

MICROFICHE ETABLIE A PARTIR DE
L'UNITE DOCUMENTAIRE
N

جديدة منجزة حسب الوثيقة
رقم :

9

3

0

2

0

2

ROYAUME DU MAROC

المملكة المغربية

المركز الوطني للوثائق
CENTRE NATIONAL DE DOCUMENTATION

SERVICE DE REPROGRAPHIE
ET IMPRIMERIE

B.P 826 RABAT



مصلحة الطباعة والتصوير
ص.ب 826 الرباط

F

1

33-0202

المركز الوطني للأبحاث
البيئية والبيئية
93-4-1/1
93-0202
مصلحة الجيولوجيا

LE TRACAGE ISOTOPIQUE NATUREL DE L'EAU (^{18}O , ^2H) : QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATIONS.

Z. BOUJAMLAOUI (1,2), M. ABOUFIRASSI (2), A. ZARHOUNI (3)

1 Laboratoire de Biogéochimie Isotopique, U.P.M.C.-I.N.R.A., 4, Place Jussieu, 75252, Paris

2 Laboratoire de Géologie Appliquée (Hydrogéologie), Bd Prince My Abdellah, BP S15, Marrakech.

3 Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz, BP 22, Bd Hassan II, Marrakech, Maroc.

1- INTRODUCTION

La découverte des isotopes stables de l'eau, au début du siècle, (Sody, 1910), a permis d'acquérir une bonne connaissance des différents mécanismes biophysiques et biochimiques. Cette découverte a permis, l'obtention des informations supplémentaires qui ont été jusqu'à lors inaccessible par les méthodes traditionnelles.

En hydrologie, l'utilisation des marqueurs intrinsèques de la molécule d'eau (^2H , ^{18}O), a permis de comprendre les processus qui affectent les différents compartiments du cycle de l'eau. Ces espèces isotopiques (^2H , ^{18}O), peuvent permettre dans certains cas de quantifier et de préciser l'origine de la masse d'eau échangée entre les différents compartiments du cycle de l'eau.

Cette approche est rendue accessible par l'existence de fractionnements isotopiques (Urey, 1947). En effet la différence de masse et de taille se traduit par de légers différences de propriétés physicochimiques (densité, température, volume molaire, pression de vapeur, viscosité, vitesse de réaction, constante d'équilibre...). Ces différences de propriétés sont à l'origine de différences de comportements et de répartition des isotopes entre deux composés ou entre deux phases d'un même élément.

2- Notion de fractionnement isotopique:

De nombreux auteurs (Urey, 1947, Melande, 1960, Brodsky, 1961, Bigeleisen 1965...), ont décrit en détails la théorie des effets isotopiques et leurs mécanismes.

les principaux facteurs régissant ces processus sont:

- L'énergie cinétique :

C'est l'énergie relative aux mouvements de translation des particules atomiques ou moléculaires. Cet énergie est proportionnel à la température

$$(1) m \cdot V^2 / 2 = a \cdot T$$

m et V: masse et vitesse moyenne relative de translation de l'espèce isotopique.

- L'énergie de vibration d'une particule liée:

c'est l'énergie d'une liaison chimique ou d'absorption à la surface d'un liquide ou d'un solide.

$$(2) E_v = h \cdot \nu$$

h: constante de Planck et ν : fréquence de vibration.

D'après ces auteurs, le fractionnement isotopique est :

- . un phénomène cinétique,
- . thermodépendant.

La vitesse de réaction de la molécule légère (Ex : $^1\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$) est à l'origine de ces effets isotopiques. En effet, cette vitesse est plus grande que celle de la molécule lourde (Ex : $^1\text{H}^1\text{H}^{18}\text{O}$).

