

CYCLES BIOGEOCHIMIQUES DES ELEMENTS MINERAUX NUTRITIFS DANS
TROIS BASSINS VERSANTS A VEGETATION CONTRASTEE DU MONT LOZERE (FRANCE)

par

F. LELONG⁽¹⁾, J.F. DIDON⁽¹⁾, C. DUPRAZ⁽²⁾ et P. DURAND⁽¹⁾

(1) UA 724 du CNRS, Laboratoire d'Hydrogéologie, Université d'Orléans, B.P.
6759, 45060 ORLEANS Cédex.

(2) INRA, Place Viala, 34060 MONTPELLIER Cédex.

I. INTRODUCTION

Depuis 1981 trois petits bassins versants voisins à végétation contrastée ont été équipés pour mesurer en continu les entrées atmosphériques, les sorties hydrologiques et les flux d'éléments chimiques liés au transit de l'eau à travers un bassin et en déduire l'effet de l'utilisation pastorale ou forestière du sol sur les cycles biogéochimiques des éléments. En effet, les bassins versants sont des systèmes de drainage fermés dans lesquels on peut appliquer le principe de conservation de masse, d'où la possibilité de calculer les flux fournis par l'altération chimique des minéraux à partir de la mesure des flux entrants et sortants et des variations de stocks dans la biomasse (fig. 1). Ces calculs de flux sont utilisables pour répondre à divers objectifs (voir encadré).

Les trois bassins sélectionnés (tableau 1) ont des caractéristiques physiques semblables (substrat, altitude, exposition), le facteur discriminant qui les distingue est la végétation et l'occupation du sol. Ils sont situés sur le versant sud du Mont Lozère (fig. 2).

- Le bassin A est couvert d'une forêt de hêtres, végétation relique antérieure à la forte emprise agricole et pastorale subie par le Mont Lozère depuis le Moyen Age ; ce bassin constitue le bassin de référence représentatif de l'écosystème "naturel" peu ou pas influencé par l'homme.

- Le bassin B, couvert d'une pessière (forêt d'épicéas), en peuplement dense mais peu productif, planté il y a une soixantaine d'années ; il représente un mode d'occupation du sol plus moderne dont les impacts sur le milieu (fertilité du sol, qualité des eaux), réputés négatifs, sont encore mal

LES BASSINS DU MONT-LOZERE
UN EXEMPLE DE BASSINS VERSANTS DE RECHERCHE ET EXPERIMENTAUX :
POUR QUOI FAIRE ?

Le programme des bassins du Mont Lozère initié en 1981 dans le cadre d'une action du PIREN (CNRS), en vue de chiffrer l'impact des peuplements forestiers de résineux sur la réserve minérale du sol, a ensuite bénéficié du soutien financier du programme DEFORPA¹ en 1985-86 (contrat CEE-INRA-CNRS) et d'une aide du Ministère de l'Environnement en 1987. Il est développé en collaboration avec la cellule Recherche du Parc National des Cévennes et avec plusieurs équipes de recherches universitaires, du CNRS, de l'INRA et de l'ORSTOM.

Ces bassins, maintenant bien équipés, font partie du réseau de bassins versants expérimentaux et de recherche (BVRE) créé à l'initiative du Ministère de la Recherche, qui sont suivis en permanence pour analyser les conséquences sur le milieu physique (eau, sol) de divers choix d'aménagement ou de gestion du milieu naturel. Ces bassins sont un outil précieux servant à la fois à faire progresser les connaissances fondamentales sur le fonctionnement des écosystèmes naturels, à préciser les risques de dysfonctionnement liés à certaines interventions humaines² et à rechercher les solutions de développement agro-sylvo-pastoral qui valorisent au mieux les potentialités du milieu.

Les bassins forestiers du Mont Lozère sont également des bassins de référence dans le programme DEFORPA. Ils offrent la possibilité, en parallèle avec le bassin d'Aubure, en Alsace, de connaître les apports de précipitation secs et humides dans les peuplements forestiers dans la partie sud de la France et d'analyser leurs effets sur le fonctionnement des écosystèmes.

¹ Dépérissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique.

² Coupes forestières, feux, fertilisation chimique...

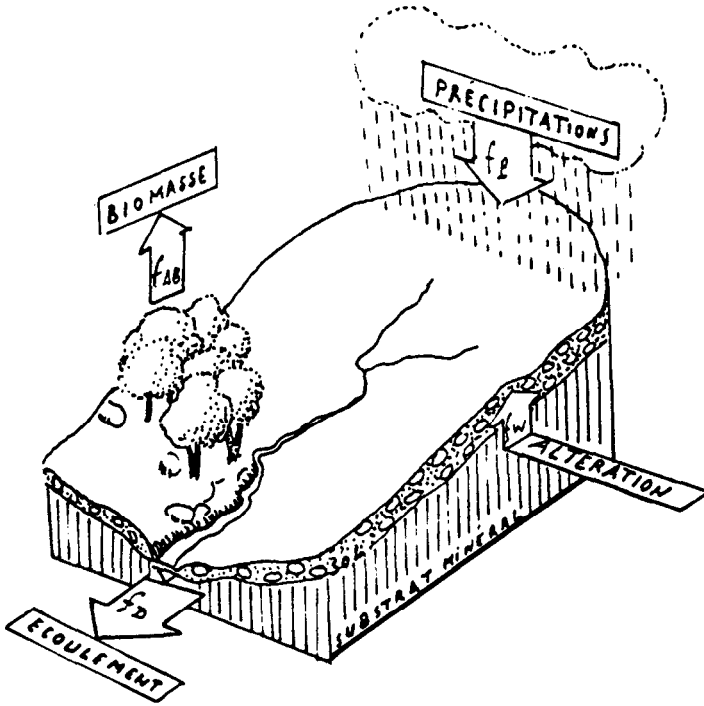


Figure 1 : Bassin versant, système fermé de drainage.
 Dans un tel système, l'équation de conservation de masse permet d'écrire, si le compartiment sol est en état stationnaire, pour un pas de temps annuel.

