UNIVERSITÉ DE NANCY

FACULTÉ DES SCIENCES

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY

POUR OBTENIR

le titre de Docteur de l'Université de Nancy
(mention Sciences)

PAR

M. VLADIMIR SABACHNIKOFF

DIPLOMÉ DE L'INSTITUT AGRICOLE DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY
ET DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'AGRICULTURE COLONIALE
DE NOGENT-SUR-MARNE.

1re THÈSE. — Contribution à l'étude des fumées et des poussières industrielles dans leurs rapports avec la végétation.

2e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le *1913 devant la Commission d'examen.*

M. GAIN..... Président.
MM. WAHL..... } Examinateurs.
BOUIN..... }

IMPRIMERIES RÉUNIES DE NANCY

1913

UNIVERSITÉ DE NANCY

FACULTÉ DES SCIENCES

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY

POUR OBTENIR

le titre de Docteur de l'Université de Nancy
(mention Sciences)

PAR

M. VLADIMIR SABACHNIKOFF

DIPLOMÉ DE L'INSTITUT AGRICOLE DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY
ET DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'AGRICULTURE COLONIALE
DE NOGENT-SUR-MARNE.

1re THÈSE. — Contribution à l'étude des fumées et des poussières industrielles dans leurs rapports avec la végétation.

2e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le *1913 devant la Commission d'examen.*

M. GAIN..... Président.
MM. WAHL..... } Examinateurs.
BOUIN..... }

IMPRIMERIES RÉUNIES DE NANCY

1913

UNIVERSITÉ DE NANCY

FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen

M. FLOQUET

Assesseur

M. PETIT

Professeurs honoraires

MM. HALLER, BLONDLOT, CARTAN, BLAISE, LE MONNIER

Chargé de cours honoraire

M. MILLOT

Professeurs

MM.	FLOQUET	*Analyse.*
	THOULET	*Géologie et Minéralogie.*
	MOLK	*Mécanique rationnelle.*
	CUÉNOT	*Zoologie.*
	GUNTZ	*Chimie minérale.*
	VOGT	*Mathématiques appliquées.*
	PETIT	*Chimie agricole.*
	MULLER	*Chimie physique et électrochimie.*
	NICKLÈS	*Géologie.*
	MINGUIN	*Chimie.*
	GAIN	*Botanique.*
	GUTTON	*Physique.*
	ROTHÉ	*Physique.*
	GRIGNARD	*Chimie organique.*
	GUYOT	*Chimie appliquée à la teinture et à l'impression.*
	WAHL	*Chimie industrielle.*
	HUSSON	*Calcul différentiel et intégral.*

Professeurs adjoints

MM.	BOUIN	*Zoologie appliquée.*
	REBOUL	*Physique.*
	MAUDUIT	*Electrotechnique.*

Maître de conférences

M.	BEAUVERIE	*Botanique.*

Directeurs de laboratoires

MM.	HAHN	*Laboratoire de Mécanique appliquée.*
	WENCELIUS	*Laboratoire d'analyses industrielles.*

Chargés d'un cours complémentaire

MM.	MARSAL	*Météorologie.*
	DUMAS	*Mécanique appliquée.*

Secrétaire

M. ROVEL

A Monsieur le professeur

Edmond Gain

CONTRIBUTION

A L'ÉTUDE DES

FUMÉES ET DES POUSSIÈRES INDUSTRIELLES

dans leurs rapports avec la végétation

(Laboratoire de Botanique de l'Institut Agricole de l'Université de Nancy)

INTRODUCTION

Dans les pays de grand développement industriel, comme le sont actuellement les départements de l'Est de la France, les conflits ne sont pas rares entre les agriculteurs, d'une part, et les propriétaires d'usines d'autre part, surtout dans la première phase de fonctionnement des usines.

Une nouvelle usine, en effet, modifie la composition de l'atmosphère et fait souvent apparaître, après quelque temps, dans les cultures du voisinage, des signes accusés d'action nocive. Les plantes peuvent manifester des lésions particulières, le sol lui-même voit sa composition superficielle se modifier, et des dommages peuvent en résulter, qui se traduisent par la diminution du rendement agricole ou sylvicole.

Déjà, une bibliographie étrangère très abondante intéresse cette question.

Sur les conseils de M. le Professeur Edmond Gain, à qui nous devons le plan de ce travail, nous nous sommes proposé dans ce mémoire :

1° De réunir la documentation la plus complète possible sur l'influence des fumées et poussières industrielles dans leurs rapports avec la végétation. Ces conséquences ont été surtout étudiées en Allemagne, dans certains bassins industriels tels que Dresde, Tharandt, Stollberg, Chemnitz. Zwickau, etc., en Saxe, Myslowitz-Kattowitz, Miechowitz-Rokittnitz, etc., ainsi que dans les localités industrielles d'Essen et de Dortmund.

Nous avons fait un voyage d'étude dans les environs de Dresde, où l'on poursuit des expériences richement subventionnées par le gouvernement allemand. En présentant un résumé synthétique de l'état de nos connaissances sur ce sujet, et en y insérant une liste bibliographique étendue, nous avons eu surtout en vue de rédiger un travail de langue française qui fait actuellement défaut, afin de le mettre à la disposition de tous ceux qui peuvent avoir à connaître des conflits qui résultent de l'action des fumées d'usines sur les cultures. En particulier, nous avons pensé que ce travail pouvait être de quelque utilité au point de vue de la région industrielle de l'Est de la France.

Nos recherches ayant surtout un caractère botani-

que, nous avons insisté sur les lésions produites par les fumées sur la plante, ces lésions étant souvent la base des expertises préliminaires en vue d'une action judiciaire;

2° De contribuer par quelques recherches personnelles à la solution de plusieurs questions du domaine de la physiologie végétale. On verra, dans le cours de ce travail, que l'acide sulfureux est l'élément le plus dangereux des fumées. Nous avons choisi, entre beaucoup de questions qui restent à solutionner : *A) Etude de l'influence des fumées sulfureuses sur le pollen, et détermination expérimentale des doses critiques; B) De l'action de l'acide sulfureux sur les phénomènes de fécondation et de formation des grains de blé.*

La table des matières insérée ci-après donne les indications sur le plan adopté dans notre exposé.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I

Éléments nocifs des fumées; leur origine.

CHAPITRE II

Caractères des lésions des végétaux occasionnées par les fumées.

CHAPITRE III

Acide sulfureux et acide sulfurique.

CHAPITRE I

Éléments nocifs des fumées; leur origine.

La question de l'altération de l'atmosphère par les fumées industrielles est d'une date ancienne et remonte à l'époque où l'on a commencé à employer la houille comme combustible. Déjà, en 1318, la ville de Zwickau défendait aux forgerons habitant près de la ville de se servir de houille.

Le gouvernement anglais, au XVIe siècle, a publié un arrêté interdisant l'emploi de la houille, et, au commencement du XVIIe siècle, a ordonné la destruction de tous les fourneaux chauffés avec ce combustible.

Dans la pratique, toutes ces mesures sont restées inefficaces, la houille étant un combustible trop précieux pour l'industrie naissante. Il fallait lutter contre ce fléau des fumées plutôt par des moyens techniques permettant, non seulement de retenir les éléments pernicieux des fumées, mais même d'en tirer un profit. Les exemples de la fabrication de l'acide sulfurique avec l'acide sulfureux des fumées de certaines usines, et de l'utilisation des poussières de hauts fourneaux, nous donnent la preuve et nous font espérer que finalement les progrès techniques, sanctionnés par une législation raisonnée, pourront

triompher des dangers que présentent encore actuellement les fumées industrielles.

Malheureusement, on n'en est pas encore là, et dans beaucoup de cas la législation impose à l'industrie des conditions trop sévères sans qu'elles soient d'une grande utilité (1).

Tolérance légale.

C'est ainsi que la législation allemande (2) fixe à 0,005 p. 100 la teneur tolérable légale en acide sulfureux des fumées de certaines fabriques de cellulose et des grilleries de la blende; un litre d'acide sulfureux pèse 2 gr. 86, ainsi, d'après cette législation, les fumées de ces établissements industriels n'en doivent pas renfermer plus de 0 gr. 143 par mètre cube. Ces conditions peuvent être facilement remplies par les fabriques d'acide sulfurique, en faisant passer le gaz final successivement dans deux tours de Gay-Lussac; mais, par exemple, pour les industries indiquées, ces conditions trop sévères présentent de grandes difficultés techniques et sont en même temps totalement inefficaces (3). La législation, en posant ces conditions en vue de préserver la végétation avoisinante contre l'action des gaz acides,

---

(1) K. W. Jurisch. *Zwei Denkschriften über Luftrecht.* Berlin, 1910.

(2) Il n'existe pas en Allemagne une législation générale concernant l'altération de l'atmosphère par les gaz industriels; ce sont les décrets locaux qui règlent les proportions légales des substances nocives des fumées industrielles dans chaque cas particulier.

(3) K. W. Jurisch. *Zwei Denkschriften über Luftrecht.* Berlin, 1910.

n'arrive pas à son but, car, réglant d'une façon trop sévère la teneur en acide sulfureux du gaz de la fabrication proprement dite, elle passe sous silence les fumées provenant de la combustion de la houille, qui renferment de fortes proportions d'acide sulfureux. Dans les fabriques modernes, les quantités d'acide sulfureux versées dans l'atmosphère avec les gaz sortant de la deuxième tour de Gay-Lussac sont notablement inférieures à celles de l'acide sulfureux provenant de la combustion de la houille dans les machines à vapeur annexées aux établissements industriels.

Fumées sulfureuses provenant des houilles.

Les recherches de M. Freytag (1) ont démontré que les quantités d'acide sulfureux provenant de la combustion de la houille peuvent être de beaucoup supérieures à celles provenant des manipulations industrielles proprement dites. D'après M. Angus Smith (2), la combustion de la houille en Angleterre verse annuellement 1.100.000 tonnes de soufre dans l'atmosphère, tandis que la consommation totale de soufre dans le pays n'est que de 166.000 tonnes dans les usines de produits chimiques, et de 100,000 tonnes dans les usines d'engrais chimiques. Or, c'est la houille brûlée dans des milliers de foyers domestiques et industriels qui doit être considérée

(1) Freytag, *Landw. Jahrb.*, 1892, II, 315.
(2) *Minutes of Evidence*, n. 212.

comme la source principale de l'acide sulfureux dans l'atmosphère.

L'acide sulfureux des fumées de houille provient de la décomposition, sous l'action de la température élevée, des pyrites qu'on trouve toujours dans la houille.

Les qualités diverses de houille renferment des proportions variables de pyrites, pouvant aller de 0,5 p. 100 jusqu'à 7 p. 100 (1). En moyenne, on peut admettre la teneur de la houille en soufre volatilisable à 0,5 p. 100 pour les lignites, et à 1 p. 100 pour les anthracites; une partie de soufre dans la houille se trouve dans un état indifférent et reste dans les cendres.