3- Quelques exemples de traçage et de la modélisation isotopique (évaporation, transpiration):

Les paramètres climatiques locaux à savoir la température, l'humidité relative de l'air ainsi que les conditions aérodynamiques de la surface d'évaporation, vont avoir le plus d'impact sur l'enrichissement en ^2H et en ^{18}O . A ces paramètres il faut rajouter les facteurs caractéristiques du système soumis à l'évaporation:

- cas du sol (porosité, coefficient de tortuosité, flux de convection et de diffusion, teneurs en isotopes lourds de l'eau d'alimentation et de la vapeur d'eau issue du sol...),
- cas de la feuille (état physiologique c'est à dire ouverture ou fermeture des stomates, exposition ou non de la feuille à la lumière, âge de la feuille, type de métabolisme (C3 ou C4), potentiel foliaire, paramètres isotopique (teneur en isotopes lourds de l'eau d'alimentation et de la vapeur d'eau issue de la feuille), zone de pompage racinaire en fonction du profil isotopique de l'eau dans le sol...).

3-1 Cas de l'évaporation d'une surface d'eau libre:

Le modèle de Craig et Gordon, (1965), schématise les différents types de fractionnements isotopiques, lors de l'évaporation d'un réservoir d'eau, en une succession de couches horizontales virtuelles, dans chacune desquelles un type de mécanisme de transport prédomine (figure 1).

A partir de la loi de Fick :

$$(3) \quad \phi_E = \Gamma (q_S - q)$$

ϕ_E : flux net d'évaporation, Γ : coefficient de profil, q_S : humidité spécifique à l'interface air-eau, q : humidité spécifique à la côte z.

Merivator et Jouzel (1979), puis Bariac (1987), ont déterminé la teneur en isotopes lourds de la vapeur qui s'échappe du réservoir d'eau à un instant donné.

$$(4) \quad \delta_E^t = ((\delta_L^t + 1) - h(\delta_a + 1)(1 + \epsilon_e) - B)/B$$

$$(5) \quad B = (1 + \epsilon_e) (1 + \epsilon_K (1 - h))$$

δ_E^t , δ_L^t et δ_a : composition isotopique de la vapeur issue de la feuille, de l'eau foliaire et de la vapeur d'eau atmosphérique. ϵ_e et ϵ_K : enrichissement isotopique à l'équilibre et cinétique. h : humidité relative atmosphérique.

3-2 Cas de l'évaporation de l'eau d'un sol :

Boujamlaoui et al., (1991), ont simulé l'évolution spatio-temporelle du profil isotopique et de la quantité d'eau perdue par évaporation d'une colonne de sol, à la suite de travaux de Barnes et Allison (1983, 1988), et Walker et al., (1988). Le profil isotopique montré en figure 2 est obtenue après 173 jours d'évaporation sous les conditions du laboratoire (température et humidité relatives moyennes de l'ordre de 25°C et 45% respectivement).

La figure 3, montre une bonne simulation de la teneur en isotopes lourds de la fraction d'eau restante dans le sol mesurée et calculée à partir de l'équation 6

$$(6) \delta_i = A \text{EXP}(y\lambda^2/4x - u\lambda/2x) \text{EXP}(-\lambda((y\lambda + u/2x)^2 + y/2x)^{1/2} + D \quad (\lambda_{ef} \ll \lambda \ll \infty)$$

$$\text{avec } x = \rho D_i \quad y = \theta \rho / 2 \quad \text{et } u = Q_0$$

λ et λ_{ef} variable de Boltzmann à la profondeur z et au front d'évaporation, ρ :densité de l'eau, θ :humidité volumique, D_i : diffusivité totale de l'espèce isotopique et Q_0 :paramètre du flux convectif. A et D sont déterminées par les conditions au limites.

De même , la quantité d'eau perdue lors de ce processus a été calculé à partir des équations de bilan hydrique (Black et al., 1967) et isotopique (Walker et al., 1988).

$$(7) E = E_0 t^{1/2} \quad (\text{Black et al., 1967})$$

$$(8) E_0 = M_0 \delta_i^{ef} / 2 + D_i^v N_{sat} (\epsilon_K + \delta_i^{ef} - \delta_a) / (\rho \lambda_{ef}) / (\epsilon_K - \delta_a) \quad (\text{Walker et al., 1988}).$$

M_0 :excès isotopique normalisé, N_{sat} densité de vapeur saturante, δ_i^{ef} teneur en isotopes lourds au niveau du front d'évaporation. D_i^v :diffusivité de l'espèce isotopique dans la phase vapeur.

