



Journal de Physique de la Soaphys
Volume 2, Numéro 2, Décembre 2020

Directeur de publication

- Prof. Jean KOULIDIATI

Comité scientifique

- Prof. Jean CHABI OROU (Benin)
- Prof. Félix HONTINFINDE (Benin)
- Prof. Dieudonné Joseph BATHIEBO (Burkina Faso)
- Prof. Frédéric OUATTARA (Burkina Faso)
- Prof. Adama DIAWARA (Côte d'Ivoire)
- Prof. Vafi DOUMBIA (Côte d'Ivoire)
- Prof Abdramane BA (Mali),
- Prof. Badié DIOURTHE (Mali),
- Prof. Saïdou MADOUYOU (Niger)
- Dr. Haoua AMADOU, MC (Niger)
- Prof. Kossi NAPO (Togo)
- Prof. Magolmèèna BANNA (Togo)
- Prof. Oumar KA (Sénégal)
- Prof. Diouma KOBOR (Sénégal)

Rédacteur en chef

- Prof. Antoine BERE (Burkina Faso)

Rédacteur en chef adjoint

- Dr. Milohum Mikesokpo DZAGLI, MC, (Togo),

Secrétaire technique

- Dr. Sié Zacharie KAM, MA, (Burkina Faso)

Journal de Physique de la Soaphys

Volume 2, Numéro 2, Décembre 2020

SOMMAIRE

Thermal destruction of gas generated from household waste <i>Palm et al.,</i>	.....	C20A15 :1-5
Energy calculations of the ($2p^2\ 1D$); ($3d^2\ 1G$) and ($4f^2\ 1I$) doubly excited states of helium isoelectronic sequence ($Z \leq 20$) via the modified atomic orbital theory <i>Sow</i>	.....	C20A16 :1-7
Potentiel érosif de la pluie : identification du meilleur estimateur d'énergie cinétique de la pluie à partir des données de dropsize distribution (DSD) de pluies mesurées au nord-ouest du Bénin <i>Adjikpe et al.,</i>	.....	C20A17 :1-5
Le carbone 14 (^{14}C) un traceur idéal pour la surveillance de la pollution atmosphérique en dioxyde de carbone (CO_2) anthropogénique dans la zone de Dakar <i>Sène et al.,</i>	.....	C20A18 :1-8
Influences of local materials on the building behavior and evaluation of the cooling loads <i>Amadou et al.,</i>	.....	C20A19 :1-7
Evaluation du potentiel en petite hydroélectricité du bassin versant de Wassadou en utilisant le modèle hydrologique SWAT <i>Ndiaye et al.,</i>	.....	C20A20 :1-9
Modélisation de la distribution granulométrique des gouttes de pluie par la loi gamma généralisée <i>Kougbeagbede et al.,</i>	.....	C20A21 :1-5
Adaptive proportional integral controller based on ANN for DC link voltage control single-phase inverter connected to grid <i>Traoré et al.,</i>	.....	C20A22 :1-6
Evaluation du pouvoir méthanogène de la jacinthe d'eau sur le lac Nokoué à Ganvie au Bénin <i>Dohou et al.,</i>	.....	C20A23 :1-5
Evaluation du potentiel de production du biogaz émanant des déchets organiques : cas de Bamako <i>Koné et al.,</i>	.....	C20A24 :1-6
Modélisation du rayonnement solaire global incident sur un plan horizontal et incliné par quatre modèles semi-empiriques sur le site de la ville de Ouagadougou <i>Ouédraogo et al.,</i>	.....	C20A25 :1-9
Modélisation et simulation d'un bâtiment classique vers un bâtiment à énergie positive (BEPOS) <i>Sawadogo et al.,</i>	.....	C20A26 :1-7
Recherche de tendances récentes dans les séquences sèches : cas des stations synoptiques du Bénin <i>Gnihatin et al.,</i>	.....	C20A27 :1-17
Theoretical and experimental analysis of a boost converter <i>Badiane et al.,</i>	.....	C20A28 :1-9

LE CARBONE 14 (^{14}C) UN TRACEUR IDÉAL POUR LA SURVEILLANCE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE EN DIOXYDE DE CARBONE (CO_2) ANTHROPOGÉNIQUE DANS LA ZONE DE DAKAR.

Sène Matar ^{1*}, Ndeye Maurice ², Diallo Alpha Oumar ²

¹Département de Physique, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar-Fann, Senegal, matar3.sene@ucad.edu.sn

²Radiocarbon Laboratory, Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN), Cheikh Anta Diop University of Dakar, Dakar-Fann, Senegal, maurice.ndeye@ucad.edu.sn et alpha.diallo@ucad.edu.sn

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le : 24 novembre 2020

Reçu en format révisé le : 04 février 2021

Accepté le : 29 mars 2021

Mots-Clés : radiocarbonate, CO_2 fossile, concentration en ^{14}C , CO_2 biogénique, zone de Dakar

RÉSUMÉ

Le comportement de notre environnement dépend de l'équilibre radiatif de son atmosphère et donc, de l'abondance des polluants comme les gaz à effet de serre. Ces gaz anthropogéniques sont dus, en grande partie, aux activités de l'homme depuis l'époque moderne à travers la combustion des combustibles fossiles. Celle-ci libère du dioxyde de carbone fossile (CO_2)_{ff}, pauvre en ^{14}C car la demi-vie de ce radioélément (5730ans) est beaucoup plus courte que l'âge des combustibles fossiles. En revanche, le dioxyde de carbone biogénique (CO_2)_{bio} et le dioxyde de carbone naturel de fond ou background (CO_2)_{bg} sont enrichis en ^{14}C issus des rayonnements cosmogéniques (Production naturel du ^{14}C dans la haute couche atmosphérique) et des essais d'armements nucléaires. Le carbone 14 peut donc, être un marqueur isotopique artificiel utilisé pour distinguer les différentes sources de CO_2 , car chaque source possède sa propre et spécifique valeur de $\Delta^{14}\text{C}$ ou empreinte isotopique. Ce travail a pour but principal de faire une évaluation temporelle et spatiale du dioxyde de carbone fossile dans une zone fortement urbanisée et industrialisée. Nous avons alors choisi la région de Dakar avec quelques sites d'échantillonnages très exposés à cette forme de pollution anthropique. Les résultats obtenus ont montré une hausse de la concentration du CO_2 fossile au fil du temps et une concordance acceptable de nos valeurs avec celles de la Banque Mondiale pour le Sénégal. Les concentrations en ^{14}C fossiles ($\Delta^{14}\text{C}$) ou empreintes isotopiques trouvées, montrent une nette baisse par rapport aussi à un niveau naturel d'air propre supposé non pollué (Zone propre).

