

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 52 (1918-1919)
Heft: 196

Artikel: Contribution à l'étude de l'édaphisme physico-chimique
Autor: Amann, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-270198>

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: 12.01.2026

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

Contribution à l'étude de l'édaphisme physico-chimique

PAR

J. AMANN

I. Etude de l'ionisation des terrains

A. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

L'importance de l'ionisation du terrain (celui-ci pris dans son acception générale) pour la végétation, a fait l'objet de recherches étendues et de publications déjà nombreuses, la plupart faites au point de vue agronomique.

A l'occasion de l'étude de la flore bryologique du Parc national suisse, que j'ai commencée en 1918, sur l'invitation de la Commission d'étude scientifique du Parc et avec son appui, j'ai entrepris l'étude des rapports entre la *réaction du terrain* (substrat) et les espèces et associations de mousses qu'il porte.

Les bryophytes sont en général très sensibles aux différences d'ordre chimique que présentent les terrains ; tellement que beaucoup d'espèces et d'associations peuvent être considérées — par leur présence ou leur absence — comme caractéristiques de certaines de ces propriétés. Jusqu'ici, on n'a guère étudié ces rapports entre la végétation bryologique et les terrains, qu'en ce qui concerne la composition chimique de ces derniers, et ceci surtout au point de vue de la présence ou de l'absence de certains éléments, dont le principal est l'élément calcaire. Celui-ci, en effet, paraissait jouer le rôle de beaucoup le plus important dans les rapports en question. La distinction entre terrains (ou substrats) *calcaires* et *non calcaires*¹, avec des types et associations végétales *calciphiles* (ou *calcicoles*) et *calcifuges*, est devenue classique.

Il paraît *a priori* indubitable qu'il faut attribuer à l'état d'ionisation d'un terrain, ou autrement dit à sa réaction chimique, une

¹ Comme l'effet sur la végétation des différents sels du calcium (carbonates, sulfate, silicates, etc.) est fort différent, j'ai introduit les désignations de terrains *chalciques* et *achalciques* pour ceux qui contiennent ou non l'élément calcium sous la forme active de carbonate ou bicarbonate (AMANN : Bull. Soc. Murithienne, 1900, p. 103).

importance **considérable** pour les processus physiologiques qui se passent dans les **organes** de la plante (racines, radicelles, rhizômes, radicules, rhizoïdes, etc.) **en contact** avec le substrat. Il suffira de rappeler à ce propos que toute la **chimie** des ferments est sous la **dépendance** de la réaction et qu'il **en est** de même pour d'autres réactions, telles que la saponification **catalytique** des esters, etc., dans lesquelles les ions libres H^+ et OH^- jouent le rôle de catalyseurs positifs ou négatifs.

L'importance de l'ionisation du terrain pour la vie et le développement de la plante est d'autant plus considérable chez les bryophytes que, chez eux, la **surface** en contact avec le substrat représente, dans la règle, une proportion notablement plus considérable, par rapport à la surface totale de la plante, que ce n'est le cas chez la grande majorité des phanérogames. Cette considération peut expliquer, en partie au moins, la grande sensibilité des muscinées, en général, aux variations des propriétés chimiques du substrat.

On sait que la réaction chimique dépend de la présence ou de l'absence d'ions libres H^+ (réaction acide) et OH^- (réaction alcaline). On peut donc distinguer des terrains *acides* avec des ions H^+ libres, *alcalins* (ions OH^- libres) et *neutres* (pas d'ions H^+ ni OH^- libres). Au point de vue quantitatif, le degré d'acidité et d'alcalinité dépend de la concentration relative des ions libres H^+ ou OH^- . L'examen de l'ionisation d'un terrain consiste donc à rechercher la présence ou l'absence de ces ions libres et à déterminer leur concentration relative.

B. — MÉTHODE EMPLOYÉE.

L'état d'ionisation du terrain peut être déterminé par différentes méthodes, dont la plus simple et la plus pratique repose sur l'emploi d'*indicateurs* présentant des colorations différentes suivant la réaction du milieu. Ces indicateurs, utilisés depuis très longtemps en chimie analytique pour l'acidimétrie et l'alcalimétrie, sont nombreux ; ils sont plus ou moins sensibles, c'est-à-dire que leur *virage* (changement de coloration) correspond à des concentrations plus ou moins faibles des ions libres H^+ ou OH^- . L'intensité et la nuance des colorations dépend de cette concentration.

L'indicateur qui a été, je crois, le plus employé jusqu'ici pour l'étude de l'ionisation des terrains est la phtaléine du phénol, dont l'emploi a été préconisé par les auteurs américains¹. Incolore

¹ Voir, entre autres, COVILLE, *Experiments in Blueberry culture*, Bureau of Plant Industry U. S. Department of Agriculture, Bull. 193, p. 27 (1910).

en milieu acide ou neutre, cette solution vire au rouge par les alcalis, c'est-à-dire les ions OH' .

Pour les recherches spéciales d'un ordre essentiellement pratique que j'avais en vue, l'indicateur devait remplir les conditions suivantes :

1° Qualitativement : indiquer par des colorations bien différentes et des virages bien nets, la présence ou l'absence des ions libres H' et OH' .

2° Quantitativement : présenter une sensibilité suffisante pour déceler ces ions en concentration très faible ; cette sensibilité ne devant, d'autre part, et pour des raisons pratiques, pas être par trop considérable.

