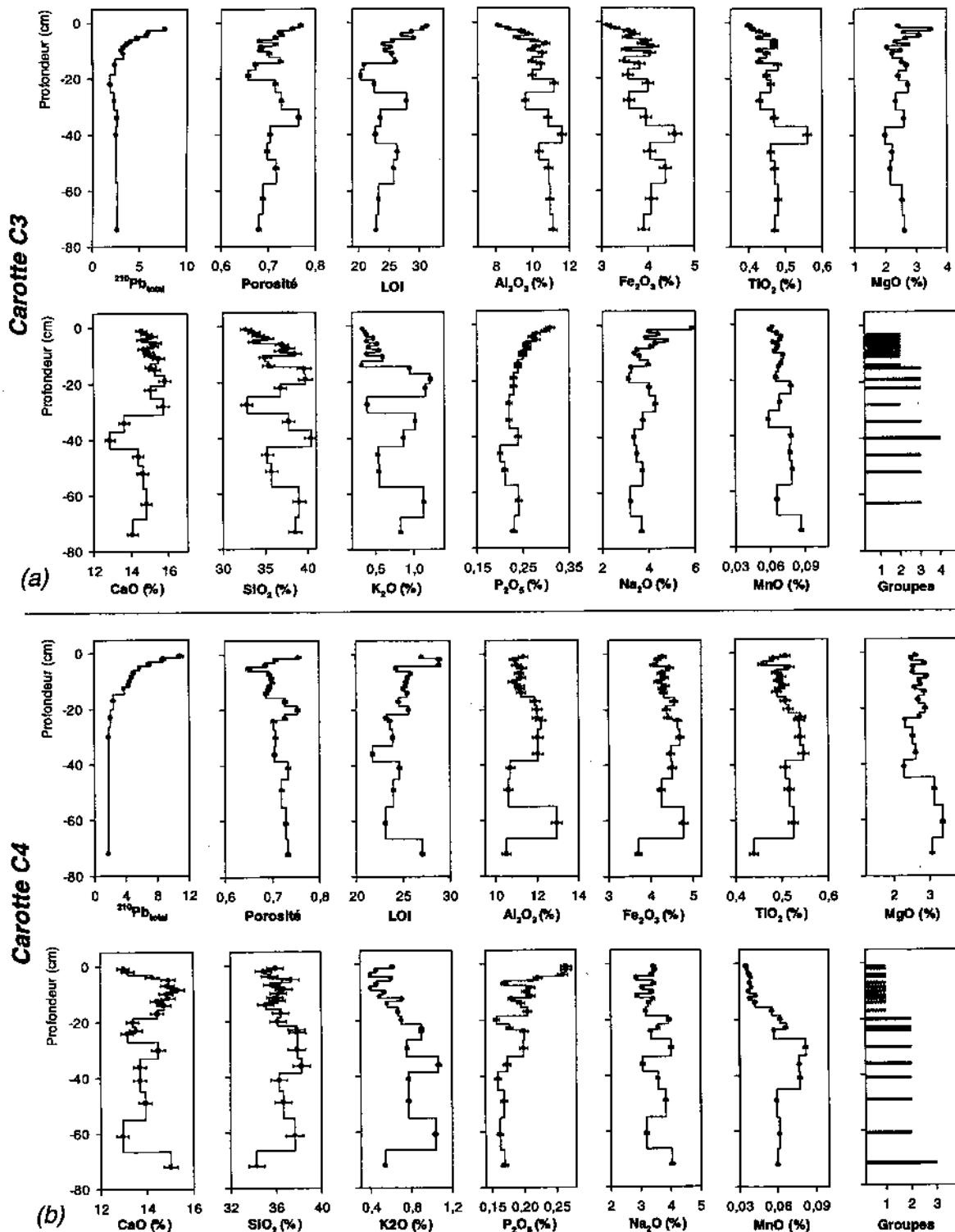


Figure 4

Profils en éléments majeurs, perte au feu à 1000 °C (LOI), porosité, $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$, et analyse par groupe pour les carottes C3 (4a) et C4 (4b).