I. INTRODUCTION

Le carbone 14 est un radionucléide, d'abord naturelle, et produit dans la haute couche atmosphérique à partir des réactions nucléaires entre les neutrons cosmiques et les molécules de l'air (Taylor, 1987 ; Castagnoli et Lal, 1980 ; S A Korff et al, 1980), particulièrement l'azote ^{14}N . En plus de cette production nous avons la production artificielle c'est-à-dire d'origine anthropique. D'abord il y'a l'effet Bombe (Nydal et al.1983 ; D. E. Pataki et al. 2010, Hua et al.2013) qui a porté presque au double le taux en ^{14}C (W Davis Jr et al.1977 ; I Levin et al.2003 ; J.C Turnbull.2007, 2009) et l'effet Suess qui a entraîné une baisse du taux en ^{14}C dans l'atmosphère (Keeling, 1967 ; T. Kuc et al, 1998 ; A.Z. Rakowski et al.2004.b, S Pawelczyk et al. 2004 ; M. Molnàr et al.2010 ; A Rakowski.2005, 2008, 2011 et 2013 ; R Baydoun.2015).

Une fois formé, avec d'autres isotopes du carbone (les ^{13}C et ^{12}C qui sont stables), le ^{14}C pénètre dans les cycles

biologiques et géochimiques du carbone et est assimilé par tous les organismes vivants sous forme de dioxyde de carbone, après oxydation de ce radio-isotope avec les molécules de l'air comme le dioxygène principalement.

Dans tous les cas la concentration en $^{14}\text{CO}_2$ dans l'atmosphère n'est plus constante, car le niveau de CO_2 actuel va dépendre de l'influence anthropique de l'époque moderne.

Cette variation du niveau de $\text{C}14$ dans l'atmosphère fait de cet isotope un outil très utile pour la surveillance du niveau de pollution du dioxyde de carbone fossile dans notre environnement. Le ^{14}C atmosphérique est un traceur idéal pour la surveillance du CO_2 dérivant des combustibles fossiles (Weijian Zhou et al.2014, I Levin et al.2003, J C Turnbull et al.2007, A Z Rakowski et al.2008, Diane E Pataki et al.2010, Scott J Lehman et al.2013).

Des quantités énormes de CO₂ sont libérées dans l'atmosphère à cause de la forte demande des populations en énergie, la combustion des combustibles fossiles tel que le pétrole, le gaz, le charbon etc.

Les cernes des arbres, les feuilles et les plantes à courte durée de vie (les plantes saisonnières par exemple), assimilent les dioxydes de carbone de l'air durant la photosynthèse, et c'est pourquoi selon certains auteurs comme A Z Rakowski, 2011, ces échantillons reflètent mieux les changements de la concentration en radiocarbonate dans l'atmosphère et constituent un bon échantillon pour mieux quantifier le composant en fuel fossile du CO₂ dans l'atmosphère.

Dans ce présent travail, on utilise cet isotope pour déterminer, dans un premier temps la valeur de $\Delta^{14}\text{C}$ des feuilles d'échantillon afin de mieux quantifier la contribution d'origine fossile de la concentration en ¹⁴C dans l'atmosphère à partir des équations du bilan de masse.

II. ZONE D'ÉTUDE

2.1. Région de Dakar

Selon des études faites par l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie ANSD, sur un rapport intitulé *Situation économique et Sociale Régionale*, édition 2014 et publié en octobre 2015, Dakar est de loin la région la plus peuplée du Sénégal. Et selon ce rapport les projections 2018 estiment à 3 630 324 habitants sa population totale, ce qui représente environ le quart de la population totale nationale estimée actuellement à environ 15 726 037 habitants.

Selon la Banque Mondiale, également dans un rapport intitulé "Ouvrir les villes africaines au monde" au Sénégal, Dakar domine le paysage urbain avec plus de la moitié de la population urbaine. Dans la figure suivante nous donnons la courbe de la progression de la population du Sénégal de 1960 à 2019.

La région de Dakar qui ne représente que près de 0,3% de la superficie du territoire national représente 23,2% de la population totale du pays.

Dakar, est une zone fortement urbanisée et densément peuplée avec une superficie de 550 km² et une population totale estimée à environ 3,5 millions d'habitants, soit une densité de l'ordre 5739 habitants au kilomètre carré.

Située à la presqu'île du Cap Vert, Dakar est limitée à l'Est par la région de Thiès et l'océan Atlantique la ceinture par le Nord, le Sud et l'Ouest.

Ses coordonnées géographiques sont :

- Latitude : 14° 41' 37'' Nord
- Longitude : 17° 26' 38'' Ouest
- L'altitude du niveau de la mer : 12m

Il a un taux d'accroissement démographique de 2,96% par an. Le Sénégal est l'un des pays les plus industrialisés

d'Afrique. Et Dakar la capitale concentre l'essentiel de ce secteur (80% selon les données de www.ansd.sn). Il faut aussi ajouter le secteur du transport qui a atteint un nombre de véhicules, toutes sortes de catégories confondues, estimé à environ 22 267 en 2015. (Source : senegal.opendataforafrica.org.)