D'après M. Dammer (2), les différentes sortes de houilles renferment, d'après leur provenance, les quantités suivantes de soufre :

LIGNITES :

Lignites autrichiens de Wildhut	0,98	p. cent.
— de Boitsberg (Steiermark)	1,05	—
— bavarois de Miesbach (Pechkohle)	1,08	—
— bohémiens de Grünlas (Pechkohle)	1,30	—

ANTHRACITE :

Anthracite d'Angleterre	0.55	2.22	p. cent.
— de Haut-Schleswig	0.156	2,474	—

(1) DE RUOLZ, *Question des Houilles*. Paris, MDCCCLXXIII.

(2) DAMMER. *Handbuch der chemischen Technologie*. Stuttgart, 1893.

Anthracites de Saxe (1) :

Plauitz	0,008-6,032 p. cent.
Zwickau	0,086-2,700 —
Niederwürschnitz	0,123-2,542 —
Oberhohndorf	0,730-1,258 —
Bockwa	1,074-1,156 —
Lungau	2,402 » —
Hönichen	0,282-1.311 —
Burgk	0,042-2,994 —

L'acidité totale des fumées de la houille anglaise employée généralement pour le chauffage des machines à vapeur oscille entre 1 et 2 gr. par mètre cube en acide sulfureux, mais peut être double avec de la houille de mauvaise qualité (2).

D'après des documents officiels allemands, les fumées des machines à vapeur chauffées avec la houille provenant de Deister renfermaient 0,01-0,2 p. 100 en volume de SO^2 (0,286-0,572 gr. de SO^2 par mètre cube), en y ajoutant l'acide sulfurique qu'on retrouve toujours dans la fumée de la houille à côté de l'acide sulfureux, on obtient une acidité totale se rapprochant de 1 gr. par mètre cube exprimée en acide sulfurique (3).

D'après les recherches de M. Angus Smith (4), on trouve dans 1.000.000 de mètres cubes d'air 1.670 gr. de SO^3 à Londres et 2.018 gr. à Manchester. Dans

---

(1) Stein. *Untersuchung der Steinkohlen Sachsens.* Leipzig, 1857.
(Les chiffres de M. Stein ne représentent que la proportion de soufre active dans la houille, par différence de la teneur totale et des quantités de soufre retrouvées dans les cendres après la combustion.)

(2) Jurisch, *l. c.*, S. 8.

(3) *Jahresberichten der Königlich Preussichen Regierungs und Geverberäte von 1892*, S. 196.

(4) *Minutes of Evidence*, n° 212.

certaines petites villes ayant une industrie très développée, la teneur de l'air en SO^3 s'élève jusqu'à 2.668 gr. par 1.000.000 de mètres cubes, tandis que dans des villes non industrielles, où la combustion de la houille est peu considérable, la quantité de SO^3 ne dépasse pas 477 gr. par 1.000.000 de mètres cubes.

Fletcher (1) a déterminé pour Sainte-Hélène que les quantités d'acide sulfureux calculées en soufre versées par toutes les sources des fumées de l'île dans l'atmosphère sont égales à 36.108 millions de kilogrammes par an, ce qui représente 72.216 millions de kilogrammes d'acide sulfureux, dont la plus grande partie provient de la combustion de la houille. Cette quantité d'acide sulfureux est distribuée à Sainte-Hélène sur une surface de trois lieues anglaises carrées, ce qui fait 24.072 kilogrammes d'acide sulfureux sur une lieue carrée par an, tandis qu'à Londres la quantité d'acide sulfureux sur une lieue carrée est de 22.000 kilogrammes en été et de 88.000 kilogrammes en hiver. D'après ces derniers chiffres, il faut attribuer cet excédent de 66.000 kilogrammes de SO^2 en hiver exclusivement à la combustion de la houille pour le chauffage pendant la saison froide.

Les recherches de ces dernières années (2) ont montré la présence de 1 à 1,5 mgr. d'acide dans un mètre cube de l'atmosphère de Berlin. Les recher-

---

(1) G. Lunge. *Handbuch der Sodaindustrie.*

(2) Rubner. *Arch. für Hygiene*, B. 57, Nr. 59.

ches du professeur Kaiser (Giessen) et du professeur H. Church (Londres) ont prouvé que même les bâtiments en pierre calcaire (notamment la cathédrale de Cologne et la cathédrale Saint-Paul de Londres) souffrent beaucoup de l'action des quantités élevées d'acides contenues dans l'atmosphère des grandes villes.

Les Conifères les plus sensibles, et beaucoup d'autres plantes, refusent de végéter dans les faubourgs même les plus sains des grandes villes, dont l'atmosphère acide est l'ennemi du plasma vivant.

Fumées de bois.

En parlant de la nocivité des gaz de la combustion de la houille, il faut remarquer que la fumée de bois ne renferme (à part des proportions très faibles de vapeurs de créosote) aucune substance nuisible à la végétation; c'est pourquoi M. Wislicenus (1), dans sa classification des sources de fumées d'après les dangers qu'elles présentent pour les plantes, place la fumée de bois dans la catégorie des fumées inoffensives. M. Stockhardt (2) cite le cas suivant concernant deux vieux marronniers au voisinage d'une briqueterie : « Les arbres ont été tout à fait bien portants pendant tout le temps que l'usine a employé du bois pour le chauffage, mais lorsqu'on abandonna le bois pour la houille, les arbres commencèrent à

(1) Ueber eine Waldluftuntersuchung, etc. *Zeitschr. f. angew. Chemie*, 1901, 694.

(2) *Thar. forstl. Jahrb.*, 1871, 21, 218.

souffrir et périrent au bout de deux ans, après avoir, à plusieurs reprises, changé de feuilles, qui ont été chaque fois tuées par la fumée de la houille. »

Particules solides des fumées.

Les hygiénistes qui se sont occupés de la question des fumées, en même temps que les phytopathologistes et les techniciens, attribuent aux particules solides de la fumée et à la suie (porteuse des acides, des hydrocarbures, des pyridines, des combinaisons cyaniques et rhodaniques et des autres substances nocives) le rôle prépondérant dans les maladies des voies respiratoires des animaux et dans l'aggravation du cours de la tuberculose pulmonaire (1). Mais actuellement le problème de la souillure de l'atmosphère par la suie et les autres particules solides des fumées peut être envisagé comme pratiquement résolu. Il existe un grand nombre d'appareils expérimentés, tant en Europe qu'en Amérique, permettant de rendre la fumée transparente, invisible et débarrassée de toutes les particules solides. C'est pourquoi, dans notre exposé, nous nous occuperons principalement des gaz et des vapeurs nocives des fumées.

Établissements produisant des fumées nocives pour la végétation.

Le nombre des établissements industriels qui peuvent donner naissance aux fumées nocives est très

(1) Rund B. *Die Gefahren der Rauchplage und die Mittel zu ihrer Abwehr.* Vortrag. Wien, 1907.

grand, et il est nécessaire, pour pouvoir établir le degré de danger que présente telle ou telle branche de l'industrie, de jeter un coup d'œil sur les procédés de fabrication. Ainsi, il faut examiner dans chaque cas la nature des fumées dans son rapport avec le genre d'industrie, avec les matières premières travaillées et avec les réactions chimiques qui ont lieu pendant les manipulations de la fabrication. Il est évident que dans un cas concret, même dans le même genre d'industrie, il faut tenir compte des particularités que présente chaque établissement. Ainsi, la classification des sources des fumées, que nous empruntons à l'ouvrage de M. Wislicenus (1), n'a rien d'absolu et ne peut nous donner qu'une idée approximative des différents groupes d'établissements industriels dont les émanations peuvent être nocives pour la végétation :

a) *Le chauffage des chaudières* des machines à vapeur peut être nocif grâce à la formation d'acide sulfureux par oxydation du soufre des pyrites et de certains autres sulfures de la houille. La quantité de gaz nocif formé, ainsi que la concentration des gaz dans la cheminée, peuvent varier d'après la nature de la houille et d'après le système de chauffage, le type de la source des fumées nocives reste tout de même bien caractéristique.

En admettant la teneur moyenne de la houille à 1,5 p. 100 de soufre actif, un kilogramme de houille

---

(1) H. Wislicenus. Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. *Zeitsch. f. angew. Chemie*, 1901, 689; *l. c.*, 1901, 707.

fournit 0,03 kilogramme d'acide sulfureux dans les 12,2 m. c. des fumées, ce qui représente une concentration de 0,082 p. 100 en volume. Ces chiffres peuvent être admis comme répondant assez justement aux conditions des installations de chauffage des établissements industriels (1).

De la même façon, que le chauffage des chaudières, agissent les établissements industriels qui ne possèdent pas de machines à vapeur, mais font une grande consommation de houille, par exemple les fonderies, les laminoirs, les brasseries, les usines à gaz sans installations pour utiliser les sous-produits, etc.

Une place à part doit être réservée aux locomotives en marche, qui, grâce à la teneur extrêmement élevée en vapeur d'eau des gaz sortant de leurs cheminées, donnent naissance à l'acide sulfurique, probablement sous l'influence du contact et des phénomènes électriques se produisant par la sortie sous pression des gaz.

b) *Blanchisseries chimiques.* — On emploie, pour le nettoyage et la décoloration des tissus, de la laine crue, etc., le chlore et l'acide sulfureux. Le premier provient, sous forme de gaz libre, de l'action de l'acide sulfurique ou de l'acide chlorhydrique sur les tissus trempés dans une solution de chlorure de chaux et est éloigné des cuves par la ventilation.

L'acide sulfureux est employé pour le blanchi-

---

(1) H. Wislicenus. *Gutachten über Rauchschäden im Wildenfelser Walde (Als Manuskript gedruckt zu Cg III*, 273/01, L. G., Zwikau).

ment de la soie et de la laine, et est obtenu par la combustion du soufre ou par réduction de l'acide sulfurique par le cuivre dans des chambres closes. Avant d'ouvrir ces chambres pour retirer les tissus, le gaz est chassé par des ventilateurs (*exhoustaren*).