3° Se conserver longtemps en solution et être d'un emploi pratique, facilement applicable sur le terrain.

En passant en revue les divers indicateurs utilisés en chimie analytique, on s'aperçoit bientôt que fort peu d'entre eux répondent à la fois à ces exigences. Après de nombreux essais, faits avec à peu près tous les indicateurs proposés jusqu'ici, j'ai été amené à en composer un nouveau qui présente les propriétés et la sensibilité désirées.

Cet indicateur, que je désigne sous le nom d'*Indicateur panchromatique*, consiste en un mélange dont voici la formule :

Solution aqueuse à 0,2% de *rouge de toluylène* . . . 50 cm³.

Solution aqueuse à 0,4% de *vert éthylé* . . . 50 cm³.

Solution aqueuse à 0,5% d'*orange éthylé* . . . 5 cm³.

Mélanger.

Les colorants que l'on trouve dans le commerce sous les désignations ci-dessus présentant souvent des différences considérables quant à leur composition, je spécifierai que le rouge de toluylène que j'emploie est le chlorure de diméthylediamidotoluphénazine ; le vert éthylé est le sulfate de tétréthylediparamidotriphénylcarbinol ; l'orange éthylé, le diéthylamidobenzolsulfonate de soude¹.

En milieu parfaitement neutre, l'Indicateur panchromatique présente une teinte bleu-grisâtre, qui vire au violet, puis au rouge bordeaux par les acides (ions H') et au vert jaune par les alcalis (ions OH'). Ces virages sont très nets dans les deux sens. Je ne veux pas m'étendre ici sur la nature des réactions auxquelles sont dus ces virages, me réservant de le faire à une autre occasion. Je dois cependant signaler le fait que l'Indicateur panchromatique présente un type nouveau en ce qu'il est constitué par un *mélange*

¹ D'après les renseignements donnés par le fabricant.

de colorants, alors que ceux employés jusqu'ici étaient des colorants simples. Les virages du nouvel indicateur sont par conséquent la résultante de ceux des composants. Le rouge de toluyène vire du rouge bordeaux au jaune orange par les alcalis et passe en sens inverse du jaune au rose, puis au rouge par les acides ; le vert éthylé est peu modifié par ces réactions ; l'orange éthylé vire au rouge par les acides. De la superposition des teintes de ces trois composants, résultent la teinte bleue en milieu neutre, la teinte violet-rouge bordeaux en milieu acide, et la teinte verte en milieu alcalin, de l'Indicateur panchromatique¹.

La *sensibilité* de l'Indicateur panchromatique, sans être excessive, est relativement considérable : une détermination provisoire, faite dans mon laboratoire particulier, a montré que le virage se faisait nettement pour une concentration des ions H^+ et OH^- approximativement égale au millionième normale.

Cette sensibilité rend nécessaires certaines précautions pour la préparation et l'usage de l'indicateur. En premier lieu, l'emploi d'eau *parfaitement neutre*. La difficulté qu'on éprouve à se procurer une eau pareille, réside surtout dans l'alcalinité prononcée que communiquent à l'eau la plupart des verres des récipients ordinaires. Il est de toute nécessité de s'assurer que les flacons, éprouvettes, etc., employés n'altèrent pas la réaction neutre de l'eau pure : l'emploi de verres d'Iéna ou de Cologne, non alcalins, s'impose pour ces expériences. Les autres précautions à prendre sont signalées au cours de ce travail.

C. — MODE D'EMPLOI

La méthode à laquelle je me suis arrêté pour l'examen de la réaction du substrat, après avoir fait une série d'expériences comparatives, est la suivante.

Une parcelle du substrat (terre, humus, sable, roche, etc.) à examiner (celui en contact avec les organes de la plante) du poids de 1 ou 2 grammes environ, est divisée le mieux possible et introduite dans une éprouvette. On ajoute 10 cm³ environ d'eau distillée neutre, et on agite fortement pendant quelques minutes. On laisse déposer, de manière à pouvoir décantier, dans une deuxième éprouvette, la couche de liquide limpide (le cas échéant, on peut

¹ La présence des sels ammoniacaux ne gêne pas le virage ; les carbonates et bicarbonates alcalins et alcalino-terreux font virer franchement au vert. Le passage du violet au vert se fait par des nuances intermédiaires fugaces qui reculent assez longtemps au violet pour aboutir d'abord au vert persistant pendant quelques minutes, puis au vert stable et définitif, lorsque la concentration des ions OH^- est devenue suffisante. Le virage du vert au violet est plus rapide et plus net.

filtrer sur papier neutre et entonnoir en verre d'Iéna, ou bien centrifuger). A ce liquide limpide, on ajoute 2 ou 3 gouttes de l'Indicateur panchromatique et mélange bien. On compare la teinte obtenue à celle d'un témoin colorimétrique préparé en ajoutant (dans une autre éprouvette) 2 ou 3 gouttes de l'indicateur à un volume égal d'eau distillée neutre.

Dans ces conditions, le virage le plus léger devient manifeste, soit du côté du rouge (ions H^+), soit du côté du vert (ions OH^-).