La valeur obtenue à partir de ces équations est de $7. 10^{-9} \text{ ms}^{-1}$ et est similaire à la valeur mesurée au laboratoire lors des pesés journalières $E \text{ mesuré} = 5. 10^{-9} \text{ ms}^{-1}$

3-3 Cas de la transpiration :

Le processus de transpiration est un phénomène actif et engendre des enrichissements différents en ^2H et en ^{18}O , au cours d'un même cycle nyctéméral.

En plus de l'influence des paramètres microclimatiques cet enrichissement est dû aussi à la variation du site de transpiration de la feuille selon la période diurne ou nocturne du cycle de prélèvement.

Dongmann et al, (1974), Förstel et al, (1975), Faris et Strañ, (1978), Bariac et al (1990, 1991)..., ont montré que le fractionnement isotopique est variable selon la nature aérodynamique de la couche limite au niveau du site de transpiration. Ainsi, les sites stomatiques (phase diurne) seront le siège de conditions statiques ($n = 1$ et $\epsilon_K = 28,5\%$), ou laminaire ($n = 2/3$ et $\epsilon_K = 20\%$), par contre les sites cuticulaires (phases diurne et nocturne) seront le siège de conditions turbulentes ($n = 0,5$ et $\epsilon_K = 14\%$).

La figure 4, montre l'évolution de la teneur en ^{18}O de l'eau des feuilles supérieures de plants de Blé, prélevées sur une parcelle expérimental à la station météorologique de Has el Aïn (Office de Mise en Valeur Agricole). Le prélèvement a duré tout un cycle nycthémeral.

A partir de l'équation de l'évolution dynamique de la composition isotopique d'un réservoir d'eau en voie d'évaporation :

$$(9) d(V \delta_L) = (\phi_A \delta_A - \phi_E \delta_E) dt.$$

V: volume du réservoir d'eau, ϕ_A flux des apports et ϕ_E flux des sorties

δ_L , δ_A et δ_E respectivement composition isotopique de l'eau du réservoir, des apports et des sorties
Ces auteurs ont déterminés l'évolution dynamique de la teneur en isotopes stables de l'eau foliaire δ_L^t

$$(10) \delta_L^t = \delta_L^S - (\delta_L^S - \delta_L^0) \text{EXP}((- \tau/B) (t - t_0)). \text{ avec,}$$

$$(11) \delta_L^S = B (\delta_r + 1) + h (\delta^a + 1) (1 + \epsilon_e) - 1$$

$$(12) B = (1 + \epsilon_e) (1 + \epsilon_k) (1 - h)$$

et

$$\tau = T/V_0$$

δ_L^S , δ_L^0 et δ_S composition isotopique; de l'eau foliaire à l'état stationnaire, de l'eau foliaire à l'instant t_0 , et de l'eau du sol respectivement . T: flux de transpiration et V_0 volume foliaire. τ :taux de renouvellement

La représentation graphique de l'équation 11 (figure 5a et 5b, composition isotopique de l'eau foliaire à l'état stationnaire en fonction de l'humidité relative atmosphérique), vérifie l'hypothèse que le régime hydrique de la feuille est permanent, (Dongmann et al., 1974, Förstel et al., 1975, Farris et Strain., 1978, Bariac et al 1990., 1991...) et que l'évolution dynamique de la composition isotopique de l'eau foliaire passe par une succession d'états isotopiques stationnaires. Ceci signifie que la composition isotopique de la vapeur issue du réservoir foliaire est égale à la composition isotopique de l'eau racinaire ($\delta_E^t = \delta_S$).

D'autre part ces auteurs ont démontrés que l'absorption racinaire ne présente pas de fractionnement isotopique.

A partir des équations (10) (11) et (12) , nous pouvons déterminer la part réelle d'eau perdue par transpiration des plants du Blé, pendant la phase nocturne et diurne du cycle de prélèvement.

4- CONCLUSION :

L'analyse de l'évolution isotopique de l'eau du sol et de la feuille, a largement bénéficié du modèle isotopiques déjà élaboré lors de l'évaporation d'un réservoir d'eau à volume constant.

L'application de ce modèle à la transpiration de la plante du Blé a permis de confirmer les hypothèses avancées par plusieurs auteurs (Dongmann et al., 1974, Förstel et al., 1975, Farris et Strain., 1978, Bariac et al 1990., 1991....).

