

L E

TUF HUMIQUE OU ORTSTEIN

AUX POINTS DE VUE GÉOLOGIQUE ET FORESTIER.

PAR

Robert BRADFER (1)

Ingénieur agricole et forestier,
Garde général adjoint des Eaux et Forêts.

AVERTISSEMENT.

Le travail que nous avons l'honneur de soumettre à la bienveillante appréciation des géologues, s'adresse essentiellement aux sylviculteurs et aux agronomes. C'est pourquoi nous avons considéré l'expression « tuf », non pas dans son sens ordinaire géologique, mais bien dans le sens, très différent, généralement adopté par les agronomes. Pour ce motif, nous ne faisons aucune allusion aux tufs volcaniques, aux tufs calcaires des sources; nous donnons ici le nom de « tufs » à des roches formées sur place, mais que les géologues n'ont point l'habitude de considérer comme des tufs, telles, par exemple, que les grès diestiens, bruxelliens, etc.

Nous avons surtout étudié en détail « le tuf humique ou ortstein », banc qui, par sa dureté, sa continuité, son voisinage de la surface du sol, présente de grands obstacles à la végétation, surtout forestière, mais en nous plaçant, nous le répétons, au point de vue agronomique.

Il nous a semblé, cependant, que la question pourrait peut-être intéresser les géologues, le tuf humique étant une couche qui continue encore à se former de nos jours.

(1) Ce travail a été développé comme thèse devant le Jury chargé de délivrer le diplôme d'ingénieur forestier après la quatrième année, section des eaux et forêts, à l'Institut agricole de Gembloux. (Août 1902.)

Notre tâche a été facilitée par les savants conseils de MM. Stainier et Marcas, professeurs à l'Institut, à qui nous exprimons toute notre reconnaissance. Nous remercions également M. Dubois, garde général des Eaux et Forêts à Hasselt, qui nous a accompagné et nous a assisté dans les sondages.

On en a exploité dans la forêt de Soignes comme minerai de fer, et en Campine dans le Scaldisien. A l'étranger, il est bien connu dans les Landes, dans les sables de Fontainebleau (1). Lorsque ce tuf est superficiel, continu, compact, il présente un obstacle insurmontable à la pénétration des racines, surtout à celles des arbres forestiers.

2° Le *tuf humique* ou *ortstein*, formé par des grains de sable cimentés par des matières organiques. Nous en parlerons en détail dans la deuxième partie de ce travail.

3° Le *tuf calcaire*, consistant en un banc blanchâtre, poreux, léger, formé par des grains de sable, des fragments de coquillages, cimentés par du calcaire. Il existerait en Belgique dans les dunes maritimes. Voici comment il se formerait : les eaux acidules (2) filtrent à travers le sable, y dissolvent le calcaire, qui s'y trouve sous forme de débris de coquillages, et arrivent au contact de la nappe aquifère, où se forme le tuf, dans la zone de balancement (?) (3). La nappe aquifère suit à peu près les ondulations du sol. Ces ondulations étant fortes dans les dunes, il en résulte qu'au centre le tuf se trouve à une profondeur de 10, 15, 20 mètres ; sur les bords et dans les intervalles interdunaux, il est très près de la surface. Comme il est continu et résistant, il peut, quand il est superficiel, jouer un rôle néfaste sur la végétation forestière, empêcher la pénétration des racines, l'ascension de l'eau par capillarité, et, dans ce cas, il est nuisible, quelle que soit sa profondeur (4).

4° Le *tuf gypseux*. On le trouve surtout dans les régions désertiques, au Sahara, au Pérou, en Bolivie, en Californie, au Mexique. On peut le diviser en deux catégories : 1° le tuf profond ; 2° le tuf superficiel.

Le premier est formé de sable souvent un peu argileux, cimenté par du gypse. Il est blanc, moyennement cohérent, d'épaisseur très

(1) Une analyse d'alias de la forêt de Fontainebleau n'indique que 2 % de fer.

(2) Eaux pluviales chargées d'anhydride carbonique.

(3) On nomme zone de balancement des nappes aquifères, l'espace compris entre le niveau maximum et le niveau minimum de la nappe :

Niveau maximum.

Niveau minimum.

} Zone de
balancement.

Nappe aquifère.

(4) STAINIÈR, *Cours de Géologie* de quatrième année de sylviculture, à l'Institut de Gembloux, et *Monographie agricole de la région des dunes*, p. 40.

variable. Il se nomme « gassi » au Sahara. Les eaux pluviales, en descendant, entraînent le gypse disséminé dans le sable. Celui-ci vient se déposer au contact de la nappe aquifère, dit-on, tout en y cimentant les grains de sable. Il se forme un banc assez continu, mais local. Le gassi se trouve le plus souvent à une très faible profondeur, 0^m,30, 0^m,50; parfois il est à 5 ou 6 mètres. Dans les oasis, il nuit à la croissance du dattier, en empêchant celui-ci de s'alimenter à la nappe aquifère.

Le deuxième se forme à la surface du sol dans les déserts, surtout dans les parties argileuses. Il atteint 0^m,10, 0^m,20, 0^m,50 d'épaisseur. Il est constitué par du sable argileux aggloméré par du gypse. Dans d'autres cas, à la surface des terrains caillouteux, les cailloux sont cimentés en un véritable poudingue superficiel à ciment calcaro-gypseux.

Ce tuf est de formation récente, tandis que le précédent est de formation ancienne. Le *premier* est témoin d'une période pendant laquelle le désert recevait d'abondantes précipitations pluviales. Il devait donc se former en profondeur. Au contraire, le *deuxième* provient de ce que le climat actuel du Sahara est extrêmement sec, de ce qu'il y a excès d'évaporation sur les précipitations. Dans ces conditions, l'eau des nappes aquifères remonte presque continuellement par capillarité vers la surface. En montant, elle entraîne avec elle les matières solubles, qui viennent se précipiter à la surface. Ce banc formé, ne se redissout plus ou presque plus. En effet, ces masses sont solides et volumineuses, et l'attaque par les eaux pluviales est rendue difficile; l'eau de pluie pour les dissoudre n'a à sa disposition, lorsqu'elle arrive sur le sol, que l'anhydride carbonique de l'air, tandis que lorsqu'elle s'y enfonce, elle s'enrichit en gaz carbonique (1), ce qui augmente son pouvoir solubilisant; enfin, il y a excès de précipitation de ces matières par rapport à la dissolution : c'est pourquoi ce tuf continue à s'accroître.

5° Les *tufs latéritiques ou latérites* (2). Dans les régions équatoriales où il pleut beaucoup, on rencontre de vastes étendues de dépôts particuliers connus dans l'Hindoustan, à Java, en Afrique, en Amérique. Dans ces régions, on constate la présence de grands territoires de sols meubles, couleur rouge brique, ayant souvent 10 à 12 mètres d'épais-

(1) L'anhydride carbonique qui se trouve dans le sol provient surtout de la décomposition des matières organiques qui s'y rencontrent.

(2) *Later* en latin signifie *brique*. Ces tufs ont reçu cette dénomination par suite de leur couleur rouge brique.

seur. Ces sols sont abondamment imprégnés de fer, souvent de limonite (fer oxydé hydraté : $\text{Fe}^4\text{O}^9\text{H}^6$), parfois d'oligiste (fer oxydé : Fe^2O^3).

L'origine de ces formations doit être recherchée dans les abondantes précipitations pluviales de ces régions équatoriales, et dans la température très élevée de ces pluies. De plus, celles-ci sont très riches en gaz : en oxygène, et surtout en gaz azoteux. Par conséquent, ces eaux décomposent fortement les roches. Les matières ferrugineuses sont peroxydées et prennent une teinte rouge.

Le mouvement des eaux pluviales y détermine la formation de tufs d'aspect et de situation très variables. Ceux-ci sont toujours superficiels. Tantôt ils sont directement à fleur de terre, sous forme de rochers à aspect scoriacé, caverneux, brun foncé. D'autres fois, ce sont des masses, des cailloux, des plaquettes de minerai de fer, parfois d'une grande pureté, aux formes mamelonnées, jonchant le sol. Dans d'autres cas, ce sont des sables, des graviers ou des cailloux cimentés en une sorte de poudingue ou de grès ferrugineux, formant des bancs plus ou moins considérables.