$$f_p + f_w = f_D + f_{\Delta B}$$

f_p , flux de matière fourni par les précipitations atmosphériques

f_w , flux de matière fourni par l'altération chimique du substrat minéral

f_D , flux chimique entraîné par l'écoulement

$f_{\Delta B}$, accroissement de la biomasse

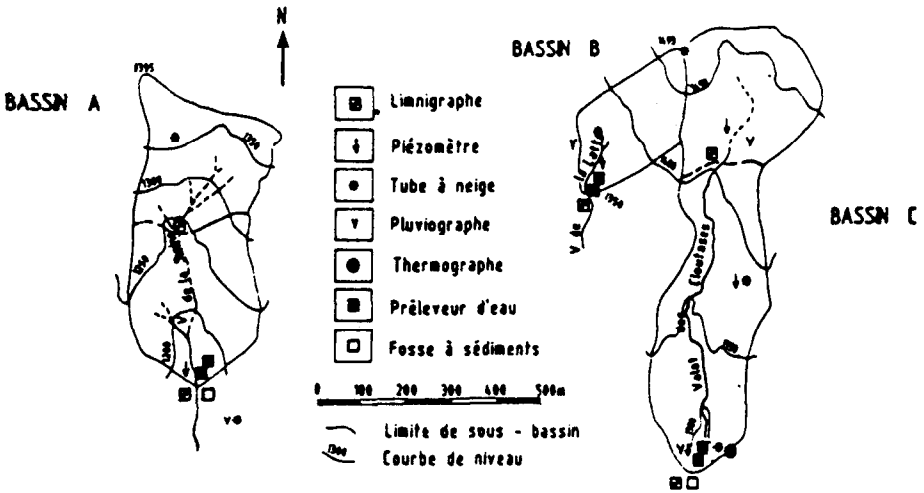
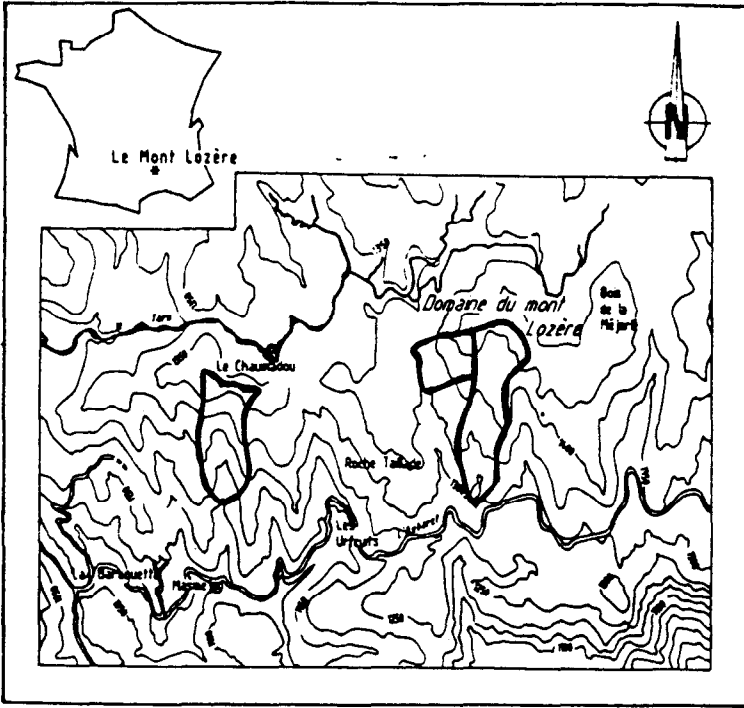


Figure 2 : Localisation et équipement des trois bassins comparatifs du Mont Lozère.

Tableau 1 - Caractéristiques physiographiques des bassins versants comparatifs du Mont Lozère.

	Superficie ha	Altitude moyenne m	Pente moyenne du bassin %	Pente moyenne du ruisseau %	Longueur du cours d'eau m	Densité de drainage km/km ²
Bassin A : Hêtraie	54	1270	18	15	750	1,39
Bassin B : Forêt d'épicéas	19,5	1421	20	17	210	0,95
Bassin C : Pelouse	81	1386	10	8	1825	2,43

Le substrat commun de ces bassins est le granite porphyrique du Pont de Montvert.

connus (Bonneau et al., 1979).

- Le bassin C, couvert d'une pelouse d'altitude, est pâturé de façon extensive par des troupeaux d'ovins et soumis à des feux périodiques (écobuage) pour détruire les recrûs de végétations secondaires (genêts, bruyère...) qui nuisent à l'utilisation pastorale. Cette pratique est souvent jugée nocive vis à vis du potentiel minéral du sol.

II. PRINCIPAUX ASPECTS DE LA RECHERCHE ET METHODES UTILISEES

Le suivi hydrologique et hydrochimique des trois bassins en parallèle permet de chiffrer les effets en vraie grandeur du type de végétation et d'occupation du sol sur la mobilisation et l'utilisation des éléments chimiques nutritifs disponibles. Il s'agit d'une recherche pluridisciplinaire associant géologues, hydrologues, pédologues, agronomes et forestiers et plus récemment géographes physiiciens (cf. tableau 2). Les principaux aspects de cette recherche sont :

1°) Etude de l'acquisition et les modifications des charges chimiques contenues dans les eaux, aux différentes étapes de leur transit à travers les bassins : précipitations atmosphériques, pluviollessivats recueillis sous les frondaisons, eaux du sol, eaux de nappe (Wedraogo-Dumazet, 1983).

