

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Band:** 77 (1984-1985)  
**Heft:** 367

**Artikel:** Caractérisation de deux sols alpins minces sur calcaire dur dans le lapiaz du Sanetsch  
**Autor:** Spaltenstein, Henri  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-278515>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Caractérisation de deux sols alpins minces sur calcaire dur dans le lapiaz du Sanetsch

PAR

HENRI SPALTENSTEIN<sup>1</sup>

*Résumé.* – Deux sols alpins sur calcaire dur, minces (10–15 cm), de profil AR, sont caractérisés comme étant des rankers cryptopodzoliques; ils sont également le siège d'une redistribution du fer par hydromorphie. L'origine du matériau minéral est double: sables et limons quartzeux libérés par dissolution du calcaire, et contamination en surface par des limons éoliens. Diverses méthodes ont permis la mise en évidence de la nature polyphasée de ces sols, qui ne se manifeste pas au niveau morphologique des profils.

### INTRODUCTION

Dans le cadre d'une prospection pédologique des calcaires durs dans les Hautes-Alpes calcaires (SPALTENSTEIN 1984), des sols du Sanetsch avaient été caractérisés provisoirement comme rankers cryptopodzoliques. Nous procédons ici à une définition plus précise de ces sols quant à leur origine et les processus dont ils résultent.

### MATÉRIEL

#### *La station*

La station étudiée est située dans le lapiaz du Sanetsch (VS), plateau de roches moutonnées incliné de 5° vers l'est, entre 2100 et 2600 m d'altitude.

---

<sup>1</sup> Chemin des Acacias 8, CH-1023 Crissier.

La station elle-même (figure 1) est une surface de banc du calcaire à Nummulites de la nappe des Diablerets, calcaire dur, gris, à cassure sombre (BADOUX et al. 1959). Coordonnées: 587,7–129,5; altitude: 2200 m.

P	Moyenne annuelle en mm	2000
	Nombre de jours de précipitations par an	160
	rapport $\frac{\text{été}}{\text{hiver}}$	1,4-1,5
T	Moyenne annuelle en °C	0
	Moyenne de janvier °C	-7
	Moyenne de juillet °C	+8
	Période de végétation en jours par an	70

Tableau 1. – Caractéristiques climatiques générales du site étudié.

Les données climatiques (tableau 1) sont approchées à partir de plusieurs sources (PRIMAULT 1972, SCHREIBER 1975, Atlas de la Suisse 1978). Les précipitations, abondantes, sont maximales en été. La période de végétation est courte.

La végétation n'a pas donné lieu à une caractérisation détaillée. Physiologiquement elle est une pelouse alpine sur le sol 81, une toundra alpine sur le 78.

Matériau	Granulométrie en %					Teneur en RI, en %
	Sg	Sf	Lg	Lf	A	
Calcaire à Nummulites N° 4654	12	28	13	23	23	4,4
Sol 78, horizon	A <sub>02</sub>	24	24	10	18	24
	A <sub>13</sub>	34	24	9	13	20
Sol 81, horizon	A <sub>01</sub>	8	22	13	25	33
	A <sub>12</sub>	19	26	9	15	31

Tableau 2. – Granulométrie de la fraction silicatée du calcaire et de quelques horizons des sols. RI: résidu insoluble à HCl.

### *Les sols*

Les deux sols étudiés ici sont décrits et représentés à la figure 1. Ils sont très organiques, et, bien que minces, différenciés en plusieurs horizons. Le sol 81 montre en surface une légère accumulation de terre fine à partir de l'amont, comme l'attestent des gaines de graminées et de carex enfouies; mais ce caractère reste mineur par rapport à l'ensemble de la pédogenèse. Sur le terrain l'horizon au contact du calcaire, peu coloré, apparaît grisâtre par contraste avec les autres horizons.