Ces tufs, plus ou moins superficiels, sont généralement destinés à arriver plus ou moins vite à la surface. L'érosion, si active dans ces régions, entraîne les particules sableuses ou argileuses qui les enveloppent, et ils restent déchaussés et isolés à fleur de terre. En se soudant les uns aux autres, ils forment des rochers. — Ces tufs sont essentiellement superficiels et cependant il pleut beaucoup. Mais, dans ces régions, il y a une saison sèche très continue. C'est pendant cette saison que l'ascension des eaux profondes entraîne le fer disséminé, l'amène à la surface du sol et l'y précipite, l'y dépose, sous forme de roche dure plus ou moins volumineuse. Une fois formées, ces roches ne peuvent plus être dissoutes totalement pendant la saison pluvieuse. Quant aux blocs enfouis plus ou moins profondément, il est probable qu'ils sont dus à un commencement de formation de tuf profond, qui se produirait pendant les saisons intermédiaires.

II. — Question proprement dite.

Nous allons parler maintenant des excursions que nous avons faites dans le cantonnement forestier de Hasselt et des endroits où nous avons rencontré le tuf humique.

Partout où ce banc se rencontre, aussi bien en Campine qu'à Villers-

la-Ville (1), on trouve la succession des couches suivantes (fig. 1) (2) :

1° La couche végétale couverte de bruyère, formée d'un sable blanchâtre et de matières organiques. Elle a une couleur gris foncé;

2° La couche de sable gris, ne différant de la précédente que par sa couleur plus claire et par une plus faible teneur en matières organiques;

3° Le tuf humique ou ortstein;

4° Le sable jaune.

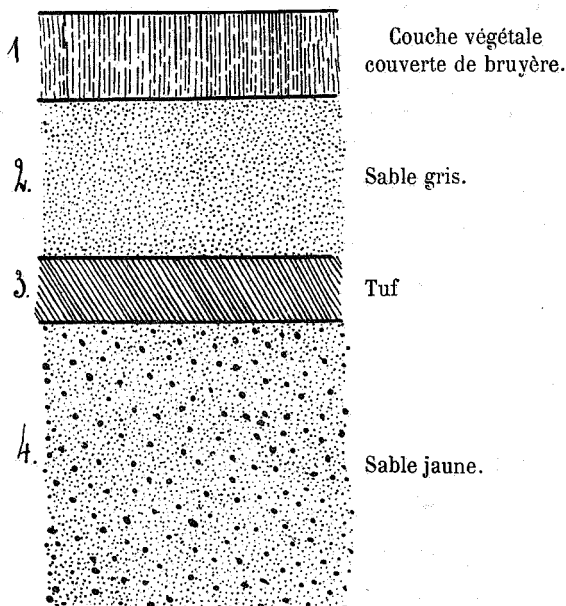


FIG. 1.

Il y a ici un fait frappant : c'est que le tuf humique se rencontre toujours au contact du sable jaune.

(1) Faisons remarquer qu'à Villers-la-Ville, dans la propriété de M. Boël, où existe le Bruxellien, nous trouvons également du tuf humique, exactement comme dans le cantonnement de Hasselt. L'alternance des couches est identique à celle que nous signalons pour la Campine.

(2) Dans les figures 1, 3, 4, 6, 7, nous n'avons pas représenté de la même façon le sable jaune et le sable gris. Toutefois la différenciation matérielle des figurés du sable jaune et du sable gris n'est pas une différenciation dans la nature lithologique, mais simplement dans la couleur.

Sur la carte de la figure 2 se trouve indiqué, par des pointillés et des flèches, le chemin que nous avons suivi, afin de rechercher la présence du tuf et l'épaisseur des diverses couches :

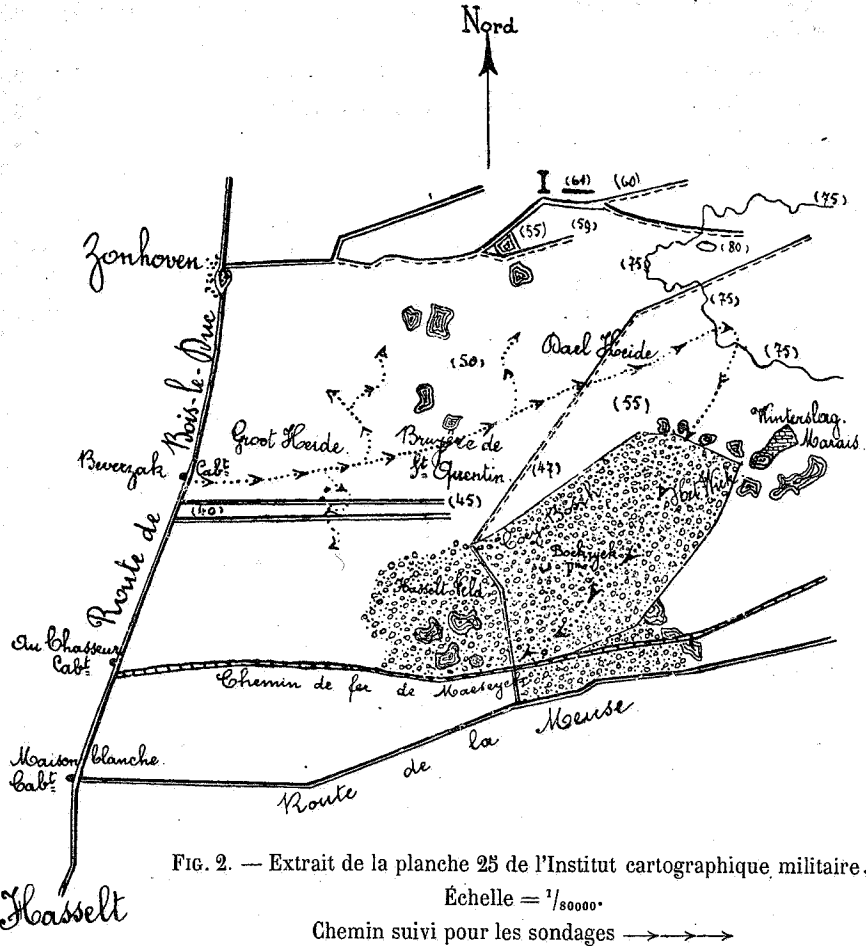


FIG. 2. — Extrait de la planche 25 de l'Institut cartographique militaire.

Échelle = $\frac{1}{80000}$.

Chemin suivi pour les sondages → → →

Voici la moyenne obtenue :

1° COUCHE VÉGÉTALE COUVERTE DE BRUYÈRE.	2° SABLE GRIS.	3° TUF.	4° SABLE JAUNE.
0 ^m ,08	0 ^m ,15	0 ^m ,06	Sous le tuf.

L'endroit où nous avons rencontré le tuf à la plus grande profondeur se trouve sur la crête de partage de la Meuse et de l'Escaut, à la cote 75. Il était à 0^m,60, mais toujours au contact du sable jaune. Cependant, en moyenne, il ne dépasse pas en cet endroit 0^m,25 à 0^m,50.

La ligne marquée I sur la figure 2 représente une longueur de 100 mètres, orientée de l'Ouest à l'Est, suivant laquelle, tous les 5 mètres, nous avons fait des trous de sondage pour mesurer l'épaisseur des diverses couches. Nous avons obtenu :

	COUCHE VÉGÉTALE.	SABLE GRIS.	TUF.	SABLE JAUNE.
N ^o 1	0 ^m ,05	0 ^m ,10	0 ^m ,03	Sous le tuf.
» 2	0,02	0,10	0,06	
» 3	0,08	0,10	0,06	
» 4	0,02	0,11	0,06	
» 5	0,02	0,13	0,08	
» 6	0,03	0,15	0,08	
» 7	0,08	0,18	0,05	
» 8	0,04	0,15	0,06	
» 9	0,07	0,17	0,06	
» 10	0,08	0,12	0,06	
» 11	0,04	0,12	0,06	
» 12	0,08	0,15	0,06	
» 13	0,08	0,15	0,06	
» 14	0,07	0,12	0,06	
» 15	0,11	0,11	0,06	
» 16	0,11	0,11	0,06	
» 17	0,11	0,11	0,07	
» 18	0,10	0,18	0,06	
» 19	0,09	0,18	0,06	
» 20	0,08	0,12	0,06	

La figure 3 représente l'allure des diverses couches suivant cette longueur. La différence de niveau d'un bout à l'autre est environ 6 mètres.