2°) Mise au point de méthodes d'estimation des flux chimiques entrants (précipitations atmosphériques) et sortants (écoulement à l'exutoire), de sorte que ces flux soient connus avec un degré de précision (5 à 10 % en valeur relative) compatible avec les faibles écarts de flux attendus d'un bassin à l'autre (Dupraz, 1984). Les méthodes sont résumées dans l'encadré).

3°) Chiffrage des bilans hydrologiques et hydrochimiques annuels (entrées-sorties) pour des cycles hydroclimatiques contrastés (deux cycles à précipitations et écoulement assez fortement excédentaires, trois cycles à précipitations et écoulement déficitaires ont pu être observés). Le calage des bilans hydrochimiques à l'issue de ces cinq années peut être considéré comme fiable (Lelong et al., 1987).

4°) Définition des cycles biogéochimiques des éléments correspondant au fonctionnement des trois écosystèmes étudiés. La connaissance des bilans flux entrants-flux sortants permet en effet, moyennant certaines hypothèses (état stationnaire du sol), de chiffrer les flux massiques f_w

Tableau 2

Personnels scientifiques travaillant sur
les bassins versants du Mont Lozère en 1986-87

F. LELONG	Professeur, Université d'Orléans	10 % du temps	
A. GODARD	Professeur, Université de Paris et CNRS	5 %	"
B. SOUCHIER	Professeur, Université de Grenoble	5 %	"
M. LEGROS	Directeur de recherche, INRA Montpellier	5 %	"
E. ROOSE	Directeur de recherche, ORSTOM Montpellier	10 %	"
C. DUPRAZ	Ingénieur de recherche, INRA Montpellier	10 %	"
R. DEJEAN	Ingénieur de recherche, Parc National des Cévennes	10 %	"
Mme COSANDEY	Chargée de recherche, CNRS Paris	50 %	"
P. DURAND	Ingénieur agronome, doctorat	100 %	"
J.F. DIDON	Ingénieur d'étude, CNRS Génolhac	100 %	"
G. DROUET	Technicien CNRS	50 %	"
M. VADALAS	Professeur, Université de Limoges	10 %	"
P. BERNARD ALLEE	Enseignant-chercheur, UA 141 CNRS	25 %	"
J.C. DELEHAYE	Chercheur UA 141 CNRS	50 %	"

plus 2 ou 3 stagiaires de longue durée par an (stage de DEA ou de fin
d'études d'Ecoles d'Ingénieurs).

METHODES HYDROLOGIQUES ET HYDROCHIMIQUES

Sur le plan hydrologique, les précipitations sont enregistrées (pluviographes Précis Mécanique) en 5 points et elles sont contrôlées par 6 tubes totalisateurs répartis le plus régulièrement possible sur le terrain (cf. fig. 1). La pondération des hauteurs précipitées pour obtenir la hauteur moyenne par bassin est faite suivant la méthode de Thiessen. Les débits écoulés sont enregistrés (limnigraphes OTT) à l'amont de seuils à parois minces à déversoir en V. Les jaugeages, réalisés par méthodes mécanique et chimique, couvrent la majeure partie de la gamme des débits.

Sur le plan hydrochimique, la méthode originale mise au point par C. DUPRAZ (1984) consiste à échantillonner les eaux écoulées avec un pas de temps fixe (de l'ordre de 8 à 15 jours) pour les écoulements hors crues, et avec un pas de temps variable pour les épisodes correspondant aux crues. Les brusques variations de concentrations sont en effet synchrones des pics de crues. La combinaison des deux échantillonnages permet de reconstituer des "chéмоgrammes", courbes donnant l'évolution des concentrations des solutés au cours du temps qui sont la réplique chimique des hydrogrammes. La double intégration des chéмоgrammes et des hydrogrammes, tronçon linéaire par tronçon linéaire, donne les flux massiques de solutés écoulés.

Chaque échantillon d'eau prélevé fait l'objet :

- de mesures immédiates sur le terrain : température, conductivité, pH ;
- de mesures rapides à proximité des bassins : dosage de l'alcalinité (par titrimétrie), de NO_3^- , NH_4^+ , $\text{Si}(\text{OH})_4$, Cl^- (par colorimétrie) dans un délai de quelques heures ;
- de mesures différées au laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université d'Orléans : dosage des sulfates (par turbidimétrie) et des cations Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} (par spectrophotométrie de flamme).

fournis par l'altération chimique des minéraux du sol (Lelong et al., 1987)

$$f_w = f_D - f_P + f_{\Delta BM}$$

f_D flux massiques sortants (Drainage)

f_P flux massiques entrants (Précipitation)

ΔBM flux massique consommé par l'accroissement annuel de la biomasse végétale (et animale).

On peut ainsi quantifier l'influence de l'utilisation du sol sur l'évolution de sa réserve minérale et sur sa fertilité à terme.

5°) Première estimation des flux recyclés par l'activité biologique ; celle-ci permet de compléter la représentation comparative des cycles biogéochimiques des trois bassins et de chiffrer globalement pour chaque élément chimique l'intensité de l'activité biologique. Ces quantités recyclées correspondent aux flux totaux pompés annuellement par les racines des végétaux et qui retombent au sol sous forme de pluvio-lessivats ou sous forme de litières végétales ; en effet, ces dernières sont plus ou moins rapidement décomposées et les produits minéraux contenus sont restitués au sol. L'analyse des cycles internes permet également d'apprécier la part des dépôts secs d'origine atmosphérique dans les flux acides apportés par les précipitations.