A côté des blanchisseries chimiques, il faut mentionner aussi les établissements de la carbonisation de la laine pour la débarrasser des impuretés de nature végétale par l'action de l'acide sulfurique ou chlorhydrique. La laine est humectée par des solutions diluées d'acide sulfurique et ensuite exposée à l'action d'une forte chaleur, ou bien soumise à l'action des vapeurs chlorhydriques dans des chambres fortement chauffées. Ce sont l'acide sulfureux et le chlore qui dérivent de ces opérations. L'appréciation approximative du degré de concentration des émanations de ces établissements industriels n'est pas possible. La concentration varie suivant que les gaz sont mélangés avec des quantités plus ou moins grandes d'air, et qu'ils sont versés dans l'atmosphère à part ou avec des fumées provenant du chauffage des machines à vapeur. Evidemment, même dans les conditions favorables, la concentration de ces gaz est plus élevée que celle des gaz provenant des industries citées précédemment.

c) *Industrie de la cellulose.* — La lessive qu'on emploie pour faire bouillir la masse ligneuse, et qui n'est qu'une solution de sulfites avec un excès d'acide sulfureux libre, est obtenue par le passage, dans les tubes en bois remplis de calcaire et de dolomie, de l'acide sulfureux provenant des fourneaux à pyrites.

L'acide sulfureux est amené par le bas des tubes, tandis que l'eau est versée par le haut et ruisselle en mouillant le calcaire et la dolomie.

La lessive est reprise à la base de ces tours et amenée dans les cuves, où se produit la cuisson de la masse ligneuse.

L'acide sulfureux qui était amené en excès dans les tours peut s'échapper à l'extérieur, et cela a lieu surtout après chaque cuisson, lorsqu'on souffle dans les cuves avant de les vider.

d) *Les fabriques de porcelaine et terres cuites* (Tonwaren). — Outre l'acide sulfureux provenant de la matière combustible, il se forme du chlore sous forme de gaz qui se dissout dans les eaux de condensation et donne avec elle de l'acide chlorhydrique; mais le chlore se forme surtout pendant le glaçage (qu'on confond quelquefois avec l'émaillage) à l'aide de NaCl. Le fluor et le fluorure de silicium peuvent aussi prendre naissance aux dépens de certaines matières premières.

e) *Briqueteries.* — Dans cette branche de l'industrie il ne peut pas être question d'acide sulfureux provenant de chauffage des machines à vapeur, car la force mécanique n'y a pas une grande application. Pour la détermination de la nature des gaz qui s'échappent d'une briqueterie, il faut tenir compte, d'un côté, de la quantité d'air amenée par rapport à l'influence qu'il peut exercer sur la teneur des gaz de la cheminée en vapeur d'eau et, de l'autre côté, de la composition de la matière première. La teneur

élevée en vapeur d'eau peut avoir comme conséquence, en présence d'une forte proportion de S dans la houille (et aussi dans l'argile sous forme de FeS_2) la formation d'acide sulfurique.

Il s'y trouve dans les briqueteries modernes à la dose moyenne de 0,047 p. 100 en volume. La teneur élevée de l'argile en Cl et en F peut donner naissance à la formation des acides fluorhydrique, chlorhydrique et hydrofluosilicique qui forment les vapeurs très dangereuses pour la végétation.

f) *Les fabriques de produits chimiques.* — Sous cette dénomination collective sont réunies des industries avec des caractères bien différents et avec des émanations plus ou moins nocives. Parmi les plus dangereuses, il faut mentionner les fabriques d'acide sulfurique dont les gaz, après leur sortie des fours Gay-Lussac, renferment dans les meilleurs cas de l'acide sulfureux à la concentration de 0,16 p. 100 en volume, mais en général 0,5 p. 100 et au delà. A côté des fabriques d'acide sulfurique, il faut mentionner les fabriques de soude. La fabrication des sulfates, du chlorure de calcium, de l'acide azotique, des divers azotates et de toute une série d'autres produits laisse échapper inévitablement, à côté de SO^2, certaines quantités nocives des acides forts minéraux (1, 2).

g) *Les usines de superphosphates* doivent être mentionnées en raison des grands dangers qu'elles

(1) Sorel. *La grande industrie chimique minérale*, pp. 233-250.
(2) Muspratt. *Chemie*, 4. Auflage, II. Braunschweig, 1889.

présentent pour la végétation avoisinante. Le procédé de fabrication consiste ordinairement à transformer les phosphorites en phosphates doubles ou triples par l'action de l'acide sulfurique. Grâce à la présence dans la matière première de quantités notables de $CaFl^2$ et d'acide silicique, il se forme, par l'action de l'acide sulfurique, à côté d'acide sulfureux, l'acide hydrofluosilicique et l'acide fluorhydrique libres qui sont les ennemis les plus redoutables des plantes.

h) *Les établissements d'émaillure.* — Les procédés d'émaillure sont nombreux, mais c'est toujours l'acide silicique, $CaFl^2$, feldspath, cryolithe, soude, etc., dont on se sert. Avant d'appliquer l'émail sur les différents objets ils sont corrodés par des acides minéraux. Pendant le chauffage, des ingrédients s'échappent de l'acide fluorhydrique et de l'acide hydrofluosilicique.

j) *Les verreries.* — En fondant les sulfates, l'acide silicique, le carbonate de calcium et le charbon pour la préparation de la masse de verre ordinaire, des quantités notables et en forte concentration d'acide sulfureux s'échappent grâce à l'action de l'acide silicique sur les sulfates.

Dans la fabrication des verres blancs, la coloration blanche est obtenue par la précipitation des fluorures d'aluminium; c'est pourquoi on ajoute à la masse $CaFl^2$, du cryolithe et de l'argile; dans ce cas, à côté de SO^2, se forment de l'acide fluorhydrique, de l'acide hydrofluosilicique et du fluosilice.

k) *Fabriques de matières colorantes.* — Ces fabri-

ques présentent un danger grâce à la haute concentration de SO^2 (jusqu'à 3 p. 100 en volume) qu'elles dégagent; le danger est surtout devenu redoutable lorsqu'on a remplacé l'ancien procédé au cobalt par le procédé de l'outremer artificiel.

l) *Les établissements métallurgiques et hauts fourneaux.* — Ces établissements comprennent un grand nombre d'usines différentes, mais dont le facteur nocif, pour la végétation, est SO^2 à une haute concentration. A part les minerais de fer (dont la plupart sont des oxydes), un grand nombre des minerais sulfureux de zinc, de cuivre, de plomb (galène, blende, chalcosine, etc.) renferment des proportions appréciables de S.

Pendant l'opération du grillage, l'acide sulfureux se dégage en quantités énormes à une concentration qui peut aller jusqu'à 8,5 p. 100. D'après la matière première, des vapeurs d'acide sulfurique, d'acide fluorique et d'acide fluosilicique peuvent se former en même temps.

En terminant cette énumération schématique des établissements industriels qui peuvent présenter un danger plus ou moins grand pour la végétation avoisinante, il faut remarquer que certains d'entre eux, notamment les hauts fourneaux, peuvent déverser dans l'atmosphère non seulement des gaz de la combustion de la houille, et des gaz et des vapeurs provenant des *matières premières manipulées*, mais aussi des *substances solides volatilisées* qui se distillent et se déposent sur le sol, sur les plantes, etc., sous forme de fines poussières. Ce sont des poussières

d'arsenic, de zinc, de plomb, d'oxydes de ces métaux, des substances goudronneuses, etc. En outre, le courant d'air des cheminées entraîne de fines particules de minerai, de charbon non brûlé, etc., les dépose sur les objets environnants et forme ce qu'on appelle les poussières industrielles (*Flugstaube* des Allemands).

Ce sont surtout ces substances solides, ces poussières, qui occasionnent les premières plaintes contre l'altération de l'air par l'industrie et qui ont fait l'objet des premières études de MM. Stöckhardt (1), Freytag (2), V. Schröder et Reuss, Ost, etc.

Ces études ont amené M. Stöckhardt à cette conclusion que c'est *l'acide sulfureux gazeux* qu'il faut envisager comme le facteur principal des dommages causés à la végétation par les fumées industrielles, et que ce gaz peut causer des préjudices à des concentrations infiniment petites et à une distance très éloignée des sources des fumées (3). Des observations plus récentes ont pleinement confirmé les conclusions de Stöckhardt, de sorte qu'actuellement on s'accorde à considérer l'acide sulfureux plus ou moins concentré comme le facteur principal des préjudices occasionnés par les fumées à la végétation.

---

(1) Stöckhardt. Forst und landwirtschaftl.- chemische Untersuchungen, u. s. w. *Thar. forstl. Jahrbuch*, 9. Bd, 1853.

(2) Freytag. Wissenschaftl. Gutachten über den Einfluss des Hüttenrauchs. *Jahrb. f. d. Berg- und Hüttenwesen*, Sachsen, 1873-1878.

(3) Untersuchungen über die schädliche Einwirkung des Hütten und Steinkohlenrauches auf das Wachstum der Pflanzen insbesondere der Fichte und Tanne. *Thar. forstl. Jahrb.*, 1871, 21, 218.

Le développement de l'industrie augmente en même temps le nombre des sources de l'acide sulfureux versé dans l'atmosphère; celui-ci est beaucoup plus souvent responsable des dégâts occasionnés que les autres gaz et vapeurs acides.

Action locale des fumées.

Il est évident qu'en parlant des lésions de la végétation sous l'action des fumées industrielles, la cause du mal ne peut pas être rapportée à la saturation générale de l'atmosphère par les substances nocives dégagées par les différentes sources de fumées. L'immense océan aérien peut facilement rendre inoffensive la masse des fumées versées dans l'atmosphère. Le calcul approximatif de M. Wislicenus (1), fait pour le royaume de Saxe, en donne la preuve : Si nous limitons à 100 mètres l'épaisseur de la couche de l'air qui reçoit les fumées, nous aurons au-dessus de 1.489.866,9 hectares, qui représentent la surface du royaume de Saxe, un volume d'air égal à 1.489.806 millions 900.000 mètres cubes (15 billions de mètres cubes en chiffres ronds). D'après la consommation annuelle de la houille en Saxe (en admettant la teneur moyenne de la houille en soufre actif égale à 1 p. 100), nous aurons 791.416.103 mètres cubes d'acide sulfureux versés par an dans la couche de 1.489.806.900.000 mètres cubes de l'air. Sous conditions que cette couche d'air ne se renouvelle jamais

(1) *Ueber die Gründlagen technischer und gasetzliche Massnahmen gegen Rauchschäden*, S. II. Berlin, 1908.

et que l'acide sulfureux ne s'oxyde pas, ne se neutralise pas par l'ammoniaque de l'atmosphère et ne se précipite pas sur le sol, la teneur de l'air en acide sulfureux ne sera augmentée, au bout de l'année, que de 0,00531 p. 100 en volume. Admettant que les autres sources des fumées fournissent autant d'acide sulfureux que la combustion de la houille, l'augmentation annuelle de la teneur de l'atmosphère en acide sulfureux sera de 0,01 p. 100 en chiffres ronds.