Les résultats analytiques présentés à la figure 1 montrent l'acidité très modérée du sol 78, associée à des C/N très bas malgré des teneurs en carbone organique élevées. Dans le sol 81, le pH en surface autorise la présence d'aluminium sous forme ionique dans la solution du sol, mais le C/N très élevé (19) est vraisemblablement un artefact (broyage des gaines de graminées et de carex lors de la préparation de l'échantillon). Le profil de la capacité d'échange cationique (CEC), présentant un maximum en A<sub>1</sub>, ne suit pas l'évolution du taux de carbone organique, ni des argiles. Dans les deux sols Fe<sub>libre</sub> montre des valeurs très élevées dans les horizons profonds, alors que les profils de Fe<sub>amorphe</sub> sont en comparaison peu différenciés, comme ceux de Al<sub>libre</sub>.

## ORIGINE DES SOLS

### *Méthode*

Ce point est abordé par la comparaison de la fraction minérale des sols avec la fraction silicatée du calcaire, du point de vue granulométrique et minéralogique. Ces fractions minérales sont isolées, pour les sols, par destruction de la matière organique par NaClO (ROUILLIER et al. 1974); pour la roche, par destruction des carbonates par HCl. La caractérisation granulométrique est effectuée par tamisage sous l'eau à 200 et 50 µm, par pipette à 20 et 2 µm. La caractérisation minéralogique porte sur la fraction < 20 µm, par diffraction X de lames orientées.

### *Résultats*

La fraction silicatée de la roche, comme celle des sols, comporte beaucoup de sables et de limons (tableau 2), essentiellement quartzeux.

Minéralogiquement elle est identique à celle de l'horizon profond (figure 2); par contre l'horizon de surface possède un spectre de minéraux plus étendu, rappelant les limons éoliens observés en bordure immédiate de la vallée du Rhône dans la région du Haut-de-Cry, et à la Tour d'Aï (SPALTENSTEIN 1984). Si l'horizon profond s'est formé par dissolution du calcaire, l'horizon de surface est partiellement allochtone.