C'est pourquoi cette localité, à forte densité humaine, très industrialisée aussi et avec une croissance accélérée du secteur du transport terrestre et/ou aérien, est fortement exposée à plusieurs formes de pollution comme avec les PM₅ et les PM₁₀, les Composés Organiques Volatiles COV, le méthane, le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone CO₂.

2.2. La station de Mauna Loa (MLO)

Nous avons choisi les données de mesure de la station de Mauna Loa à Hawaii aux États-Unis (Globalview-CO₂-2010) car ce site d'après Q. Hua et al.2003 est dans la même hémisphère que le Sénégal. Les pays situés dans la même hémisphère ont approximativement le même niveau de CO₂ de fond (background) comme le montre la carte suivante de Q. Hua et al.2010.

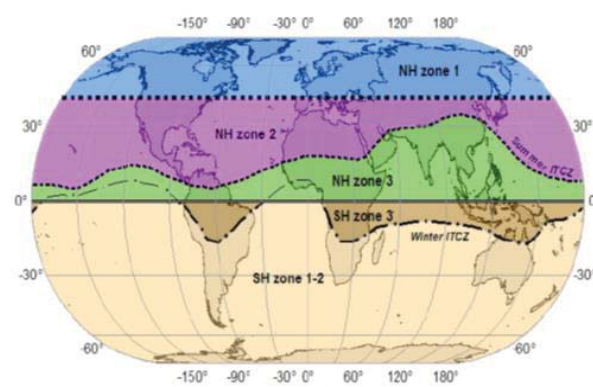


Figure 1 : Carte montrant l'effet bombe par zone.

Les valeurs en concentration de dioxyde de carbone CO₂ dans ce site à Mauna Lao sont données dans le tableau suivant. Elles ne sont pas constantes. Ils varient à l'échelle quotidienne, saisonnière et annuelle et montrent également des différences spatiales et temporelles.

La concentration varie, mais faiblement (entre 300ppm à 350ppm) car ce niveau de l'atmosphère qu'est la troposphère n'est pas affectée par les perturbations d'ordre anthropiques.

Il représente la teneur en CO₂ primaire (de fond) dans l'atmosphère sans les sources locales, c'est à dire le niveau de CO₂ qui est homogène dans la basse atmosphère. Pour déterminer le CO_{2ff} il est d'abord utile de déterminer le $\Delta^{14}\text{C}_{bg}$ d'un niveau donné. $\Delta^{14}\text{C}_{bg}$ représente les valeurs des rapports de mélanges isotopiques de carbone dans la troposphère libre. Selon J Turnbull et al.2009, une altitude située entre 3 - 5 km est un bon choix pour un background.

III. ÉCHANTILLONNAGE ET MÉTHODES

3.1. Échantillonnage

Les échantillons de feuilles sèches herbacées (≥ 10 g par échantillon) ont été traités au laboratoire ^{14}C de l'IFAN Ch. A. Diop en utilisant la méthode classique de comptage en scintillation liquide. Ces échantillons ont été numérotés avec le code de laboratoire avec le préfixe DK_{xx}.

Les autres échantillons, ont été traités chimiquement par le laboratoire ^{14}C de LOCEAN à Paris (Paris VI) en utilisant des techniques de combustion standard pour synthétiser du CO_2 . Le CO_2 résultant a été enfermé dans un tube en verre de 6 mm et utilisé pour la mesure physique au laboratoire AMS NSF-Arizona aux États-Unies. Dans ce laboratoire, le CO_2 a été transformé en carbone graphite et est mesuré par spectrométrie de masse par accélérateur (AMS). Les échantillons ont été numérotés avec le code de laboratoire préfixe AA - xx (Arizona AMS).

Les codes utilisés pour les échantillons, dépendent du laboratoire qui les a traités. Il s'agit des DK_{xx} et AA_{xx}. Le code DK ou AA signifie que l'échantillon a été traité, respectivement au laboratoire de datation par le radiocarbone à Dakar ou au laboratoire d'Arizona (USA). Les indices xx définissent le numéro de l'échantillon.

Pour les mesures de radiocarbone, le compteur à scintillation liquide (Tricarb 3170TR/SL) avec une option super low level a été utilisé. Dans le but de minimiser l'interférence du background et faire une discrimination des vrais événements bêta (β), le Tricarb 3170TR/SL est muni d'un détecteur en bismuth et germanium ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) de même qu'un analyseur de pic. La normalisation se fait de manière routinière pour voir la stabilité électronique du système de comptage. L'optimisation de la région de comptage a été faite pour maximiser le facteur de mérite (E^2/B) ou E est le rendement et B le taux de comptage du background (Bronic et al.2009). Ce type de compteur est muni d'une cassette SNC (Self Normalisation and Calibration).

3.2. Méthodes

La méthode utilisée est la méthode classique de traitement des échantillons végétaux. D'abord l'échantillon est soumis à des prétraitements physiques puis chimiques pour éliminer respectivement les corps étrangers visibles et neutraliser d'éventuels corps chimiques. Ensuite le carbone de l'échantillon est transformé en benzène grâce à des séries de réactions sur un banc de synthèse de benzène.

Après la phase de synthèse du benzène à partir de l'échantillon, l'avant dernière étape consiste à faire subir l'échantillon transformé à un comptage de sa radioactivité. Le compteur utilisé pour nos mesures à Dakar est un Compteur à Scintillation Liquide de type Packard Tricarb 3170TR/SL munie d'un tube BGO($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) permettant d'avoir un bruit de fond très faible en mode « Super Low Level », installé au laboratoire Radiocarbone de l'IFAN.

Ce travail nous permet d'avoir une série de valeur de l'activité As de la radioactivité de nos échantillons.

