



HAL
open science

Echanges entre l'air et le sol en dioxyde de carbone

Gwendal Monnier

► **To cite this version:**

| Gwendal Monnier. Echanges entre l'air et le sol en dioxyde de carbone. 10 p., 1979. hal-02858620

HAL Id: hal-02858620

<https://hal.inrae.fr/hal-02858620>

Submitted on 8 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

STATION DE SCIENCE DU SOL

C.R.A. D'AVIGNON

(I.N.R.A.)

ECHANGES ENTRE L'AIR ET LE SOL

EN DIOXYDE DE CARBONE

=====

G. MONNIER

Directeur de Recherches I.N.R.A.

Les couches superficielles du sol peuvent être considérées comme un réservoir de carbone organique.

Les entrées dans ce réservoir (considéré à une échelle spatiale suffisante pour qu'il ne soit plus nécessaire de prendre en compte les transferts d'un point à l'autre de la surface) résultent :

- de la biomasse souterraine (racines, exsudats racinaires) photosynthétisée dans le couvert végétal au lieu considéré,

- d'une partie de la biomasse aérienne incorporée au sol par des agents biologiques (faune du sol notamment) et, dans le cas des sols cultivés, par les techniques de travail du sol.

Les sorties du réservoir sont le fait de :

- la respiration racinaire,

- la production de CO_2 à l'issue de l'ensemble des processus chimiques et surtout biochimiques d'oxydation du carbone organique présent dans le sol.

Il est évident que le niveau de carbone contenu dans ce réservoir dépend des valeurs relatives des entrées et des sorties.

LES MODÈLES D'ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DES SOLS.

Compte tenu de l'importance, écologique générale d'une part, agronomique d'autre part, de l'évaluation de cette teneur et, par là, du stock de carbone organique présent dans le sol, des recherches ont été entreprises depuis longtemps à différents niveaux et à différentes échelles d'espace et de temps sur les termes de ce bilan organique et sur l'élaboration de modèles prédictifs du niveau et de l'évolution des teneurs en matières organiques.

La plupart des modèles d'évaluation des bilans organiques connus sont de la forme générale de celui proposé par HENIN et DUPUIS (1945) :

$$\frac{dC}{dt} = k_1 m - k_2 C$$

soit après intégration :

$$C = \left(C_0 - \frac{k_1 m}{k_2} \right) e^{-k_2 t} + \frac{k_1 m}{k_2}$$

avec :

- t le temps en année
- C stock de carbone organique présent dans le sol au temps t
- m apport annuel de biomasse exprimé en carbone organique apporté au sol
- k_1 coefficient isohumique exprimant le rendement de transformation de la biomasse en matière organique de sol
- k_2 coefficient de minéralisation annuelle de la matière organique du sol.

Si l'on admet les hypothèses sous tendues par ce modèle et qui dans des cas précis où c'était techniquement possible ont pu être vérifiées avec une approximation suffisante :

- Les valeurs du stock de carbone dans les sols en équilibre humique sont égales à $C_e = \frac{k_1 m}{k_2}$.

Comme il vient d'être dit, elles ne sont donc directement évaluables que lorsqu'on dispose de situations renseignées permettant de mesurer m, k_1 et k_2 .

Dans le cas général, contraire, nous verrons que des relations d'un autre ordre telle que celle établie par JENNY permettent d'évaluer directement les valeurs de C_e à partir d'un ensemble de facteurs macroclimatiques.

- Le terme k_2C du modèle exprime la minéralisation au rythme annuel d'une partie de la matière organique du sol. Elle englobe les différents processus d'oxydation du carbone organique par voie chimique et biochimique et la production de CO_2 qui en résulte.

A partir de la connaissance, mesurée ou calculée, de la valeur de C_e il est possible, si l'on peut évaluer k_2 , d'estimer les flux sol-atmosphère de CO_2 moyens annuels.

EVALUATION DES STOCKS DE CARBONE ORGANIQUE DES SOLS EN ÉQUILIBRE HUMIQUE.

Compte tenu des difficultés de mesure des paramètres d'évolution permettant de calculer par simulation ($t \rightarrow \infty$) les valeurs à l'équilibre à l'aide de modèles du type précédent, on peut tenter d'évaluer directement C_e à l'aide de relations statistiques entre le taux de carbone à l'équilibre C_e % et les conditions climatiques du lieu considéré.

