

MESURE DE LA PRODUCTION PRIMAIRE (^{14}C) AU COURS DE LA CAMPAGNE OLIPAC (PACIFIQUE EQUATORIAL)

Pascal CONAN, Thierry MOUTIN, Mireille PUJO-PAY et Patrick RAIMBAULT
Centre d'Océanologie de Marseille, Campus de Luminy, Case 901, 13288 Marseille Cédex 09

Introduction

La production primaire mesurée à l'aide du traceur radioactif ^{14}C (Steemann Nielsen 1951) reste l'une des variables importantes pour l'océanographie contemporaine afin de comprendre le devenir du carbone dans l'océan et ceci, malgré ses quelques 45 années d'existence. La méthode n'a pas considérablement évolué depuis ses origines, si ce n'est dans les années 80 avec l'apparition des méthodes dites "propres", préconisées par Fitzwater *et al.* (1982). La disparition des problèmes de contamination par des métaux traces n'a pourtant pas permis de régler les nombreuses polémiques qui ont débuté dès les années 50 entre Steemann Nielsen (1952) et Vaccaro & Ryther (1954). Les problèmes majeurs (Davis & Williams 1992) concernent une sous-estimation possible de la production primaire particulièrement importante dans les zones oligotrophes (Prakash *et al.* 1991), ainsi qu'une fixation mal comprise de carbone à l'obscurité (Banse 1993, 1994). Diverses revues témoignent de l'évolution des idées sur le concept de la productivité des océans (Rodhe 1958, Peterson 1980, Eppley 1989, Platt & Sathyendranath 1993).

Au cours de la campagne OLIPAC, notre travail a consisté non seulement à mesurer la production primaire aux diverses stations prospectées, mais nos efforts ont également porté sur la comparaison des mesures à l'aide de la méthode classique et du système Let-Go (Dandonneau & Leboutteiller 1992, Dandonneau 1993). Par une série d'expériences, cette campagne nous a également permis de contribuer à la compréhension de la méthodologie, d'une part grâce à des comparaisons de mesures selon le type de filtre utilisé, et d'autre part en précisant la variabilité de la fixation de radiocarbone à l'obscurité.

Matériels et méthodes

Les mesures ont été réalisées selon la méthode mise au point par Steemann Nielsen (1951), adaptée aux eaux océaniques par Strickland & Parsons (1968) et revue par Fitzwater *et al.* (1982).

Les incubations *in situ* sont réalisées sur une période de 12 h aux stations de la radiale et de 24 h aux points fixes, entre 6 et 10 niveaux le long de la couche euphotique selon les stations. Pour chaque niveau, les mesures sont réalisées à l'aide de triplicatas (flacons en polycarbonate de 250 ml) et d'un flacon opaque (mesure de la fixation à l'obscurité).

Les échantillons sont prélevés avant le lever du soleil à l'aide d'une rosette de bouteilles Niskin, couplée à une bathysonde de type Seabird CTD911⁺, équipé de capteurs annexes (cf. hydrologie). La connaissance "en direct" des profils verticaux des principales variables (température, fluorimétrie, oxygène...) permet de choisir les profondeurs à échantillonner pour chaque station (zone des gradients, profondeur des maxima...).

L'inoculation est réalisée à l'aide de 1 ml de solution de bicarbonate de sodium marqué de chez Amersham ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ d'activité spécifique = 10 à 20 $\mu\text{Ci}\cdot\text{ml}^{-1}$). Pour chaque niveau, la quantité de radioactivité introduite (Q_i) est contrôlée en prélevant 250 μl d'échantillon dans un flacon choisi aléatoirement. Cette partie aliquote est placée dans un flacon de 25 ml en polyéthylène contenant 250 μl d'éthanolamine, 1 ml d'eau milliQ et 10 ml de liquide scintillant Aquasol (Dupond de Nemours). Un échantillon d'eau de 250 ml supplémentaire est prélevé à chaque niveau pour servir de T_0 ; il est filtré immédiatement après inoculation et subit ensuite le même traitement que les échantillons incubés.

La ligne est mouillée avant le lever du soleil, puis relevée après 12 h d'incubation. Les échantillons sont rapidement filtrés sous une faible dépression (<5 mm d'Hg) sur des filtres GF/F (25 mm). Les filtres, préalablement recouverts par 250 μl d'HCl 0.5 M afin de dégager l'excédent de carbone minéral marqué, sont séchés à l'étuve (à 40°C pendant 12 h) puis placés dans des flacons (25 ml en polyéthylène) contenant 10 ml de liquide scintillant de type Aquasol. Les comptages sont effectués 6 h plus tard dans un compteur à scintillation.