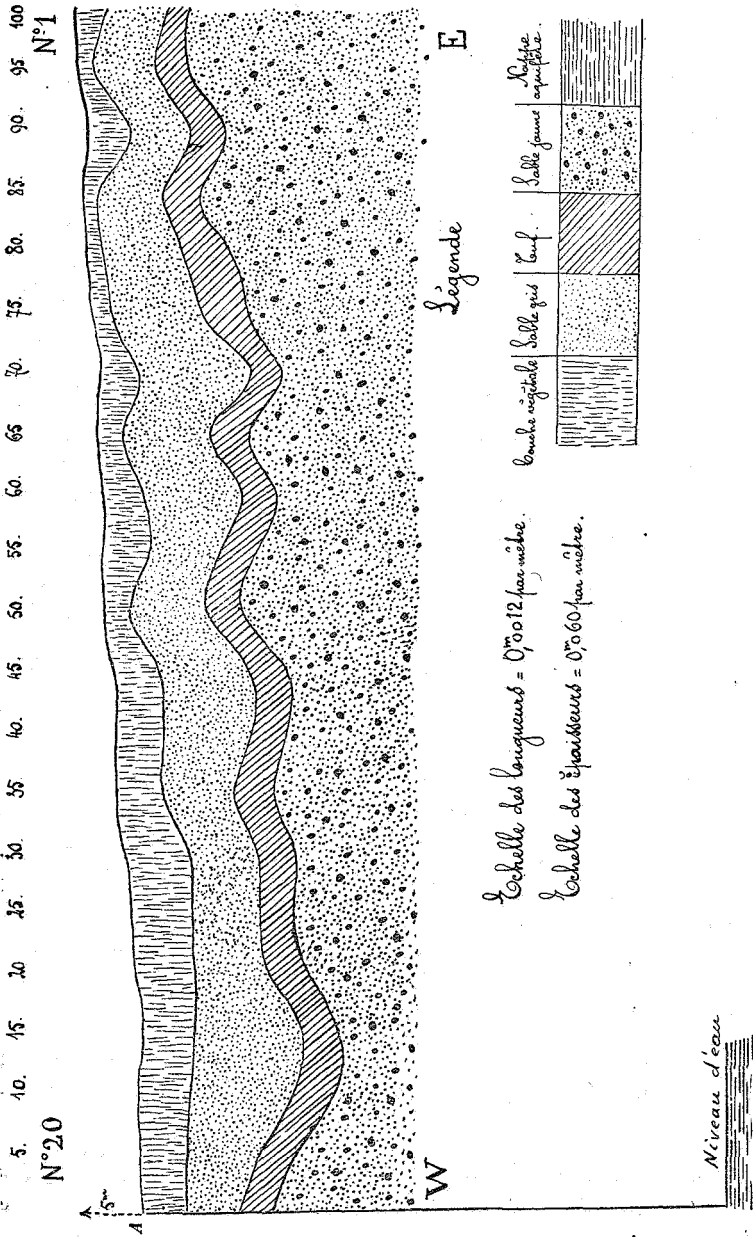


FIG. 3.

Si l'on examine attentivement cette coupe, on voit que toutes les ondulations que fait le banc de tuf sont celles du sable jaune, de la couche supérieure de sable gris et également de la partie superficielle du sol. Il est donc certain que, dans cette formation, une grande place doit être attribuée aux phénomènes d'altération des roches et aux phénomènes d'infiltration (1).

En effet, il est probable que, primitivement, toute l'épaisseur de la couche n'était que du sable jaune, c'est-à-dire ferrugineux. Mais la richesse en fer devait varier d'un point à l'autre; de même le tassement devait être différent d'un endroit à l'autre.

Dans la coupe (figure 3), nous remarquons des ondulations dans toutes les couches superposées. On peut se les expliquer ainsi : là où le tuf est plus bas et forme cuvette, celle-ci est répétée dans le sable gris et la couche végétale. L'eau, en tombant, s'est donc accumulée dans ces dépressions de la partie superficielle du sol; en descendant dans la terre, elle y a produit un lavage beaucoup plus énergique que dans les endroits voisins où n'existaient pas ces dépressions. De là nous concluons :

1° Que l'eau a entraîné plus profondément les matières dissoutes;

2° Que dans ces endroits il se peut aussi que le sable ait été moins tassé. Donc l'infiltration y est devenue d'autant plus facile;

3° Il est également certain que la richesse en fer du sable jaune, comme en tous autres éléments, n'est pas constante dans une même couche. Là où il y avait moins de fer, par exemple, l'eau de pluie chargée d'anhydride carbonique, d'acides humiques et ulmiques provenant de la couche végétale, pouvait donc entraîner plus bas les matériaux qu'elle avait dissous.

Ce qui sert encore à prouver ces faits, c'est la coupe représentée dans la figure 4, dont la disposition se rencontre très fréquemment. On voit que le tuf se présente sous forme de poches ressemblant aux poches phosphatées. L'infiltration des matières entraînées par la pluie a donc été plus forte dans ces endroits que dans les parties voisines, et cela pour les raisons que nous avons données plus haut.

Avant de répondre aux trois questions que nous nous sommes posé dans le sommaire, voyons, en quelques mots, ce que c'est que l'ortstein ou tuf humique : il résulte de la cimentation de grains de sable ferru-

(1) VAN DEN BROECK, *Mémoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels par l'infiltration des eaux météoriques*, 1881, pp. 35 à 53, surtout pp. 49 et 50 pour ce qui concerne l'alios.

gineux par des matières organiques, donnant naissance à un banc continu, compact, imperméable, peu profond généralement. Il se forme surtout dans les plaines basses et humides. Il est brun-noir, et ressemble même à l'aliôs à cause du fer qu'il contient et qui lui communique une teinte rougeâtre (1).

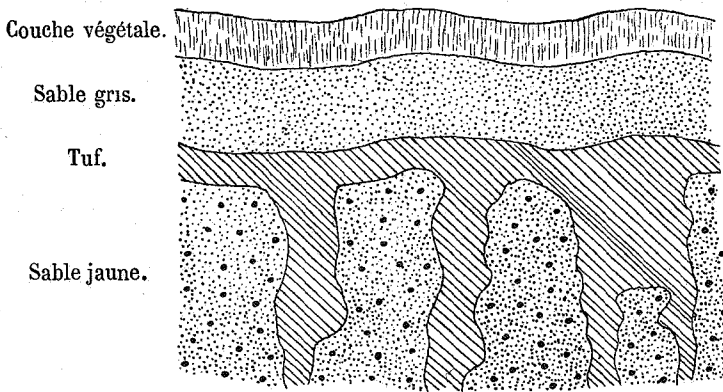


FIG. 4.

A cause de ce fait, d'être continu, compact, peu profond et en général imperméable, le tuf humique nuit à la végétation forestière. De plus, il joue un autre rôle : il retient les eaux à sa surface et provoque ainsi un état marécageux du sol.

1° LE TUF HUMIQUE SE FORME-T-IL DANS LA ZONE DE BALANCEMENT DES NAPPES AQUIFÈRES ?

S'il se forme, comme on le dit, dans la zone de balancement, il doit avoir une épaisseur moindre dans les grandes plaines que dans les collines, parce que, dans les grandes plaines, les nappes aquifères ne présentent pas d'aussi grandes oscillations que dans les parties élevées. Or, dans toutes les mesures que nous avons prises, il présentait partout la même épaisseur et souvent même le banc était plus épais en plaines qu'en collines.

(1) Les parties supérieures du banc sont plus foncées, plus noires, que les inférieures, qui sont plus rougeâtres par suite d'une teneur un peu moindre en matières organiques.

2° Dans la coupe représentée dans la figure 3, en faisant une tranchée sous le tuf au point le plus bas A, la nappe aquifère se trouvait encore à 0^m,80 sous le tuf. En supposant que ce soit là le point le plus bas de la nappe [les sondages étaient faits en hiver (1)], le tuf devrait donc occuper l'espace compris entre ce point le plus bas et sa partie supérieure, c'est-à-dire qu'il devrait avoir une épaisseur de 0^m,80. Or il n'avait que 0^m,06 à 0^m,08 (2), comme tout le long de la tranchée du reste.

D'ailleurs, une oscillation de 0^m,80 dans les sables de la Campine serait énorme, puisque la moyenne d'eau tombée n'y est que de 0^m,70.

3° Si le tuf se forme dans la zone de balancement, comment expliquer la figure 4, c'est-à-dire la formation de poches? En oscillant, la nappe ne peut faire toutes ces sinuosités en vertu des lois de l'équilibre.

4° Pourquoi, dans les sondages faits sur les points les plus élevés de cette région, avons-nous trouvé le tuf humique à la même profondeur (parfois plus profond cependant) que dans les plaines? Sans doute, la nappe aquifère suit à peu près les ondulations du sol. Mais la zone de balancement devrait y être très grande si le tuf s'y formait réellement, puisqu'il se trouve très près de la surface. De plus, la couche de tuf devrait y être très épaisse. Or, c'est à peine s'il y avait 0^m,06.

Donc l'ortstein ne se forme pas dans la zone de balancement.