C'est ainsi que JENNY (1941) analysant les conditions de formation des sols de la prairie du continent Nord-Américain a dégagé la relation suivante entre la teneur en matière organique du sol exprimé en N % taux d'azote organique, et le climat.

$$N \% = 0,55 e^{-0,08T} (1 - e^{-0,005m})$$

Comme les taux moyens de carbone organique des sols sont 10 fois plus élevés que ceux d'azote organique, on peut écrire la relation de JENNY :

$$C \% = 5,5 e^{-0,08T} (1 - e^{-0,005m})$$

relation dans laquelle :

T est la température moyenne annuelle de l'air en ° Celsius

m est l'indice climatique de MEYER au lieu considéré (MEYER 1926)

Ce dernier est de la forme :

$$m = \frac{P}{d} \quad \text{où}$$

P est la pluviométrie moyenne annuelle en mm d'eau

$$d = P_T \frac{100 - e}{100} \quad \text{avec}$$

P_T pression de vapeur d'eau saturante à T°

e degré hygrométrique moyen annuel du lieu

N.B. Il est plausible qu'un tel ajustement statistique recouvre implicitement l'influence à l'échelle des grandes zones climatiques (JENNY l'a établie à l'échelle du Continent Nord-Américain) des facteurs du climat,

- sur la production moyenne annuelle de biomasse (dont la fraction souterraine correspond à m dans les notations précédentes),

- sur la valeur des coefficients isohumique et surtout de minéralisation annuel (k_2 dans les notations ci-dessus).

°
° °

En utilisant la formule de JENNY, on peut évaluer les teneurs moyennes à l'équilibre (C_e %) par zone climatique. Ainsi par exemple :

- pour $T = 10^\circ\text{C}$
 $C \% = 1,87$ pour $m = 277$ (Basse Alsace)
 $C \% = 2,35$ pour $m = 647$ (Cotentin)

- pour $m = 300$
 $C \% = 2,86$ pour $T = 5^\circ\text{C}$
 $C \% = 1,92$ pour $T = 10^\circ\text{C}$

A partir de ces teneurs, on peut évaluer les stocks moyens de carbone organique contenus dans les sols en équilibre. Ces teneurs correspondent en effet à celles des couches humifères de surface du sol ou aux couches arables des terres cultivées.

Dans les deux cas, leur épaisseur moyenne équivalente est voisine de 20 cm ; elles représentent donc pour une densité sèche moyenne de 1,5 un poids de $3,10^5$ tonnes km^{-2} .

Sur ces bases, on peut évaluer les stocks de carbone organique à l'équilibre présents par unité de surface.

Par exemple, dans le cas cité plus haut, pour $m = 300$

Température moyenne annuelle	Taux de carbone org. C % à l'équilibre e (d'après JENNY)	Stock de C (C_e) T k m ⁻²
5°C	2,86	8 600
10°C	1,92	5 800

EVALUATION DE LA MINERALISATION ET DES FLUX ANNUELS DE CO₂ SOL - ATMOSPHERE.

Si l'on applique au prix d'un changement d'échelle spatiale aux stocks de carbone organique à l'équilibre définis ci-dessus le coefficient k_2 définissant le terme "minéralisation" dans le modèle d'évolution de HENIN et DUPUIS, on peut évaluer les flux du CO₂ annuel résultant des processus d'oxydation correspondants.

Evaluation du coefficient de minéralisation annuelle.

La plupart des évaluations tirées de dispositifs de longue durée à l'échelle de la parcelle fournissent des valeurs de k_2 convergentes et voisines de 0,02 (2 %) pour des zones géographiques à température moyenne annuelle d'environ 10°C (En France le Bassin Parisien).

On dispose par ailleurs (DUPUIS sur revue Bibliographique - Communication personnelle) de données permettant de corriger cette valeur de référence k_2^{10} en fonction de la température moyenne annuelle T° (cf graphique ci-joint).

Il devient alors possible de calculer les ordres de grandeurs (et seulement ceux en raison des approximations successives intervenues au cours des différentes étapes de l'évaluation) des quantités de CO₂ résultant

annuellement de la minéralisation du carbone organique du sol par unité de surface dans le cadre de grandes zones climatiques caractérisées par ces paramètres entrant dans la formule de JENNY.

Ainsi, voici les valeurs chiffrées obtenues dans le cas de l'exemple précédent ($m = 300$).

Température moyenne annuelle	Stock de C à l'équilibre $C_e T \text{ km}^{-2}$	k_2^T	C minéralisé $T \text{ km}^{-2} \text{ an}^{-1}$	CO_2 $T \text{ km}^{-2} \text{ an}^{-1}$
5°	8 600	0,006	51,6	190
10°	5 800	0,02	116	425

BILAN DES FLUX DE CO_2 À L'INTERFACE SOL-ATMOSPHÈRE.