6°) Etude de la dynamique actuelle des versants. Systèmes naturels de drainage, bien délimités, les petits bassins versants se prêtent bien à l'analyse des départs, transports et exportations de matériaux solides (érosion mécanique), grâce à la réalisation de fosse à sédiments à l'exutoire des bassins ; on peut cuber les masses de matériaux érodés et ainsi définir précisément l'intensité de la dynamique actuelle des versants pour un type d'occupation du sol donné. Les impacts du défrichage, déboisement, écobuage sur l'érosion mécanique peuvent être directement étudiés avec ces dispositifs.

III. QUELQUES RESULTATS

Les bilans annuels hydrologiques et hydrochimiques établis sur cinq cycles climatiques successifs montrent la régularité du fonctionnement de ces bassins (fig. 3 et 4 et tableau 3) :

- les lames écoulées augmentent linéairement avec les précipitations atmosphériques mais moins vite que celles-ci, ce qui traduit un déficit hydrique chronique vis à vis de la demande bioclimatique (fig. 3) ;

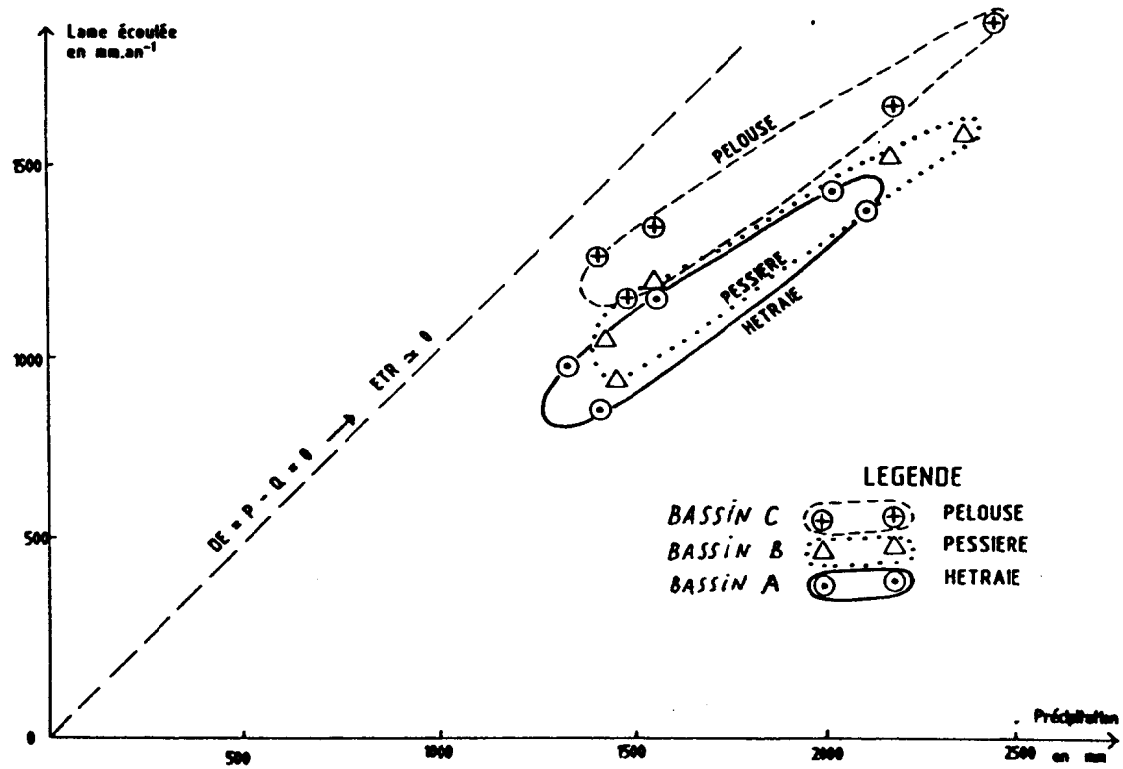


Figure 3 : Relation entre lame d'eau annuelle écoulee et lame d'eau annuelle précipitée, pour cinq cycles hydrologiques successifs, dans les trois bassins comparatifs A, B et C.