2° COMMENT SE FORME L'ORTSTEIN?

Pour résoudre cette question, nous avons eu recours : α . à l'analyse chimique des diverses couches, ce qui nous a permis de donner au sujet de cette formation une explication théorique; ensuite, β . nous avons soumis celle-ci au contrôle de l'expérience.

α . Analyses.

Nous avons fait de nombreuses analyses des différentes couches et voici les résultats obtenus. Ils portent sur des échantillons moyens. (Nous avons suivi les méthodes conventionnelles pour l'analyse des terres.)

(1) Voir page 269 ce que nous avons dit concernant la zone de balancement. Ce serait en hiver que les nappes aquifères seraient le plus basses.

(2) Tableau p. 274.

	COUCHE VÉGÉTALE.	SABLE GRIS.	TUF.	SABLE JAUNE.
Eau	8.55 %	1.4 %	3.9 %	0.99 %
Matières organiques . . .	4.56	1.31	3.5 à 4.3	Pas de radicelles. 0.
Azote total	0.1626	0.089	0 07209	Traces.
Azote ammoniacal.	Traces.	Traces.	Traces.	Traces.
Azote nitrique	Traces.	Traces.	Traces.	Traces.
Chlore	0.0029	0 002	0.002	Traces.
Acide phosphorique total.	0.0061	0.006	0.083	0.009
Oxydes de fer et d'alumine.	0.19	0.085	0.810	0.730
Chaux	0.07	Traces.	0.17	Traces.
Acide sulfurique (Sulfates)	0.0626	0.062	0 069	Traces.
Potasse	0.01	0.01	0.02	0 03
Silice totale	94 à 95	96 à 98	95 à 96	96 à 98

Quelles conclusions tirer de ces analyses?

1° Nous voyons que c'est à juste titre que le tuf a été nommé « la caisse d'épargne de la bruyère ». En effet, il renferme une grande proportion d'acide phosphorique. Aussi, depuis longtemps, les cultivateurs allemands l'ont-ils employé, après pulvérisation, pour le répandre sur leurs champs.

Il est également riche en chaux et en potasse. En somme, c'est dans ce banc que sont venus se localiser les principes fertilisants enlevés aux autres couches par les eaux pluviales.

2° La couche végétale est pauvre si nous la comparons au tuf. Et il faut bien noter que si nous lui trouvons à l'analyse une richesse relative en chaux, ceci est dû surtout aux nombreuses racines de bruyère, aux débris végétaux qu'elle contient.

3° Quant au sable gris, c'est une couche stérile. Elle est constituée, en majeure partie, par de la silice pure, colorée en gris par un peu de matière organique. Aussi, lorsque l'on calcine du sable gris pour rechercher la matière organique, il ne reste que du sable blanc dans la capsule en platine.

Remarquons aussi sa faible teneur en fer et alumine, ainsi que celle de la couche végétale dans les mêmes éléments. Ce fait est très important pour se rendre compte du mode de formation du tuf.

4° Le sable jaune se caractérise par sa grande richesse en oxydes de fer et d'alumine, mais surtout en fer (1).

Aussi pouvons-nous tirer les importantes conclusions suivantes, expliquant la formation de l'ortstein : Nous voyons que la couche végétale est très riche en matières organiques et que le tuf en renferme à peu près la même proportion. Elle a une réaction acide, par suite de la présence de la bruyère et de la pauvreté de cette zone en corps neutralisants : chaux, potasse, fer, alumine. De plus, ces terrains sont souvent en plaines basses, humides, marécageuses, fréquemment recouvertes d'eau. Dans ces conditions, il ne peut se former que du terreau acide. Quand il pleut, l'eau entraîne avec elle les acides organiques qui se sont formés, ainsi que de fines particules d'humus que l'on retrouve dans le tuf. Ne rencontrant dans la couche végétale et le sable gris qu'une très faible proportion de chaux, de potasse, de fer, il est évident que cette solution acide va les dissoudre et les entraîner avec elle (2), et qu'elle ne sera pas neutralisée. Mais elle arrive au contact du sable jaune, très riche en fer. Naturellement, il va se produire une précipitation des acides organiques, c'est-à-dire une neutralisation de ceux-ci par le fer. Ainsi se forme le tuf humique, et c'est ce qui explique : 1° pourquoi on le trouve toujours au contact du sable jaune ; 2° pourquoi il est aussi riche et même un peu plus riche en fer que celui-ci.

En résumé donc, nous avons une solution d'acides organiques qui descendent dans le sol et ne se précipitent que lorsqu'ils rencontrent un corps neutralisant, c'est-à-dire le fer.

Maintenant, on peut se demander pourquoi la couche végétale et le sable gris sont si pauvres en chaux, potasse, fer. Nous nous l'expliquons de deux façons :

1° Sur ces terrains, en général bas, couverts de bruyères, souvent inondés, il ne peut se former que du terreau acide. Petit à petit donc, il s'est produit une dissolution et un entraînement de ces bases en profondeur, et ces couches ont perdu leur richesse primitive.

2° Le tuf humique ne serait-il pas un banc mobile, c'est-à-dire ne

(1) Dans les 0.810. % attribués aux oxydes de fer et d'alumine dans le tableau d'analyses, la plus grande part revient à l'oxyde de fer.

(2) En effet, ces éléments : chaux, potasse, fer, etc., sont en trop faible quantité pour précipiter les acides qui sont surabondants. Ils seront donc dissous par eux. D'autre part, un acide ne peut exister à l'état libre en profondeur.

descendrait-il pas petit à petit en profondeur? Il est probable, en effet, que primitivement tout le sable était jaune, c'est-à-dire ferrugineux. Par suite du lavage des eaux pluviales et de la grande facilité de pénétration qu'elles ont dans ces sols, le fer aura été entraîné en profondeur, ainsi que les autres bases; et actuellement ce lavage doit continuer, puisque l'eau de pluie chargée d'acides traverse toute la couche végétale et le sable gris, où elle ne rencontre qu'une proportion insuffisante de corps neutralisants. Elle arrive alors avec toute sa force solubilisatrice jusqu'au contact du tuf, et redissout, par exemple, du fer, de la chaux. Mais la solution ainsi formée rencontrant de nouveau en dessous le fer des parties inférieures du banc de tuf et de la couche de sable jaune, il se reproduit une précipitation des acides organiques et de tout ce qu'ils tenaient en suspension.

Pour résoudre la question, il faudrait examiner la profondeur à laquelle se trouve actuellement un banc de tuf, puis mesurer derechef cette profondeur dans quinze ou vingt ans, car cette descente, si elle existe, est très lente.

Ce qui nous fait émettre cette idée, c'est que depuis que l'on parle du tuf humique, on lui donne toujours la même épaisseur : 0^m,06 à 0^m,10 (sauf naturellement dans les endroits où il forme des poches). Or, il est évident que puisqu'il continue à se former de nos jours, puisque, d'autre part, il y a continuellement arrivée d'acides organiques, ceux-ci, venant se précipiter, devraient épaissir le banc (1).

β. *Expériences* (2).

I. Nous avons pris une série de neuf tubes disposés en batterie, fermés à la partie inférieure par un bouchon percé d'une petite ouverture pour permettre à l'eau de s'écouler. Celle-ci était reçue dans un vase de verre. L'eau du vase représentait la nappe aquifère.

(1) Nous avons vu que le tuf humique est très riche en acide phosphorique. A ce propos, voici une expérience que nous avons faite au laboratoire : Dans un tube ouvert aux deux extrémités, nous avons mis une certaine quantité de la terre végétale des bruyères de Campine et nous avons lavé : 1^o avec de l'eau de pluie : celle-ci a coulé complètement blanche au bas du tube; 2^o ajoutant du phosphate de soude à l'eau de pluie, il s'est écoulé un liquide complètement noir; 3^o renouvelant l'expérience dans le même tube avec de l'eau additionnée de citrate ammonique, il y a eu de nouveau écoulement d'un liquide noir. On peut donc se demander si l'acide phosphorique n'a pas joué un grand rôle dans la formation du tuf, en favorisant la descente des acides organiques.

(2) M. Marcas, professeur de chimie à l'Institut agricole de Gembloux, a contrôlé toutes ces expériences.

L'arrosage se faisait par le dessus, à l'aide de ballons disposés de façon à ne laisser tomber l'eau que goutte à goutte (trois ou quatre gouttes par minute) pour imiter la pluie (fig. 5).

Voici ce que contenaient les différents tubes (en allant de gauche à droite).