La sensibilité de cette méthode d'examen, déjà très grande, peut encore être notablement augmentée en employant de l'eau distillée bouillante, ou en chauffant le mélange de substrat et d'eau et en laissant ensuite refroidir. Cette modification se recommande surtout pour des substrats très compacts ou durs, qu'il est difficile de bien diviser. Il va sans dire que la cuisson ne peut être appliquée à des substrats organiques : écorce, bois, etc., susceptibles d'être plus ou moins profondément altérés par hydrolyse à chaud. Les fragments de roches doivent rester en contact avec l'eau pendant quelques minutes ; notablement plus longtemps à froid qu'à chaud. L'eau des sources, ruisseaux, lacs, etc., peut être examinée directement par addition d'indicateur.

L'examen de substrats desséchés, tels, par exemple, ceux prélevés sur des échantillons d'herbier, peut se faire de la même manière. Il ne faut pas perdre de vue cependant que, par la dessiccation et la conservation prolongées, certains de ces substrats, riches en matières organiques facilement altérables, peuvent changer de réaction avec le temps.

Le mélange direct de l'indicateur au mélange de substrat et d'eau, ne se recommande pas : il présente en effet ce gros inconvénient que, grâce à l'adsorption inégale, par le substrat, des différents composants de l'indicateur, la teinte de celui-ci peut être altérée, sans que la réaction soit pour rien dans cette modification : c'est le cas, par exemple, pour l'humus et l'argile.

L'évaluation quantitative de l'ionisation du substrat, c'est-à-dire du degré d'acidité ou d'alcalinité qu'il présente, peut se faire simplement par comparaison colorimétrique des teintes obtenues dans l'expérience décrite plus haut, avec une échelle composée de tests préparés dans des conditions semblables et répondant à des concentrations déterminées des ions H^+ et OH^- . Jusqu'ici, je me suis contenté de faire cette évaluation numérique d'une façon plus sommaire, mais suffisante, je crois, en appréciant les teintes obtenues en degrés conventionnels représentés par les chiffres 0 à V, 0 correspondant à la neutralité et V à l'acidité ou à l'alcalinité très fortes. Ce mode d'évaluation paraît suffisant pour des études préliminaires.

D. — RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES ET GÉNÉRAUX OBTENUS.

a) *Concernant le terrain.*

La première constatation que l'on peut faire, en étudiant les différents substrats par la méthode décrite, est tout naturellement celle-ci que, d'après leur réaction, ces substrats doivent être classés en substrats *alcalins*, *neutres*, et *acides*.

Une deuxième constatation est que le *degré* d'alcalinité et d'acidité varie pour les substrats différents, comme aussi pour le même substrat, dans des limites plus ou moins étendues.

En troisième lieu, on s'aperçoit facilement — et ceci est important — que, sur un terrain en apparence homogène et uniforme, on trouve fréquemment des parties souvent fort peu distantes les unes des autres, soit dans le sens vertical, soit dans celui horizontal, dont la réaction diffère très notablement quantitativement ou même qualitativement. Alors que, pour certains terrains, la couche superficielle peut présenter une réaction neutre ou même acide, les parties profondes peuvent être franchement alcalines. Les conditions d'ionisation du terrain sont donc, dans ce cas, différentes pour les radicelles et les rhizoïdes des muscinées en contact avec la couche superficielle seulement, et pour les organes souterrains des plantes supérieures qui plongent dans les couches plus profondes. Le cas le plus fréquent où ce fait peut être observé, est celui où la couche superficielle du terrain est formée d'humus acide ou neutre, alors que les couches sous-jacentes sont plus ou moins riches en sels alcalino-terreux. Un autre cas très fréquent est celui où l'une des couches est formée par de l'argile à réaction neutre.

Pour certains terrains, en apparence uniformes, la réaction peut, d'autre part, varier considérablement en des points fort peu éloignés les uns des autres dans le sens horizontal, voire même en des points très rapprochés par suite, par exemple, d'un colmatage local par des causes adventices : eau ruisselante, apports éoliens, etc., soit aussi par l'action décalcifiante localisée de l'eau.

La possibilité d'une variation qualitative de la réaction, pour un même substrat, non plus dans l'espace, mais dans le temps, a été démontrée par plusieurs observateurs. Cette variation s'observe principalement pour l'humus des forêts à essences feuillues, qui peut, dans certaines conditions, passer de l'état acide original à l'état neutre d'abord, par suite de la lixiviation et de la neutralisation des acides organiques, puis, plus tard, à l'état alcalin par la décomposition ultérieure.

¹ Voir par exemple COVILLE, *The formation of leafmold*. « Report of the Smithsonian Inst. » 1913, p. 333.

b) *Concernant la végétation bryologique.*

La question qui se pose *a priori* de savoir s'il existe des rapports manifestes et constants entre la réaction du terrain et la végétation, a été résolue affirmativement pour les plantes supérieures¹. La dépendance étroite et constante des types et associations bryologiques que porte un terrain, et la réaction de celui-ci, est encore plus manifeste que ce n'est le cas pour les phanérogames. La grande majorité des types (espèces, races, etc.) des bryophytes sont adaptés biologiquement et physiologiquement à une réaction du terrain bien déterminée ; ce qui se manifeste déjà par le manque de ces types exclusifs sur tous les terrains qui ne présentent pas la réaction nécessaire. L'importance de cet ordre de faits pour la phytogéographie, ainsi que pour la biologie et l'écologie végétales est considérable.