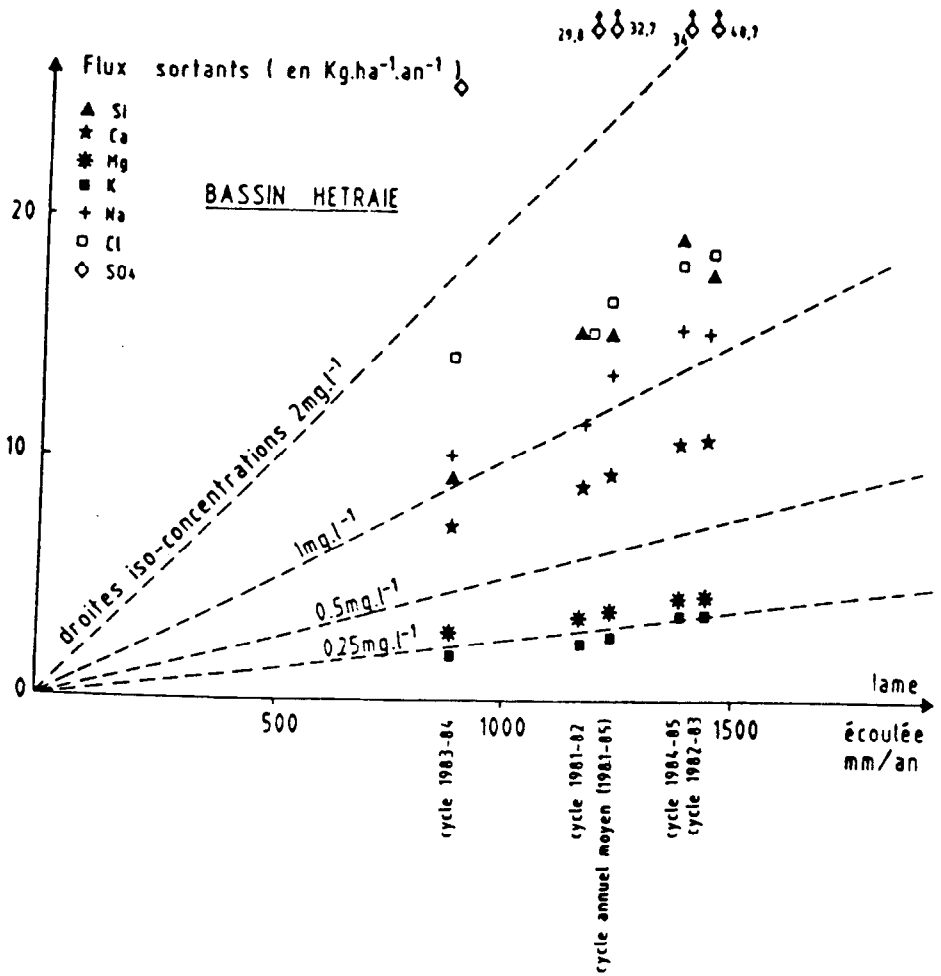


Figure 4 : Variations des flux annuels de solutés sortants avec l'écoulement (en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$), en fonction de la lame d'eau annuelle écoulée (en mm).

Bassin A, forêt de hêtres.

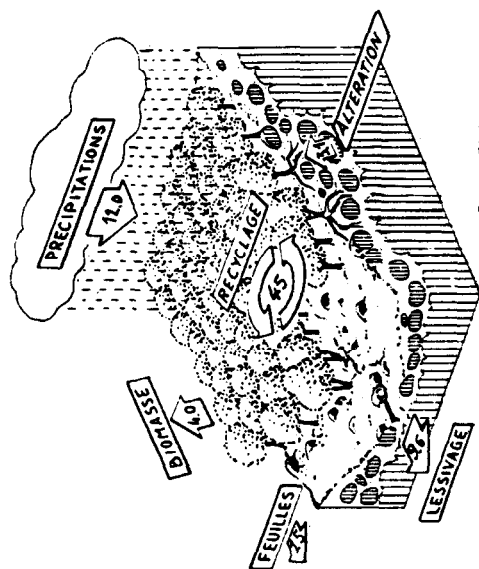


Figure 5(a)

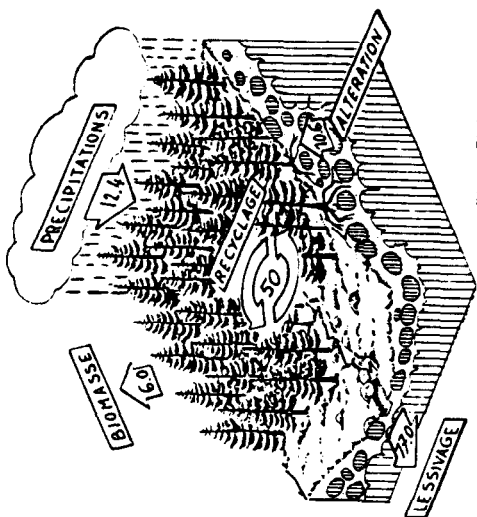


Figure 5(b)

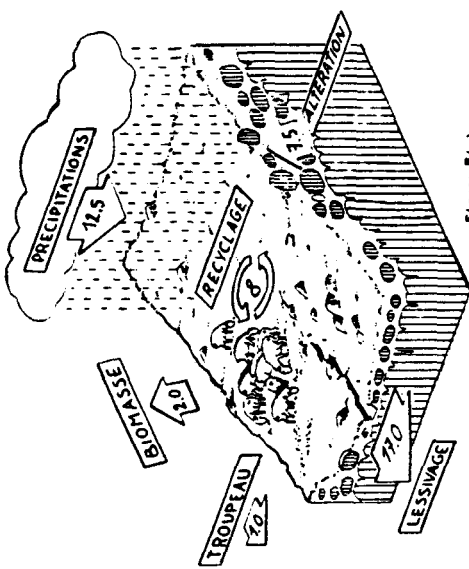


Figure 5(c)

Figure 5 : Cycle biogéochimique du calcium dans les trois bassins comparatifs du Mont Lozère. Les flux sont exprimés en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$.

- 5(a) : bassin A, hêtre.
- 5(b) : bassin B, chêne.
- 5(c) : bassin C, pelouse.

Le recyclage correspond au cycles internes, matières restituées au sol sous forme de pluviolessivage et retombées végétales.

- les flux hydrochimiques annuels sortants (fig. 4) dépendent essentiellement des lames écoulées, les concentrations moyennes annuelles de chaque élément en solution analysé (sauf sans doute pour l'azote N et le soufre S) restant sensiblement constantes d'une année à l'autre (Lelong et al., 1987). Ces deux relations permettent de passer directement, pour ces bassins peu ou pas perturbés par l'homme, de la connaissance des précipitations incidentes à la prévision des flux écoulés (sauf pour N et S, éléments dont la dynamique dans le sol reste encore mal connue).
- les bilans de solutés entrées-sorties (tableau 3) semblent être maintenant bien calés après 4 ans de mesures. Les bilans montrent des pertes annuelles nettes faibles pour les cations Ca, Mg, K et Na, des pertes fortes pour le silicium, des gains nets pour les sulfates et l'azote. Les bilans du chlore sont à peu près équilibrés. On note des différences significatives d'un écosystème à l'autre : le bassin couvert de hêtres est le plus "économe" vis à vis des éléments nutritifs, le bassin couvert d'épicéas est le plus "prodigue", en relation probable avec l'acidification créée par ce peuplement forestier.

