

Quelques expériences de mesures de la corrosion dans le karst du Jura méridional (France)

Abdelkader SBAI

Résumé

Dans le cadre d'un travail de recherche sur les karsts du Jura méridional, nous nous sommes attaché à évaluer la corrosion qui s'exerce sur ce massif sous les conditions bio-climatiques actuelles. Dans cette perspective, la méthode des plaquettes calcaires est utilisée. Des expériences mesurant la perte de poids, par érosion, de plaquettes calcaires standard permettent d'évaluer la dynamique karstique actuelle. Les premiers résultats sont présentés.

Abstract

In a research on the karstic landforms in southern Jura, we tried to evaluate the corrosion which is active under present bioclimatic conditions. For that purpose, the method of standardized limestone tablets has been used. Experiments on weight loss of these tablets give an estimate of karstic corrosion. Some results are presented in this paper.

I. INTRODUCTION

Dans le cadre d'une étude sur les karsts du Jura méridional, nous nous sommes intéressé aux problèmes d'évaluation de la dynamique karstique actuelle.

II. LE CADRE PHYSIQUE

Le Jura méridional est un massif de moyenne montagne (200-1700 m d'altitude); son relief comprend une succession de chaînes à peu près parallèles, grossièrement orientées NNE-SSW et d'altitude croissante de l'W vers l'E; sa structure est complexe : plissée, faillée, tabulaire. Les calcaires du Jurassique (600-950 m d'épaisseur) constituent l'armature du relief.

Le karst se développe principalement sur les calcaires du Jurassique supérieur ainsi que localement sur les calcaires du Dogger et du Crétacé inférieur. La morphologie actuelle est héritée des périodes néogènes et quaternaires. De nombreuses surfaces d'aplanissement ont affecté le Jura, et des vallées perpendiculaires à la chaîne (cluses) l'ont entaillé.

Cette chaîne constitue un obstacle topoclimatique majeur

aux vents d'W chargés d'humidité. L'ascendance orographique des masses d'air humide est responsable d'une importante croissance de la pluviosité avec l'altitude. Les précipitations se répartissent assez régulièrement dans l'année avec un coefficient de nivosité élevé. Les températures diminuent en moyenne de $0,65^{\circ}\text{C}$ chaque fois que l'on s'élève de 100 m. Si Ambérieu (253 m) reçoit 1200 mm/an (1941-92) et Giron (980 m) 1586 mm/an, il est probable que les hauts sommets reçoivent plus de 2000 mm. On observe donc un étagement bioclimatique bien marqué. L'ensemble des associations végétales dans le Jura méridional présente deux grandes catégories de milieux liés aux séries du hêtre et du sapin (étage montagnard) et du chêne pubescent et du charme (étage collinéen). La série du chêne pubescent sur des affleurements rocaillieux, la série du hêtre sur les crêtes, celle du charme en bas de pentes caractérisent le paysage végétal des premiers chaînons du Jura méridional. La série du hêtre et du sapin recouvre de vastes surfaces entre 800 et 1500 m. En altitude, cette série est largement infiltrée par l'épicéa puis par des lambeaux de la série du pin à crochets. Marais et tourbières parsèment les fonds de certains vaux.