Cette adaptation de la plante à la réaction du terrain peut entraîner des modifications considérables dans ses fonctions physiologiques : c'est ainsi, pour ne citer que cet exemple, que chez la plupart des plantes adaptées aux terrains acides, l'assimilation azotée se fait par l'intermédiaire des mycorhizes.

Les expériences et constatations préliminaires que j'ai faites, permettent de classer les types et associations des Mousses et Hépatiques en quatre grandes classes :

les *basiphiles*, qui exigent des substrats à réaction alcaline (ions OH' libres) ;

les *oxyphiles*, des substrats à réaction acide (ions H. libres) ;

les *neutrophiles*, des substrats à réaction neutre ;

les *indifférentes*, qui ne montrent pas de préférence sous le rapport de la réaction du substrat.

Les exigences ou les préférences des différents types de chaque catégorie diffèrent quantitativement : alors que les uns se révèlent comme strictement basiphiles ou oxyphiles, d'autres montrent une certaine tolérance. Il y a donc lieu de distinguer, dans chaque classe, des *types obligés et exclusifs*, *facultatifs* et *tolérants* ou simplement *préférants*.

Parmi les types tolérants, il importe encore de distinguer des *basi-neutrophiles*, qui veulent des terrains neutres ou alcalins, et des *oxy-neutrophiles*, des terrains neutres ou acides : les premiers se révèlent comme des *oxyphobes* fuyant les terrains acides, les seconds comme des *basiphobes* fuyant les terrains alcalins (la plupart des Sphaignes, par exemple).

¹ La bibliographie relative à cette question est trop étendue pour que je puisse en donner le détail ici.

Les types *indifférents* proprement dits, c'est-à-dire se rencontrant indifféremment sur les substrats acides, neutres ou alcalins, sont probablement peu nombreux.

L'attribution définitive des types bryologiques à ces différentes catégories ne pourra se faire qu'ensuite d'observations suffisamment nombreuses et étendues. Voici, à titre provisoire, quelques résultats de mes expériences.

(Les chiffres entre parenthèses désignent l'intensité de la réaction : I = très faible, II = faible, III = moyenne, IV = forte, V = très forte.)

I. — *Sur les substrats à réaction acide seulement : espèces oxyphiles proprement dites :*

Andreaea petrophila (I)	Ditrichum glaucescens
Anomodon attenuatus (II)	Hypnum cupressiforme filiforme
Bryum alpinum	— uncinatum
Campylopus Muelleri (II)	Plagiothecium denticulat. (I-III)
Cynodontium fallax	Pogonatum aloides
Dicranella cerviculata (II)	Pohlia longicolla
— subulata	— prolifera
Dicranum congestum	Polytrichum juniperinum
— elongatum	— strictum
— scoparium var. undulatum	Sphagnum cuspidatum
— viride	

II. — *Sur les substrats acides et neutres : espèces oxy-neutrophiles.*

Anomodon attenuatus (II)	Mniobryum albicans
— longifolius (I)	Mnium punctatum
Bartramia ithyphylla	Orthotrichum Lyelli (I)
Catharinea undulata (II)	— speciosum (II)
Dicranum scoparium c. fr. (III)	Plagiothecium elegans Schimper (I-II)
Diphyscium foliosum (I)	— Ruthei (III)
Hylocomium splendens (II)	Pohlia commutata
— triquetrum (II)	— nutans (II)
Hypnum Schreberi (I-II)	Polytrichum formosum (III)
Isothecium myurum (II)	Thuidium recognitum (I)
Leucobryum glaucum (I-II)	

III. — *Sur les substrats neutres seulement : espèces neutrophiles.*

Amblystegium subtile	Brachythecium collinum
Antitrichia curtipendula fr.	— turgidum.
Bartramia pomiformis var. crispa	Campylosteleum saxicola
Brachyodus trichodes	Ceratodon purpureus

Dicranum Muehlenbeckii	Orthotrichum leiocarpum
— neglectum	Plagiothecium nitidulum var.
— palustre	pulchellum
Ephemerum serratum	Pohlia acuminata
Fissidens bryoides	Polytrichum piliferum
— exilis	Pottia truncatula
— pusillus	Pterigynandum filiforme
Homalia trichomanoides	Racomitrium canescens
Hypnum polygamum	Syntrichia papillosa
— revolutum	Tetraphis pellucida
Mnium cuspidatum	Thuidium tamariscinum
— stellare	Ulota crispula
Myurella julacea	Weisia rutilans
Orthothecium intricatum	Zygodon viridissimus

IV. — *Sur les substrats neutres et alcalins : espèces basi-neutrophiles.*

Dicranella varia	Mnium serratum
Ditrichum tortile	Rhynchostegium murale (IV-V)
Fissidens taxifolius	Syntrichia subulata
Hypnum chrysophyllum	Tayloria splachnoides
— molluscum (II-III)	Tortella tortuosa

V. — *Sur les substrats alcalins seulement : espèces basiphiles.*

Amblystegium fallax	Encalypta commutata
— irriguum (V)	Eucladium verticillatum
— serpens (IV)	Gymnostomum calcareum (IV-V)
— Sprucei	Gyrowesia tenuis (IV)
Anodus Donianus	Hypnum Bambergeri
Barbula muralis	— dilatatum
— paludosa (IV-V)	— fastigiatum
— vinealis cylindrica (I)	— incurvatum
Brachythecium (III)	— irrigatum
— trachypodium	— protensum (II-III)
Bryum elegans	Leskea nervosa
— turbinatum (IV)	Oncophorus Wahlenbergii
— ventricosum (I)	Orthothecium chryseum
Desmatodon latifolius	Orthotrichum cupulatum
Dialytrichia Brebissoni	Pottia latifolia
Dicranella rufescens	Pseudoleskea catenulata
Didymodon rubellus	— radicata
— spadiceus (III)	Schistidium apocarpum
— tophaceus	Seligeria tristicha
Dissodon Froelichianus	Syntrichia mucronifolia
Ditrichum flexicaule	Tayloria serrata