Profiles of major elements, lost to ignition at 1000 °C (LOI), porosity, $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$, and cluster analysis for the cores C3 (4a) and C4 (4b).

équivalent depuis la Révolution jusqu'à aujourd'hui. Le cumul mensuel a dépassé 400 mm et l'impact a été d'autant plus dévastateur que la période de fortes pluies a été courte (seulement quatre jours : les 12, 13, 14 et 15 septembre). Notons pour mémoire que l'Hérault était alors à 10,24 m au dessus de son niveau d'étiage à Gignac et que la Vène avoisinait les 5 m (Anonyme, 1930). Cependant, un tel âge

n'est pas compatible avec le modèle CF:CS, puisque l'on trouve 1835 ± 22 et 1816 ± 12 pour C2 et C3 (fig. 6). On peut supposer ce modèle ne reflète pas les conditions sédimentaires réelles ; c'est pourquoi les modèles CRS et CIC, ont été envisagés bien que leur utilisation soit quelquefois contestable. Plusieurs études ont démontré que l'enveloppe des âges déterminée par ces trois modèles

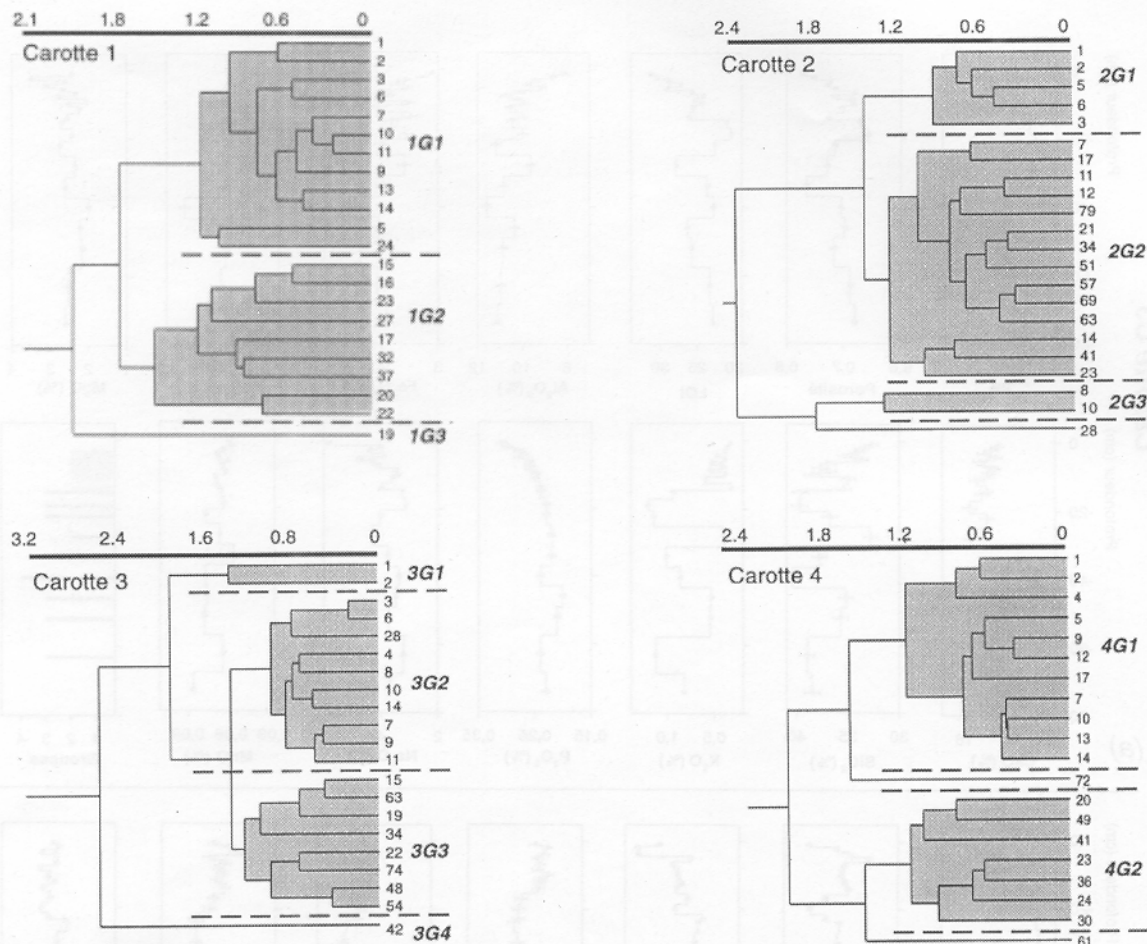


Figure 5

Dendrogrammes des quatre carottes obtenus par analyse par groupes.

Dendrograms of the four cores obtained from the cluster analysis.

fournit une chronologie relativement fiable (Dominik *et al.*, 1981 ; French *et al.*, 1994). Appliqués aux carottes C2 et C3 (fig. 6), tous trois donnent sensiblement les mêmes résultats dans la partie superficielle, mais à partir des années 30-40 le modèle CRS s'écarte du modèle à taux constant. Ce modèle est particulièrement bien adapté pour dater un niveau particulier ou pour donner un taux de sédimentation massique sur un intervalle de temps donné. Il se révèle même comme l'un des plus précis si on l'utilise sur les 80 dernières années (Radakovitch, 1995) et permet de calculer ici des taux de sédimentation moyens de $0,187 \text{ g.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$ et de $0,175 \text{ g.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$ pour C2 et C3. Ces valeurs doivent être comparées aux taux apparents de $0,163 \text{ g.