Le système Let-Go est un appareil semi-automatique réalisant le prélèvement de l'échantillon et l'inoculation directement *in situ*, lors de sa mise à l'eau. Une fois déployé, l'engin se présente comme une ligne de mouillage classique. La ligne peut porter jusqu'à 15 chambres hémisphériques (~250 ml en polymétacrylate) transparentes ou opaques. Ces chambres sont positionnées à des niveaux pré définis avant la mise à l'eau. Une fois gréé, une seringue contenant 1 ml de solution radioactive est placée dans le logement prévu à cet effet sur chaque chambre. Les têtes des seringues sont reliées directement au bout servant de ligne de mouillage et de mécanisme d'injection. La bouée de surface en forme de mât, sert de bras de mise à l'eau du Let-Go qui coule sous le simple effet de la gravité lorsqu'il est libéré au contact de la surface de l'eau (vitesse de descente ~0.5 à 1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). L'échantillonnage, l'injection et le démarrage de l'incubation se font donc quasi-simultanément et surtout directement *in situ*. Chaque échantillon subit le même traitement que ceux de la méthode *in situ* classique.

La précision de la méthode est estimée à $\pm 10\%$ (Strickland & Parsons 1968). Les quantités de carbone fixé par unité de temps sont calculées à partir des dpm :

$$PPB \text{ (en mgC.m}^{-3}\text{.d}^{-1}\text{)} = (\text{dpm}_e / \text{dpm}_t) * (V_p / V_f) * A * 1.05$$

avec PPB = production primaire brute

dpm_t = dpm totales (Q_i)

V_f = volume filtré en ml de l'échantillon

1.05 = Fractionnement isotopique (C^{12} et C^{14})

dpm_e = dpm de l'échantillon

V_p = volume en ml prélevé dans l'échantillon (0.25)

A = concentration des carbonates (~25000 mg.m^{-3})

Résultats

Les données acquises au cours de la campagne pour chaque station ou chaque journée aux points fixes sont regroupées pour chaque profondeur dans les tableaux I et II. Tous les T_0 indiquent que la fixation immédiate de ^{14}C est négligeable.

Tableau I : Production primaire (méthode classique) au niveau des points fixes 1 et 2 ; exprimée pour 24 h d'incubation et après soustraction de la valeur à l'obscurité (- = valeur manquante).

POINT FIXE 1						POINT FIXE 2							
Production primaire						Production primaire							
mgC.m ⁻³ .d ⁻¹						mgC.m ⁻³ .d ⁻¹							
Prof.	m	1° jour	2° jour	3° jour	4° jour	5° jour	Prof.	m	1° jour	2° jour	3° jour	4° jour	5° jour
	-5	6.13	5.51	4.2	4.42	5.38		-5	5.32	6.01	8.81	6.64	11.2
	-30	7.24	4.58	6.5	5.89	5.02		-30	6.8	6.11	8.95	6.45	12.69
	-60	7.28	5.09	5.02	3.43	4.5		-50	3.55	6.18	8.47	7.09	9.55
	-80	6.43	5.98	3.27	3.52	3.08		-60	3.19	5.69	8.47	3.41	7.12
	-100	4.85	5.34	2.15	2.81	2.54		-70	1.98	8.06	8.92	2.75	6.65
	-120	4.02	2.77	1.99	1.86	2.43		-80	1.43	11.00	9.06	-	5.23
	-130	4.92	4.12	3.2	2.56	2.4		-90	0.85	11.52	4.55	1.5	2.94
	-140	4.63	4.25	3.62	2.83	1.63		-100	0.43	9.42	3.8	1.07	1.21
	-150	3.95	4.17	3.12	1.94	0.96		-120	0.04	0.71	2.77	0.97	0.61
	-160	-	-	1.73	0.58	-							

Tableau II : Production primaire mesurée aux 11 stations de la radiale au cours de la campagne (12 h d'incubation ; méthode classique, sauf s4 et s5 correspondant à la mesure au Let-Go) et après soustraction de la valeur à l'obscurité (- = valeur manquante).

Prof.	Production primaire											
	m	sta. 1	sta. 2	sta. 3	sta. 4	sta. 5	sta. 6	sta. 7	sta. 8	sta. 9	sta. 10	sta. 11
5	2.09	3.40	-	-	-	11.47	10.29	9.50	10.45	16.07	18.47	
20					3.90	14.51						
30	2.64	4.21	7.12	7.60	14.65	10.95	11.59	10.8	10.69	20.42	16.25	
40			-	6.51	12.77							
50		3.39	7.31	1.42	8.95	8.96	8.86	7.98	9.57	12.34	9.61	
60	2.72		6.54	3.53	9.24	-	6.58	7.22	5.16	8.35	7.00	
70		4.21	3.83	10.10	7.76	4.28	1.63	2.37	3.95	3.84	3.84	
80	3.32	3.61	3.43	-	6.71	3.35	1.32	3.06	3.78	2.17	2.99	
90	2.15	2.03			6.24	-	2.35	1.85	2.22	1.07	1.93	
100	1.42	1.51	1.37	-						1.00	1.32	
120	0.82	0.62										
140	0.28											
160	0.01											