Mais supposons maintenant que l'air est en mouvement à une vitesse de 5 mètres sur la surface de 122,11 kilomètres carrés; dans ces conditions, toute la masse d'air doit se renouveler toutes les 6,78 heures, c'est-à-dire que, dans l'espace d'une année, l'air doit se renouveler 1.292 fois au-dessus de la surface de la Saxe; la concentration moyenne de l'acide sulfureux doit ainsi s'abaisser jusqu'à 0,00000411 p. 100.

Pour hypothétique qu'il soit, ce chiffre nous donne cependant l'idée que *l'altération de l'atmosphère par les fumées ne peut avoir qu'une importance locale.*

CHAPITRE II

Caractères des lésions occasionnées par les fumées à la végétation.

A) *Lésions externes des plantes sous l'action corrodante des gaz acides.*

Les fumées acides qui se dégagent des cheminées se répandent dans l'atmosphère dans toutes les directions, mais principalement dans la direction du vent dominant.

Les cheminées élevées, avec un tirage puissant, projettent les fumées à une hauteur plus grande que les cheminées basses et à tirage faible; les courants d'air s'emparent de ces fumées, les emportent et les laissent se précipiter sur les forêts et les champs avoisinants.

Depuis les recherches de A. Stöckhard, on distingue les lésions occasionnées par les fumées à la végétation en deux catégories :

1° *Lésions aiguës*, c'est-à-dire lésions provoquées par des concentrations assez élevées de gaz acides capables de tuer les plantes, ou au moins de corroder leurs parties vertes;

2° *Lésions chroniques*, qui sont causées à la longue par des concentrations faibles et qui se traduisent par une intoxication interne des plantes.

M. Wislicenus (1) a divisé les gaz industriels en deux groupes, d'après leur mode d'action sur la végétation :

1° Le premier de ces groupes, acide sulfurique, acide azotique, acide chlorhydrique et acide hydro-silico-fluorique, occasionne, sous forme de vapeurs acides, une *corrosion externe* des organes verts des plantes;

2° Le deuxième, acide sulfureux et chlore, intervient dans l'échange gazeux des plantes et provoque des *lésions internes*. Il est évident que cette division est un peu arbitraire; il peut arriver, par exemple, que l'acide sulfureux, en s'accumulant dans des dépôts de neige, peut, dans certaines conditions, occasionner de légères corrosions; d'autre part, les vapeurs de certains acides peuvent arriver à l'intérieur des plantes. Mais cette division donne tout de même à l'observateur une idée générale du mode d'action des différents gaz.

Actuellement, on distingue : 1° les *lésions externes* provoquées par l'action corrodante des acides; 2° les *lésions internes* résultant de l'absorption des gaz acides par les cellules des parties vertes des plantes suivant les voies respiratoires. Les premières, ainsi que les secondes, peuvent être aiguës ou chroniques (2).

---

(1) H. Wislicenus. Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. *Zeitschr. f. angew. Chemie*, 1901, S. 28.

(2) Grohmann. *Atmungs- und Aetzschäden*. Vortrag gehalten in Dresden und Tharand, Dezember 1906, über Wesen der Rauchschäden und deren Bedeutung für die Forstwirtschaft.

PLANCHE I

Fig. 1. — Lésions des aiguilles de la dernière année occasionnées par l'action corrodante des acides.

(*D'après* M. Th. Grohmann.)

Fig. 2. — Destruction des aiguilles des pousses des deux dernières années.

(*D'après* M. Th. Grohmann.)

Ce sont surtout les parties jeunes des plantes qui présentent des lésions du premier groupe, et c'est pourquoi on les observe particulièrement au printemps, lorsque les jeunes pousses de l'année sont au premier stade de leur développement.

Ces lésions apparaissent brusquement avec une grande intensité et déterminent le plus souvent la mort des parties végétales atteintes (fig. 1, planche I).

Lésions des Conifères.

Les Conifères, particulièrement le Pin, sont très sensibles à l'action corrodante des acides (1). Les bourgeons, lorsqu'ils sont recouverts des écailles, sont protégés contre toute l'action des gaz acides; mais, une fois les écailles tombées, les jeunes pousses sont frappées par les acides et le danger d'une corrosion persiste jusqu'au moment où les aiguilles se recouvrent d'une couche cireuse protectrice.

Les aiguilles attaquées se colorent en jaune, jaune brun ou rouge brun, et tombent sans avoir atteint leur développement complet (fig. 2, pl. I).

Dans la plupart des cas, ce sont les aiguilles qui apparaissent au printemps avant les autres qui sont tuées; ainsi les jeunes pousses sont dégarnies des aiguilles ordinairement à la base (fig. 3, pl. II).

Il arrive aussi que les pousses se dégarnissent des aiguilles suivant des lignes longitudinales sur toute

---

(1) Grohmann. *Erfahrungen u. Anschauungen über Rauchschäden in Walde und deren Bekämpfung.* Berlin, 1910, S. 11.

leur longueur, ou que les aiguilles tombent seulement par quelques petits endroits. Quelquefois, principalement chez le Sapin, les extrémités seules des aiguilles sont attaquées et présentent des corrosions; ces aiguilles, sauf dans les parties corrodées, sont complètement saines, restent attachées aux branches, et peuvent collaborer à l'assimilation.

Ces lésions sont sans gravité pour le développement normal des Conifères, d'autant plus que l'activité des aiguilles saines contribue à la conservation des forces vitales des plantes, mais elles peuvent devenir préjudiciables lorsqu'elles se produisent pendant une série d'années consécutives.

La mort des pousses entières est beaucoup plus dangereuse pour la croissance et la conformation des Conifères. Cela arrive quelquefois sous l'action de fortes concentrations de gaz acides dans le voisinage des usines. La destruction des pousses provoque naturellement la déformation du port des arbres et explique leur aspect rabougri et leur forme irrégulière (fig. 4, pl. II).

P. v. Rusnow (1) décrit de la façon suivante l'aspect d'une forêt de conifères située à 750 mètres environ d'une fabrique de cellulose et d'une fabrique de papier : « Les cimes sont mal formées, peu garnies de branches, et en grande partie desséchées. La croissance des arbres est ralentie. Les aiguilles ont une coloration terne; l'examen des plus atteintes montre que les extrémités des aiguilles sont colorées en

(1) P. v. Rusnow. *Ueber die Feststellung von Rauchschäden im Nadelwald.* Wien, 1910, S. 5.

PLANCHE II

Fig. 3. — Destruction des aiguilles sur la base des jeunes pousses.

(*D'après* M. Th. Grohmann.)

Fig. 4. — Déformation des arbres sous l'action corrodante des acides.

(*D'après* M. Th. Grohmann.)

rouge brun, surtout sur le côté tourné vers la source des fumées. Les aiguilles tombent; ce sont d'abord les jeunes pousses, puis des branches entières qui se dénudent; celles qui persistent encore sur les branches sont plus courtes que les aiguilles normales et d'une conformation défectueuse. Les aiguilles de la quatrième et de la troisième année sont fortement décolorées et en majeure partie tombées; celles de la deuxième et de la première année sont mieux conservées, mais présentent aussi de fortes lésions.

« L'examen microscopique montre la coloration rouge brunâtre des cellules des stomates et des vaisseaux. Les pieds abattus montrent, dans la coupe transversale, une forte diminution de la largeur des couches annuelles.

Lésions externes des plantes feuillues.

Les plantes feuillues sont beaucoup moins sensibles que les Conifères à l'action corrodante des gaz acides, ce qui s'explique par le fait que les arbres feuillus n'ont besoin que de quelques jours pour développer leurs feuilles et leurs jeunes pousses, tandis que les Conifères ont besoin de semaines et même de mois dans les conditions défavorables. Ainsi la période pendant laquelle les jeunes feuilles sont dans un état très sensible et courent le plus grand danger d'être frappées par les gaz acides est beaucoup plus courte chez les arbres feuillus que chez les Conifères.

Localisation et couleur des taches.

Les corrosions sous forme de taches, d'une forme et d'une couleur variables, se forment généralement sur le bord des feuilles, plus rarement entre les nervures, ce qui s'explique par le fait que la substance cireuse de la cuticule qui préserve les jeunes feuilles contre l'action corrodante des gaz acides se forme d'abord au milieu du limbe foliaire et seulement plus tard sur les bords (1).

La coloration des taches n'a rien de caractéristique pour permettre de distinguer la nature de l'acide qui les a occasionnées; la tonalité de la coloration des taches peut varier du jaune clair jusqu'au rouge brun, suivant la nature des plantes. Quelquefois, il arrive que les taches sur les feuilles sont blanchâtres, comme, par exemple, dans le cas de *Sambucus*, *Ribes aureum*, *Trifolium*, *Medicago*, ou jaunâtre chez l'Avoine et la Carotte, ou même complètement noires chez les Dahlia et Taraxacum (2). Le plus souvent, il arrive que les taches ne sont pas colorées régulièrement, la périphérie étant presque toujours plus foncée (fig. 5, planche III).

MM. F. v. Schrœder et C. Reuss ont pensé pouvoir distinguer l'action de l'acide chlorhydrique de l'action de l'acide sulfureux d'après la disposition des taches sur le limbe foliaire; d'après eux, l'acide chlorhydrique attaque toujours les bords des feuilles,

---

(1) Th. Grohmann. *Erfahrungen und Anschauungen über Rauchschäden*, etc., S. 14.

(2) Haselhoff u. G. Lindau. *Die Beschädigung*, etc., S. 5.

PLANCHE III

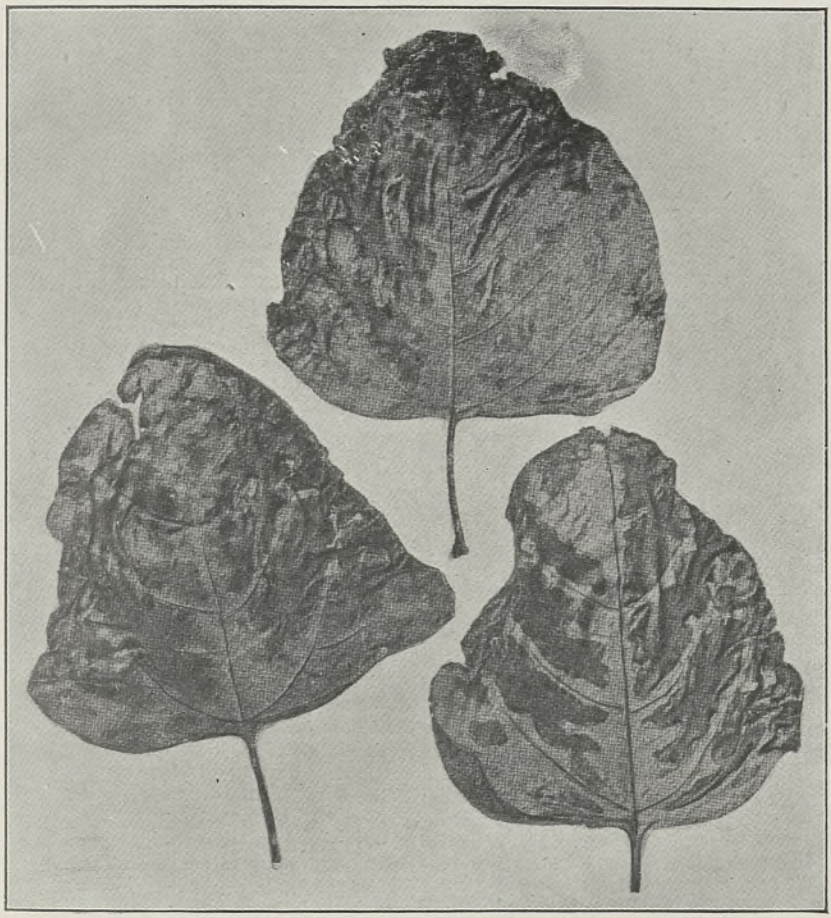

Fig. 5. — Feuilles de *Polygonum Sachalinense* corrodées par les fumées acides.