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$ et $0,228 \text{ g.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$ nécessaires pour faire correspondre les niveaux terrigènes avec la crue de 1875. En C2, les données radiochronologiques et stratigraphiques sont cohérentes. Pour la carotte C3, le taux de sédimentation calculé avec le modèle CRS est encore trop faible mais il faut garder à l'esprit qu'un événement aussi ancien (118 ans) correspond à l'extrême limite du domaine de validité de la méthode ^{210}Pb . Il n'est pas surprenant d'obtenir un taux de sédimentation plus élevé en C3 puisque cette carotte est située plus près de l'embouchure de la Vène, donc de la principale source en matériel terrigène.

Les deux épisodes détritiques superficiels, apparaissant dans C2 et C3, sont datés à respectivement 1955 ± 12

et 1920 ± 20 . Même si les chroniques météorologiques mentionnent d'importants événements pluvieux durant cette période, elles ne font pas état de crues particulièrement catastrophiques qui permettraient de confirmer ou d'affiner ces âges.

C1 (Étang des Eaux Blanches)

On peut être également tenté de faire correspondre l'échantillon 19 (groupe 1G3) avec les précipitations de 1875 puisque cet échantillon présente des caractéristiques chimiques plus ou moins semblables à celles rencontrées dans les horizons atypiques des carottes C2 et C3. Bien que la forte concentration en organismes bioturbateurs dans les premiers centimètres rende l'interprétation du profil en $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ assez aléatoire, notons que les trois modèles (fig. 7) fournissent sensiblement les mêmes résultats ($\sim 0,090 \pm 0,008 \text{ g.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$) et que l'hypothèse du synchronisme de la crue de septembre 1875 avec le dépôt du niveau 19 est cohérente.

C4 (Grand Étang)

La carotte C4 ne montre pas aux rayons X de nettes hétérogénéités mais plutôt des lamines qui témoignent d'une bonne conservation des structures sédimentaires.