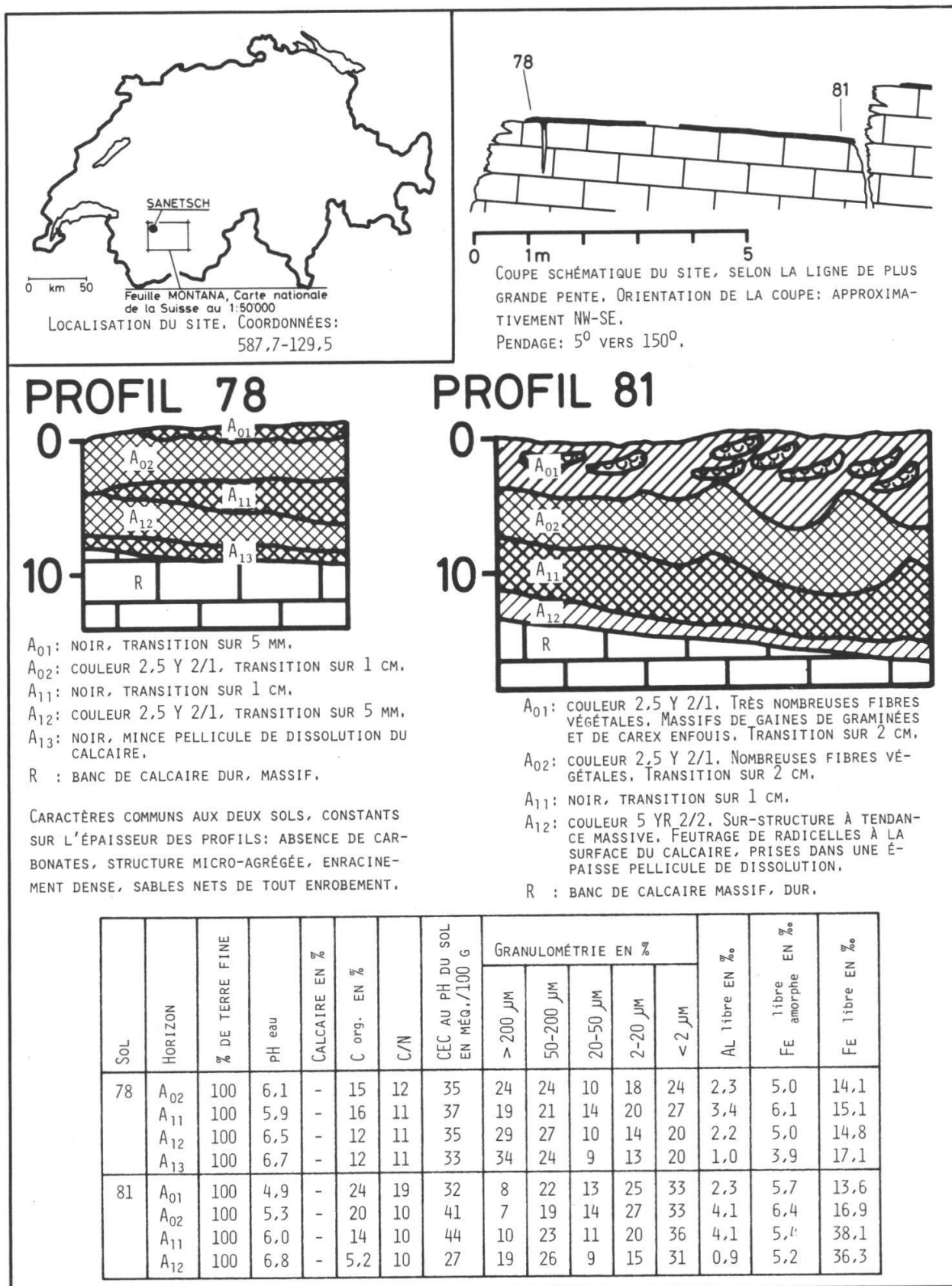


Figure 1. – Situation, description et analyse des sols.

## GÉOCHIMIE

*Méthode*

Après calcination à 900°C en atmosphère oxydante dans un four, 100 mg d'échantillon finement broyé sont fondus en présence de métaborate de Sr, puis solubilisés dans HNO<sub>3</sub> 5% (JEANROY 1974). Les éléments sont dosés par spectrométrie d'absorption atomique (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, K et Na).