Le traçage isotopique naturel, apparaît comme un outil privilégié susceptible de fournir une estimation plausible de la part réelle d'eau perdue par évapotranspiration.

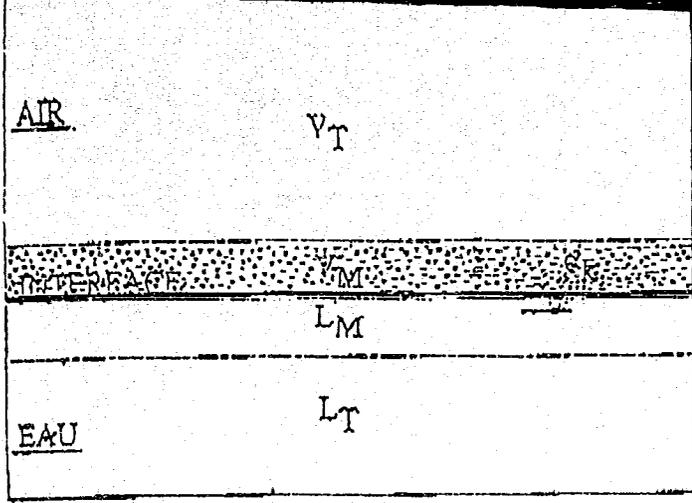


figure 1

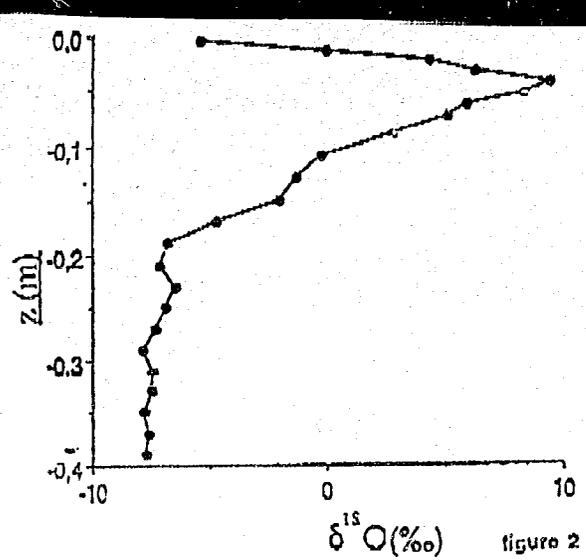


figure 2

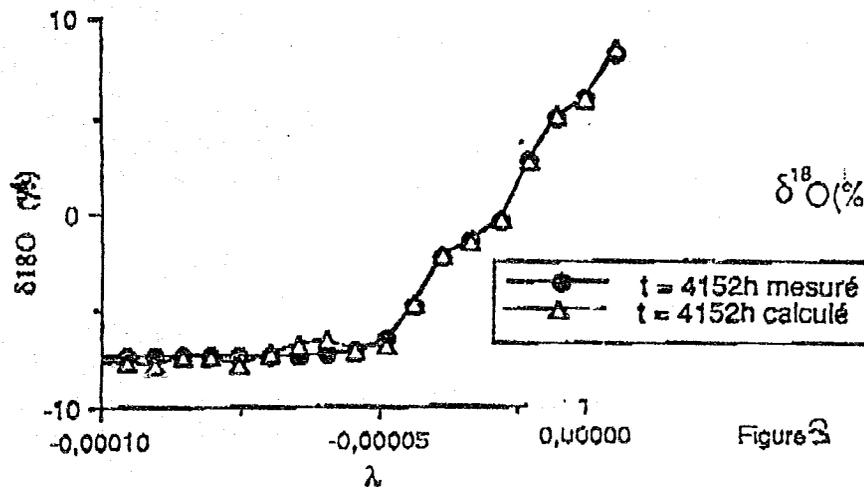


Figure 3

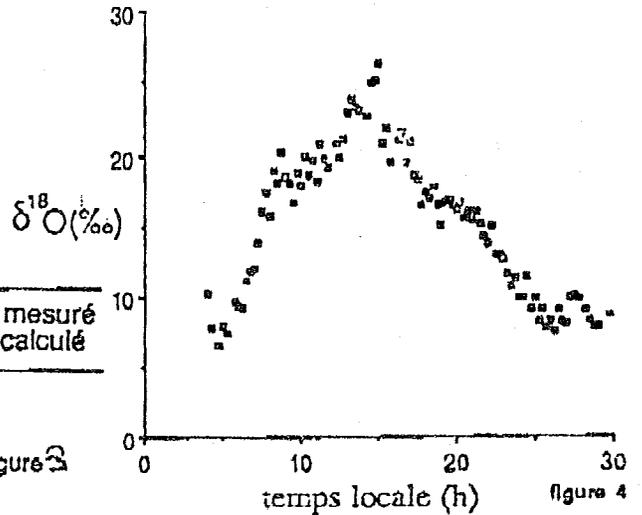


figure 4

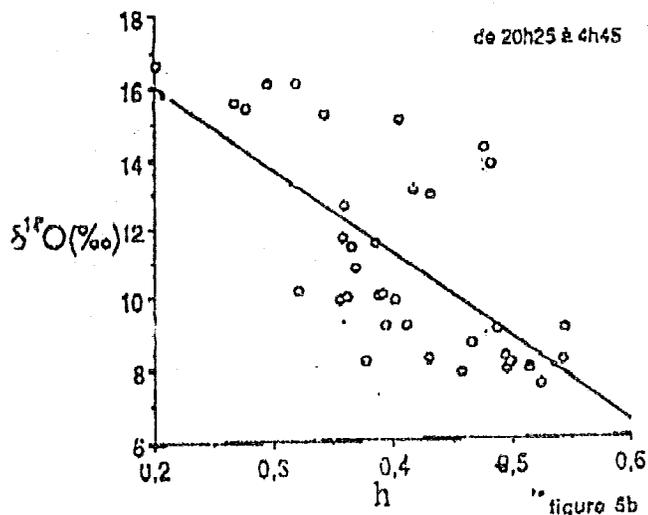


figure 5b

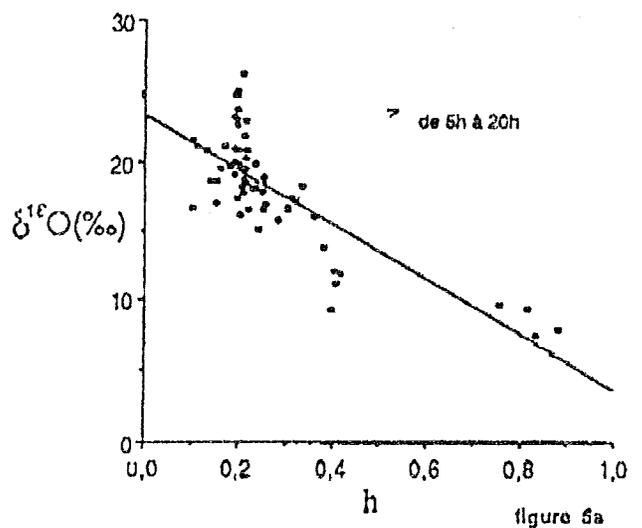


figure 5a

figure 1 : Schéma de différents zones de diffusion, lors de l'évaporation d'un réservoir d'eau libre (Craig et Gordon 1965).

figure 2 : profil isotopique ($\delta^{18}\text{O}$) de l'eau d'une colonne de sol soumise à l'évaporation sans alimentation en eau pendant 173 jours.

figure 3 : Teneurs en oxygène-18 ($\delta^{18}\text{O}$), de l'eau du sol mesurée et calculée en fonction de la variable de Boltzmann.

figure 4 : Evolution temporelle de la teneur en oxygène-18 ($\delta^{18}\text{O}$), de l'eau des feuilles supérieures de plants de Blé (23/05/91).

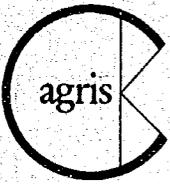
figure 5 : Evolution de la composition isotopique de l'eau foliaire en fonction de l'humidité relative atmosphérique.

a- phase diurne,
b- phase nocturne.