(*D'après* MM. Haselhoff et Lindau.)

tandis que l'acide sulfureux corrode surtout le milieu du limbe. En tout cas, les auteurs ajoutent qu'on ne peut pas se baser uniquement sur ce caractère dans la détermination des causes des lésions et qu'il faut le compléter par l'analyse chimique des feuilles. Nous reviendrons sur cette question dans le chapitre suivant et nous nous bornerons, pour le moment, à remarquer que, *dans l'expertise des endommagements de la végétation par les fumées industrielles, l'expert devra prêter attention aux caractères botaniques, soit macroscopiques, soit microscopiques.* Des corrosions ne s'observent que dans le voisinage très proche des établissements industriels, tandis que les conséquences de l'action des gaz acides se font ressentir à des distances parfois très grandes des sources des fumées, sans que la végétation présente des corrosions sur les feuilles. En outre, *il existe un grand nombre de causes qui peuvent provoquer sur les feuilles la formation de taches analogues à celles occasionnées par les fumées;* ce sont notamment certains parasites cryptogamiques, les piqûres d'insectes, les conditions défavorables de l'atmosphère et du sol (1). Ainsi, parmi les quatre-vingt-cinq échantillons de plantes endommagées par les fumées présentés par M. Leons Peeters à la *Commission belge* chargée de l'étude de la question des fumées nocives, on n'en a pu trouver que six dont les taches pouvaient être occasionnées par les gaz acides; les taches des autres soixante-dix-neuf échantillons devaient

(1) Haselhoff u. Lindau. *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch*, SS. 12-20.

être attribuées aux piqûres d'insectes, aux parasites cryptogamiques et à certaines conditions défavorables au milieu, etc. (1).

M. Wieler (2) insiste sur la ressemblance frappante qui existe entre les Hêtres végétant sur un sol acide tourbeux, et les Hêtres éprouvés d'une façon chronique par les fumées acides : la croissance des arbres se ralentit, les sommets des individus âgés se dessèchent, les feuilles présentent une coloration jaunâtre; en un mot, on est en présence de tous les symptômes qu'on observe dans les lésions chroniques occasionnées par les fumées.

Les recherches microscopiques sur les lésions des organes assimilateurs des plantes n'ont pas permis de découvrir de *caractères anatomiques spéciaux à l'action des gaz acides*, et pourtant les travaux dans ce sens sont assez nombreux. Les recherches de P. Sorauer, E. Ramann, A. Wieler, etc., ont montré que les mêmes lésions peuvent être provoquées par des agents tout à fait différents (fig. 6, 7, 8).

« Ces résultats, dit M. Wieler, ne doivent pas surprendre, car la cellule végétale meurt toujours de la même façon, quelle que soit la cause qui a occasionné cette mort. Beaucoup plus importants sont les phénomènes qui accompagnent la résistance de la cellule contre la mort (3). »

---

(1) Schroeder u. Reuss. *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch*, etc., 1883, S. 110.

(2) Wieler. *Untersuchungen über Einwirkung Schwefliger Säure*, etc., 1905, S. 300.

(3) Wieler. *Untersuchungen über die Einwirkung der schwefligen Säure*, etc., S. 80.

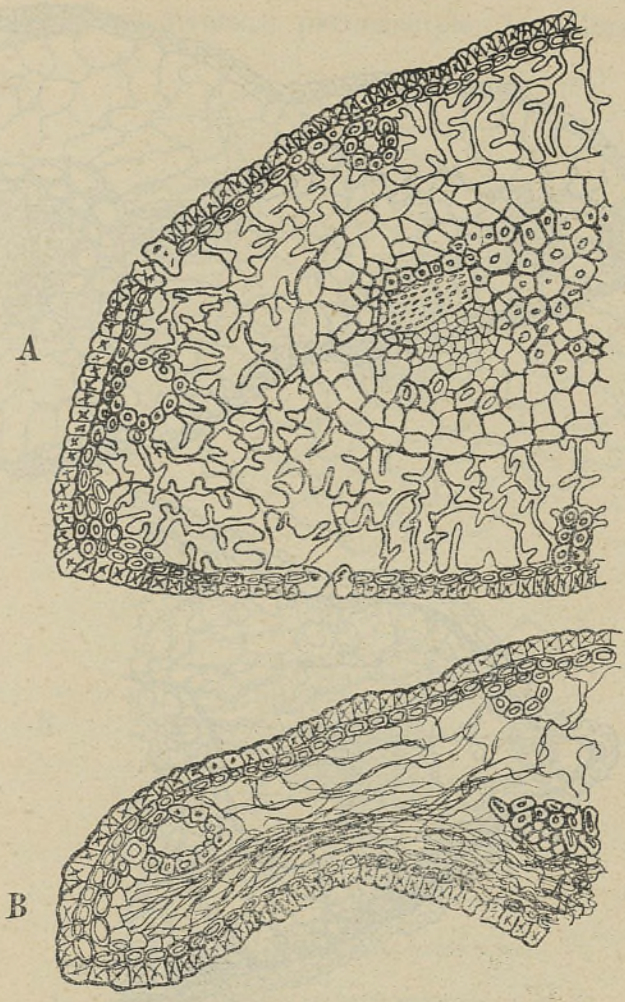

Fig. 6. — Coupes transversales des aiguilles d'*Abies* :

A) Aiguille normale ;

B) Aiguille tuée par les fumées.

(*D'après* MM. Haselhoff et Lindau.)

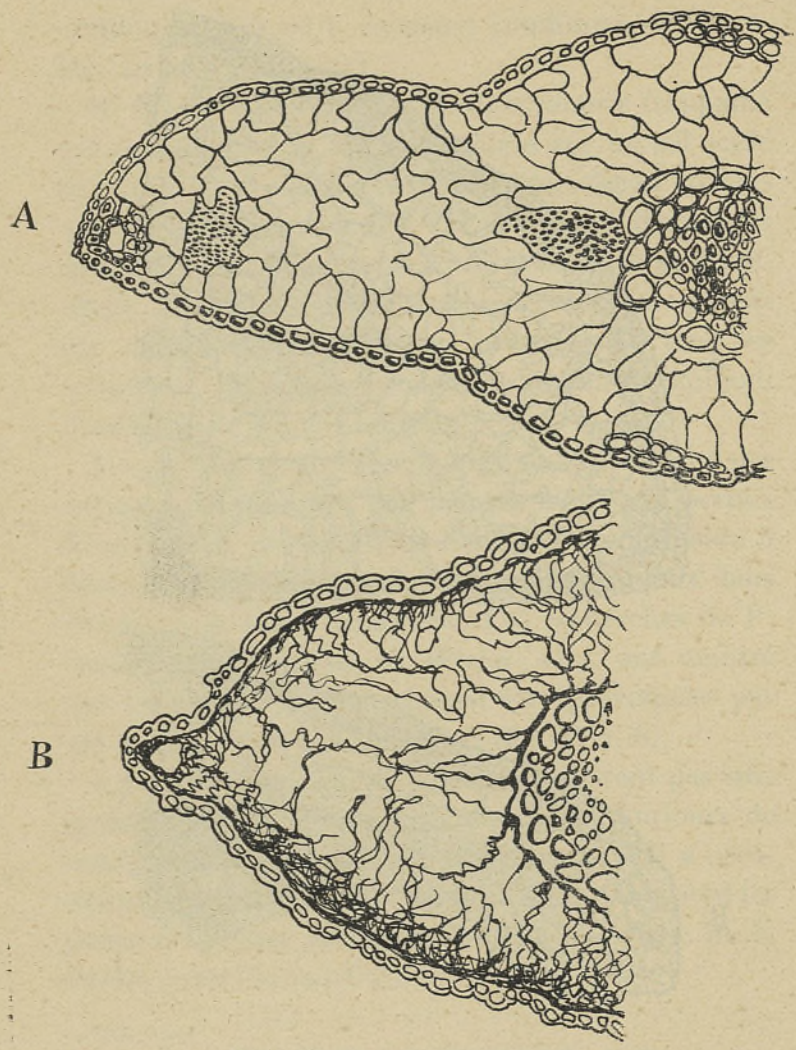

FIG. 7. — Coupe transversale des aiguilles de Mélèze (*Larix europæa*):
A) Aiguille saine; dans deux cellules sont représentées les grains chlorophylliens;
B) Aiguille tuée par l'acide sulfureux.

(*D'après* MM. HASELHOFF et LINDAU.)