Les mesures que nous avons faites nous ont permis de trouver les $\Delta^{14}\text{C}_{\text{mes}}$ de chaque échantillon. Ces valeurs sont trouvées grâce aux formules suivantes :

$$\Delta^{14}\text{C} = 1000 \left[F e^{\lambda(1950-y)} - 1 \right], \text{ avant 1950}$$

$$\Delta^{14}\text{C} = 1000 \left[F e^{\lambda(y-1950)} - 1 \right], \text{ après 1950}$$

Avec F la fraction moderne de carbone obtenue à partir l'activité normalisée A_{SN} de l'échantillon. $F = \frac{A_{\text{SN}}}{A_{\text{ON}}}$; A_{ON} est l'activité de l'échantillon du standard international utilisé.

Enfin pour quantifier le dioxyde de carbone fossile, qui ne peut pas être déterminé directement par nos mesures, nous utilisons les équations de conservations du bilan massique.

- Les équations du bilan massique

Le CO_2 de l'échantillon est constitué de trois composantes : le CO_2 au niveau de la troposphère libre $\text{CO}_{2\text{bg}}$; le CO_2 biogénique (de la biosphère) $\text{CO}_{2\text{bio}}$ et le CO_2 formé par les combustibles fossiles $\text{CO}_{2\text{ff}}$.

Chacune de ces composantes est associée à une valeur spécifique $\Delta^{14}\text{C}$ qui représente l'écart entre le ratio $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ de l'échantillon par rapport à un standard. Ces valeurs sont : $\Delta^{14}\text{C}_{\text{mes}}$, $\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}$, $\Delta^{14}\text{C}_{\text{bio}}$ et $\Delta^{14}\text{C}_{\text{ff}}$.

La concentration en CO_2 fossile est estimée par des équations mathématiques qui impliquent une relation entre la composition isotopique du carbone et la concentration de dioxyde de carbone provenant de la combustion des combustibles fossiles et la concentration du ^{14}C .

$$\text{CO}_{2\text{mes}} = \text{CO}_{2\text{ff}} + \text{CO}_{2\text{bg}} + \text{CO}_{2\text{bio}}$$

$$\text{CO}_{2\text{mes}} \left(\frac{\Delta^{14}\text{C}_{\text{mes}}}{1000} + 1 \right) = \text{CO}_{2\text{ff}} \left(\frac{\Delta^{14}\text{C}_{\text{ff}}}{1000} + 1 \right) +$$

$$\text{CO}_{2\text{bg}} \left(\frac{\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}}{1000} + 1 \right) + \text{CO}_{2\text{bio}} \left(\frac{\Delta^{14}\text{C}_{\text{bio}}}{1000} + 1 \right)$$

Si nous tenons compte de la relation

$$\Delta^{14}\text{C} = 1000 \left[\left(\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{éch}} - 1 \right]$$

(D'après Stuiver et Polach 1977) et du fait de l'approximation que le CO_2 émis par les combustibles fossiles ne contient pas de ^{14}C ; on peut admettre

$$\Delta^{14}\text{C}_{\text{foss}} = -1000\text{‰}$$

$$(\text{CO}_{2\text{ff}} + \text{CO}_{2\text{bg}} + \text{CO}_{2\text{bio}}) \left(\frac{\Delta^{14}\text{C}_{\text{mes}}}{1000} + 1 \right) =$$

$$\text{CO}_{2\text{ff}} \left(\frac{\Delta^{14}\text{C}_{\text{ff}}}{1000} + 1 \right) + \text{CO}_{2\text{bg}} \left(\frac{\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}}{1000} + 1 \right) +$$

$$\text{CO}_{2\text{bio}} \left(\frac{\Delta^{14}\text{C}_{\text{bio}}}{1000} + 1 \right)$$

Par développement, nous obtenons :

$$CO_{2ff} = CO_{2bio} \frac{(\Delta^{14}C_{bio} - \Delta^{14}C_{mes})}{\Delta^{14}C_{mes} - \Delta^{14}C_{ff}} + CO_{2bg} \frac{(\Delta^{14}C_{bg} - \Delta^{14}C_{mes})}{\Delta^{14}C_{mes} - \Delta^{14}C_{ff}}$$

D'après [Levin et al. 2008](#) $\Delta^{14}C_{bio}$ soit plus grand que

$\Delta^{14}C_{bg}$ de l'ordre de 15% (1986) et 22% (2006). Mais la plupart des auteurs utilisent l'approximation $\Delta^{14}C_{bio}$ très proche de $\Delta^{14}C_{bg}$.

Ainsi nous pouvons utiliser les approximations suivantes :

$$\begin{cases} \Delta^{14}C_{ff} = -1000\text{‰} \\ \Delta^{14}C_{bg} = \Delta^{14}C_{bio} \end{cases}$$

$$CO_{2ff} = CO_{2mes} \frac{\Delta^{14}C_{bg} - \Delta^{14}C_{mes}}{\Delta^{14}C_{bg} + 1000}$$

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 1 montre, d'une part les résultats des valeurs de la concentration en C14 ($\Delta^{14}C$ mesurés) en fonction des années et d'autre part les valeurs de la concentration du C14 ($\Delta^{14}C$ background) de la station de mesure de Mauna Loa. Cette une station, qui mesure des valeurs de C14 et de CO₂ dans la troposphère (altitude très élevée de l'atmosphère qui n'est pas affectée directement par les pollutions anthropiques).

Les valeurs trouvées de $\Delta^{14}C$ lors de la mesure de nos échantillons nous ont permis de tracer les courbes de la figure 2. Dans cette figure, nous notons que la concentration du ^{14}C dans une zone supposée « non polluée » (clean zone) est globalement supérieure à la concentration du ^{14}C dans un environnement supposé être une zone « polluée ». Cette différence (baisse de la concentration du ^{14}C par rapport au niveau naturel d'un milieu environnemental non « pollué ») est due à la contribution en CO₂ fossile.