Les résultats que nous avons obtenus en terme de comparaison entre la méthode classique *in situ* et le système Let-Go confirment les observations de Dandonneau (1993) indiquant une fixation de carbone plus forte obtenue à l'aide du Let-Go. En effet, la droite de régression obtenue entre les deux types de mesures est (cl : classique ; lg : Let-Go) :

$$PP_{cl} = -0.20 + 0.91 PP_{lg} \quad r^2 = 0.91$$

Nous avons cherché à expliquer ce résultats, malgré le stock de données disponibles actuellement réduit (Figure 1).

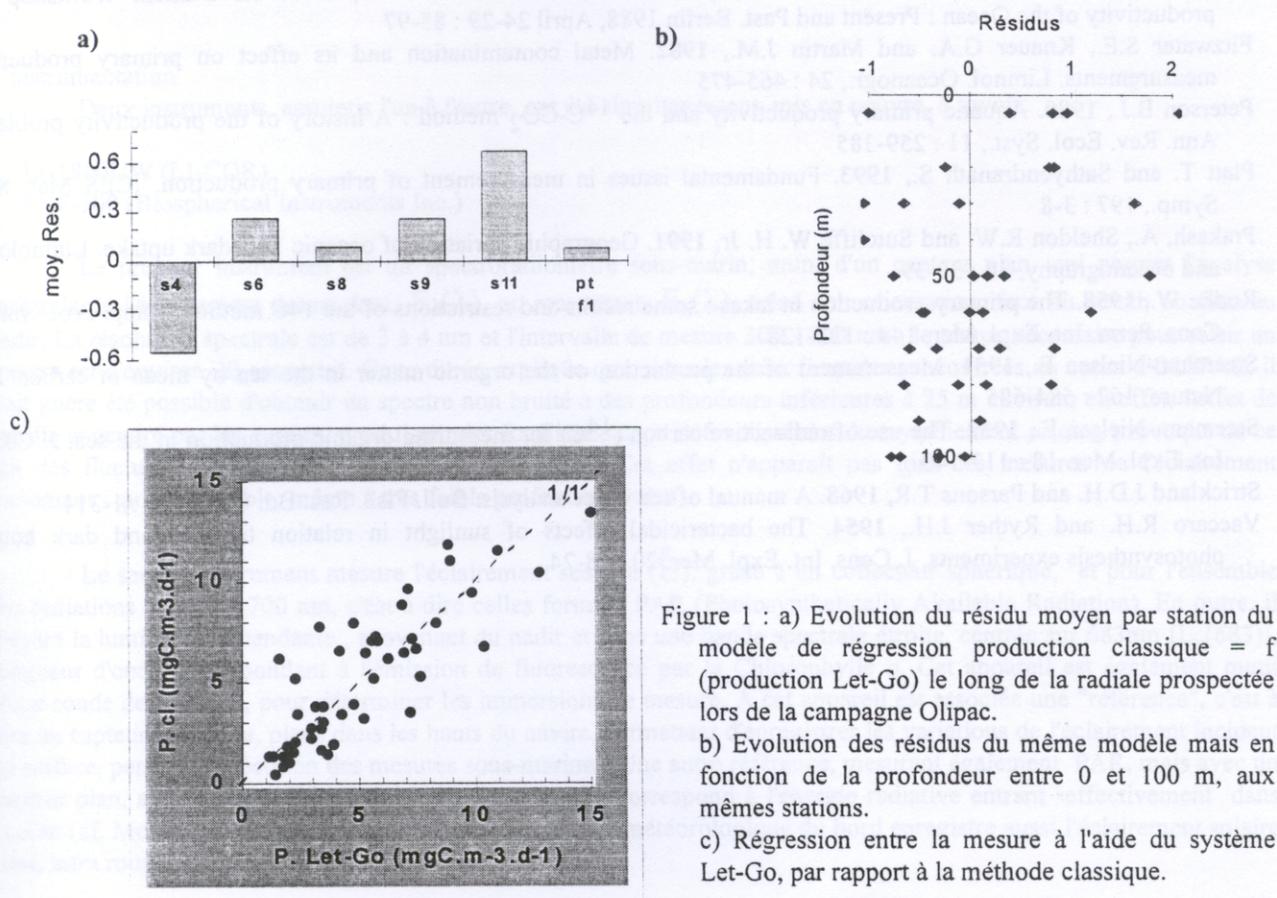


Figure 1 : a) Evolution du résidu moyen par station du modèle de régression production classique = f (production Let-Go) le long de la radiale prospectée lors de la campagne Olipac.

b) Evolution des résidus du même modèle mais en fonction de la profondeur entre 0 et 100 m, aux mêmes stations.

c) Régression entre la mesure à l'aide du système Let-Go, par rapport à la méthode classique.