Les résultats des calculs de cycles biogéochimiques illustrés sur les figures 5(a), 5(b) et 5(c) ci-jointes montrent que :

- pour le calcium, principal cation nutritif, l'écosystème hêtraie est le plus économe : 3,1 kg de calcium seulement par hectare et par an sont prélevés sur la réserve minérale du sol (altération chimique) contre 7,5 kg pour la pelouse et 10,6 kg pour la pessière ;
- les taux d'altération des autres cations (Mg, Na, K) sont également les plus faibles sous hêtraie et les plus forts sous pessière. L'acidification du milieu est donc maximum pour cette dernière végétation ;
- l'écobuage ne semble pas avoir d'effet trop négatif sur la réserve minérale du sol ; les pertes dues à cette pratique ne représenteraient que 20 à 50 % des quantités consommées par le pâturage (pourtant extensif) et cinq à vingt fois moins que les quantités lessivées naturellement par les eaux de drainage. Toutefois, pour l'azote les pertes dues à l'écobuage pourraient être 10 à 100 fois plus fortes que les pertes dues au pâturage (rapport PNC-CEE, 1986) ;

Tableau 5 - Bilans hydrochimiques entrées-sorties pour les trois bassins versants comparatifs du Mont Lozère. Les valeurs sont les moyennes annuelles de 4 années de mesures consécutives (1981-85) et sont exprimées en $\text{Kg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$.

		Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	N	Si
BASSIN A HEPHRAIE	ENTREES (Précipitations)	10.6	2.0	2.1	10.6	18.4	59.1	6.6(1)	0.7
	SORTIES (Ecoulement)	9.3	3.6	2.7	13.4	16.6	32.7	0.2	15.3
	BALANCE								
	gain net (+)	+1.3	-	-	-	+1.8	+26.4	6.4	-
perte nette (-)	-	-1.6	-0.5	-2.7	-	-	-	-14.6	
BASSIN B PESSIERE	ENTREES (Précipitations)	11.8	2.1	2.3	11.4	19.3	61.3	7.2(2)	0.7
	SORTIES (Ecoulement)	17.0	6.6	3.8	15.5	20.4	46.4	0.7	16.3
	BALANCE								
	gain net (+)	-	-	-	-	-	+14.9	6.5	-
perte nette (-)	-5.2	-4.5	-1.5	-4.2	-1.1	-	-	-15.6	
BASSIN C FELOUSE	ENTREES (Précipitations)	11.8	2.1	2.3	11.5	19.4	61.6	7.2(2)	0.7
	SORTIES (Ecoulement)	17.1	4.6	4.1	15.8	16.9	37.0	0.9	17.4
	BALANCE								
	gain net (+)	-	-	-	-	+2.5	+24.6	6.1	-
perte nette (-)	-5.3	-2.5	-1.8	-4.3	-	-	-	-16.7	

(1) dont 4,6 sous forme de NH_4^+ et 2,0 sous forme de NO_3^-

(2) dont 5,0 sous forme de NH_4^+ et 2,2 sous forme de NO_3^-

- en ce qui concerne le soufre, principal responsable de l'acidité des précipitations incidentes (l'anion majeur dans celles-ci est SO_4 dont la concentration moyenne est 62 équ.l^{-1} , le pH moyen étant 4,6), les bilans hydrochimiques montrent, contrairement aux cations, une altération négative, ce qui signifie la rétention de cet élément dans le sol. Cette rétention, réaction piège de protons, est plus forte dans les écosystèmes hêtraie et pelouse que dans l'écosystème pessière et ceci est une manifestation supplémentaire de l'acidification plus poussée de ce dernier milieu. Cependant, cette acidification est encore tamponnée par ces phénomènes d'altération négative, le pH des eaux écoulées reste voisin de 6 ; l'acidification n'atteint pas le stade ultime constaté ailleurs par exemple en Allemagne, en Tchécoslovaquie et en Scandinavie (Khanna et al., 1987 ; Pacès, 1986 ; Hultberg, 1983) où :

- . le pH des eaux écoulées descend en-dessous de 5 ;
- . les concentrations en SO_4^{--} s'élèvent à plusieurs centaines de micro-équivalent par litre ;
- . les concentrations en Al atteignent ou dépassent 0,2 mg par litre pour lesquelles des phénomènes de toxicité vis à vis des organismes vivants se manifestent.

L'estimation du "rendement" biogéochimique des écosystèmes peut être tirée des chiffres donnés sur la figure 5. Pour le calcium par exemple, on voit que les cycles internes ("turn over") sont relativement forts par rapport aux flux immobilisés par l'accroissement de la biomasse, et même par rapport aux flux exportés, avec les eaux écoulées, comme cela a été observé dans d'autres milieux terrestres (Lelong et al., 1986 ; Cole et Rapp, 1981). Néanmoins, le "rendement" R du fonctionnement biogéochimique de ces écosystèmes, qui peut être évalué par le quotient des flux annuels de matière immobilisés par l'accroissement de la biomasse sur les flux sortants (pertes hydrologiques), reste très faible : $R = 0,36$ pour la hêtraie, 0,35 pour la pessière et 0,17 pour la pelouse. Le faible rendement de ce dernier milieu résulte dans doute de la plus faible aptitude de la végétation basse à exploiter la réserve en eau du sol (enracinement moins profond expliquant l'évapotranspiration annuelle plus réduite).