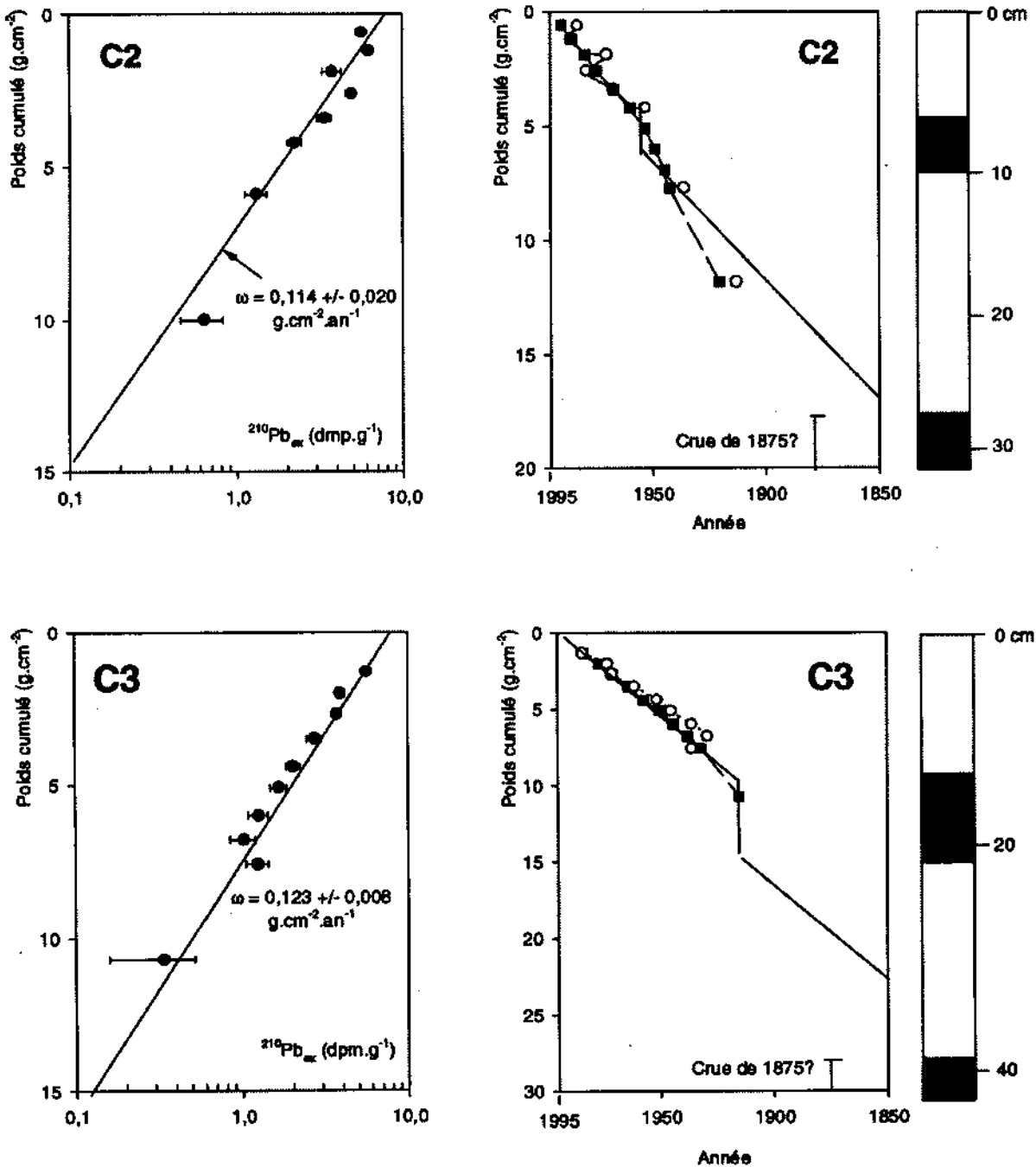


Figure 6

Carottes C2 et C3 : ^{210}Pb en excès vs poids cumulé et relation entre âge et poids cumulé d'après les modèles CF:CS : —, CRS : ■ et CIC : ○.
 Cores C2 and C3 : ^{210}Pb excess vs. cumulative mass and age - cumulative mass relationships according to CF:CS model: —, CRS model: ■ and CIC model: ○.