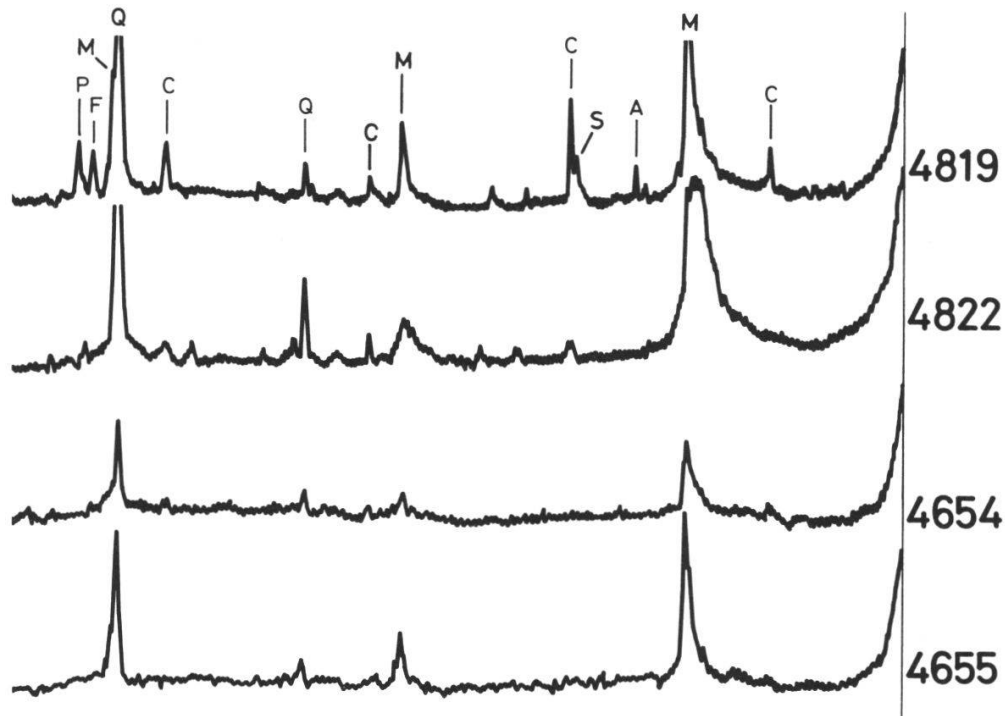


Figure 2. – Diagrammes de diffraction X des matériaux suivants, fractions <20 µm:  
4819 et 4822: horizons A<sub>01</sub> et A<sub>12</sub> du sol 81.

4654 et 4655: deux échantillons du calcaire à Nummulites.

P: plagioclases, F: feldspath-K, C: chlorite, Q: quartz, A: amphiboles, S: serpentine, M: mica blanc.

Diagrammes de 2 à 30° 2θ.

*Résultats*

Les résultats bruts, exprimés en oxydes, figurent en annexe (tableau 5). La précision est relativement bonne ( $\pm 3\%$ ). Le calcium étant accumulé dans ces sols par voie biologique à partir du calcaire (SPALTENSTEIN 1984), nous exprimons ces résultats en pour-mille des cendres sans CaO; les résultats de Al et Fe<sub>libres</sub> et Fe<sub>amorphe</sub> sont également recalculés, et exprimés dans cette unité. Nous ne discuterons que de Al et Fe, accessoirement Si. Les résultats figurent au tableau 3.

L'alumine montre une diminution importante de la surface vers la profondeur (également l'oxyde ferrique pour le sol 78), compensée par une augmentation de la silice. Ces sols sont donc constitués d'un matériau hé-

térogène: sables et limons quartzeux provenant de la dissolution du calcaire pour les horizons profonds, en surface contamination par les limons éoliens contenant des ferro-magnésiens (amphiboles, chlorite) et des alumino-silicates (feldspaths, mica blanc).

$Al_{libre}$  montre dans le sol 78 un maximum en  $A_{11}$ , dans le sol 81 en  $A_{02}$ . Ceci s'interprète comme une migration sous forme de complexes organiques, y compris dans le sol 78 malgré son pH très peu acide (env. 6). DUCHAUFOR et GILOT (1966) et LABROUE (1976) ont montré que dans des sols alpins une migration podzolique d'aluminium peut se dérouler déjà à de tels pH. Nous en avons décrit d'autres exemples (SPALTENSTEIN 1984). En ce qui concerne le fer,  $Fe_{amorphe}$  montre dans le sol 81 les valeurs maximales en surface: il n'y a donc pas de migration podzolique de cet élément. Toujours dans le sol 81,  $Fe_{libre}$ , avec un maximum en  $A_{11}$  ne coïncidant pas avec celui de  $Fe_{amorphe}$ , révèle une mobilisation par hydro-morphie, et accumulation en  $A_{11}$  (SPALTENSTEIN 1984). Pour le sol 78 les résultats obtenus ne permettent pas une interprétation claire.