Une même intoxication peut produire des taches de couleurs diverses; par exemple, la coloration

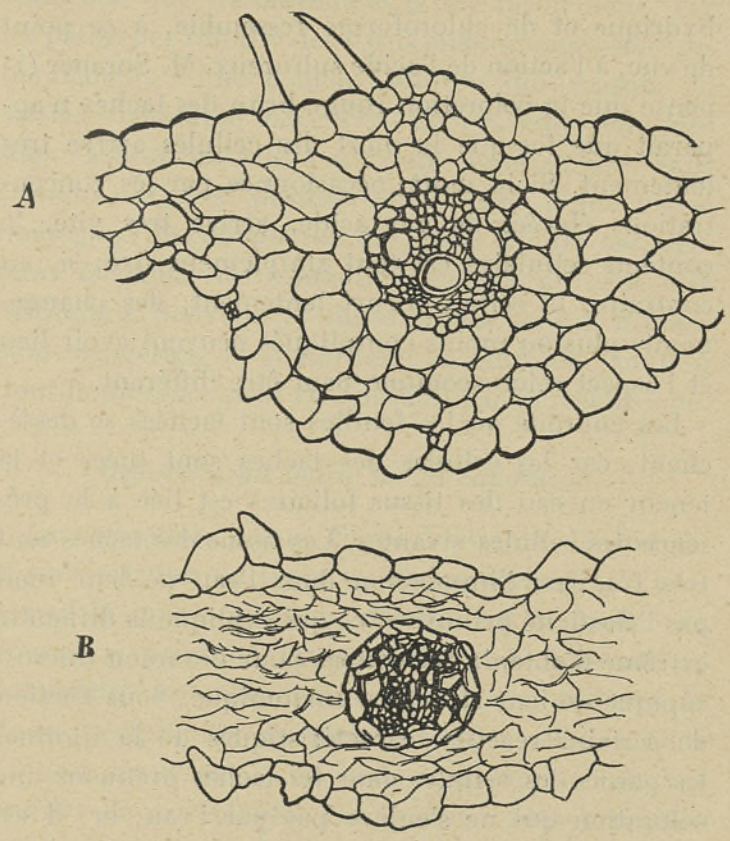

Fig. 8. — Coupes transversales des feuilles de Seigle :
A) Feuille normale ;
B) Feuille tuée par l'acide sulfureux.
(*D'après* MM. Haselhoff et Lindau.)

rouge brun des cellules tuées par l'acide sulfureux n'apparaît que lorsque le gaz agit sous l'influence immédiate des rayons solaires; les expériences de la-

boratoire, sous une cloche. donnent des taches jaune verdâtre, quoique la température sous cette cloche soit assez élevée. L'action des vapeurs d'acide chlorhydrique et de chloroforme ressemble, à ce point de vue, à l'action de l'acide sulfureux. M. Sorauer (1) pense que la coloration rouge brun des taches n'apparaît que lorsque la mort des cellules arrive très lentement. Si la mort, occasionnée par les concentrations élevées de gaz acide, arrive très vite, le contenu cellulaire est tout simplement fixé; si, au contraire, la cellule meurt lentement, des changements plus ou moins compliqués peuvent avoir lieu et l'aspect microscopique peut être différent.

Les endroits où les feuilles sont tachées se dessèchent, car les cellules des taches sont tuées et la teneur en eau des tissus foliaires est liée à la présence des cellules vivantes. Les tissus des taches sont très fragiles; l'immersion dans l'eau ne leur rend pas l'élasticité primitive, ce qui explique la difficulté extrême d'obtenir des coupes pour l'examen microscopique de leur structure anatomique. Sous l'action de certains réactifs, caractéristiques de la lignine, les parois des cellules dans les taches prennent une coloration qui ne s'enlève pas par l'eau; or, il est évident que les parois des cellules tuées par les fumées se sont lignifiées. On peut donc parfois localiser micrographiquement ces taches de lignification. En tous cas, il faut remarquer que cette

---

(1) Sorauer. Ueber die Rotfärbung der Spaltöffnungen bei Picea. *Notizblatt der Kgl. botanischen Gartens u. Museums zu Berlin*, n° 16, 1898, S. 245.

réaction réussit seulement avec les taches, sur les organes assimilateurs des plantes feuillues, et ne se manifeste que très rarement d'une façon nette, car les parois des cellules des tissus endommagés sont généralement d'une couleur sombre qui masque la matière colorante fixée (1). Le contenu cellulaire sous l'action des acides se contracte et se fixe; dans certains cas, il se présente sous forme d'une masse homogène de couleur sombre, dans d'autre cas, certains éléments de contenu cellulaire peuvent être distingués. Souvent les chloroplastes sont de dimensions exagérées, ils renferment en outre de l'amidon dont la présence peut être décelée par le réactif iodé.

Influence du tanin sur la coloration.

La coloration brune du protoplasme dépend de la précipitation du tanin ou de ses dérivés, qui possèdent la même réaction, notamment la faculté de donner le précipité brun noir avec bichromate de potassium. Le mécanisme de la transformation et de la précipitation du tanin, dans les cellules, sous l'action des acides, n'est pas encore connu (2). Les feuilles de nos plantes européennes sont généralement riches en tanin; cependant certaines plantes, telles que le Trèfle, le Sambucus, le Taraxacum, le Dahlia, l'Avoine, etc., n'en renferment pas, ou n'en renferment que très peu; les pigments qui déter-

(1) Wieler. *Untersuchungen über die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen.* Berlin, 1905.

(2) Wieler. *Untersuchungen über die Einwirkung schwefligen Säure*, etc.

minent la coloration des taches de ces plantes ne sont pas des dérivés du tanin, mais de certaines autres substances. Par exemple, les feuilles d'*Aucuba japonica* renferment un glucoside connu sous le nom d'aucubine, qui possède la faculté de se décomposer sous l'action des acides et des diastases hydrolysantes en donnant du glucose et un pigment insoluble dans l'eau; c'est ce pigment qui colore les cellules mortes d'*Aucuba* en noir. Même si on tue préalablement les diastases des feuilles d'*Aucuba*, en les plongeant dans l'eau bouillante, les feuilles noircissent tout de même, l'aucubine se décompose lentement sous l'action du suc cellulaire acide d'*Aucuba* (1).

Comme l'ont montré les recherches de P. Sorauer, E. Raman, A. Wieler, M. Mirande, etc., *différentes substances gazeuses et vapeurs peuvent provoquer dans les feuilles des changements absolument identiques.*

Résistance comparative des arbres à l'acide sulfureux.

Tous les arbres ne sont pas également sensibles à l'action corrodante des gaz acides. M. Reuss a dressé une échelle de résistance des arbres contre l'acide sulfureux; la « Commission belge » a fait de même pour l'acide chlorhydrique (2). Ces échelles commencent par les plantes les plus sensibles :

---

(1) Maquenne et Demoussy. Le noircissement post-mortal des feuilles. *Revue générale des Sciences*, 15 mars 1910.

(2) Haselhoff u. Lindau. *Die Beschädigung. der Veg. d. Rauch.* S. 7.

ACIDE SULFUREUX	ACIDE CHLORHYDRIQUE
1. Picea excelsa.	Carpinus betulus.
2. Pinus silvestris.	Carpinus incisa.
3. Prunus avium.	Corylus avellana.
4. Fagus silvatica.	Quercus robur.
5. Carpinus betulus.	Fagus silvatica.
6. Tilia grandifolia.	Betula alba.
7. Betula alba.	Acer pseudoplatanus.
8. Alnus glutinosa.	Acer campestre.
9. Sorbus aucuparia.	Salix cinerea.
10. Tilia parvifolia.	Crataegus oxyacantha.
11. Pirus malus.	Evonymus europaea.
12. Æsculus hippocastanum.	Ulmus campestris.
13. Robinia pseudoacacia.	Tilia platyphylla.
14. Salix capræa.	Prunus spinosa.
15. Salix alba.	Larix europaea.
16. Fraxinus excelsior.	Rubus fruticosus.
17. Ulmus effusa.	Fraxinus excelsior.
18. Populus tremula.	Populus alba.
19. Populus nigra.	Populus fastigiata.
20. Populus balsamifera.	Populus tremula.
21. Acer campestre.	Thuia orientalis.
22. Acer pseudoplatanus.	Vitis vinifera.
23. Quercus.	Prunus domestica
24. Acer platanoïdes.	Malus communis.
	Pirus communis.
	Prunus cerasus.
	Ribes.
	Rosa.
	Syringa vulgaris.
	Philadelphus coronarius.
	Rubus idaeus.
	Spiraea ulmaria
	Humulus lupulus.
	Alnus.

Il est évident que ces échelles n'ont qu'une valeur relative, car *la résistance des différentes essences et même des différents individus varie beaucoup avec les conditions de sol, de climat, de culture, etc.* En outre, la comparaison des degrés de l'endommagement de deux arbres d'après le nombre des pousses et des feuilles atteintes est très difficile.

Les plantes annuelles herbacées sont moins sensibles à l'action des gaz acides, et des lésions sont

moins apparentes. Elles sont plus menacées dans leur jeune âge, mais, en raison de leur faible durée, les accidents chroniques qui menacent les plantes annuelles sont moins fréquents. Pour celles qui sont vivaces par leur partie souterraine, les conditions doivent être considérées à part, car le sol peut être intoxiqué. Dans ce cas, les pousses aériennes peuvent présenter des accidents chroniques. M. Stöckhardt (1) a observé chez les jeunes céréales et les plantes des prairies, frappées par les fumées, la coloration *rouge* des extrémités des feuilles, qui devient plus tard *jaunâtre* et enfin *blanchâtre*. Dans certains cas, les plantes atteintes peuvent se reposer, mais le plus souvent une partie d'entre elles restent en retard dans leur développement et arrivent à maturité plus tard que les plantes saines.

Si l'action des fumées s'exerce sur un champ de céréales au moment de la floraison, on observe beaucoup d'épis vides et une formation défectueuse des grains. La question de l'influence des gaz acides sur la fécondation et la formation des fruits des plantes n'a pas été jusqu'à présent étudiée; on s'est borné à constater le fait sans se demander à quel point les éléments sexuels des plantes sont sensibles aux influences des gaz acides et quelle part dans la diminution de la récolte en graines doit être attribuée aux lésions des parties végétatives des plantes, etc. Nous nous sommes occupé personnellement de ces questions et nous en reparlerons dans un chapitre spécial;

---

(1) Schroeder und Reuss. *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch*, etc., S. 107.

pour le moment nous nous bornerons à remarquer que les éléments reproducteurs des plantes peuvent être considérés comme les organes les plus sensibles des végétaux (1).

B) *Lésions internes des végétaux.*

Les concentrations des gaz acides dans l'atmosphère diminuent à mesure qu'on s'éloigne de la source des fumées et arrivent enfin à un degré tellement faible qu'il ne peut plus être question d'une action nocive de ces gaz pour la végétation. D'après M. Wislicenus (2), il faut admettre à 1/500.000 la concentration de l'acide sulfureux au-dessous de laquelle cet acide peut être envisagé comme étant tout à fait inoffensif pour les plantes. La conclusion de M. Wislicenus est plutôt de nature théorique et diffère de celle de M. Wieler (3), qui a déterminé d'une façon expérimentale la teneur de l'atmosphère en acide sulfureux aux différentes distances des usines incriminées. La méthode de Wieler consistait à aspirer de l'air en le faisant passer à travers une série de flacons remplis d'une solution titrée de bicarbonate de potasse. La quantité de SO^2 était déterminée d'après le poids de $BaSO^4$ formé.

---

(1) V. Sabachnikoff. Action de l'acide sulfureux sur le pollen. *C. R. Soc. Biolog. de Paris*, Réunion Biologique de Nancy, janvier 1912.

(2) Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. *Zeitschrift für angewandte Chemie*, 1901, Heft 28.

(3) *Untersuchungen über Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen*, Berlin, 1905.