VI. — *Sur les substrats acides, neutres et alcalins :
espèces indifférentes.*

Anomodon viticulosus	Eurynchium striatum
Brachythecium populeum	Homalothecium sericeum
— rutabulum	Hypnum commutatum
— salebrosum	— cupressiforme
Bryum capillare	Leucodon sciuroides
Dicranella heteromalla	Mnium undulatum
Encalypta streptocarpa	Plagiothecium Roeseanum

Ces données provisoires — représentant les résultats d'un nombre restreint d'observations pour chaque espèce — devront être rectifiées et complétées par la suite.

E. — RAPPORT ENTRE LA RÉACTION ET L'ÉLÉMENT
CALCAIRE.

D'une manière générale, les substrats calcaires, ou plus exactement parlant, chalciques (c'est-à-dire contenant l'élément calcium sous la forme active de CaCO_3), sont des substrats alcalins. Les deux notions sont cependant loin d'être équivalentes ; tout d'abord parce que les ions OH' peuvent provenir de la dissociation d'autres combinaisons alcalines que le bicarbonate de Ca. C'est le cas, entre autres, pour les sel alcalins des autres éléments alcalino-terreux, Mg surtout, pour ceux du groupe du fer, pour les sels ammoniacaux à réaction alcaline, etc. Il est donc naturel de s'attendre à ce que les types basiphiles ne soient pas nécessairement et constamment des types calciphiles. Dans la grande majorité des cas, il y a cependant concordance entre les deux catégories. Il faut du reste remarquer que la désignation de calciphile appliquée à un type, ne représente, le plus souvent, qu'une réputation qui est rarement fondée sur des expériences un peu précises. La recherche sommaire usuelle du carbonate calcique dans le substrat, par le dégagement d'acide carbonique sous l'action des acides minéraux, est un moyen grossier qui donne souvent des résultats, négatifs, alors que l'examen au moyen de l'Indicateur panchromatique indique une réaction alcaline moyenne, forte ou très forte. C'est le cas, entre autres, pour l'eau, qui peut être franchement alcaline sans que le dégagement de CO_2 par addition d'acide soit distinct, ceci grâce à la solubilité de ce gaz à la température ordinaire ; c'est le cas aussi pour d'autres substrats, roches, terres, etc. Les notions de basiphilie et oxyphilie sont par conséquent notablement plus exactes que celles très approximatives de calciphilie et calcifugie.

Théoriquement, on peut se représenter qu'un type calciphile soit en même temps neutrophile ou même oxyphile. Cette éventualité est cependant fort peu probable : sa constatation indiquerait que, dans ce cas, la calciphilie constatée, existerait par rapport à l'élément calcium lui-même et non pas à cet élément sous la seule forme de carbonate, comme on l'admet généralement aujourd'hui, en se basant sur le fait, constaté expérimentalement, que les différents sels de calcium exercent une action différente sur les types calcifuges.

On peut supposer, d'autre part, avec beaucoup plus de probabilité, que les types calciphiles et calcifuges exclusifs ne sont tels que parce que les premiers sont des basiphiles, les seconds des oxyphiles ou des neutrophiles obligés. Ceci reviendrait à admettre que l'élément calcaire (Ca ou CaCO_3) ne joue pas le rôle prépondérant qu'on lui attribue dans l'édaphisme chimique, mais que ce rôle doit plutôt être attribué à la *réaction*, c'est-à-dire à l'état d'ionisation du terrain.

Ces problèmes relatifs à l'édaphisme chimique pourront être élucidés, sinon résolus, par l'étude attentive et soignée de la réaction du substrat.

F. — IONISATION DU TERRAIN ET ASSOCIATIONS.

Plus encore que les espèces végétales, les associations sont caractéristiques pour les différentes propriétés physico-chimiques des terrains ; ceci est vrai aussi pour la réaction. Mais il importe de tenir compte de la variabilité, signalée plus haut, de cette réaction, en des lieux très rapprochés, d'un terrain en apparence homogène et il est nécessaire, lorsqu'on fait le relevé des associations, de déterminer soigneusement, par l'expérience, la réaction du substrat en contact avec les divers composants. C'est pour les associations saxicoles, en particulier, que cette précaution s'impose. On sait, en effet, qu'il suffit d'une couche très mince d'humus à réaction neutre ou acide, pour isoler complètement les mousses de l'action chimique de la roche sous-jacente, ce qui permet à des types neutrophiles ou même oxyphiles de s'établir sur des rochers et des blocs dont la roche présente une réaction alcaline manifeste. Ces exceptions apparentes sont très fréquentes : elles n'ont pas peu contribué à brouiller les notions de calciphilie et calcifugie.

C'est pour cette raison que je me bornerai à donner ici un petit nombre seulement d'observations relatives aux associations caractéristiques des différents terrains.