Les variations du $\Delta^{14}C$ en fonction du temps (années) peuvent être divisées en trois parties de 1900 à 2010:

- De 1900 à 1958 correspondant à la période pré-bombe, les valeurs de $\Delta^{14}C$ varient de $-2\pm 5\text{‰}$ à $-22\pm 4\text{‰}$. Ces valeurs négatives montrent que dans cette période, il n'y avait pas d'émissions fossiles.
- De 1958 à environs 1964, correspondant à la période bombe où les valeurs de $\Delta^{14}C$ augmentent de façon régulière jusqu'à atteindre une valeur de $773\pm 8\text{‰}$

en 1964. Cette croissance du niveau de $\Delta^{14}C$ est due aux tests et armements nucléaires qui rejettent une quantité énorme de ^{14}C .

- De 1968 à 2010, nous notons une diminution du niveau de ^{14}C , allant de $700\pm 7\text{‰}$ à $45\pm 5\text{‰}$ (en 2010). Cette baisse de niveau est due aux combustibles fossiles utilisés par l'homme.

Les valeurs de $\Delta^{14}C_{mes}$ de nos échantillons ont atteint un pic vers 1964 avec une valeur annuelle moyenne de $773\pm 8\text{‰}$ contre une valeur de concentration en ^{14}C d'une zone « propre » égale à 804‰ pour la même période. Ce qui est confirmé aussi par la courbe de [Remus Pravalie.2014](#) à travers les valeurs de Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge.

Ces valeurs représentent les valeurs des mesures de la station de Vermont en Autriche de 1959 à 1983 (valeur maximale moyenne annuelle de 835‰ en 1964) et de la station de Wellington en Nouvelle Zélande de 1953 à 1993 (Valeur maximale de 642‰ en 1965). Ces deux stations, comme celle de Mauna Loa, USA se trouvent dans l'hémisphère nord.

Cette baisse de la concentration du ^{14}C dans l'atmosphère est principalement attribuée à une seule cause : l'introduction de CO₂, très pauvre en ^{14}C émis par les combustibles fossiles. Et ce phénomène s'accroît de plus en plus avec l'urbanisation et l'industrialisation des villes. Et pour le cas de Dakar de 1960 à nos jours, la production de CO₂ fossile augmente toujours, car tous les secteurs responsables de ces rejets se développent et progressent rapidement.

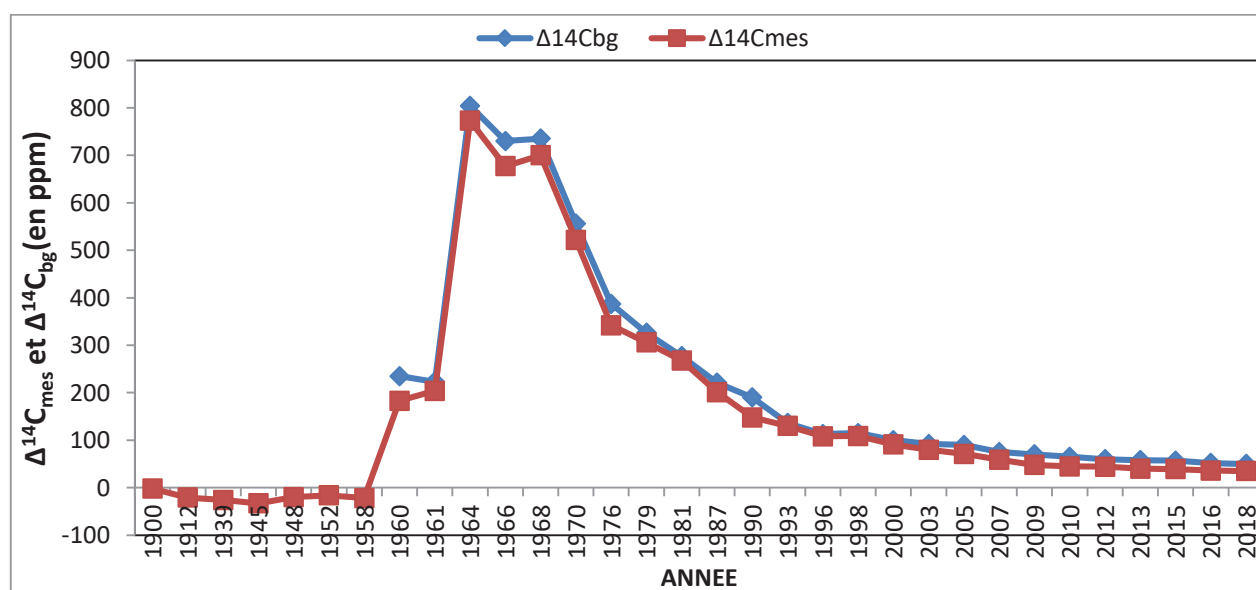
Dans un deuxième temps nous traçons la courbe de variation du dioxyde de carbone fossile en fonction des années de collecte des échantillons.

Pour évaluer la concentration en CO₂ fossile exprimée en PPM (Partie Par Million) nous avons utilisé des approches similaires à celle des études précédentes ([Levin et al.2003](#) ; [J Turnbull et al.2009](#) ; [Tefaye A. Berhanu et al.2017](#), [A Pazdur et al.2013](#)).

Ces résultats montrent une nette augmentation de la concentration du CO₂ fossile dans les sites situés au voisinage de l'Usine de la Société Africaine de Raffinage (SAR), la Plage, sur l'autoroute, au niveau du marché de Soubédioune et au niveau de la piste de l'aéroport LSS. Mais le même phénomène n'est pas observé au niveau du Jardin botanique de l'UCAD et au niveau des forêts classées de Mbao.