Située au centre de l'étang, elle n'enregistre pas les apports fluviaux brutaux. Le plus fort argument en faveur d'une sédimentation calme et relativement constante est fourni par le profil de décroissance du ^{210}Pb . Il présente une bonne régularité qui permet de calculer un taux de sédimentation moyen de $0,133$ ($0,006 \text{ g.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$ quel que soit le modèle retenu, avec toutefois entre 4 et 7 g.cm^{-2} une légère inflexion qui suggère une période à plus fort taux de sédimentation (fig. 7). Le niveau 72 (groupe 4G3) présente une composition assez atypique, mais il ne peut

pas être relié à la crue de 1875 puisque les données radiochronologiques indiquent un âge très antérieur.

Flux en $^{210}\text{Pb}_{ex}$ et $\Sigma^{210}\text{Pb}_{ex}$

Les flux P, ($P = \lambda \cdot \Sigma^{210}\text{Pb}_{ex}$) exprimés en $\text{dpm.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$ et les inventaires en $^{210}\text{Pb}_{ex}$ sont présentés dans le tableau 2. Les carottes C2 et C3 ont des caractéristiques semblables ($P \approx 0,8 \text{ dpm.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$, et $\Sigma^{210}\text{Pb}_{ex} \approx 25 \text{ dpm.cm}^{-2}$). De tels flux sont comparables à ceux rencontrés