Sol	Horizon	Oxydes totaux			Eléments libres				
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al libre	Fe amorphe	Fe libre	Fe total	Fe silicate
78	A <sub>02</sub>	723	164	65	3,4	7,5	21,0	46	25
	A <sub>11</sub>	788	119	57	5,3	9,4	23,3	40	17
	A <sub>12</sub>	847	85	45	3,0	6,8	20,0	32	12
	A <sub>13</sub>	861	75	45	1,3	5,2	22,9	32	9
81	A <sub>01</sub>	759	137	67	4,5	11,1	26,5	47	20
	A <sub>02</sub>	742	148	71	7,2	11,2	29,6	50	20
	A <sub>11</sub>	759	122	95	5,9	7,8	54,8	67	12
	A <sub>12</sub>	829	86	65	1,0	5,9	40,9	46	5

Tableau 3. – Oxydes totaux et éléments libres, exprimés en pour-mille des cendres sans Cao.

## DYNAMIQUE ORGANO-MINÉRALE

### Méthode

Un horizon du sol 78, deux du sol 81, ont subi un fractionnement physique par tamisage sous l'eau après destruction ménagée des agrégats par agitation modérée sous l'eau en présence de billes; les fractions < 50 µm subissent ensuite des extractions successives au tétraborate-Na 0.1M/NaOH pH 9.7, et pyrophosphate-Na 0.1M. Sont dosés: Al, Fe, et le carbone extrait (BRUCKERT 1979).

### Résultats

Les résultats figurent au tableau 4. Les taux d'extraction, portant sur la fraction < 50 µm seulement du sol, sont faibles (20-25%), révélant une pro-

portion complémentaire d'humine. A titre de comparaison CABIDOCHÉ (1979), dans un ranker cryptopodzolique sur roche acide, dans les Pyrénées, trouve un taux d'extraction de près de 90%. Dans le sol 81, ce taux passant de 19% en A<sub>01</sub> à 27% en A<sub>11</sub> peut s'interpréter comme l'accumulation podzolique, dans ce dernier horizon, de complexes organiques.

Le paramètre «mobilité des complexes» défini par BRUCKERT (1979), et applicable également à ce type de sols alpins (SPALTENSTEIN 1984), figure au tableau 4. Dans les deux sols, le coefficient du fer est très bas, largement au-dessous de la valeur critique 0,5: cet élément, dans sa forme complexée, est donc bien immobile. Pour l'aluminium, le coefficient très élevé dans le A<sub>01</sub> du sol 81 (au-dessus de la valeur critique 0,5), confirme la mobilité de cet élément sous forme de complexe.

La somme du fer extrait au tétraborate et au pyrophosphate (Fe<sub>complexe</sub>) est largement inférieure au fer amorphe: la dynamique organo-minérale du fer, si elle n'est pas podzolique, semble néanmoins conduire à une amorphisation relativement intense de cet élément.

Sol	Horizon	C org. total	Tétraborate			Pyrophosphate			Indice de mobilité		Fe complexé	Fe amorphe
			C	Al	Fe	C	Al	Fe	Al	Fe		
			78	A <sub>11</sub>	150	11,7	1,40	0,08	24,5	1,80		
81	A <sub>01</sub>	150	15,3	1,00	0,20	13,6	1,00	2,60	1,00	0,08	2,8	9,4
	A <sub>11</sub>	117	12,5	1,00	0,44	19,3	2,20	3,20	0,45	0,14	3,6	12,7

Tableau 4. – Résultats des extractions au tétraborate et au pyrophosphate sur les fractions <50 µm de trois horizons des sols. Unité: pour-mille de fraction <50 µm.

### LE PROFIL DE Fe<sub>silicate</sub>: UTILISATION DANS LE DIAGNOSTIC PÉDOLOGIQUE

#### Définition

Fe<sub>silicate</sub> est égal à Fe<sub>total</sub> moins Fe<sub>libre</sub>; il correspond approximativement au fer pris dans les structures cristallines des silicates (JEANROY 1983). Le profil de cette forme du fer n'est pratiquement jamais utilisé dans le cadre du diagnostic pédologique; nos sols présentant à cet égard un intérêt particulier, nous développons l'exemple qu'ils nous offrent.