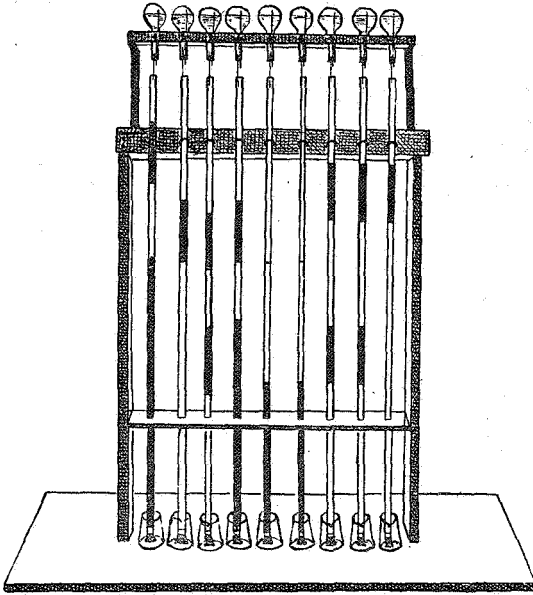


FIG. 5.

1^{er} tube. Au bas, sable jaune sur une épaisseur de 0^m,50. Au-dessus, 0^m,15 de sable gris. Au-dessus, 0^m,08 de couche végétale. Ce tube réalisait les conditions naturelles. Il a été arrosé avec de l'eau de pluie, en quantité égale à celle qui tombe pendant cinq ou six ans en Campine. (Comme tous les autres tubes.)

2^e tube. A la partie inférieure, du sable gris sur une hauteur de 0^m,50. Au-dessus, 0^m,08 de couche végétale. Arrosé avec de l'eau de pluie. C'était un tube témoin du premier.

3^e tube. Sable gris à la partie inférieure : 0^m,20. Au-dessus, un mélange de sable gris et de colcotar, 0^m,10 (1). Au-dessus, 0^m,15 de sable gris. Enfin 0^m,08 de couche végétale. Arrosage à l'eau de pluie.

4^e tube. Au-dessous, 0^m,30 de sable jaune. Au-dessus, 0^m,10 de sable gris mélangé à du colcotar. Au-dessus, 0^m,10 de sable gris mélangé à

(1) Le colcotar (Fe_2O_3) est du sesquioxyde de fer obtenu par calcination du sulfate ferreux.

du phosphate de chaux. Enfin, 0^m,08 de couche végétale. Arrosage avec eau de pluie.

5^e tube. 0^m,50 de sable jaune. 0^m,20 de sable gris au-dessus. Pas de couche végétale, mais arrosage avec eau de lavage du tuf, c'est-à-dire avec une eau riche en matières organiques.

6^e tube. Les mêmes couches lavées avec de l'eau de lavage de sable gris, additionnée de phosphate de soude.

7^e tube. 0^m,50 de sable pur blanc. Au-dessus, 0^m,10 d'un mélange de sable pur et de phosphate ferrique. Au-dessus, 0^m,20 de sable pur ; 0^m,08 de couche végétale. Lavage à l'eau de pluie.

8^e tube. 0^m,50 de sable blanc. 0^m,10 d'un mélange de sable blanc et de colcotar. 0^m,20 de sable blanc. 0^m,08 de couche végétale. Arrosage avec eau de pluie.

9^e tube. 0^m,60 de sable blanc. 0^m,08 de couche végétale. Lavage à l'eau de pluie.

Buts de cette expérience.

Le premier tube représente la succession des couches, telles qu'elles se trouvent là où existe le tuf. Il fallait donc que celui-ci se formât au contact du sable jaune, c'est-à-dire ferrugineux, puisque, théoriquement, nous l'avons vu, le fer est la cause de cette formation.

2^e tube. Le sable jaune a été éliminé, puisque, d'après les analyses, c'est à lui que le tuf doit son origine.

3^e tube. Il avait pour but de montrer que c'était le fer qui jouait le grand rôle.

4^e tube. Bien qu'il y eût du fer dans l'une des couches, la précipitation des acides organiques ne pouvait se faire à cause de la chaux du phosphate de chaux.

5^e tube. Nous y retrouvons à peu près les conditions naturelles. Sans doute, la couche végétale a disparu, mais nous la remplaçons par l'eau de lavage du tuf, c'est-à-dire par une eau chargée d'acides organiques.

6^e tube. Ce tube devait servir à montrer l'entraînement de la matière organique par l'acide phosphorique, qui devait hâter par suite la formation du tuf.

7^e tube. Les deux éléments principaux du tuf ont été réunis.

8^e tube. Nous retrouvons encore le fer.

9^e tube. Il n'y a que de la silice pure; par conséquent, aucun élément ne se trouve là pour précipiter les matières organiques venant du lavage de la couche végétale.

Résultats obtenus.

Dans le premier tube, une zone noirâtre, très nette et très visible, s'est formée au contact du sable jaune. Elle a 1 centimètre d'épaisseur. Il est évident que cette couche contient les éléments du tuf : silice, fer, matières organiques, acide phosphorique, etc. (1). Mais la couche végétale étant très pauvre en acide phosphorique, il est certain que dans l'anneau noir formé, cet élément se trouve en proportion bien inférieure à celle du tuf.

2^e tube. Rien ne s'est formé.

3^e tube. Rien ne s'est formé. Ici, faisons remarquer, ce qui est très important, que le fer dans ce tube se trouvait sous un état très différent de celui que l'on rencontre dans le sable jaune de Campine. De plus, par suite du petit diamètre des tubes, il y avait un écoulement trop rapide de l'eau de lavage, qui ne se chargeait donc pas bien de matières organiques. D'autre part, l'expérience peut réussir en la continuant. En effet, ce n'est pas en quatre mois qu'il est possible de faire ce que la nature fait en trente, quarante ans et plus.

4^e tube. Rien ne s'est formé.

5^e tube. Rien ne s'est formé et nous l'expliquons par l'observation faite pour le 3^e tube.

6^e tube. Il s'est formé un anneau très foncé et de plusieurs centimètres d'épaisseur, au contact du sable jaune. En continuant le lavage, il s'est produit au bas du tube un écoulement de liquide complètement noir et un entraînement de matières organiques, ce que nous attribuons à la présence du phosphate de soude dans l'eau de lavage.

7^e tube. Un ruban noir très visible, de quelques millimètres d'épaisseur, s'est formé dans la couche contenant le phosphate ferrique.

8^e tube. Rien ne s'est formé.

9^e tube. Rien ne s'est formé.

II. Ces résultats n'étant pas assez convaincants, nous avons entrepris une autre expérience, qui a été tout à fait concluante. Dans une éprouvette (fig. 6), nous avons mis :

1^o Au fond, une couche de sable jaune de Campine;

2^o Au-dessus, du sable gris;

3^o Au-dessus, la couche végétale.

(1) Les formations que nous considérons comme le tuf, dans nos expériences, seront analysées dès que celles-ci seront terminées.

Nous avons alors arrosé avec de l'eau de tourbière (1). Il n'y avait ici aucun écoulement, mais un contact prolongé de l'eau avec les diverses couches. Cette eau, déjà riche en acides organiques, en a encore repris à la couche végétale. Aussi, au contact du sable jaune, s'est-il formé une couche de 1 centimètre d'épaisseur, noir rougeâtre, que nous considérons comme le tuf et qui sera analysée.

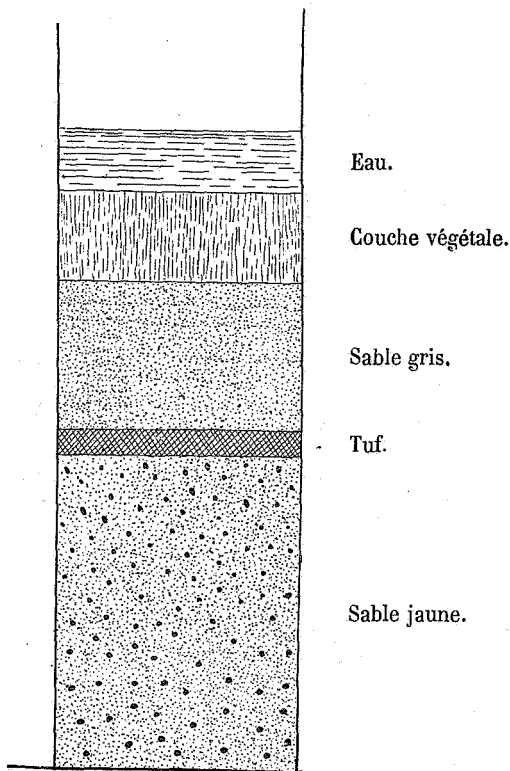


FIG. 6.