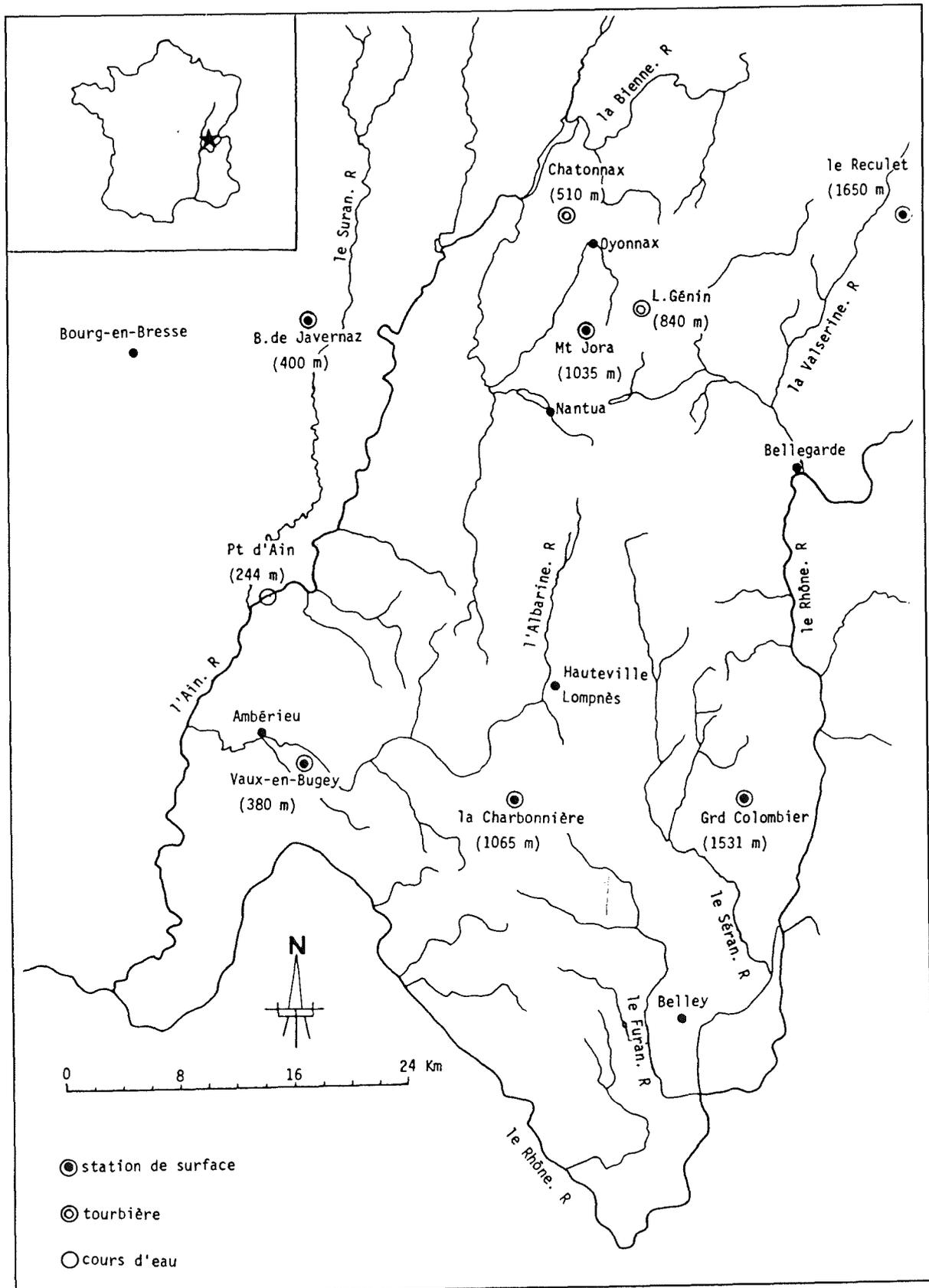


Figure 1: Répartition des stations de mesure de la corrosion dans le Jura méridional.