L'évolution des résidus, le long de la radiale et en fonction de la profondeur, montre que les valeurs de production supérieures obtenues à l'aide du Let-Go proviennent essentiellement des stations les plus pauvres et des profondeurs importantes. Dans les zones "plus riches", le Let-Go fournirait une valeur de production plus faible que la méthode classique. En fait, les populations "plus résistantes" des zones plus riches pourraient réagir favorablement aux stress provoqués par les manipulations dans le cadre de la méthode classique. Ces résultats sont confirmés par nos travaux en Méditerranée. Les écarts entre l'estimation de la production primaire à l'aide du système Let-Go et celle obtenue à l'aide de la méthode *in situ* classique varient entre -5 et +15 %, sur l'ensemble des zones prospectées.

Perspectives

Ce travail ne concerne que des résultats préliminaires par rapport aux résultats escomptés concernant des comparaisons entre nos mesures et les productions mesurées à l'aide du traceur ^{15}N , ou à l'aide des pièges à particules. Les résultats en relation avec l'utilisation du système Let-Go, mais également les résultats concernant la comparaison entre les différents types de filtres (Pujo-Pay *et al.*, ce volume), ainsi que la mesure de la fixation de carbone à l'obscurité sont largement détaillés dans les travaux de thèse de Conan (1996).

Références citées

- Banse K., 1993. On the dark bottle in the ^{14}C method for measuring marine phytoplankton production. ICES Mar. Sci. Symp., 197 : 132-140
- Banse K., 1994. Commentary : An unpleasant note about the ^{14}C method of estimating plankton photosynthesis. US JGOFS Newsletter : 3-6
- Conan P., 1996. Variabilité et bilan de la production primaire en zone côtière (Méditerranée Nord-occidentale) en relation avec les systèmes biologique, chimique et hydrodynamique (Courant Nord Méditerranéen). Thèse de doctorat d'état, université de la Méditerranée, Aix-Marseille, Tome 1 : 203 p

- Dandonneau Y. and Le Bouteiller A., 1992. A simple and rapid device for measuring planktonic primary production by in situ sampling, and C14 injection and incubation. *Deep Sea Research*, 39 (5) : 795-803
- Dandonneau Y., 1993. Measurement of in situ profiles of primary production using an automated sampling and incubation device. *In* : ICES Mar. Sci. Symp., 197 : 173-180
- Davis C.O. and Williams P.J. le B., 1992. Verification of ¹⁴C and derived primary organic production measurement using an enclosed ecosystem. *Jour. Plank. Resea.*
- Eppley R. W., 1989. New Production / History, Methods, Problems. *In* : Report of the Dahlem Workshop on productivity of the Ocean : Present and Past. Berlin 1988, April 24-29 : 85-97
- Fitzwater S.E., Knauer G.A. and Martin J.M., 1982. Metal contamination and its effect on primary production measurements. *Limnol. Oceanogr.*, 24 : 465-475
- Peterson B.J., 1980. Aquatic primary productivity and the ¹⁴C-CO₂ method : A history of the productivity problem. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 11 : 259-385
- Platt T. and Sathyendranath S., 1993. Fundamental issues in measurement of primary production. *ICES Mar. Sci. Symp.*, 197 : 3-8
- Prakash, A., Sheldon R.W. and Sutcliffe W. H. Jr, 1991. Geographic variation of oceanic ¹⁴C dark uptake. *Limnology and oceanography*, 36 : 30-39
- Rodhe W., 1958. The primary production in lakes : some results and restrictions of the ¹⁴C method. *Rapp. Proc. verb., Cons. Perm. Int. Expl. Mer*, 144 : 122-128
- Steemann-Nielsen E., 1951. Measurement of the production of the organic matter in the sea by mean of carbon ¹⁴. *Nature*, 167 : 684-685
- Steemann-Nielsen E., 1952. The use of radioactive carbon (¹⁴C) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Int. Expl. Mer.* 18 : 117-140
- Strickland J.D.H. and Parsons T.R., 1968. A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 125 : 1-311
- Vaccaro R.H. and Ryther J.H., 1954. The bactericidal effects of sunlight in relation to light and dark bottle photosynthesis experiments. *J. Cons. Int. Expl. Mer.* 20 : 18-24