1. — *Terrains à réaction acide* (de faible ou moyenne intensité).

a) Terre gris clair, sur sous-sol dolomitique. Alp Murtèr (Val Cluozza), 2400 m.

Bartramia ithyphylla	Hypnum uncinatum
Ditrichum glaucescens	Lophozia excisa
Heterocladium dimorphum	Anemone sulfurea

b) Terreau brun d'une petite cuvette à neige ; même localité, 2570 m.

Desmatodon latifolius	Pohlia commutata
Polytrichum juniperinum alpinum	

c) Terre grise. Prairie alpine à 2600 m., même localité.

Hypnum uncinatum	Polytrichum juniperinum
------------------	-------------------------

d) Terreau noir (réaction de faible intensité), Piz Murtèr, 2820 m. Elynnetum.

Espèces dominantes :

Encalypta commutata	Distichium capillaceum
Bryum inclinatum	

Espèces accessoires :

Brachythecium albicans	Tortella fragilis
Ceratodon purpureus	Solorina saccata
Desmatodon latifolius	Cetraria islandica
Dicranum neglectum	Cornicularia species
Hypnum revolutum	Peltigera rufescens
Pohlia cruda	Physcia pulverulenta
Polytrichum juniperinum	Psora decipiens
— alpinum	Selaginella spinulosa

e) Humus (réaction de faible intensité), dans la forêt de Platuns près Zernez : Pinus montana v. engadinensis et épicéa. Sous-sol dolomitique. 1500-1900 m.

Dicranum scoparium	Hylocomium triquetrum
Hylocomium splendens	Brachythecium velutinum
Cladonia species	

f) Humus et terreau (réaction faible), dans la forêt (épicéa, mélèze) de Baseglia sur Zernez, 1700-1800 m.

Polytrichum juniperinum	Plagiothecium nitidulum
Pyrola uniflora	

2. — *Terrains à réaction neutre.*

a) Humus noir sur le bord d'une cuvette à neige, Alp Murtèr, 2400 m.

Polytrichum piliferum Pohlia commutata
Tortella tortuosa

b) Humus entre les blocs et les rochers (calcaire rhétien), Alp Murteröl, 2500 m.

Sauteria alpina Fimbriaria Lindenbergiana

c) Humus (près d'une source d'eau alcaline), Val Cluozza, 2000 m.

Dissodon splachnoides Distichium capillaceum

d) Humus dans la forêt de Platuns, 1750 m.

Tortella tortuosa Ditrichum flexicaule
Hypnum chrysophyllum

e) Bois pourri, même localité.

Tetraphis pellucida Mnium punctatum
Orthothecium intricatum Hylocomium triquetrum

3. — *Terrains à réaction alcaline.*

a) Rocher (calcaire rhétien, réaction fortement alcaline) ; caverne dans la Valletta du Val Cluozza, 2400 m.

Gymnostomum calcareum Seligeria tristicha
Desmatodon suberectus var. Desmatodon spelaeus mihi
limbatus mihi Syntrichia mucronifolia var.
Amblystegiella ursorum mihi systilia mihi.

b) Rocher (réaction alcaline). Mollasse tertiaire. Jorat près Lausanne, 600 m.

Hypnum protensum Dicranella heteromalla sericea
— molluscum Anodus Donianus
— chrysophyllum Gyroweisia badia
— palustre Encalypta streptocarpa
Barbula paludosa Mnium serratum
Tortella tortuosa Orthothecium rufescens
Fissidens decipiens Neckera crispa

c) Rochers de poudingue tertiaire subalpin, contenant 1,3% CaCO₃ ; réaction alcaline d'intensité moyenne. Vignoble entre Chexbres et Rivaz, (Vaud), 450 m.

Anomodon viticulosus Tortula ruralis
Homalothecium fallax Tortula alpina inermis
Eurynchium crassinervium Dialytrichia Brebissoni
Schistidium apocarpum Orthotrichum anomalum
Tortula montana calva — cupulatum

Lausanne, novembre 1918.

II. Etude de la réaction du substrat pour les espèces européennes des genres *Pterygoneurum* et *Pottia*.

On ne trouve, dans les ouvrages classiques, que des renseignements sommaires, approximatifs et très insuffisants en ce qui concerne l'appétence des espèces de ces deux genres, par rapport à la composition chimique du substrat.

Le Synopsis de Schimper ne mentionne le support calcaire que pour les *P. cavifolia* var. *epilosa* et le *P. Starkeana* ; le *P. Heimii* sur la terre surtout salée.

Limpricht (in Rabenhorst), Roth (Europ. Laubm.) et Warnstorf (Krypt. Flora Brandenburg) indiquent le support calcaire pour les *Pl. cavifolium*, *P. mutica*, *P. commutata*, *P. lanceolata*, *P. intermedia* et *P. latifolia* ; et le sol salé pour *P. Heimii* et *P. crinita*.

Grebe dans ses « Studien zur Biologie und Geographie der Laubmoose » (Hedwigia, 59, 1918), place dans les « strikte Kalkmoose » le *P. cavifolium* var. *incanum* et les *P. mutica*, *Starkeana* et *minutula*.