93-020

BORDEREAU D'ENTREE DES DONNEES

AGRIS Formulaire 1 (Rev. 5)F



C F	ANNEE	NUMERO DE SERIE
001	1992	0303

002 1/1 003

Numero de bordereau / Nombre total de bordereaux

REVISION	RETRAIT
R	W

004

NOUVEAU	SUBSTITUE	SUPPLIME
X	C	D

005

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

TRADUCT.	GENERO.
T	/

007

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

MONOGRAPH.	NORME	DESSIN	FILM	CARTE OU ATLAS	ENREGISTR. SONORE	ART. PUBL. SERIE	BREVET	RAPPORT	SUPPORT INFORMATIQ.
B	C	D	F	O	H	J	P	R	T

ANALYTIQUE	MONOGRAPH.	PUBL. EN SERIE	COLLECTIF
A	M	S	C

REUNION	DICTIONNAIRE	DONNEES NUMERIQUES	THESES OU DISSERTATION	LEGISLATION	BIBLIOGRAPH.	CARTE INCLUSE	RESUME	NON-VENTION.	STATISTIQUE
K	L	N	U	W	Z	Y	E	V	R

008

33		
----	--	--

(PRINCIPALE) (SECONDAIRES) CATEGORIES MATIERES

CODE PAYS (ENTREE REGIONALE)

1

009 A

Utiliser un bordereau pour chaque niveau bibliographique A, M ou C, cerclé en 008, en partant du niveau le plus spécifique (c'est-à dire la gauche) et reporter le code correspondant en 009. Pour le niveau bibliographique S, utiliser la section 2 du bordereau. Pour les descripteurs AGROVOC, les termes d'indexation du vocabulaire local et les résumés utiliser les sections 3 à 5 au verso.

NIVEAU		Etiquette	Données (à dactylographier)
Auteur (s) Personne physique (Affiliation (s))	100		Boujamaoui, F.; Aboufiras, H.; Zarkeroni, A.
	110		
Collectivité(s) auteur(s)	111		
Titre anglais	200	Titre principal	Natural isotopic composition of water (18O, 11): some examples
	201	Éléments secondaires	
Réunion	210	Nom	Hydrogéologie des Milieux discontinus sous climat Aride
	211	Lieu	Marakech (Maroc)
	213	Date	22-23 Av 1992
Titre original (Translit.)	230	Titre principal	Le traçage isotopique naturel de l'eau (18O, 14): quelques exemples d'application
	231	Éléments secondaires	
Edition (N°)	250		
No. Rapport/brevet	300		
Nos. secondaires	310		
ISBN/IPC	320		
Adresse bibliographique	401	Lieu de publication	
	402	Editeur	
	403	Date de publication	
Collation	500		
Langue (s) du texte	600		(FR)
Notes	610		5 figs.

2

009 S

NIVEAU		Etiquette	Données (à dactylographier)
Titre de l'édition	230	Titre principal	Revue de la Fac. des Sci. Sédimentologie - Marakech (Maroc)
	231	Éléments secondaires	
ISSN	320		
Date de publication	403		1992
Collation	500		No. Spécial pp. 21-25
Notes	610		Archives

3009 9 / EN 009 0 / ES 009 9 / **FR**

Code de langue des descripteurs (cocher obligatoirement celui qui convient)

	Étiquette	Données (à dactylographier)
Descripteurs AGROVOC pour l'index matières dans Agrindex	800	EAU; ISOTOPE; EVAPORATION (PRIMAIRE)
Autres descripteurs AGROVOC		(Séparer les descripteurs par un point virgule (;) et un espace. Faire précéder les propositions de nouveaux descripteurs par un point d'interrogation (?)) / (laisser un espace après la barre oblique (/))
Commentaires sur les descripteurs existants ou proposés	810	

4

009 9 /

Code de langue des termes d'indexation

Termes d'indexation du vocabulaire local	820	

5

009 X / FR

Code de langue du résumé

Langue du résumé en clair	850	
Résumé	860	présentation de quelques exemples de tracage et de la modélisation isothermique, portant sur l'évaporation d'une surface d'eau libre, l'évaporation de l'eau d'un sol et la transpiration.

البيانات الواردة في الملخص
 هي من إعداد الباحثين في
 92-4-1-1 92-0202
 الملخص
 الملخص

FIN

النهاية

9

مشاهد

VUES