Tableau 1 : $\Delta^{14}\text{C}$ mesurés dans la région de Dakar et ceux du $\Delta^{14}\text{C}$ du site de référence ($\Delta^{14}\text{C}$ background)

REFERENCE	ANNEE	LOCALITE	COORDONNEES GEOGRAPHIQUES	$\Delta^{14}\text{C}_{\text{BG}}$	$\Delta^{14}\text{C}_{\text{MES}}$
28088	1900	District de Yoff	14°44'N, 17°29'W		-2
23083	1912	Piste de l'Aéroport	14°44'N, 17°29'W		-21
03684	1939	District des PA	14°45'N, 17°26'W		-26
11646	1945	DAST (urban/city)	14°46'N, 17°23'W		-33
01444	1948	District de Hann	14°43'N, 17°25'W		-20
29703	1952	Hôpital Dantec	14°39'N, 17°26'W		-16
29714	1958	Cim. de Bel -Air	14°41'N, 17°25'W		-22
29922	1960	Forêt de Mbao 1	14°45'N 17°18'W	235	183
04501	1961	Autoroute	14°42'N, 17°26'W	223	204
53992	1964	Usine SAR	14°44'N, 17°20'W	804	773
03414	1966	Forêt de Mbao 2	14°46'N, 17°18'W	730	677
04730	1968	Usine SAR	14°44'N, 17°20'W	735	700
04738	1970	Jardin Botanique de l'UCAD 1	14°46'N, 17°27'W	556	522
20340	1976	District de Fass	14°41'N, 17°27'W	387	342
54162	1979	Jardin Botanique de l'UCAD 2	14°41'N, 17°28'W	326	306
04739	1981	Plage 1	14°46'N, 17°23'W	277	268
04740	1987	Plage 1	14°46'N, 17°23'W	221	201
04664	1990	Jardin Botanique de l'UCAD 3	14°41'N, 17°30'W	190	148
04741	1993	Plage 1	14°46'N, 17°23'W	136	130
04742	1996	Plage 2	14°46'N, 17°23'W	113	108
54162	1998	Plage 2	14°46'N, 17°23'W	115	109
28114	2000	Jardin Botanique de l'UCAD 4	14°41'N, 17°32'W	100	91
54163	2003	Marché de Soumbédioune	14°40'N, 17°27'W	92	80
54164	2005	Usine SAR	14°44'N, 17°20'W	90	71
54165	2007	Forêt de Mbao 1	14°45'N, 17°18'W	75	59
54166	2009	Plage 2	14°46'N, 17°23'W	70	48
54167	2010	Piste de l'aéroport	14°44'N, 17°29'W	65	45
54180	2012	Jardin Botanique de l'UCAD 3	14°41'N, 17°30'W	60	44
54181	2013	Jardin Botanique de l'UCAD 4	14°41'N, 17°32'W	58	40
54183	2015	Jardin Botanique de l'UCAD 1	14°46'N, 17°27'W	57	39
54187	2016	Forêt de Mbao 1	14°45'N, 17°18'W	52	36
54188	2018	Autoroute	14°42'N, 17°26'W	50	35

Figure 2 : Comparaison des concentrations $\Delta^{14}\text{C}_{\text{mes}}$ et $\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}$ (en pour mil)

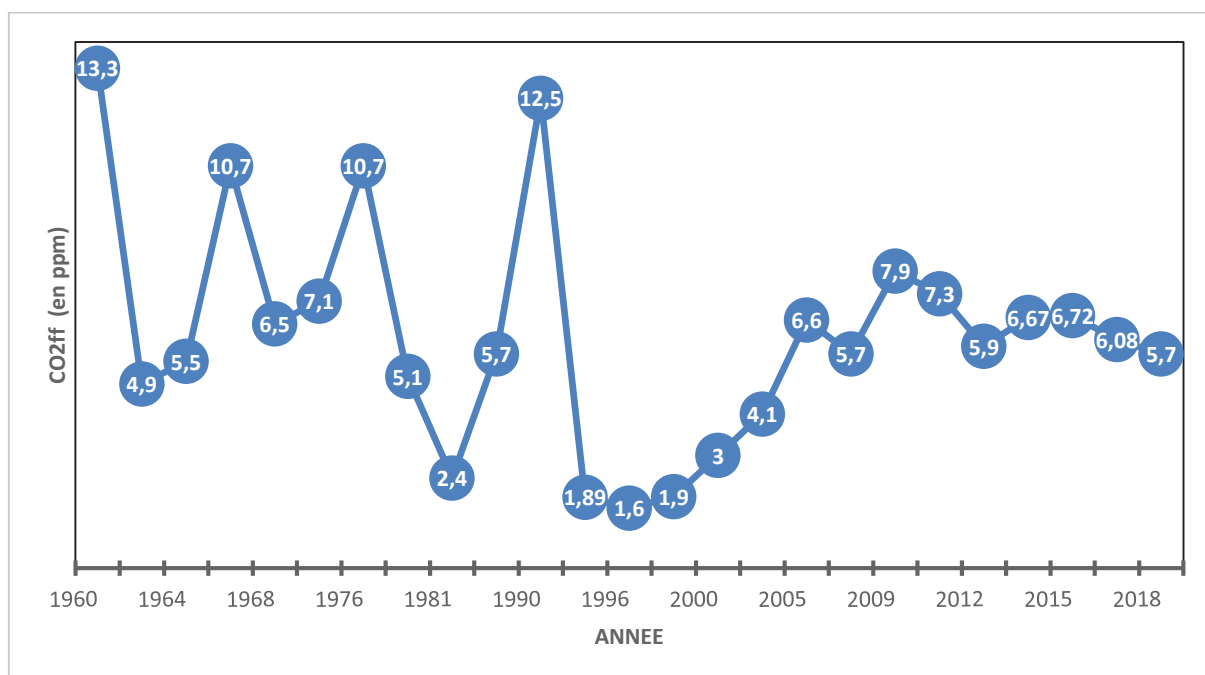


Figure 3 : Concentrations en CO₂ fossile (en ppm) fossiles dans la région de Dakar de 1960 à 2018.