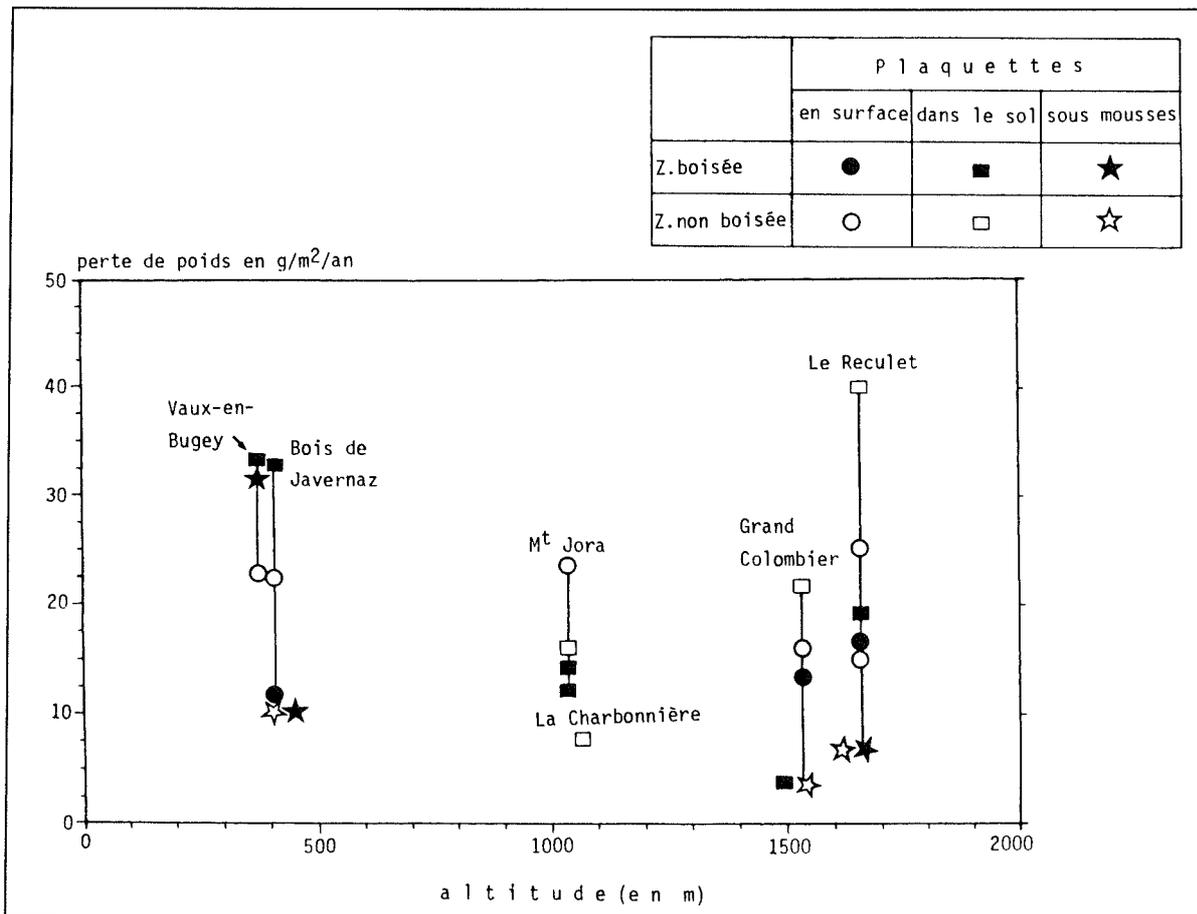


Figure 2: Rapport de perte de poids des plaquettes calcaires avec l'altitude dans différentes stations de mesure de la corrosion dans le Jura méridional (1990 -1991).

III. EXPÉRIMENTATION BASÉE SUR L'UTILISATION DE PLAQUETTES CALCAIRES STANDARDISÉES.

A. Méthode

Cette méthode de mesure de la corrosion d'une surface calcaire est préconisée par la commission "Karst Denudation" de l'Union internationale de Spéléologie sous la direction du professeur GAMS de Ljubljana (Slovénie). Elle consiste à mesurer la perte de poids de plaquettes calcaires exposées, sur le terrain, pendant un temps donné.

Pour mener à bien ce travail, nous avons décidé de fabriquer ces plaquettes en respectant les caractéristiques préconisées par GAMS. Nous avons employé un calcaire pur (soluble à 99 %), peu poreux et massif. Notre choix s'est porté sur le calcaire lithographique du Portlandien. Sont rappelées ici les étapes de fabrication :

- extraction d'une carotte d'un bloc de calcaire lithographique;
- sciage, à l'aide d'une scie diamantée, de plaquettes

de 40 mm de côté et de 5 mm d'épaisseur; pour des raisons techniques, nous avons parfois pris des épaisseurs de 8-10 mm.

- polissage des plaquettes à l'aide d'abrasifs n° 70, 150, 400, 600 pour avoir une épaisseur commune proche de 5,5 mm.

Nous avons ensuite lavé à l'eau distillée ces plaquettes et les avons séchées à 30-40 °, puis nous les avons soigneusement pesées et nous avons mesuré leurs dimensions et calculé leur surface et leur volume.

Ces plaquettes sont ensuite exposées sur le terrain. Dans le Jura méridional, six stations ont été retenues en fonction de l'étagement de 380 à 1650 m, et deux autres stations dans des tourbes et un cours d'eau (Fig. 1). Ces plaquettes sont placées dans divers types d'écotopes : en atmosphère, sur roche nue, sur sol, dans le sol, dans des lapiés, dans des cours d'eau, dans des sources et des tourbes. Dans le cadre de ce travail, aucune station souterraine n'a été équipée.