Il résulte, nous l'avons vu, de la balance des entrées correspondant à la part souterraine et(ou) enterrée de la biomasse photosynthétisée et des sorties liées à la respiration racinaire et à la minéralisation.

Nous admettrons dans ce qui suit que la production de CO_2 par respiration racinaire (d'ailleurs mal connue au plan quantitatif) est faible au regard de la quantité de CO_2 provenant de la minéralisation du Carbone organique ; nous la négligerons.

Nous négligerons également le stock de CO_2 présent à chaque instant dans l'espace poral du sol (couches de surface). Il est en effet de l'ordre de la tonne par km^2 .

CAS DES SOLS A L'EQUILIBRE HUMIQUE.

Considéré sur une période suffisamment longue pour que les conditions de photosynthèses et les paramètres climatiques agissant sur l'activité biologique du sol soient assimilables aux valeurs moyennes de la zone géographique considérée le bilan est nul.

Ce fait évident n'exclut pas des déséquilibres momentanés interannuels ou intra annuels qui peuvent entraîner dans des périodes (années ou saison de photosynthèse intense) l'apparition au niveau du sol d'une fonction puits momentanée pour le CO₂ atmosphérique et inversement des périodes où le bilan est déséquilibré au profit des flux sol-atmosphère.

CAS DES SOLS EN DESEQUILIBRE HUMIQUE.

- Lorsqu'un sol présente une teneur en carbone supérieure à celle qui correspondrait à la valeur d'équilibre liées aux conditions de climat, de couvert végétal naturel ou de culture du moment, il peut être considéré comme en cours d'appauvrissement en matières organiques. Tant que la teneur d'équilibre bas n'est pas atteinte son bilan de C est négatif. Le sol se comporte même à une échelle interannuelle relativement longue comme une source de CO₂ atmosphérique.

- Dans le cas inverse et jusqu'à ce qu'un équilibre haut soit atteint, le sol se comporte comme un puits vis à vis du CO₂ atmosphérique.

On peut imaginer de telles situations dans le cas de modifications importantes et durables dans les conditions climatiques moyennes, ou dans l'utilisation du sol par l'homme -défrichements massifs, mise en valeur,... etc.

REMARQUES GENERALES ET CONCLUSIONS.

Ces observations et suggestions sur l'étude des échanges de CO₂ entre le sol et l'atmosphère, que nous venons d'exposer brièvement, ne peuvent servir de base à une réflexion plus approfondie que dans le cadre où elles ont été proposées : échelle spatiale planétaire, "pas" de temps long. C'est seulement en effet dans un tel cadre que les notions de zonalité climatiques définies par des moyennes annuelles, d'équilibre humique et les approximations consenties peuvent être considérées comme acceptables.

Il reste que même dans une telle perspective une relation comme celle de JENNY établie en Amérique du Nord peut nécessiter des aménagements numériques pour être applicable à la prédiction des valeurs de carbone à l'équilibre en n'importe quelle zone de la planète. Cette réserve n'est pas qu'académique. COCHARD et FLEURY (1968) ont du modifier légèrement la relation pour qu'elle rende compte fidèlement de la répartition des teneurs en matières organiques des sols de France répartis en 7 principales zones climatiques.

Si l'on souhaitait aborder le problème de la régulation intra annuelle de la teneur en CO₂ atmosphérique, il conviendrait d'adopter une attitude méthodologique adaptée à une autre échelle explicite de temps et implicite d'espace et recourir à un modèle du type de celui proposé par HENIN, TURC et MONNIER (1959) qui comporte un compartiment "court terme" explicitant le terme "transformation en humus de la biomasse".

Il ne faut alors pas se cacher que ce qu'on gagnerait en précision sur l'évolution temporelle des flux sol-atmosphère serait perdu au niveau de l'extrapolation à une surface des résultats obtenus.

BIBLIOGRAPHIE

=====

- MEYER A. (1926) - Uber einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa - Chemie. der Erde. 2 p. 209-347.
- JENNY H. (1941) - Factors of soil formation, P. 171.
Mc Graw Hill - New York.
- HENIN et DUPUIS (1945) - Essai de bilan de la matière organique des sols. Ann. Agron. 15, p. 17.
- COCHARD et FLEURY (1968) - Essai d'application de la formule de JENNY à l'étude de la teneur en matières organiques des sols de France.
Bull. de l'A.F.E.S. 3, p. 21-29.
- HENIN S., MONNIER G. et TURC L. (1959) - Un aspect de la dynamique des matières organiques du sol.
C.R. Acad. Sc. 248, p. 138.

Fig. 1. Influence de la température moyenne annuelle sur le coefficient de diffusion long