A l'usine SAR, par exemple, la concentration en CO₂ fossile est passée de 5,5 ppm en 1964 et à 6,6 ppm en 2005, soit une augmentation de 20%. Cela peut s'expliquer par le fait que l'usine SAR, qui est une industrie de raffinage, rejette une quantité énorme de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. La SAR (implantée à Mbao) est une usine de raffineries du pétrole brute. Il approvisionne le marché Sénégalais en produits pétroliers : gaz butane, essence, kérosène, gasoil, diesel, fuel, huile etc.

Les sites situés sur le site du Jardin botanique de l'UCAD, et sur la forêt classée de Mbao. Les augmentations de la concentration en CO₂ constatées au niveau des autres sites ne sont pas observées au niveau de ces deux derniers sites. Nous constatons une tendance de baisse : Pour le jardin botanique de l'UCAD nous avons trouvé 7,1ppm en 1970 et une chute à 3ppm en 2000 et pour la forêt classée de Mbao nous avons 13,3ppm en 1950 et une chute à 5,3ppm en 2007.

La diminution du CO₂ fossile est due à la contribution en CO₂ biogénique émis par les nombreuses plantes qui jonchent le jardin botanique de l'UCAD et aussi grâce à la forêt de Mbao, composée d'arbres, d'arbustes et de plantes. Hormis les deux sites : Jardin botanique de l'UCAD et la forêt classée de Mbao, nous remarquons une augmentation régulière de la concentration du CO₂ dans le temps. Ceci est normal car l'industrialisation et l'urbanisation de la ville de Dakar, vecteur du développement de la combustion des énergies fossiles, augmentent de jour en jour. La population de Dakar augmente très rapidement. Ils s'y ajoutent l'industrie, ainsi que les transports de toutes sortes qui, actuellement sont en plein essor. Le secteur du transport est très développé à Dakar, avec des véhicules de toutes sortes qui rejettent beaucoup de CO₂. Il faut aussi noter la vieillisse du Parc automobile, qui n'est pas sans conséquence sur la qualité et la quantité de rejets de CO₂

dans l'atmosphère. D'ailleurs il est à noter que, à Dakar 72, 8% des véhicules sont d'occasion contre 27, 2% constituées de voitures neuves (www.ansd.sn, Octobre 2018). Les véhicules d'occasion rejettent plus de CO₂ que les véhicules neufs.

V. CONCLUSION

Les valeurs des rapports isotopiques ¹⁴C/¹²C du carbone ($\Delta^{14}\text{C}_{\text{mes}}$), que nous avons trouvés à partir de nos échantillons de 1960 à 2018, sont plus faibles que celles des valeurs des rapports isotopiques ($\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}$), obtenues à partir d'un environnement supposé non pollué (Clean area) en raison des émissions anthropiques de CO₂ résultant de l'utilisation de combustibles fossiles. Dans un deuxième temps, grâce au radiocarbone utilisé comme traceur, nous avons déterminé les concentrations en CO₂ fossile CO_{2ff}, en utilisant des équations du bilan massique de carbone.

RÉFÉRENCES

- Baydoun R., Omar El Samad., Bilal Nsouli and Ghassan Younes., 2015. Measurements of ¹⁴C Content in leaves near a cement factory in Mount Lebanon. *Radiocarbon*, Vol 57, Nr 1, pp 153-159 DOI : [10.2458/azu_rc57.18108](https://doi.org/10.2458/azu_rc57.18108)
- Bronić IK., Horvatinčić N., Baresić J., Obelić B., 2009. Measurements of ¹⁴C activity by Liquid Scintillation Counting. *Applied Radiation and Isotopes* 67(5):800–804. DOI : [10.1016/j.apradiso.2009.01.071](https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2009.01.071)
- Castagnoli G and D Lal., 1980. Solar modulation effects in terrestrial production of carbon-14. *Radiocarbon*, Vol 22, Nr 2, pp 133–158 DOI : <https://doi.org/10.1017/S0033822200009413>