Les plaquettes ont été disposées sur le terrain pendant un

peu plus de 13 mois depuis fin septembre 1990 jusqu'au début novembre 1991. Il est difficile de retrouver certaines plaquettes sur le terrain, même si nous avons balisé les stations (piquetage, peinture, etc...). 19 plaquettes sur 49 ont été perdues pour différentes raisons (perdues, prises par des personnes, évacuées par les cours d'eau surtout). Les plaquettes sont alors remplacées sur le terrain pour assurer une continuité de mesure, puis rapportées au laboratoire. Après un lavage à l'eau distillée, elles sont séchées

suivant le même protocole. Le pesage au milligramme a montré que toutes les plaquettes avaient subi une perte exprimée en $g/m^2/an$ (Tabl. 1). Cette expression permet une comparaison entre les différentes plaquettes et évite de transformer les valeurs des pertes observées en taux d'ablation millénaire, opération qui semble imprudente car l'érosion est un phénomène variable dans le temps et dans l'espace. Les pertes inférieures à 2 mg sont jugées non significatives. C'est en effet la marge d'erreur des pesées successives.

Localisation	S i t e		altitude en m	Période de mesures	Numéros des plaq.	Surface des plaq. en cm^2	perte de poids en g	perte de poids en $g/m^2/an$
	zone non boisée	zone boisée						
Le Reculet	atmosphère sous mousses rainures dans le sol		1650	22.9.90 au 1.11.91	2	37,34	0,0620	15,00
					4	39,55	0,0299	6,83
					5	44,99	0,1239	24,88
		sur sol sous mousses dans le sol		6	42,67	0,1870	39,59	
				7	37,67	0,0678	16,26	
				8	42,17	0,0318	6,81	
10	39,99	0,0836	18,88					
Tourbière du lac Génin	niv.bas niv.moyen sous mousses		840	22.9.90 au 1.11.91	11	39,00	2,4632	570,61
					12	38,54	0,7062	165,54
					13	38,99	0,0897	20,78
Mont Jora	sur roche sol/roche		1035	22.9.90 au 1.11.91	15	41,25	0,1070	23,44
					16	38,55	0,0683	16,00
		sol/roche dans le sol		20	38,11	0,0499	11,82	
				21	39,41	0,0605	13,86	
Tourbière de Chatonnax	dans la tourbe		510	22.9.90 2.11.91	22	37,67	0,0138	3,30
Grand Colombier	sur roche sous mousses dans le sol		1531	23.9.90 au 3.11.91	26	40,33	0,0705	15,75
					27	38,75	0,0150	3,48
					28	40,68	0,0978	21,66
		sur sol dans le sol		29	38,11	0,0553	13,07	
				30	39,43	0,0166	3,79	
La charbonnière	dans le sol		1065	23.9.90 5.11.91	34	38,66	0,0332	7,70
Vaux-en-Bugey		sur sol dans le sol sous mousses	380	23.9.90 au 6.11.91	35	40,79	0,1034	22,67
					36	39,44	0,1437	32,59
					37	36,57	0,1313	32,11
Pont d'Ain	dans l'eau		244	23.9.90 17.8.91	40	40,90	0,0341	9,39
Bois de Javernaz		sur roche sous mousses dans le sol	400	24.9.90 au 4.11.91	43	39,10	0,0488	11,24
					44	41,71	0,0492	10,63
					45	36,91	0,1331	32,49
	sur roche sous mousses			46	38,21	0,0944	22,26	
				47	40,34	0,0476	10,63	

Tableau 1: Intensité de la corrosion dans le karst de Jura méridional: valeurs de pertes de poids des plaquettes calcaires.

	Plaquettes				
	en surface	dans le sol	sous mousses	dans des tourbes	dans l'eau
	15,00	39,59	6,83	570,61	9,39
	24,88	18,88	6,81	165,54	
	16,26	16,00	3,48	20,78	
	23,44	11,82	32,11	3,30	
	15,75	13,86	10,63		
	13,07	21,66	10,63		
	22,67	3,79			
	11,24	7,70			
	22,26	32,59			
		32,49			
Minima	11,24	3,79	3,48	3,30	-
Maxima	24,88	39,59	32,11	570,61	-
Moyenne	18,29	19,84	11,75	190,06	-
Ecart-type	5,04	11,72	10,33	263,92	-
Coef. variation	0,28	0,59	0,88	1,39	-

Tableau 2: Valeurs de pertes de poids des plaquettes calcaires suivant les sites.

B. Résultats

Les données obtenues (30 valeurs en un an) nous permettent de dresser un premier bilan de la dynamique actuelle. Les tableaux 1 et 2 résument l'essentiel des résultats.