III. Nous avons renouvelé cette expérience. Pour cela, nous avons remplacé les mêmes couches également dans une large éprouvette (fig. 7) de 0^m,30 de haut et 0^m,10 de diamètre. Le sable jaune a été tassé irrégulièrement. L'arrosage s'est fait comme dans la seconde expérience, en ajoutant quelques gouttes de phosphate de soude à l'eau de lavage. Au début, il s'est produit une décoloration de la partie supérieure du sable jaune et de petites poches. Puis la zone s'est foncée de plus en plus et est devenue brunâtre.

(1) Filtrée pour enlever toute particule solide.

IV. Dans une éprouvette semblable, nous avons mis une hauteur de 0^m,20 environ d'eau de tourbière préalablement filtrée. Puis nous avons versé quelques centimètres cubes de perchlorure de fer très limpide. Il s'est formé un abondant précipité ferrugineux, rougeâtre.

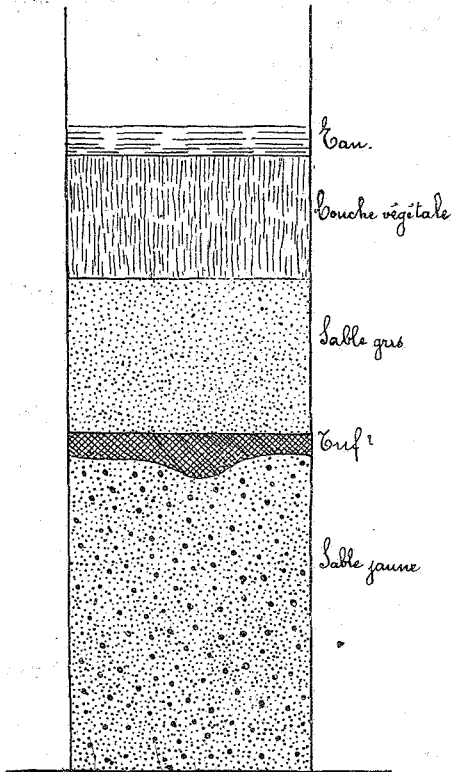


FIG. 7.

CONCLUSION. — Donc, d'après nos explications théoriques et nos expériences, la formation de l'ortstein est due à la présence du fer dans le sable jaune surtout; d'autre part, aux acides organiques venant du lavage des couches supérieures.

III. — Remèdes à apporter pour combattre le tuf.

1° De ce qui précède, il ressort que cette formation est due à la trop grande acidité du terrain et à l'absence absolue, dans les couches supérieures, de corps neutralisants, tels que la chaux, la potasse. Par conséquent, le premier remède à apporter, c'est l'assainissement du sol. L'as-

sainissement a pour but de débarrasser la couche superficielle de son excès d'humidité.

Les canaux d'assainissement, creusés dans le sens de la déclivité du sol, et distants les uns des autres de 4 ou 5 mètres, seront plus ou moins profonds, suivant que la couche de tuf sera plus ou moins éloignée de la surface.

Leur grand avantage, c'est d'éviter la stagnation de l'eau qui provoque la formation d'un terreau acide (1); de plus, ils favorisent énormément la végétation forestière. D'autre part, le tuf jouant souvent le rôle de couche imperméable, en creusant des fossés dont le fond se trouvera plus bas que la partie inférieure du banc, on y accumulera presque toutes les eaux et on fera disparaître l'état marécageux du sol. Enfin, les eaux, n'ayant plus qu'un très court contact avec la couche végétale, ne pourront plus se charger d'acides organiques.

2° Les engrais chimiques ont un grand rôle à jouer dans les reboisements de la Campine, surtout les scories, le phosphate minéral et la chaux, et même les engrais potassiques. Si la chaux existait dans les sols des régions à ortstein, on n'aurait pas à redouter la descente en profondeur des acides organiques, puisqu'ils trouveraient immédiatement un neutralisant. De plus, pour mettre en valeur ces sols, il faut absolument leur rendre les éléments qu'ils ne possèdent plus.

3° Le défoncement du tuf sera un excellent remède. Si l'on se reporte au tableau donné précédemment (pages 273 et 274), on constate que le tuf se trouve presque partout à une faible profondeur. Si nous le ramenons à la surface, il va se déliter et rendre au sol tous les éléments qu'il lui a pris, surtout l'acide phosphorique. En brisant cette couche et en la ramenant à la surface, nous allons permettre aux racines des végétaux de se développer librement. Remarquons que dans les sols fortement en pente, il faudra se borner à défoncer simplement par bandes, comme on l'a d'ailleurs fait dans certains bois communaux d'Eygen-Bilsen. Là, le défoncement s'est fait sur des bandes de 0^m,40 à 0^m,50 de largeur, alternant avec des bandes incultes de 0^m,60, avec application de 1 000 à 1 200 kilogrammes de scories, 5 à 400 kilogrammes de kaïnite (2) à l'hectare.

Quant à la bruyère qui se trouve à la surface de ces sols, il faudra

(1) La matière organique, en se décomposant sous l'eau, c'est-à-dire à l'abri de l'oxygène de l'air, donne naissance à du terreau acide.

(2) La kaïnite est un sulfate double de potasse et de magnésie hydraté, renfermant aussi du chlorure de magnésie (SO^4K^2 , SO^4Mg , MgCl^2 , 6 aqua). On l'emploie comme engrais potassique.

éviter de l'enfouir, car elle ne se décomposerait pas. De plus, elle soulève le sol et le dessèche, et quand les racines d'un arbre arrivent à son contact, elles en souffrent énormément. Il serait préférable de l'incinérer à la surface.

4° Le *reboisement* sera un des meilleurs remèdes. Il ne faudra pas reboiser exclusivement en résineux, car leur litière, en se décomposant, donne un terreau acide. Mais on fera des mélanges de résineux et de feuillus. Ceux-ci donneront une litière qui viendra tempérer l'acidité de celle des résineux.

Comme essences résineuses, nous avons le *pin sylvestre*, le *laricio de Corse*, le *pin maritime*, le *pin de Bank*, le *Weymouth*, le *mélèze*; peut-être un peu de *sapin argenté*.

Comme essences feuillues, il faudra, au principe, en choisir qui conviennent à ces sols pauvres. Ces essences auront le couvert épais pour protéger convenablement le sol contre la sécheresse et pouvoir vivre sous le couvert des pins que l'on installera en premier lieu. Les essences à conseiller sont : le *charme* s'il peut venir; le *coudrier* pour les parties argileuses et humides, le *saule marsault*, le *chêne d'Amérique*, le *châtaignier* qui, comme le précédent, supporte le couvert et donne une litière excellente et abondante; le *Prunus serotina*, qui donne un bon terreau, est résistant dans cette région et rejette bien de souche.

5° *Après assainissement et défoncement, une bonne pratique consisterait en une culture agricole.* Un bon assolement à adopter serait le suivant : 1^{re} année, lupin à enfouir en août; 2^e année, pomme de terre; 3^e année, seigle ou avoine avec chaulage (1). Le lupin est appelé à donner de bons résultats en Campine. En effet, c'est une plante à racines profondes, qui s'étendra au loin dans le sol pour y chercher sa nourriture. Enfoui, il constituera une masse de matière verte, qui, en se décomposant, nous donnera un bon humus doux. Celui-ci rendra de la cohésion au sable et sera une source de fraîcheur. De plus, le lupin est une légumineuse, c'est-à-dire une plante fixatrice d'azote. On sèmera 100 à 125 kilogrammes de lupin jaune à l'hectare.

Il sera naturellement avantageux de mettre les engrais appropriés la première année, surtout des engrais potassiques.

Si l'on adopte la rotation donnée plus haut, le chaulage étant de toute première nécessité dans ces terrains, il aura pu être fait après

(1) Dans la propriété du Chenoy (Villers-la-Ville), où nous trouvons le même tuf qu'en Campine, M. l'Inspecteur des Eaux et Forêts Crahay a toujours obtenu d'excellents résultats par l'emploi du lupin enfoui comme engrais vert.

défoncement, ou bien on le fera, moitié après défoncement, moitié sur seigle ou avoine. (Il ne peut se faire sur pomme de terre.)

Si la rotation de trois ans est trop longue, on peut mettre le seigle après le lupin. Après la coupe de la céréale, il n'est pas nécessaire d'enfouir le chaume. On reboise directement dans celui-ci.

3° HISTORIQUE DE LA QUESTION.