L'analyse de l'atmosphère dans la forêt « Kleine Probstey », à une distance de 1.200 mètres de la source des fumées la plus proche, a donné les résultats suivants :

1re expérience.	1 : 1.888.170
2e —	1 : 274.700
3e —	1 : 390.000
4e —	1 : 662.000

Les recherches aux environs de Stolberg, à une distance de 10 kilomètres 1/4 de la source des fumées, ont donné :

1. Vent de l'Est et de Nord-Est.	1 : 2.043.000
2. — de Sud.	1 : 27.370.000
3. — de l'Est	1 : 2.232.500
4. — de Nord-Ouest-Ouest.	1 : 1.700.000
5. — de Nord-Ouest	1 : 1.664.000
6. — de l'Ouest très fort	1 : 273.000

Wieler attribue aux conditions atmosphériques la différence entre les données de chaque expérience et propose d'admettre les concentrations de 1 : 1.500.000 ou de 1 : 1.750.000 comme la limite de concentration au-dessous de laquelle l'acide sulfureux peut être envisagé comme étant complètement inoffensif pour les végétaux.

Intoxication des plantes par la voie respiratoire.

Il est évident que des concentrations aussi faibles ne peuvent pas occasionner la mort des pousses même les plus jeunes et provoquer la formation des taches sur les feuilles. Mais malgré cela, les arbres souffrent, montrent des cimes et des branches desséchées, leur croissance se ralentit, la largeur des cou-

PLANCHE IV

Fig. 9. — Peuplement de *Picea* âgés de 40 à 45 ans, fortement éprouvés par les fumées.

(*D'après* M. Th. Grohmann.)

Fig. 10. — Deux *Picea* fortement endommagés. A côté on voit un jeune *Abies* tout à fait sain.

(*D'après* M. Th. Grohmann.)

ches annuelles diminue, et finalement les plantes meurent.

M. Wieler explique ce phénomène par la propriété que possèdent les organes assimilateurs des plantes d'accumuler dans leurs tissus l'acide sulfureux qui se trouve dans l'atmosphère, et qui commence à influencer les fonctions vitales des végétaux seulement après avoir atteint un certain degré de concentration.

Intoxication des plantes par le sol.

A cette intoxication directe des plantes par la voie respiratoire, il faut ajouter aussi une action indirecte de l'acide sulfureux par l'intermédiaire du sol; celui-ci s'appauvrit sous l'action prolongée des acides amenés par les précipitations atmosphériques.

La résistance des plantes aux intoxications par la voie respiratoire varie beaucoup d'une essence à l'autre. D'après M. Grohmann (1), c'est le *Picea* qui est le plus sensible (fig. 9, pl. IV). *Abies pectinata* se montre très résistante dans sa jeunesse et seulement à partir de sa quarantième année devient très sensible et succombe dans un temps très court (fig. 10, pl. IV). *Pinus sylvestris* et *Pinus strobus* sont en général sensiblement plus résistants que le *Picea*, surtout dans la jeunesse (fig. 11, pl. V).

Les arbres âgés, au contraire, souffrent beaucoup de ces lésions.

Le Mélèze est certainement l'essence qui souffre le moins parmi les Conifères.

---

(1) Grohmann. *Erfahrungen und Anschauungen über Rauchschäden*, etc., S. 17.

Influence de l'eau sur la résistance à l'intoxication.

Les arbres feuillus souffrent aussi de l'action chronique des faibles concentrations de gaz acides, mais il n'arrive que rarement qu'ils présentent des lésions plus ou moins graves. M. Th. Grohmann pense que la résistance plus grande des arbres feuillus aux gaz acides dépend de la richesse en eau de leurs cellules pendant la période végétative, cette eau contribuant ainsi au délayement des acides absorbés jusqu'à une concentration inoffensive; en outre les parois minces des cellules des tissus foliaires permettent la répartition, entre un grand nombre de cellules, des acides absorbés dans un temps très court. En général, l'humidité du sol joue un grand rôle dans cette sorte d'intoxication des plantes par les voies respiratoires : *Plus les arbres reçoivent d'eau saine du sol, plus faibles et plus tardives sont les lésions dues à l'absorption des gaz acides.*

Certains auteurs prétendent même qu'on peut guérir des arbres malades en mettant à leur disposition une quantité suffisante d'eau saine.

Peuplements mixtes.

Dans toutes les contrées éprouvées par les fumées, on peut faire l'observation que lorsque certains arbres conifères sont mélangés aux essences feuillues d'une bonne végétation, ces premiers ne présentent pas ou ne présentent que très tardivement des symptômes d'intoxication. Ce phénomène ne peut être expliqué que par ce fait que ces Conifères, dans les conditions

PLANCHE V

Fig. 11. — *Pinus* âgés, endommagés par les fumées.
(*D'après* M. Th. Grohmann.)

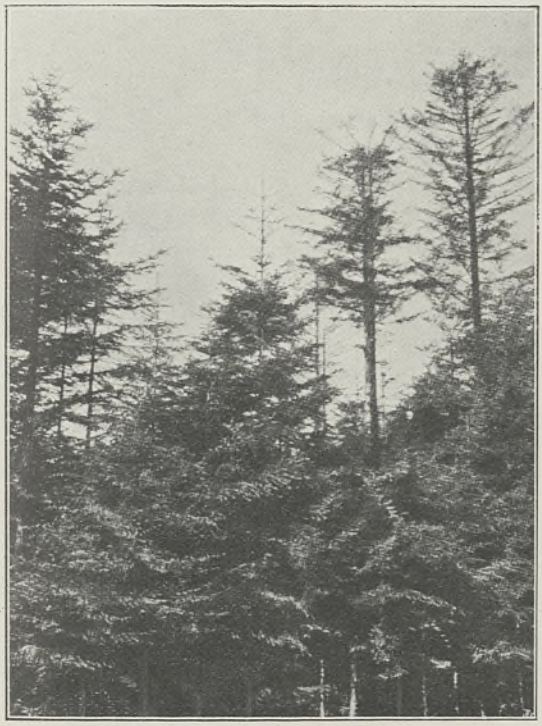

Fig. 12. — Peuplement d'*Abies* âgés, fortement endommagés.
A côté on voit de jeunes *Abies* parfaitement sains.
(*D'après* M. Th. Grohmann.)

précitées, végètent dans les endroits frais, car on sait que 100 parties de sol des futaies feuillues retiennent au moins 400 à 480 parties d'eau.

La résistance du Sapin contre les gaz acides pendant la première période de sa vie peut s'expliquer par l'activité de ses jeunes et vigoureuses racines qui vont profondément dans le sol et pourvoient abondamment les plantes en eau. Avec l'âge, les besoins des arbres en eau augmentent; mais justement les Sapins présentent la particularité de développer leurs racines dans un plan horizontal toujours de plus en plus superficiel. A un certain âge, les racines pivotantes du Sapin, allant dans les couches profondes du sol, meurent et le système des racines de Sapin se rapproche de plus en plus de celui de l'Epicea. Arrivés à ce moment, les arbres commencent à souffrir, montrent les aiguilles jaunies et les cimes dénudées et succombent plus ou moins vite.

La fig. 12 (pl. V) présente des Sapins âgés, gravement atteints par les fumées; à côté on voit des jeunes Sapins tout à fait sains. Cette figure montre d'une façon très claire la résistance des Sapins jeunes et des Sapins âgés vis-à-vis des fumées acides.

D'après ce que nous avons dit, il résulte que *les lésions provoquées chez les plantes par la respiration des gaz acides sont beaucoup plus dangereuses, occasionnent des dégâts matériels beaucoup plus graves que l'action corrodante des fortes concentrations de certains acides.*

Les lésions dues à l'action corrodante des acides ne sont à craindre que pendant une période assez

courte lorsque les organes assimilateurs des plantes n'ont pas acquis les couches de liège et de cire protectrices, tandis que l'intoxication par les voies respiratoires se poursuit pendant toute la période végétative, sauf la nuit lorsque la plante n'assimile point.

Action chronique des gaz acides.

Comme conséquences immédiates de l'action chronique des faibles concentrations des gaz acides sur les parties des plantes ligneuses, il faut mentionner la diminution d'accroissement de la masse du bois. Extérieurement ces arrêts de l'accroissement se manifestent par la diminution de la largeur des couches annuelles, d'où résulte un diamètre moins gros des arbres malades. C'est à M. Reuss (1) qu'on doit les premières études approfondies sur ces arrêts de l'accroissement du bois sous l'action des fumées. M. Reuss partait de cette considération que toutes les conditions agissant sur les organes foliaires doivent influencer d'une façon positive ou négative l'accroissement des arbres en épaisseur. L'arbre se trouve-t-il pendant une période végétative dans des conditions plus favorables, cette période sera marquée d'une couche annuelle plus large. Au contraire, les conditions défavorables, par exemple la sécheresse, les ravages des insectes, les attaques des champignons seront marqués par des couches annuelles

(1) *Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Wincklerschen Forstreviere Miechowitz-Rokittnitz* (1893) und *Gutachten über Rauchbeschädigungen in dem von Tiele-Winklerschen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz* (1903).

plus étroites. On peut ainsi, en comparant la largeur des couches annuelles entre elles, conclure en quelle année l'arbre a végété dans des conditions défavorables.

Influence des fumées sur l'épaisseur des couches annuelles de bois formées par les arbres.

La fumée agit sur les feuilles et sur les aiguilles d'une façon très intensive et les couches qui se sont formées pendant les années où ont sévi les fumées sont particulièrement étroites.

La figure 13 (A) représente la section d'une rondelle d'un Pin éprouvé par les fumées; la figure 13 (B) représente comparativement la section d'un Pin sain.

Les deux arbres viennent de Grevenbrück (Oberschlesien) mais (A) vient d'une zone éprouvée par les fumées d'une fabrique d'acide sulfurique, tandis que (B) vient d'une zone saine. On voit sur la section de la souche normale une largeur à peu près égale des couches annuelles; en tous cas la largeur des couches diminue un peu mais très régulièrement vers l'extérieur. Seulement la couche correspondant à la dix-neuvième année est accidentellement étroite. La souche malade (A), quoiqu'elle soit de sept ans plus âgée que la souche normale (B), a un diamètre notablement plus petit; jusqu'à la seizième année, la largeur des souches y est constante, mais, à partir de la dix-septième année, les couches annuelles deviennent singulièrement étroites, de façon que la limite du bois d'automne ne peut plus être distinguée qu'à l'aide d'une loupe.