La valeur moyenne des pertes de poids des plaquettes déposées en surface (atmosphère, sur sol, sur roche) est de 18,29 g/m²/an avec un coefficient de variation de 0,28. En revanche, la perte moyenne de poids des plaquettes disposées dans le sol est de 19,84 g/m²/an et varie entre 3,79 et 39,59 g/m²/an (coefficient de variation = 0,59). Les différences entre surface et sous-sol sont importantes au profit du sous-sol (Tabl. 2). Les plaquettes placées sous les mousses ont une perte moyenne faible : 11,75 g/m²/an et un coefficient de variation de 0,88 alors que dans les tourbes, la perte moyenne est très forte : 190,06 g/m²/an avec un coefficient de variation de 1,39.

Nous avons tenté de relier statistiquement altitude et corrosion en portant sur un graphique les altitudes en abscisse et la corrosion en ordonnée (Fig. 2). Aucune relation n'a été observée entre la perte de poids des plaquettes et l'altitude : coefficient de corrélation = 0,26. A altitude égale, la corrosion varie beaucoup en fonction du couvert végétal (Tabl. 3 et 4). La perte moyenne des plaquettes en zone non boisée est de 20,70 g/m²/an (coeff. var. = 0,41) alors qu'en zone boisée, elle n'est

que de 17,67 g/m²/an (coeff. var. = 0,50). En surface et en zone non boisée, la moyenne de perte est de 20,27 (coeff. var. = 0,20), alors qu'en zone boisée, elle est de 15,81 (coeff. var. = 0,28). Dans le sol et en zone non boisée, la perte est de 21,24 (coeff. var. = 0,55) alors qu'en zone boisée, elle est de 18,91. On remarque une forte différence au profit des zones non boisées : végétation arborescente, croissance de CO₂... D'autre part, les arbres protègent les plaquettes des pluies. Il existe donc une ou plusieurs variables susceptibles d'expliquer ces différences.

IV. ESSAI D'INTERPRÉTATION

Devant la variabilité des résultats, il est nécessaire d'analyser la nature des pertes de poids des plaquettes. Cette perte peut être due à une combinaison plus ou moins complexe de trois processus (BOCQUET, 1984) :

- l'usure mécanique provoquée par les frottements des plaquettes sur la roche ou les impacts d'éléments transportés par les cours d'eau. Ce processus est surtout décelable dans les cours d'eau et prend d'autant plus d'importance que le calcaire utilisé est plus ou moins résistant à l'abrasion et que le cours d'eau a un débit solide important.

- la gélifraction semble être un processus très important pour l'érosion des plaquettes; elle dépend des caractéristiques de la roche (porosité et micro-fracturation) et des conditions climatiques (gel-dégel,

humidité des plaquettes, etc...). Les pertes sont décelables lorsqu'il s'agit d'écaillage ou de fissuration. En revanche, la microgélifraction est difficile à déceler et demande une observation minutieuse. De plus, la fragilisation de la surface de la plaquette peut jouer un rôle important dans le rendement de la corrosion. La gélifraction est active en atmosphère, sur les roches, sur les sols et dans les horizons superficiels des sols (jusqu'à 5-10 cm).

- la corrosion doit son efficacité à la solubilité plus ou moins importante de la roche, à l'interface roche-eau ainsi qu'à l'agressivité variable de la solution au contact de la plaquette (celle-ci est fonction de nombreux facteurs : température, CO₂ et sels dissous, acides organiques, etc...). Une plaquette posée dans le niveau bas (profond) de la tourbière du lac Génin (840 m d'altitude) a accusé une perte de 570,61 g/m²/an, alors que les plaquettes voisines (niveaux moyen et supérieur) avaient perdu respectivement 165,54 et 20,78 g/m²/an.

	haute altitude		moyenne altitude		basse altitude		tourbières		
	1650	1531	1065	1035	380	400	840	510	
en surface:zone boisée	16,26	13,07			22,67	11,24	bas	570,61	
zone non boisée	15,00	15,75		23,44		22,26			
sous mousses:zone boisée	6,81				32,11	10,63	moyen	165,54	
zone non bois	6,83	3,48				10,63		3,3	
dans le sol:zone boisée	18,88	3,79		13,86	32,59	32,49	sous mousses	20,78	
zone non boisée	39,59	21,66	7,7						
Observations	*peu de différence en surface et sous mousses en zone boisée et non boisée. *forte différence dans le sol au profit des zones non boisées (végétation arborescente, croissance de CO ₂ ?). *faibles pertes sous mousse dues à la nature de ces mousses. Dans l'ensemble, pertes plus faibles qu'à basse altitude.		*pas assez de données *différence dans le sol au profit des zones boisées.		*peu de différence sous mousse entre zone boisée et zone non boisée. *différence en surface au profit des zones non boisées. *différence importante avec la haute altitude au profit de la basse altitude, Plusieurs facteurs peuvent intervenir: gel, nature du sol, des mousses, du couvert végétal... *dans l'ensemble, pertes maximum.		grande différence entre les tourbières du Lac Génin et de Chatonnax: celle du Lac Génin est humide, alors que celle de Chatonnax est sèche: influence des eaux chargées d'acides organiques.		