Dans la Flore des Mousses de la Suisse, j'indique comme *calciphiles* les espèces suivantes : *Pl. subsessile*, *Pl. cavifolium*, *Pl. lamellatum*, *Pottia minutula*, *P. truncatula* (Calciphile préférant, évitant les supports trop calcaires), *P. intermedia*, *P. Starkeana*, *P. mutica* et *P. latifolia* (préférant) ; le *P. Heimii* est indiqué comme *halophile*. Ces données se rapportent à la nature du sous-sol des terrains ou sont basées sur un nombre restreint d'expériences sommaires (dégagement de CO₂ par les acides).

En possession de la nouvelle méthode d'étude très sensible et très exacte de la réaction (ionisation) du substrat, au moyen de mon *Indicateur panchromatique*, j'ai appliqué cette méthode aux échantillons des genres *Pterygoneurum* et *Pottia* de la Bryotheca helvetica. L'étude de près d'une centaine d'exemplaires a permis de fixer le *modus faciendi* de la réaction appliquée à des échantillons d'herbier et de faire quelques observations d'une portée générale, que je vais tout d'abord résumer en quelques lignes.

Le matériel nécessaire pour l'examen des échantillons d'herbier comprend ¹ :

a) quelques éprouvettes (tubes à essais) en verre neutre (Cologne ou Iéna) ; la dimension la plus pratique me paraît être : longueur, 14 cm. ; diamètre, environ 1,5 cm. ;

b) un matras (Erlenmeyer) ou ballon, contenance 250 cm³ environ, en verre neutre, pour chauffer l'eau distillée ;

¹ Ce matériel, y compris l'Indicateur panchromatique, peuvent être obtenus du Laboratoire de Chimie, Avenue de Rumine, 45, Lausanne.

- c) un flacon (verre neutre) d'eau distillée neutre (1 litre ou plus) ;
- d) un flacon compte-gouttes en verre neutre, contenant l'Indicateur panchromatique ;
- e) un petit flacon (50 gr. environ) acide chlorhydrique normal au 50^e (ions H⁺) ;
- f) un petit flacon soude caustique normale au 50^e (ions OH⁻) ;
- g) une baguette de verre.

La première vérification à faire est celle de la neutralité de l'eau distillée: additionnée de 2 gouttes d'indicateur pour 10 cm³ environ, elle doit présenter la teinte *bleue*. Dans le cas où l'eau est alcaline (teinte verdâtre ou verte), on rétablira la neutralité de l'eau par l'addition de traces (prélevées au moyen de la baguette de verre) de l'acide n/50 jusqu'à coloration bleue bien franche. La correction de l'eau acide (teinte violette ou rouge carmin) se fera de la même manière par l'alcali n/50. Il est nécessaire de vérifier la neutralité de l'eau avant chaque série d'expériences.

L'*examen du verre* des flacons, éprouvettes, etc., se fait en bouillant, pendant quelques minutes, un peu (10 cm³ environ) d'eau distillée bien neutre dans le récipient à essayer, puis en ajoutant 2 gouttes d'indicateur. Dans ces conditions, les verres alcalins (la grande majorité de ceux que l'on trouve dans le commerce) donnent des solutions vertes : ils doivent être rejetés.

Manière de procéder pour l'examen des échantillons d'herbier. — Prélever un peu (0,5 gr. environ) du substrat adhérent à l'échantillon ; le diviser ou le broyer, le cas échéant, dans un mortier de porcelaine, le mettre dans une éprouvette rincée auparavant à l'eau neutre, ajouter 10 cm³ environ (toujours à peu près le même volume) d'eau neutre bouillante, agiter pendant quelques minutes et laisser déposer jusqu'à clarification.

Décanter le liquide limpide dans une autre éprouvette (rincée à l'eau neutre) et ajouter 2 gouttes de l'indicateur. Attendre cinq minutes environ et apprécier la teinte obtenue en la comparant à un test représenté par le même volume d'eau neutre plus 2 gouttes d'indicateur :

Coloration : bleue	= réaction neutre.
» verte	= réaction alcaline (ions OH ⁻).
» violette à rouge	= réaction acide (ions H ⁺).

Le *degré* de la réaction alcaline ou acide peut être apprécié par l'échelle conventionnelle : I = très faible ; II = faible ; III = moyenne ; IV = forte ; V = très forte.

Les teintes du degré V alcaline et acide répondent aux colorations obtenues en additionnant 10 cm³ d'eau neutre de 1 goutte (0,06 cm³ environ) d'alcali ou acide n/50.

Dans le cas où l'on ne peut obtenir un liquide limpide par simple

repos et décantation (substrats argileux, par exemple), il est nécessaire de filtrer au papier (entonnoir de verre neutre) ou — ce qui est beaucoup plus expéditif — de passer à la centrifuge.

Les liquides troubles, surtout ceux tenant de l'argile ou de l'humus en suspension, donnent, avec l'Indicateur panchromatique, des résultats peu nets ou même erronés, grâce au rôle que joue l'adsorption par les matières en suspension, qui, comme je l'ai indiqué plus haut, est inégale quantitativement et qualitativement pour les constituants de l'indicateur.

La *recherche des carbonates* au moyen d'un acide fort (très dissocié, HCl p. ex.) ou faiblement dissocié (ac. acétique, formique, etc.), peut se faire sur le résidu, après la décantation.

Comme je l'ai noté plus haut, il n'y a pas toujours coïncidence entre la réaction alcaline et la présence des carbonates. Les *substrats ferrugineux*, par exemple, peuvent présenter une réaction parfaitement *neutre*, lors même qu'avec les acides libres, ils donnent un fort dégagement de CO₂. L'oxyde ferrique Fe₂ O₃, les hydrates et les carbonates correspondants présentent cependant une réaction alcaline manifeste.