Les formes du modelé paraissent relativement figées sur toutes les surfaces recouvertes de végétation, quelle que soit la nature de celle-ci : les transports de matériaux sont localisés sur des surfaces restreintes (chemins, secteurs surpâturés ou piétonnés...) et on doit considérer que, dans les conditions actuelles, le manteau résiduel d'altérites tend à s'épaissir

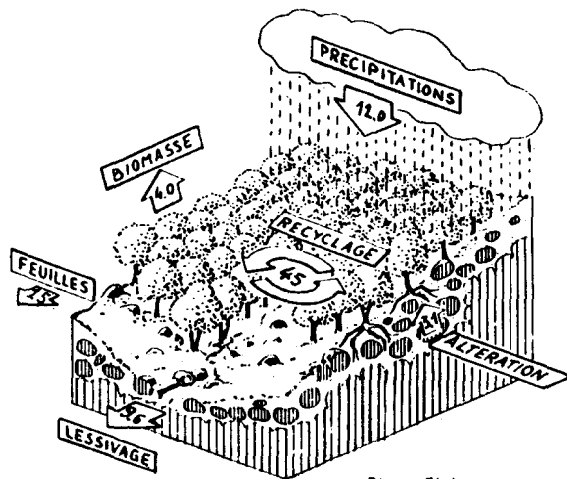


Figure 5(a)

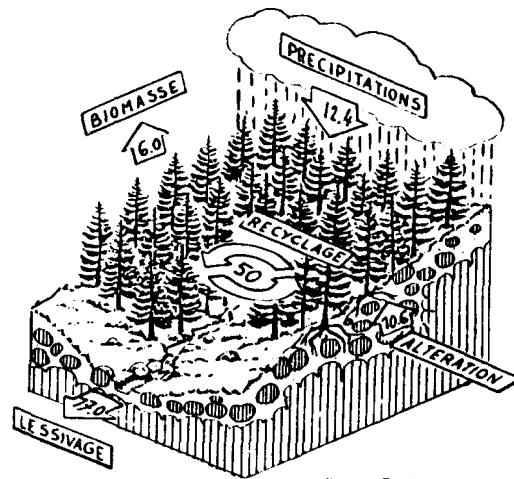


Figure 5(b)

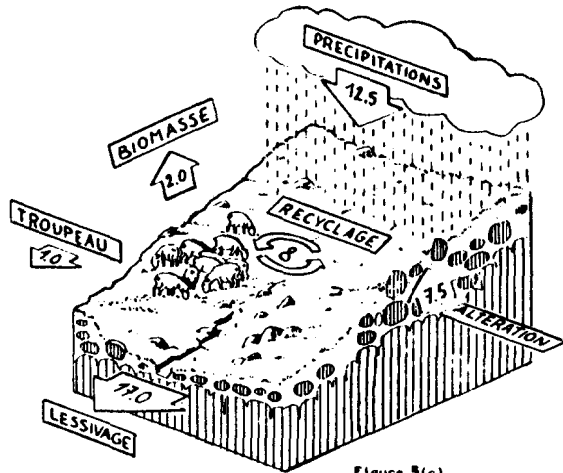


Figure 5(c)

Figure 5 : Cycle biogéochimique du calcium dans les trois bassins comparatifs du Mont Lozère. Les flux sont exprimés en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$.

5(a) : bassin A, hêtraie.

5(b) : bassin B, pessière.

5(c) : bassin C, pelouse.

Le recyclage correspond au cycles internes, matières restituées au sol sous forme de pluviollessivage et retombées végétales.

contrairement à ce qui s'est passé au cours des phases récentes de forte emprise agricole (Valadas, 1987). Mais les interventions humaines fréquentes (écobuage) ou périodiques (défrichage, coupes forestières) peuvent modifier cet équilibre et l'impact du déboisement de la forêt d'épicéas sur l'érosion mécanique est actuellement mesuré.

IV. CONCLUSIONS

Les idées majeures qui se dégagent des recherches poursuivies depuis six ans sur ces bassins sont :

1°) l'influence modérée mais significative du type de végétation sur ce fonctionnement biogéochimique des écosystèmes : le bassin de hêtraie est le plus frugal, c'est celui pour lequel les pertes d'éléments chimiques sont les plus faibles ; le bassin de forêt d'épicéas est le plus prodigue, le lessivage hydrologique y est deux fois plus fort et l'altération chimique trois fois plus intense ;

2°) l'importance relativement élevée des pollutions atmosphériques acides en un secteur géographique pourtant réputé à l'abri des effluents urbains et industriels ; les flux de sulfates apportés par les précipitations sont plus forts que ceux mesurés dans les Vosges ;

3°) l'équilibre de fonctionnement biogéochimique néanmoins acceptable conservé par les trois écosystèmes du Mont Lozère ; ceux-ci montrent une capacité jusqu'à présent suffisante de neutralisation de l'acidité incidente. L'acidification du sol, produite sous l'influence d'apports acides atmosphériques, est toutefois plus marquée dans l'écosystème enrésiné mais cette acidification n'a pas atteint (encore ?) le stade extrême constaté ailleurs ;

4°) la faible productivité biologique de ces milieux de montagnes méditerranéennes soumises à des contraintes thermiques et hydriques sévères : c'est particulièrement le cas pour l'écosystème pelouse qui souffre de l'insuffisante disponibilité en eau du sol ;

5°) l'intérêt pour la recherche et la vie culturelle, de ces Laboratoires de terrain, où peuvent être analysés en vraie grandeur des phénomènes très complexes d'interaction entre l'atmosphère, l'eau, le sol, la

végétation et l'homme, qu'aucune simulation au laboratoire ne peut reproduire. Ces bassins constituent un lieu privilégié pour la formation à la recherche pluridisciplinaire, une vitrine scientifique ouverte aux scientifiques de toutes provenances, un pôle d'animation culturelle dans la zone centrale du Parc National des Cévennes.