- Davis W Jr., 1977. Carbon-14 Production Nuclear Reactors. ORNL/NUREG/TM-12. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge Tennessee
DOI : <https://doi.org/10.2172/7114972>
- Diane E., Pataki, James T., Randerson., Wenwen Wang., MaryKay Herzenach., and Nancy E. Grulke., 2010. The Carbon Isotope Composition of Plants and Soils as Biomarkers of Pollution. Springer Science+ Business Media B. V.
- Hua Q., Barbetti M., Zoppi U., Chapman D M., and Thomson B., 2003. Bomb radiocarbon in Tree rings from Northern New South Wales, Australia: implications for dendrochronology, Atmospheric transport and air-sea exchange of CO₂. *Radiocarbon*, Vol 45, Nr 3, pp 431-47.
DOI : <https://doi.org/10.1017/S0033822200032793>
- Hua Q., Mike Barbetti., Andrzej Z Rakowski., 2013. Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2010. *Radiocarbon*, Vol 55, Nr 4, pp 2059–2072.
DOI : https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.v55i2.16177
- I. K. Bronic., B. Obelić., N. Horvatinčić A., J. Baresić., A. Sironić' and K. Minichreiter., 2010. Radiocarbon application in *environmental* science and archaeology in Croatia. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* -619- 491-496.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2009.11.032>
- Kuc T., Zimnoch M., 1998. Changes of the CO₂ sources and sinks in a polluted urban area (Southern Poland) over the last decade, derived from the carbon-isotopic composition. *Radiocarbon*, Vol 40, Nr 1, pp 417–423.
DOI : <https://doi.org/10.1017/S0033822200018294>
- Lehman Scott J., John B Miller., Chad Wolak., John Southon., Pieter P Tans., Stephen A Montzka., Colm Sweeney., Arlyn Andrews., Brian LaFranchi., Thomas P Guilderson., Jocelyn C Turnbull., 2013. Allocation of terrestrial carbon sources using ¹⁴CO₂: methods, measurement, and modeling. *Radiocarbon*, Vol 55, Nr 2-3, pp 1484-1495.
DOI : <https://doi.org/10.1017/S0033822200048414>
- Levin I., Bernd Kromer., Martina Schmidt., and Hartmut Sartorius., 2003. A novel approach for independent budgeting of fossil fuel CO₂ over Europe by ¹⁴CO₂ observations. *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No. 23, 2194. DOI : [10.1029/2003GL018477](https://doi.org/10.1029/2003GL018477)
- M Molnár., L Haszpra., É Svingor., I Major and Svetlik., 2010. Atmospheric fossil fuel CO₂ measurement using a field unit in a central European City during the winter of 2008/09. *Radiocarbon*, Vol 52, Nr 2-3, pp 835-845.
DOI : <https://doi.org/10.1017/S0033822200045859>
- Nydal R., and Lövsæth. K., 1983. Tracing bomb ¹⁴C in the atmosphere 1962-1980. *Journal of Geophysical Research* 88(C6): 3621-35.
- DOI : <https://doi.org/10.1029/JC088iC06p03621>
- Paweczyk S., Pazdur A., Haas S., 2004. Stable carbon isotopic composition of tree Rings from a pine tree from Augustów Wilderness, Poland, as temperature and local environment conditions indicator. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 40(2):145-54.
DOI : [10.1080/10256010410001671032](https://doi.org/10.1080/10256010410001671032)
- Pazdur Anna., Tadeusz Kuc., Sławomira Paweńczyk., Natalia Piotrowska., Barbara Sensusza., and Kazimierz Rozanski., 2013. Carbon isotope composition of atmospheric carbon dioxide in Southern Poland: Imprint of anthropogenic CO₂ emissions in regional biosphere. *Radiocarbon*, Vol 55, Nr 2–3, pp 848–864.
DOI : [10.2458/azu_js_rc.55.16286](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16286)
- Právělie R., 2014. Nuclear weapons tests and environmental consequences: A global perspective. *Royal Swedish Academy of Sciences, AMBIO* 2, 43:729–744. Doi : [10.1007/s13280-014-0491-1](https://doi.org/10.1007/s13280-014-0491-1)
- Rakowski Andrzej Z., Nakamura T and Pazdur A., 2004b. Changes of radiocarbon concentration in modern wood from Nagoya, central Japan. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* 223-224: 507-510. DOI : [10.1016/j.nimb.2004.04.095](https://doi.org/10.1016/j.nimb.2004.04.095)
- Rakowski Andrzej Z., Tadeusz Kuc., Toshio Nakamura and Anna Pazdur., 2005. Radiocarbon concentration in urban area. *Geochronometria* Vol. 24, pp 63-68.
- Rakowski Andrzej Z., Toshio Nakamura., Anna Pazdur., 2008. Variations of anthropogenic CO₂ in urban area deduced by radiocarbon concentration in modern tree rings. *Journal of Environmental Radioactivity* 99, pp 1558 -1565. DOI : [10.1016/j.jenvrad.2007.12.007](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.12.007)
- Rakowski Andrzej Z., 2011. Radiocarbon method in monitoring of fossil fuel emission. *Geochronometria* 38(4): 314-324. DOI: [10.2478/s13386-011-0044-3](https://doi.org/10.2478/s13386-011-0044-3)
- Rakowski Andrzej Z., Toshio Nakamura., Anna Pazdur and John Meadows., 2013. Radiocarbon concentration in annual tree rings from the Salamanca region, Western Spain. *Radiocarbon*, Vol 55, Nr 2-3, pp 1533–1540. DOI: [10.2458/azu_js_rc.55.16180](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.55.16180)
- Serge A Korff and Rosalind B Mendell., 1980. Variations in radiocarbon production in the Earth's Atmosphere. *Radiocarbon*, Vol 22, Nr 2, pp 159-165.
DOI : <https://doi.org/10.1017/S0033822200009425>
- Stuiver M and Henry A Polach., 1977. Discussion: Reporting of ¹⁴C data. *Radiocarbon*, Vol. 19, Nr 3, pp. 355-36.
DOI : <https://doi.org/10.1017/S0033822200003672>
- Taylor R E., 1987. Radiocarbon Dating: An Archeological Perspective. *United Kingdom Edition published by Academic Press INC.* (London) LTD. 24-28, Oval Road, London (1987).

- Tesfaye A Berhanu., Sönke Szidat., Dominik Brunner., Ece Satar., Rüdiger Schanda., Peter Nyfeler., Michael Battaglia., Martin Steinbacher., Samuel Hammer., and Markus Leuenberger., 2017. Estimation of the fossil fuel component in atmospheric CO₂ based on radiocarbon measurements at the Beromünster Tall Tower, Switzerland. *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 10753-10766.
- Turnbull J C., Peter Rayner., John Miller., Tobias Naegler., Philippe Ciais., and Anne Cozic., 2009. On the use of ¹⁴CO₂ as a tracer for fossil, fuel CO₂: Quantifying uncertainties using an atmospheric transport model. *Journal of Geophysical Research*, vol. 114. DOI : <https://doi.org/10.1029/2009JD012308>
- Turnbull JC., Lehman SJ., Miller JB., Sparks RJ., Southon JR., Tans P P., 2007. A new high precision ¹⁴CO₂ time series for North American continental air. *Journal of Geophysical Research* 112. <https://doi.org/10.1029/2006JD008184>
- Keeling C D., Mook W G., and Tans, P P., 1979. Recent trends in the ¹³C/¹²C ratio of atmospheric carbon dioxide. *Nature* 277: 121-123. DOI: <https://doi.org/10.1038/277121a0>
- Weijian Zhou., Shugang Wu., Wenwen Huo., Xiaohu Xiong., Peng Cheng., Xuefeng Lu and Zhenchuan Niu., 2014. Tracing fossil fuel CO₂ using Δ¹⁴C in Xi'an City, China. *Atmospheric Environment* (94) 538 -545. DOI : [10.1016/j.atmosenv.2014.05.058](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.058)



Journal de Physique de la Soaphys
Volume imprimé avec la contribution de :