Réaction du substrat des échantillons de la *Bryotheca helvetica*.

PTERYGONEURUM SUBSESSILE (Brid.). 10 exempl. *Substrat* : terres sablonneuses, limoneuses ou argileuses, calcaires.

Réaction	Degré	Exempl.	Provenance.
Neutre	—	2	(Hesse et Thuringe)
Alcaline	I	2	
»	II	1	(Suisse et Autriche).
»	III	2	
»	IV	1	
»	V	2	
		8	

Basiphile tolérant, parfois neutrophile.

P. CAVIFOLIUM (Ehrh.), 10 exempl. *Substrat* : terres sablonneuses, argileuses, gypseuses, calcaires, etc.

Neutre	—	1	(Harz)
Alcaline	I	1	(Suisse et Danemark)
»	II	1	
»	III	1	
»	IV	2	
»	V	4	
		9	

Basiphile tolérant, exceptionnellement neutrophile.

P. LAMELLATUM (Lindb.), 7 exempl. *Substrats* : terres sablonneuses, argileuses, gypseuses, calcaires.

<i>Neutre</i>	—	1	(Autriche)
<i>Alcaline</i>	II	1	
»	IV	2	
»	V	3	
		<u>6</u>	(Suisse)

Basiphile tolérant, parfois neutrophile.

POTTIA MINUTULA (Schleich.), 2 exempl. *Substrats* : terres argileuses, calcaires.

<i>Neutre</i>	— à	1	(Italie)
<i>Alcaline</i>	IV	1	(Suisse)

Neutrophile et basiphile.

P. TRUNCATULA (L.), 7 exempl. *Substrats* : terres sablonneuses, argileuses, calcaires.

<i>Neutre</i>	—	5	(Suisse et Scandinavie)
<i>Alcaline</i>	IV	1	
»	V	1	
		<u>2</u>	(Suisse et Italie)

Neutrophile tolérant, parfois basiphile.

P. INTERMEDIA (Turn.), 4 exempl. *Substrats* : terres argileuses, ferrugineuses, calcaires, humus, etc.

<i>Neutre</i>	—	2	(Suisse)
<i>Alcaline</i>	V	2	(Suisse et Italie)

Basiphile et neutrophile.

P. LITTORALIS Mitten, 1 exempl., Murs du littoral. — *Acide I.* — (Cherbourg). — **Oxyphile ?**

P. CRINITA (Wils.), 1 exempl., Terre sablonneuse. — *Neutre.* — (Ecosse). — **Neutrophile ?**

P. WILSONI (Hook), 2 exempl., Terre sablonneuse. — *Neutre.* — (Cherbourg, Florence). — **Neutrophile ?**

P. VIRIDIFOLIA Mitten, 3 exempl., Sable terreux. — *Neutre.* — (Cherbourg). — **Neutrophile ?**

P. LANCEOLATA (Hw.), 7 exempl. *Substrats* : terres argileuses, calcaires, humus.

<i>Neutre</i>	—	<u>2</u>	(Oberpfalz)
<i>Alcaline</i>	III	<u>1</u>	
»	V	<u>4</u>	
		<u>5</u>	(Suisse)

Basiphile tolérant, parfois neutrophile.

P. STARKEANA (Hw.), 11 exempl. *Substrats* : terres sablonneuses, argileuses, calcaires.

<i>Neutre</i>	—	<u>7</u>	(Suisse, France, Scandinavie, Harz)
<i>Alcaline</i>	III	<u>2</u>	
»	IV	<u>1</u>	
»	V	<u>1</u>	
		<u>4</u>	(Suisse)

Neutrophile préférant et basiphile.

P. MUTICA Vent., 2 exempl. *Substrats* : Murs et blocs calcaires.

<i>Alcaline</i>	III	<u>1</u>	
»	IV	<u>1</u>	
		<u>2</u>	(Suisse, Trentin)

Basiphile.

P. COMMUTATA Limpr, 1 exempl. *Substrat* : terre argileuse, ferrugineuse. — *Alcaline* IV. (Alpes Maritimes). — **Basiphile.**

P. HEIMII (Hw.), 6 exempl. *Substrat* : Terre sablonneuse, calcaire, humus.

<i>Acide</i>	I	<u>1</u>	
»	II	<u>1</u>	
		<u>2</u>	(France, Ecosse)
<i>Alcaline</i>	III	<u>2</u>	
»	IV	<u>2</u>	
		<u>4</u>	(France, Norvège)

Indifférent ou basiphile préférant.

Le substrat présentait à l'analyse des traces de Cl chez un seul des six exemplaires examinés.

P. LATIFOLIA (Schwægr.), 20 exempl. *Substrat* : Terreau noir des sommets, sol argileux, dolomitique, calcaire, etc.

<i>Acide</i>	I	4	
»	II	1	
		<u>5</u>	(Suisse, Tatra)
<i>Neutre</i>	—	3	(Suisse, Norvège)
<i>Alcaline</i>	I	5	
»	II	2	
»	III	2	
»	IV	2	
»	V	1	
		<u>12</u>	(Suisse, Norvège)

Indifférent, préfère cependant les substrats faiblement alcalins.

Lausanne, avril 1919.