1^{re} hypothèse. L'eau de pluie, chargée d'anhydride carbonique, en pénétrant dans le sol, dissout des matières solubles qu'elle y rencontre et les entraîne avec elle. Arrivée au contact de la nappe aquifère, elle y précipite, dit-on, les matières dissoutes et ainsi se forme le tuf. Dans cette hypothèse, on suppose d'abord que les nappes aquifères sont immobiles, ce qui n'est pas, et que les matières ferrugineuses ou autres, continuellement amenées, se concentrent. La solution se sature et les matières solubles se précipitent au contact de la nappe aquifère, ou, comme on le dit, dans la zone de balancement des nappes aquifères (1).

Cette hypothèse n'explique pas le phénomène. Pourquoi y aurait-il concentration de l'eau de la nappe, puisque les nouvelles quantités de liquide qui affluent, si elles amènent des matières dissoutes, amènent aussi du liquide nouveau? On ne comprend pas où s'en irait l'eau que suppose la concentration invoquée. Elle ne peut disparaître que par les sources d'un côté, l'évaporation superficielle de l'autre. Si elle s'en va par les sources, pourquoi n'entraîne-t-elle pas avec elle le fer ou les matières solubles?

Quant à l'évaporation capillaire, il en est de même. Si, en descendant, l'eau était capable d'entraîner les matières solubles à l'état de dissolution, pourquoi, lorsqu'elle remonte, ne peut-elle les ramener avec elle? Or elle ne les ramène pas, puisque ces tufs se forment seulement en profondeur et non en surface.

2^e hypothèse. On pouvait supposer aussi que les particules de sable très fines exerçaient une attraction sur les solutions salines et que celles-ci, se précipitant, donnaient naissance au tuf. Mais cela n'explique pas le phénomène (2).

(1) Nous avons expliqué, page 269, note 3, ce que l'on nomme ainsi.

(2) Faisons remarquer cependant que, dans cette formation, il y a aussi des causes physiques. En effet, chaque grain de sable jaune est entouré de matières ferrugineuses, alumineuses, potassiques, etc. Ce sable jaune est donc plus tassé, plus compact, que le sable gris et la couche végétale, formés presque uniquement de silice pure, avec

Voici ce que dit de la formation du tuf humique ou ortstein M. van Schermbeek, agent forestier de l'État néerlandais à Ginneken (1) :

« La profondeur de l'influence de l'eau contenant des acides dépend de la finesse des éléments constitutifs du sol. Plus ils sont gros, plus la masse influencée sera grande. Dans les régions sablonneuses, on trouve le plus souvent sous la tourbe une couche de sable gris, couleur plomb. Celle-ci passe insensiblement à une couche de couleur foncée, qui varie du jaune au brun noirâtre, d'une dureté plus ou moins grande; ordinairement, la couleur fonce vers le bas : c'est le tuf ou, d'après Ramann, la pierre à sablon humique. Sous cette couche, on trouve le sous-sol d'une couleur presque uniforme; dans la région supérieure seulement, on remarque des lignes, des pointes, d'une couleur analogue à celle de la couche durcie, preuve que l'influence des acides humiques s'est fait sentir au début plus profondément qu'à la fin de la formation de cette couche. Les diverses profondeurs auxquelles on trouve ces signes de pétrification du sol sont autant de preuves de l'inégalité de sa perméabilité.

» L'altération du sol par les acides humiques dépend surtout de sa richesse en calcaire et de la grosseur des grains de sable. Les grains de sable sont des débris de roches anciennes. La destruction naturelle de ces roches, dont le quartz est le principal élément, nous donne de la poussière de différents minéraux et des grains de sable plus ou moins brisés. La poussière enveloppe les grains et constitue la plus ou moins grande richesse de nos sols sablonneux. Ces sols, contenant au moins 90 % de silice, seraient absolument stériles s'ils ne renfermaient pas la petite quantité d'autres éléments minéraux attachés aux grains.

» Ces minéraux, nitrates, phosphates, sulfates et silicates, placés sous la réaction des acides humiques, sont lentement décomposés, en donnant naissance aux humates.

» La couche superficielle est donc, sous l'influence de ces acides, dépouillée de ses éléments minéraux et surtout privée de sa force d'absorption : les silicates basiques de calcium, magnésie, potassium, sodium, éléments du pouvoir d'absorption de notre sol, décomposés par les acides humiques, ne laissent qu'un résidu poudreux de silice.

une proportion plus ou moins grande de matières organiques. Rien d'étonnant dès lors à ce que l'eau de pluie puisse entraîner de faibles particules d'humus à travers la couche végétale et le sable gris, particules qui s'arrêtent au niveau du sable jaune. Naturellement, les causes chimiques jouent le plus grand rôle dans la formation.

(1) Page 358 du *Bulletin forestier belge* de 1898.

Les humates s'enfoncent dans le sous-sol, donnant naissance à la pétrification humique (tuf).

» Le sable gris se compose de grains de quartz plus ou moins gros, mêlés de poudre fine siliceuse ; il est coloré par des particules noirâtres d'origine organique. Voici la constitution de cette couche stérile :

	Pour 1 kilogr.
Acide phosphorique	0gr,2
Potasse	0gr,2
Calcium	indices.
Oxyde de fer	indices.
Matières organiques	39 grammes.
Silice	937 id.

» Le tuf contient, sous forme d'humates, les produits de la décomposition de la plupart des minéraux de la couche superficielle, mais dans un état nuisible (1) et impénétrable pour les racines d'une végétation supérieure. Une certaine richesse calcaire préviendra plus ou moins, par sa réaction basique, les influences nuisibles des acides humiques ; une grande humidité peut aussi, en diluant leur solution, atténuer beaucoup leur action pernicieuse (2). »

Dans le *Bulletin forestier* de 1896 (p. 388) se trouve l'article suivant concernant cette formation :

« En Campine, on rencontre fréquemment, à une profondeur variant de 0^m,20 à 0^m,90, mais d'ordinaire de 0^m,30 à 0^m,50, une couche brunnâtre, de 0^m,05 à 0^m,12 d'épaisseur et de dureté variable, appelée *alios des sables* ou *tuf*. L'*alios* se trouve et se forme généralement au niveau de l'imperméabilité du sol, au niveau de l'eau stagnante, bien qu'on le trouve également dans les monticules de sable très sec où il se forme par capillarité (3). Dans ce cas, son épaisseur ne dépasse pas 0^m,05 à 0^m,04.

» Dans la grande majorité des cas, l'eau filtrant à travers la couche de sable gris blanchâtre qui couvre toujours le tuf, entraîne avec elle

(1) Faisons remarquer qu'en prenant la réaction du tuf à l'aide du papier de tournesol, elle est acide.

(2) Il nous semble cependant que ce serait plutôt un moyen de combattre cette formation que de lutter contre l'humidité. En effet, si le terrain est humide, il devient acide. Or, c'est la trop grande acidité qui est la cause de la formation du tuf humique.

(3) S'il se forme par capillarité : 1° pourquoi serait-ce toujours au contact du sable jaune? 2° pourquoi n'arriverait-il pas dans ces conditions à la surface, comme tous les tufs qui résultent de la capillarité, c'est-à-dire d'un excès d'évaporation sur les précipitations pluviales, ce qui n'est pas le cas en Belgique?

les acides humiques résultant de la décomposition de la bruyère et forme, avec les particules de limon ferrugineux, qu'on trouve toujours dans ces sables, un ciment formant le tuf et lui donnant sa dureté. Le tuf doit donc sa formation aux acides organiques de l'humus qui ont pris naissance à la surface et ont été entraînés par le lavage des couches supérieures.

» D'après Emeis, le tuf constitue « la caisse d'épargne de la bruyère » depuis des siècles. La potasse, l'acide phosphorique, l'ammoniaque et même d'autres produits azotés s'y rencontrent en notable quantité et peuvent servir de nourriture aux plantes. Si donc la formation d'altos est néfaste parce qu'elle retient l'eau, d'un autre côté elle a le mérite de retenir les substances fertilisantes. Lorsqu'on défonce et met en culture pareil sol, il faut tenir compte de cette richesse en ramenant le tuf à la surface, s'il n'est pas trop profond. Malheureusement, une particularité qui explique le peu de fertilité des sols où ces bancs existent est la réaction acide du sol supérieur, inférieur et du banc lui-même.

» Au cours de l'hiver, les gros morceaux de tuf se délitent et perdent toute consistance et dureté. C'est le moment de chauler fortement pour neutraliser les acides organiques et minéraux ou, mieux encore, d'amender par du phosphate minéral (1).

» Ce dernier renferme de l'acide phosphorique et en plus de la chaux. Cet amendement devrait toujours précéder le boisement de toutes les bruyères, parce qu'elles sont toutes acides, et les non-réussites peuvent bien souvent être attribuées à cette hyperacidité du sol.