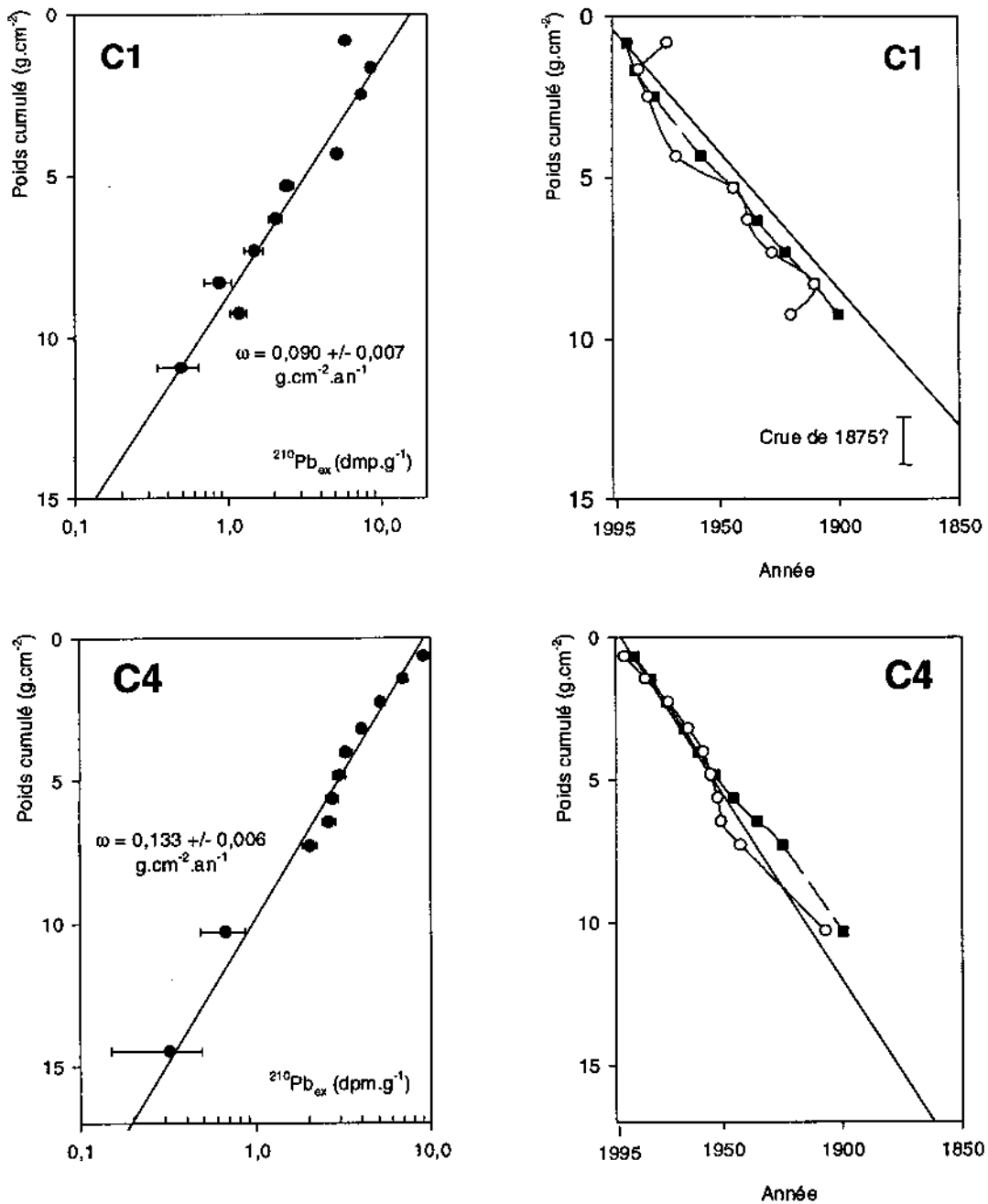


Figure 7

Carottes C1 et C4: ^{210}Pb en excès vs poids cumulé et relation entre âge et poids cumulé d'après les modèles CF:CS: —, CRS: ■ et CIC: ○.
 Cores C1 and C4: ^{210}Pb excess vs. cumulative mass and age - cumulative mass relationships according to CF:CS model: —, CRS model: ■ and CIC model: ○.

habituellement sous nos latitudes: $0,7-1 \text{ dpm.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$ (Turekian *et al.*, 1977; Deconink *et al.*, 1983), mais sont plus faibles que ceux mesurés dans l'étang de Berre: $1,9-3,8 \text{ dpm.cm}^{-2}.\text{an}^{-1}$ (Zampani-Martin *et al.*, 1986). En C1 et C4 on trouve des valeurs sensiblement plus élevées. Ceci est assez inattendu dans la mesure où ces zones sont relativement éloignées des embouchures. Deux précédentes études, concernant la dynamique des courants de fond par modélisation mathématique (Millet, 1989) et la répartition des sédiments de surface $< 60 \mu\text{m}$ (Pena, 1989), indiquent une forte probabilité de sédimentation au centre de l'étang (figs. 8 a, b). Guelorget *et al.* (1994) ont proposé, pour expliquer ce phénomène, un effet de vannage des particules

les plus fines dans les zones périphériques et peu profondes sous l'effet du clapot, et piégeage préférentiel dans les zones profondes et calmes du bassin. L'adsorption du $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ étant plus importante sur les particules fines, les fortes valeurs en $\Sigma^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ pourraient être attribuées localement à une surconcentration de ces dernières.

CONCLUSION

La détermination du taux de sédimentation en milieu lagunaire n'est jamais un problème banal. La datation par le ^{210}Pb peut être compliquée par de nombreux paramètres