#### Principe d'interprétation

Lors de la pédogenèse, l'altération se développe de la surface vers la profondeur. Des horizons A aux horizons C son intensité décroît, comme celle du processus de libération du fer. Lors d'une pédogenèse à partir d'un matériau homogène, les teneurs en Fe<sub>silicate</sub> augmentent de A vers C; JEAN-

ROY et al. (1984) en montrent de beaux exemples. Cette caractéristique subsiste même en cas de redistribution du fer libre (par lessivage, podzolisation, etc.). Un profil de  $Fe_{\text{silicate}}$  montrant une gradation inverse révèle une hétérogénéité de la roche-mère.

#### *Application aux sols 78 et 81*

Les valeurs de  $Fe_{\text{silicate}}$  (tableau 3), dans les deux sols, décroissent de la surface vers la profondeur, révélant l'hétérogénéité suivante: en surface, dans les limons éoliens, le fer est constitué en grande partie de  $Fe_{\text{silicate}}$  (amphiboles, chlorite); en profondeur, le calcaire libre par dissolution essentiellement du  $Fe_{\text{libre}}$  cristallisé.

#### RÉSUMÉ DES RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Les deux sols présentés ont, du point de vue de leur matière minérale, une origine double: d'une part ils se nourrissent des impuretés silicatées du calcaire sous-jacent par dissolution, d'autre part ils ont été saupoudrés de limons éoliens. Bien que minces (10–15 cm), ils sont différenciés en horizons, morphologiquement et analytiquement. Les analyses ont mis en évidence une migration podzolique de l'aluminium (cryptopodzolisation) et une mobilisation du fer par hydromorphie. La dissolution du calcaire livre du fer avant tout sous forme libre, alors qu'en surface, du fait des limons éoliens, le fer est en grande partie sous forme  $Fe_{\text{silicate}}$ .

#### DISCUSSION ET CONCLUSION

Au terme de cette étude la nature cryptopodzolique de ces deux sols est donc confirmée. Bien que sur une roche-mère calcaire, ils se rapprochent fortement des rankers, sols généralement caractérisés comme limités aux substrats non carbonatés. Ce rapprochement est dû à la nature du calcaire, dur et compact, mais à fort taux d'impuretés silicatées (4,4%), essentiellement des quartz de la taille des sables et des limons. Le saupoudrage de limons éoliens a accentué cette tendance évolutive vers les rankers. Ces deux sols présentent par ailleurs un intérêt double:

- 1) Ils illustrent l'utilité du dosage du fer amorphe (TAMM 1922) pour préciser les processus pédologiques. Le seul dosage du fer libre (MEHRA et JACKSON 1960) n'aurait pas permis de préciser la nature des redistributions de fer observées, et aurait pu conduire à une surestimation du processus de cryptopodzolisation.

2) Ils illustrent l'utilité du dosage du fer total: en l'absence de cette donnée les profils de  $Fe_{libre}$  auraient été attribués dans leur totalité à une différenciation pédologique de type mobilisation/transfert, alors que, de par la nature composite de la fraction minérale, le profil de  $Fe_{libre}$  montre un ventre en profondeur même en l'absence de toute migration. Ainsi donc sa migration par hydromorphie est d'une intensité très modérée. Cet exemple illustre les précautions à prendre lors de l'interprétation des résultats d'analyses de tels types de sols.

Sol	Horizon	Taux de cendres à 900°C	Oxydes dosés en mg								Somme des oxydes
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
78	A <sub>02</sub>	68,5	797	102	50	1	9	26	15	6	1006
	A <sub>11</sub>	66,2	770	116	56	1	9	32	18	6	1009
	A <sub>12</sub>	74,5	840	84	45	1	6	27	12	4	1018
	A <sub>13</sub>	75,7	850	74	44	0	5	23	11	2	1011
81	A <sub>01</sub>	51,6	754	137	67	1	11	26	18	7	1020
	A <sub>02</sub>	57,7	733	147	70	1	11	37	18	8	1025
	A <sub>11</sub>	70,4	749	120	94	0	8	37	12	4	1024
	A <sub>12</sub>	87,1	845	88	67	0	5	15	13	2	1033

Tableau 5, annexe. – Résultats bruts de l'analyse chimique. Prise de départ: 1000 mg.

#### REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le Fonds national de la Recherche scientifique et par l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Le travail a été effectué au Laboratoire de Pédologie de l'EPF-L. Enfin, sans Jean-Daniel Stalder, qui nous accompagna sur le terrain un jour de neige et de pluie en juillet 1981, les sols présentés ici n'auraient pas été décrits ni prélevés.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Atlas de la Suisse, neuvième édition, 1978. Ouvrage collectif. Edition du Service topographique fédéral, Wabern.
- BADOUX H., BONNARD E. G., BURRI M. 1959. – Feuille Saint-Léonard, *Atlas géologique de la Suisse* au 1:25 000. Carte et notice. Commission géologique suisse, Bâle.
- BRUCKERT S. 1979. – Analyse des complexes organo-minéraux des sols. In *Pédologie*, tome 2: Constituants et propriétés du sol, BONNEAU M. et SOUCHIER B. Masson, Paris, 460 p.
- CABIDOCHÉ Y.-M. 1979. – Contribution à l'étude des sols de haute montagne. Analyse des relations sols-milieu dans les Pyrénées occidentales cristallines et calcaires. Thèse Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier. 2 volumes, 223 p.
- DUCHAUFOUR P., GILOT J. C. 1966. – Etude d'une chaîne de sols de l'étage alpin (Col du Galibier) et ses relations avec la végétation. *Oecol. Plant.* 1, 253-274.
- JEANROY E. 1974. – Analyse totale par spectrométrie d'absorption atomique des roches, sols, minéraux, ciments, après fusion au métaborate de strontium. *Analysis* 2, 703-712.
- 1983. – Diagnostic des formes du fer dans les pédogenèses tempérées. Evaluation par les réactifs chimiques d'extraction et apports de la spectrométrie Mössbauer. Thèse Univ. Nancy I, 167 p.

- JEANROY E., GUILLET B., ORTIZ R. 1984. – Applications pédogénétiques de l'étude des formes du fer par les réactifs d'extraction: cas des sols brunifiés et podzolisés sur roches cristallines. *Science du sol* 3, 199-211.
- LABROUE L. 1976. – Etude écologique des sols alpins du Pic du Midi de Bigorre. Thèse Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 230 p.
- MEHRA O. P., JACKSON M. L. 1960. – Iron oxyde removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with bicarbonate. Clays and Clay Minerals. *International Series of Monographs on Earth Sciences* 5, 317-327.
- PRIMAULT B. 1972. – Etude méso-climatique du Canton de Vaud. *Cahiers de l'aménagement régional* 14, Office cantonal de l'urbanisme, Lausanne, 186 p.
- ROUILLER J., BURTIN G., SOUCHIER B. 1974. – Note sur l'utilisation de l'hypochlorite de sodium dans l'analyse granulométrique des sols. *Bull. ENSAIA XVI*, 89-98, Nancy.
- SCHREIBER K.-F. 1975. – Niveaux thermiques de la Suisse. Carte et notice. Département fédéral de justice et police. Berne.
- SOUCHIER B. 1971. – Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges). Thèse Univ. Nancy, 134 p.
- SPALTENSTEIN H. 1984. – Pédogenèses sur calcaires durs dans les Hautes-Alpes calcaires. Thèse N° 540 EPF-Lausanne, 146 p.
- TAMM O. 1922. – Eine Methode zur Bestimmung der anorganischen Komponenten des Gel complexes im Boden. *Meddel. Stat. Skogsförsokan.* 19, 385-404, Stockholm.

*Manuscrit reçu le 4 mars 1985*