» L'assainissement, dans les terrains de cette nature, a une grande importance. Si l'écoulement des eaux laisse à désirer, si le sol n'est pas rigolé convenablement, et par là-même maintenu meuble, on peut s'attendre à un nouveau limonage et par conséquent à la réapparition du tuf. Quand celui-ci se trouve à une profondeur dépassant 0^m,50, il est préférable de le laisser en place, en se bornant à ameublir la surface des plates-bandes, sur lesquelles on plantera, et à bien rigoler le sol par un réseau de fossés espacés de 3 mètres à 3^m,50, de 1 mètre de largeur au plafond, 0^m,50 en bas, 0^m,70 de profondeur. »

Nous devons à l'obligeance de M. Dubois, garde général des Eaux et Forêts à Hasselt, la traduction d'une conférence de M. le Dr Sjollema sur les bruyères de la Drenthe (province du Nord de la Hollande),

(1) Dans les phosphates minéraux, l'acide phosphorique se trouve à l'état de tricalcique, c'est-à-dire insoluble. Mais grâce à la présence dans ces sols d'agents de diffusion, tels que les acides humiques, ulmiques, etc., il devient soluble et utilisable rapidement.

publiée dans le « Tijdschrift der Nederlandsche Heidemaatschappij ». Il y est aussi question du tuf humique, et nos explications concordent parfaitement avec celles données par M. le D^r Sjollema au sujet de cette formation :

« On peut rattacher les bruyères de la Drenthe, dit M. Sjollema, à deux types principaux : a) la bruyère sèche, la plus commune ; b) la bruyère humide, présentant dans ses couches superficielles un grand caractère tourbeux.

» a) Dans la bruyère sèche, on distingue : 1^o une couche de terreau de bruyère ou tranche, gazon de bruyère (*heideplag of heidezode*) ; 2^o une couche de sable gris (*loodzand*), d'une coloration presque blanche, ou d'un gris plus ou moins foncé suivant la proportion de matières organiques ; 3^o une couche noire ou brun très foncé, appelée en certaines régions de la Drenthe « mare de café » (*koffielaag*) ou terre de chicorée, surtout quand elle est brun foncé, et qui physiquement présente beaucoup d'analogie avec le *loodzand*, mais en diffère par ce qu'elle renferme une plus grande proportion de particules d'humus. Elle est parfois meuble, parfois plus compacte et donne lieu par dessiccation à des blocs durs, tout comme la tourbe noire ; 4^o une couche de tuf (*zandoer*) sablonneux. En dessous, on rencontre un sable ordinaire souvent jaune. Il arrive aussi qu'on rencontre un sol argileux (*leem*) à une certaine profondeur et qu'immédiatement au-dessus de ce *leem* ou dans sa partie supérieure on trouve des poches d'une sorte de tuf rouge orangé. Celui-ci peut aussi exister sans que le *leem* soit présent.

» On peut se demander si ces couches ont pris naissance lors de la formation des terrains ou bien dans les temps postérieurs, et dans cette dernière occurrence, si elles se sont formées alors que ces terrains étaient couverts de bruyères, ou si elles ont pris naissance pendant la période où ces terrains n'étaient pas encore à l'état de bruyère.

» Nous nous demanderons donc s'il existe une relation de cause à effet entre l'état de bruyère et la présence de ces diverses couches ; et c'est, en effet, ce que l'on admet.

» L'idée que l'on se fait de la formation de ces couches est, en résumé, la suivante : La couche superficielle des bruyères sèches est formée par un gazon ou une tranche d'épaisseur variable, par exemple de 0^m,08. Elle présente une structure compacte et est en même temps coriace, principalement par suite de l'enchevêtrement des racines de la bruyère, mais aussi, d'après Muller, par la présence d'une grande quantité de filaments mycéliens brun foncé, visibles au microscope, unissant les racines mortes et vivantes de la bruyère. Elle renferme

beaucoup de matières organiques ; les détritns des plantes y subissent une transformation en matières humeuses, parmi lesquelles (les plus importantes pour nous) des matières humeuses acides, solubles dans l'eau, c'est-à-dire des acides humiques. Cette couche de terreau grossier de bruyère peut être considérée comme une sorte de formation de tourbe sur le sec. La présence de cette couche est la cause de la formation des autres, et on peut se l'expliquer comme suit : L'eau de pluie dissout les acides humides du terreau de bruyère et cette solution s'enfonce. La couche supérieure de sable subit donc l'influence de la mise en solution des acides humiques. Le résultat consiste en ce que les substances minérales du sable sont attaquées, que les substances basiques, alcalis et alcalino-terreux, c'est-à-dire la chaux, la potasse, etc., se dissolvent et s'enfoncent. Les autres matières nutritives des plantes (acide phosphorique) sont enfin aussi dissoutes. Outre que, par ce fait, la couche supérieure de sable s'appauvrit directement en matières nutritives, elle perd aussi par là son pouvoir d'absorption, ce qui aggrave indirectement l'appauvrissement du sol. Les matières organiques exercent en outre une action réductrice sur les composés ferrugineux. Le fer prend une forme soluble par cette action et la formation d'acide carbonique, de sorte que l'eau de pluie enlève aussi le fer à la couche supérieure de sable. De ce que les composés ferrugineux jouent un rôle important dans l'absorption, il en résulte que le pouvoir d'absorption de cette couche en est encore diminué.

» Une autre conséquence de la dissolution et de l'enlèvement du fer, est la décoloration.

» L'eau de pluie exerce encore une autre action : elle entraîne mécaniquement vers le bas de fines particules noires d'humus.

» Il résulte de toutes ces actions que le *loodzand* comprend un mélange de grains de sable décolorés, paraissant d'un blanc vif à la loupe, et de particules noires d'humus charbonneux qui se trouvent entre les grains de sable. Ce mélange a naturellement une couleur grise et sera plus clair ou plus foncé suivant l'abondance des particules noires.

» Le sable gris forme d'habitude une couche très meuble, ce qui résulte de l'enlèvement par lavage des silicates acides et des acides humiques.

» Vers le bas, le *loodzand* est en général plus foncé ; l'examen à la loupe indique tout simplement une proportion plus forte de particules noires. La différence entre cette couche et le *loodzand* est donc, à proprement parler, une différence quantitative. Cette couche est nommée *koffie of chicoreilaag*, « marc de café ou de chicorée », quand sa coloration

est brun foncé. Les acides humiques qui traversent en solution le *loodzand* sont précipités et fixés dans le sable du dessous, c'est-à-dire dans la couche de sable jaune, non encore lavée; des acides humiques ne peuvent pas rester en solution quand ils pénètrent dans une couche du sol qui renferme encore des substances minérales solubles. Les grains de sable de la couche en dessous du *loodzand* sont donc entourés d'une pellicule, en général brune, des combinaisons humiques précitées.

» Cette couche forme le *tuf sablonneux* (*zandoer*), qu'on ne doit pas confondre avec le *tuf ferrugineux* (*ijzeroer*). On pourrait appeler le *zandoer*, *Pierre de sable humeux* (*humuszandsteen*), sable aggloméré par des combinaisons humiques. A la loupe, on peut reconnaître que la couleur de chaque particule de sable est brunâtre et que nous n'avons pas affaire ici à un mélange de substances diversement colorées, comme dans le *loodzand*. Cette couche ne forme pas toujours un banc compact ou dur comme la pierre, mais elle peut aussi se composer simplement de sable tufacé, ce qui d'habitude ne constitue pas une couche bien meuble, mais ne doit pas non plus être considéré comme banc.

» En général, le *zandoer* devient plus clair par le dessous et se transforme en sable jaune.

» Nous avons donné une explication assez simple de la naissance du *zandoer*, mais il n'est pas douteux que le processus en est plus compliqué et que les silicates solubilisés, la compacité de la couche où se produit le *zandoer* et sa teneur en silicates naturels jouent un rôle important, ainsi que les composés ferrugineux, et surtout aussi la dessiccation du sol pendant l'été. »

Comme on le voit, cette question de la formation du tuf a donné lieu à bien des recherches; et cela se comprend par suite de son importance aussi bien au point de vue forestier que géologique. Nous avons, en effet, affaire à un banc qui s'étend en surface, qui est souvent très dur et très rapproché de la surface. Dans ces conditions, le boisement de ces terrains est difficile et souvent impossible, par suite de l'obstacle que le tuf présente à la pénétration des racines des arbres. Aussi avons-nous, dans notre Limbourg, une surface immense de terres incultes, couvertes de bruyères et de marécages, et qu'il faudrait rendre à la sylviculture, d'autant plus que, dans un avenir prochain probablement, on aura besoin de bois pour les houillères de cette région.