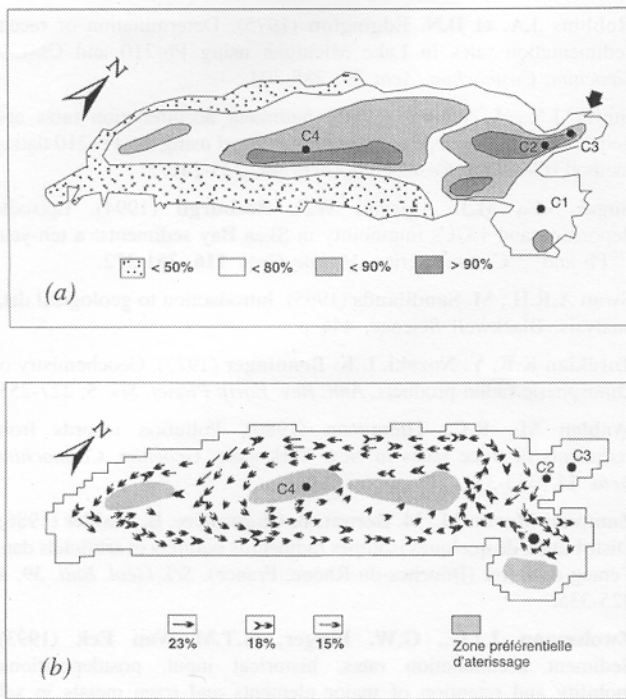


Figure 8

a: Granulométrie du sédiment superficiel. Rapport (%) de la fraction inférieure à $63 \mu\text{m}$ ramenée à la fraction totale de l'échantillon (Pena, 1989). b: Répartition spatiale et fréquentielle des valeurs des tensions de fond (Millet, 1989).

a: *Granulometry of the sediment layer. Proportion (%) of the fraction below $63 \mu\text{m}$ in the bulk sample (Pena, 1989).* b: *Spatial and stochastic structures of the bottom stress, (Millet, 1989).*

difficiles à appréhender (bioturbation, resuspension par les courants de fond et remaniements anthropiques). C'est

RÉFÉRENCES

- Anonyme (1930). Administration des chemins vicinaux ; documents statistiques sur le régime des eaux et la hauteur de crue. Arrondissement de Lodève.
- Appleby P.G., F. Oldfield (1978). The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena* **5**, 1-8.
- Appleby P.G., F. Oldfield (1992). Application of lead-210 to sedimentation studies. In: "Uranium-series disequilibrium", Oxford Science Pub. 2nd edition. 910 p.
- Baxter M.S., R.W. Crawford, D.S. Swan, J.G. Farmer (1981). ^{210}Pb dating of a Loch Lomond sediment core by conventional and particle track methods and some geochemical observations. *Earth Planet. Sci. Lett.* **53**, 434-444.
- Benninger L.K., S. Krishnaswami (1981). Sedimentary processes in the inner New York bight: evidence from excess ^{210}Pb and $^{239,240}\text{Pu}$. *Earth Planet. Sci. Lett.* **53**, 158-174.
- Deconink J.N., M. Bernat, B. Chassefière (1983). Etude des isotopes de U, Th et du ^{210}Pb dans les sédiments de l'étang du Canet (Pyrénées-Orientales). *Oceanologica Acta* **6**, 2, 131-138.
- Dominik J., A. Mangini, G. Müller (1981). Determination of recent deposition rates in Lake Constance with radioisotopic methods. *Sedimentol.* **28**, 653-677.
- Dominik J., J.-L. Loizeau, D. Span (1992). Radioisotopic evidence of perturbations of recent sedimentary record in lakes: a word of caution for climate studies. *Climate Dyn.* **6**, 145-152.
- French P.W., J.R. Allen, P.G. Appleby (1994). 210-Lead dating of a modern period saltmarsh deposit from the Severn Estuary (Southwest Britain), and its implications. *Mar. Geol.* **118**, 327-334.
- Giresse P., S. Ngos, M. Pourchet (1994). Processus sédimentaires séculaires et géochronologie au ^{210}Pb des principaux lacs de la dorsale camerounaise. *Bull. Soc. Géol. France* **165**, 4, 363-380.
- Goldberg E.D. (1963). Geochronology with lead-210. In: Radioactive dating. IAEA Vienna, 121-131.
- Guelorget O., J.-P. Perthuisot, N. Lamy, A. Lefebvre (1994). Structure et organisation de l'étang de Thau d'après la faune benthique (macrofaune, méiofaune). Relations avec le confinement. *Oceanologica Acta* **17**, 105-114.
- Krishnaswamy S., D. Lal, J.-M. Martin, M. Meybeck (1971). Geochronology of lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.* **11**, 407-414.
- Koide M., A. Soutar, E.D. Goldberg (1972). Marine geochronology with ^{210}Pb . *Earth Planet. Sci. Lett.* **14**, 442-446.
- Lancelot J., F. Monna, H. Mercadier (1995). Lead isotope, major and trace element analysis tracing pollution and natural contributions