REFERENCES

- BONNEAU, M., BRETHERS, A., LELONG, F., LEVY, G., NYS, C. et SOUCHIER, B. (1979) - Effets de boisements résineux purs sur l'évolution de la fertilité du sol. *Rev. forest. française*, XXXI, 3, p. 198-207.
- COLE, D.W. and RAPP, M. (1981) - Elemental cycling in forest. Dans "Dynamic properties of forest Ecosystems", Ed. by D.E. Reichle, Cambridge Univ. Press, 683 p.
- DUPRAZ, C. (1984) - Bilans des transferts d'eau et d'éléments minéraux dans trois bassins versants comparatifs à végétations contrastées (Mont-Lozère, France). Thèse Doc. Ing. Univ. d'Orléans, 363 p.
- HULTBERG, H. (1985) - Budgets of base cations chloride, nitrogen and sulphur in the acid Lake Gardsjön catchment, SW Sweden. *Ecol. Bull.*, 37, p. 133-157.
- KHANNA, P.K., PRENZEL, J., MEIWES, K.J., ULRICH, B. et MATZNER, E. (1987) Dynamics of sulfate retention by acid forest soil in a acidic deposition environment. *Soil Sci. Soc. of America J.*, 51, 2, p. 446-452.
- LELONG, F. et ROOSE, E. (1986) - Cycles biogéochimiques comparés de quelques éléments chimiques (Ca, Mg, K, Na, Si, Cl, S) dans divers écosystèmes à végétation naturelle d'Afrique de l'Ouest. *Sci. Géol. Bull.*, 39, 2, p. 173-193.
- LELONG, F., DUPRAZ, C., DURAND, P. et DIDON, J.F. (1987) - Comparative hydrochemical budgets and weathering and acidification rates in three small similar granitic watersheds with contrasted vegetation (Mont Lozère, France). *Comm. 8th Intern. Symp. on Environmental Biogeochemistry*, Nancy, 14-18 Sept. 1987.
- PACES, T. (1986) - Weathering and mass balance in small drainage basins : environmental applications in the bohemian massif (Central Europe). *Geol. Sci. Bull.*, 39, 2, p. 131-150.
- Parc National des Cévennes (1986) - Suivi hydrologique et hydrochimique de trois bassins versants sur le Mont Lozère, en vue d'évaluer les conséquences pédogénétiques et chimiques liées à l'action humaine (écobuage et pâturage). Rapport final CCE, 24 p.
- VALADAS, B. (1987) - Les hautes terres du Massif Central : contribution à l'étude des morphodynamiques récentes sur versants cristallins. *Comm. Coll. Parc Nat. Cévennes*, 24-27 Novembre, 1987.
- WEDRAOGO-DUMAZET, B. (1983) - Modification de la charge chimique des eaux au cours du transit à travers trois écosystèmes distincts du Mont Lozère (France). Thèse Doc. 3ème cycle, Univ. d'Orléans, 147 p.

DISCUSSION

F. LELONG précise que la production de la biomasse a été estimée uniquement grâce aux données trouvées dans des sources bibliographiques. Il s'explique : les forestiers ont donné aux scientifiques les classes de productivité auxquelles appartiennent les différents écosystèmes rencontrés sur les bassins versants étudiés. Le prélèvement effectué sur la biomasse de l'écosystème pâturé par les troupeaux ovins est mieux connu. Les éleveurs connaissent la consommation journalière d'une brebis. A une question sur le cycle de l'azote, F. LELONG répond que sans négliger cet important élément, il est difficile de parler d'une étude complète du bilan sur les bassins du Mont Lozère. Les scientifiques se sont intéressés à l'azote présent dans le cycle de l'eau mais toute la partie aérienne et celle de la fixation symbiotique n'ont pas fait l'objet de mesures. Actuellement, tout ce que l'on peut affirmer est que les entrées ne sont pas négligeables, se chiffrant en kg/ha/an, à l'inverse des sorties. La seule exception est l'écosystème déboisé où les sorties sous forme d'acide nitrique sont notables. Toutefois, ces sorties n'ont pas fait l'objet de mesures. Nous pouvons dire que cette consommation d'azote par l'activité biologique sur les bassins versants est normale. L'un des premiers signes d'acidification des bassins serait des sorties importantes d'acide nitrique, ce qui a été constaté en Scandinavie, en Allemagne et en France dans les Vosges. Cette libération s'accompagne généralement de celle d'autres cations comme l'ammonium et l'aluminium dont la présence en quantité importante dans les solutions est toxique.

A. CASENAVE, rappelle que l'objectif initial des études sur le Mont Lozère était le rôle de la végétation sur l'écoulement hydrologique et hydro-chimique.

F. LELONG en convient et tombe d'accord pour dire que l'hypothèse de départ, qui suppose qu'en dehors de la couverture végétale, les bassins versants sont parfaitement identiques est quelque peu biaisée, ou mieux, forcée. F. LELONG précise qu'aujourd'hui une équipe de géomorphologues étudie les altérites et la géodynamique ancienne des versants car, en dépit de formes actuelles semblables, il peut y avoir des héritages quaternaires très différents, qui impliquent des temps de résidence des eaux très variables et, par là, une minéralisation différenciée.

J.F. DIDON précise l'origine des pluies sur le Mont Lozère.