Tableau 3: Valeurs de la corrosion en fonction de l'altitude.

La nature de l'interface eau-roche nous semble un facteur important pour l'interprétation des résultats. L'observation de la surface des plaquettes exposées à la corrosion indique une évolution rapide. La surface d'abord polie devient ensuite "accidentée" de petites cupules entre lesquelles des cristaux de calcite et des impuretés sont en relief. Cette surface est plus importante que la surface initiale calculée mais elle est pour le moment très difficile à estimer. Etant donné que la corrosion est un phénomène chimique qui agit à l'échelle moléculaire, on saisit l'importance de l'évaluation de la surface.

Les facteurs qui sont responsables de la perte de poids des plaquettes sont donc multiples et complexes. Cela rend délicate l'exploitation de certains résultats, notamment en atmosphère avec des plaquettes sensibles au gel. Toutefois, la corrosion est légèrement plus élevée sous le sol qu'en surface (moyenne = 19,84 contre 18,29).

Malgré les difficultés d'exploitation de certaines données, il apparaît intéressant de poursuivre et d'approfondir cette méthode.

Cela demande une meilleure connaissance du comportement des plaquettes calcaires utilisées et des sites d'observation (exposition, pente, nature du sol, des mousses, du couvert végétal...). Plusieurs expériences sont envisagées et en voie de réalisation sur un échantillonnage suffisamment important pour permettre l'exploitation statistique des données.

V. CONCLUSION

L'évaluation des valeurs de la corrosion actuelle basée sur les plaquettes, malgré ses limites, fournit de précieux renseignements sur la dynamique karstique notamment là où les analyses physico-chimiques sont aléatoires.

Par la multiplication des stations et des plaquettes par station, l'étude statistique devrait permettre de mieux appréhender la corrosion et de minimiser les écarts de valeurs dus aux paramètres interférents. C'est pourquoi nous allons multiplier le nombre de plaquettes par sites et par stations et faire des relevés deux fois par an, vers la fin octobre et à la fin mai comme l'a déjà fait DELANNOY en 1983 sur le Vercors, ce qui permet de

dresser un bilan de la corrosion après la période "hivernale-nivale" et après la période estivale. Enfin, parallèlement à ces expériences, nous effectuons des prélèvements et des analyses physico-chimiques des eaux dans une vingtaine d'émergences et de cours d'eau, ce qui devrait permettre d'évaluer la vitesse d'érosion karstique qui s'exerce sur le Jura méridional sous les conditions bioclimatiques actuelles et de contrôler la méthode des plaquettes.

Adresse de l'auteur :

Abdelkader Sbai
 Université des Sciences et Techniques de Lille I
 et Université de Liège
 Chaussée de l'Hôtel de Ville 43/24
 F-59650 VILLENEUVE D'ASCQ
 FRANCE

	zone non boisée	zone boisée
Plaquettes de surface	15,00	16,26
	24,88	13,07
	23,44	22,67
	15,75	11,24
	22,26	
Moyenne	20,27	15,81
Ecart-type	4,09	4,35
coef. variation	0,44	0,57
Plaquettes dans le sol	39,59	18,88
	16,00	11,82
	21,66	13,86
	7,70	3,79
		32,59
	32,49	
Moyenne	21,24	16,19
Ecart-type	11,70	9,53
Coef. variation	0,42	0,56
Série complète:		
Moyenne	21,44	16,19
Ecart-type	10,47	9,53
Coef. variation	0,42	0,56

Tableau 4: Valeurs de la corrosion en fonction du couvert végétal.

VI. BIBLIOGRAPHIE

BOCQUET, F., 1985. Dynamique karstique d'un haut massif alpin : la chaîne des Aravis, méthodologie et comparaison avec d'autres massifs montagneux. *In: C. R. Coll. int. Karstol. appliquée, Liège, 1984* (EK & GRIMBERIEUX, Eds), *Ann. Soc. géol. Belg.*, 108 : 203-207.

DELANNOY, J.J., 1983. Les variations spatio-temporelles de la corrosion karstique dans un massif de moyenne montagne : le Vercors. *Rev. Géogr. alpine*, 70 (3) : 241-255.