- in the recent sediments of the Thau basin (Southern France). *EUG VIII*, Strasbourg, France, Terra, 7, 326.
- Millet B.** (1989). Fonctionnement hydrodynamique du bassin de Thau. Validation écologique d'un modèle numérique de circulation (programme Ecothau) *Oceanologica Acta* 12, 1, 37-46.
- Monna F., D. Mathieu, A.N. Marquès Jr., J. Lancelot, M. Bernat** (1996). A comparison of PERALS to alpha spectrometry and beta counting: a measure of the sedimentation rate in a coastal basin. *Analytica Chimica Acta* 330, 107-115.
- Pena G.** (1989). Sels nutritifs et micropolluants métalliques dans un écosystème lagunaire : l'étang de Thau. *Thèse de Doctorat, Université de Montpellier-II*, France, 143 p.
- Penington W., R.S. Cambray, J.D. Eakins, D.D. Harkness** (1976). Radionuclide dating of the recent sediments of Belham tarn. *Freshwater Biol.* 6, 317- 331.
- Radakovitch O.** (1995). Etude du transfert et du dépôt du matériel particulaire par le ^{210}Po et le ^{210}Pb . Application aux marges continentales du Golfe de Gascogne (NE Atlantique) et du Golfe du Lion (NW Méditerranée). *Thèse de doctorat. Université de Perpignan*. 185 p.
- Rapin F.** (1981). Chronologie et évolution de la contamination par les métaux lourds des sédiments de la baie des Anges (Méditerranée, France). *Env. Technol. Lett.* 2, 253-262.
- Ritson P.I., B.K. Esser, S. Neimeyer, A.R. Flegal** (1994). Lead isotopic determination of historical sources of lead to Lake Erie, North America. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 15, 3297-3305.
- Robbins J.A. et D.N. Edgington** (1975). Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137. *Geochim. Cosmochim. Acta* 39, 285-304.
- Smith J.N., A. Walton** (1980). Sediment accumulation rates and geochronologies measured in Saguenay Fjord using the Pb-210 dating method. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44, 225-240.
- Sugai S.F., M.J. Alperin, W.S. Reeburgh** (1994). Episodic deposition and ^{137}Cs immobility in Skan Bay sediments: a ten-year ^{210}Pb and ^{137}Cs time series. *Marine Geol.* 116, 351-372.
- Swan A.R.H., M. Sandilands** (1995). Introduction to geological data analysis. Blackwell Science, 446 p.
- Turekian K.K., Y. Nozaki, L.K. Benninger** (1977). Geochemistry of atmospheric radon products. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 5, 227-255.
- Wahlen M., R.C. Thompson** (1980). Pollution records from sediments of three lakes in New York state. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44, 333-339.
- Zampani-Martin M., M. Bernat, B. Chassefière, B. Mahler** (1986). Distribution de quelques isotopes radioactifs naturels et artificiels dans l'étang de Berre (Bouches-du-Rhône, France). *Sci. Géol. Bull.* 39, 4, 325-335.
- Zwolsmann J.J.G., G.W. Berger, G.T.M. Van Eck** (1993). Sediment accumulation rates, historical input, postdepositional mobility and retention of major elements and trace metals in salt marsh sediments of the Scheldt estuary, SW Netherlands. *Mar. Chem.* 44, 73-94.