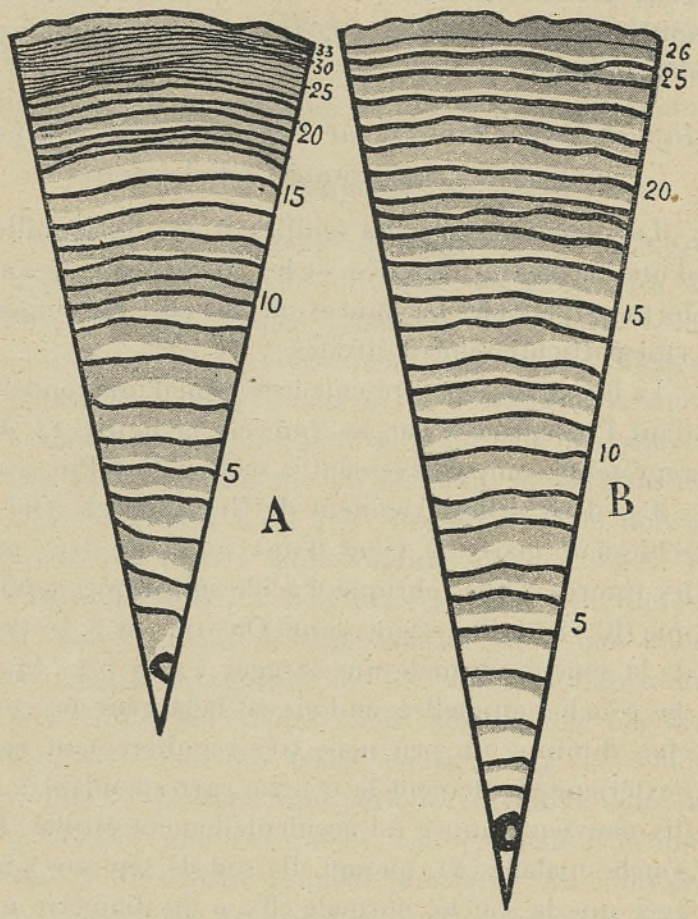

Fig. 13. — *Deux sections des rondelles de Picea de Grevenbrück faites en automne 1901.*

A. Arbre âgé de 33 ans dont la largeur des couches annuelles commence à diminuer à partir de l'année 1885, sous l'action des fumées industrielles.

B. Arbre sain, âgé de 26 ans, grandeur naturelle.

(*D'après* MM. Haselhoff et Lindau.)

Date de l'intoxication.

Si on compte maintenant les couches annuelles en sens inverse, on voit que le commencement de la diminution de la largeur des couches annuelles correspond à l'année 1885. C'est à cette époque aussi qu'on a observé les premières lésions extérieures des plantes. La fabrique d'acide sulfurique, dont nous avons parlé tout à l'heure, fut établie en 1875; il est tout naturel que les lésions ne soient apparues que plus tard, car la production d'acide sulfurique n'a été augmentée que progressivement et l'intoxication doit parfois durer un certain temps pour traduire ses effets.

Dans la détermination des dégâts occasionnés par la diminution d'accroissement du bois, on peut avoir affaire soit aux souches sur pied, soit aux souches abattues. Dans le premier cas, c'est de la sonde de Pressler qu'il faudra se servir, tandis que dans le cas des souches abattues, on pourra avoir recours soit aux rondelles coupées des souches, soit au cubage des troncs, soit au cubage des sections. La différence de l'accroissement trouvé des souches malades et de l'accroissement des souches normales établi par la pratique forestière, permettra de déterminer la perte de la masse ligneuse et d'exprimer en argent les proportions des dégâts (1). M. Reuss (2) a examiné

(1) C. Gerlach. *Beiträge zur Ermittelung des Holzmassenverlustes infolge von Rauchschäden.* Berlin, 1910.

(2) *Gutachten über Rauchbeschädigungen in dem von Tiele-Winklerschen Forstreviere Miechowitz-Rokittnitz*, 1903, S. 73.

un grand nombre de souches de Pins dans les environs de Miechowitz-Rokittnitz. Nous lui empruntons quelques exemples de ses calculs :

Nos DES SOUCHES EXAMINÉES	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880
41	5.4	5.6	7.0	6.0	6.0	5.0	3.0	3.0	5.4	2.0
78	9.0	10.0	12.0	8.0	8.0	4.0	10.0	6.0	4.0	3.0
23	10.0	8.0	7.6	4.4	6.0	7.0	4.0	3.0	3.4	3.0
15	8.0	8.0	8.0	7.0	10.0	10.0	8.0	6.0	7.0	7.0
	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890
41	1.4	0.6	0.8	0.8	0.4	0.6	1.0	1.0	0.6	0.4
78	4.0	4.0	3.0	2.4	2.6	2.6	1.8	1.6	2.2	0.8
23	3.6	4.0	3.0	5.8	3.2	4.0	4.0	2.0	2.0	2.0
15	6.0	6.0	6.0	6.0	5.4	5.6	4.8	5.0	2.8	3.4

Ces quatre pièces proviennent de quatre points différents de la forêt. Dans chaque division, cinq souches ont été percées à l'aide de la sonde de Pressler et étudiées au point de vue de la largeur de leurs couches annuelles; avec ces chiffres, on a calculé la moyenne de la largeur des couches annuelles pour chaque division de la forêt. D'après ces données, M. Reuss a dressé les tables suivantes :

Tableau n° I *(souche n° 41)*.— Picea âgé de 48 ans ; diamètre moyen sans écorce : 25,2 cm. Cinq percements (deux sur les souches de la croissance rapide, trois sur les souches de la croissance moyenne). Apparition des lésions vers le commencement de 1881. (Reuss.)

ANNÉES	Age des arbres à la fin de l'année	Intensité de l'accroissement au cours de l'année en mm.	Diamètre de la souche au commencement de l'année en cm.	Accroissement en trois années en cm.	Diamètre relatif	Accroissement		Diminution d'accroissement p. 100
						Trouvé	Normal	
1891			25,2					
1890	48	2,7						
1889	47	2,9		0,88	28,5	3,7	6,4	42
1888	46	3,2	24,32					
1887	45	3,4						
1886	44	3,7		1,07	22,7	4,5	7,2	
1885	43	3,6	23,25					
1884	42	4,2						
1883	41	5,7		1,42	16,4	6,3	8,1	
1882	40	4,3	21,83					
1881	39	4,7						
1880	38	6,0		1,80	12,1	8,7	9,3	
1879	37	7,3	20,03					
1878	36	7,2						
1877	35	9,4		2,46	8,1	13,0	10,6	
1876	34	8,0						
1875	33	7,2						

Tableau n° II (*souche n° 78*). — Picea de 37 ans. Diamètre moyen sans écorce : 10,4 cm. Transpercements sur les souches d'une croissance rapide. Croissance en hauteur défectueuse. Commencement des endommagements vers 1879. (Reuss.)

ANNÉES	Age des arbres à la fin de l'année	Intensité de l'accroissement au cours de l'année en cm.	Diamètre de la souche au commencement de l'année en cm.	Accroissement en trois ans	Diamètre relatif	Accroissement		Diminution de l'accroissement p. 100
						Trouvé	Normal	
1891			10,4					
1890	37	1,3						
1889	36	1,7		0,43	24,2	4,0	12,2	67
1888	35	1,3	9,97					
1887	34	1,7						
1886	33	3,1		0,87	11,5	8,5	14,2	
1885	32	3,9	9,10					
1884	31	3,3						
1883	30	5,5		1,31	6,9	14,5	16,9	
1882	29	4,3	7,79					
1881	28	4,3						
1880	27	3,7		1,30	6,0	16,9	20,5	
1879	26	5,0	6,49					
1878	25	7,7						
1877	24	7,0		2,10	3,1	33,3	27,0 (?)	
1876	23	6,3						
1875	22	8,0						

Tableau n° III *(souche n° 23)*. — Picea âgé de 65 ans. Diamètre moyen sans écorce : 30,2 cm. Cinq percements. Les volis commencent à se former. Certaines souches se trouvent isolées. (Reuss.)

Années	Age des arbres à la fin de l'année	Intensité de l'accroissement au cours de l'année en cm.	Diamètre de la souche au commencement de l'année en cm.	Accroissement en trois ans	Diamètre relatif	Accroissement		Diminution de l'accroissement p. 100
						Trouvé	Normal	
1891	66		30,2					
1890	65	3,2						
1889	64	2,5		0,89	33,9	2,6	3,8	31
1888	63	3,2	29,31					
1887	62	3,9						
1886	61	2,7		1,11	26,4	3,3	4,1	
1885	60	4,5	28,20					
1884	59	5,7						
1883	58	4,2		1,48	19,1	4,7	4,7	
1882	57	4,9	26,72					
1881	56	4,7						
1880	55	4,4		1,36	19,6	4,7	5,2	
1879	54	4,5	25,36					
187	53	5,5						
1877	52	6,3		1,87	13,6	6,7	5,9	
1876	51	6,9	23,49					
1875	50	6,4						
1874	49	6,0		1,89	12,4	7,3	6,9	
1873	48	6,5						

Tableau n° IV *(souche n° 15)*. — Picea âgé de 40 ans. Diamètre moyen sans écorce : 16,1 cm. Cinq percements. Commencement des endommagements en 1880. (Reuss.)

ANNÉES	Age des arbres à la fin de l'année	Intensité de l'accroissement au cours de l'année en cm.	Diamètre de la souche au commencement de l'année en cm.	Accroissement en trois ans	Diamètre relatif	Accroissement		Diminution de l'accroissement p. 100
						Trouvé	Normal	
1891			16,1					
1890	40	2,8						
1889	39	1,8		0,78	20,6	5,0	8,2	39
1888	38	3,2	15,32					
1887	37	3,2						
1886	36	4,5		1,18	13,0	8,0	9,5	
1885	35	4,1	14,14					
1884	34	4,6						
1883	33	4,0		1,26	11,2	9,3	11,0	
1882	32	4,0	12,88					
1881	31	4,2						
1880	30	4,2		1,75	8,9	11,7	12,9	
1879	29	6,1	11,73					
1878	28	5,0						
1877	27	6,5		2,51	4,6	17,5	16,1	
1876	26	6,7						
1875	25	6,9						

Ces exemples montrent clairement à quel point peut être dérangé l'accroissement annuel des arbres sans que ces derniers présentent de lésions apparentes. Les arbres feuillus présentent aussi sous l'action des fumées une diminution de l'accroissement annuel, mais elle est plus difficile à mettre en évidence et n'atteint jamais un degré aussi démonstratif que chez les Conifères.

Autres conséquences de l'intoxication.

La diminution de la production ligneuse et, par conséquent, l'abaissement de la valeur de l'exploitation forestière ne sont que les moindres inconvénients de voisinage de certains établissements industriels. Le nombre toujours croissant des arbres morts oblige souvent à abattre les peuplements avant qu'ils aient atteint leur développement complet, dérangeant ainsi l'économie forestière de toute une région. En outre, on observe souvent, dans les peuplements éprouvés par les fumées, l'apparition de nombreux parasites cryptogames (*Agaricus*, *Stereum*, *Trametes*) et des insectes nuisibles (1). Parmi les insectes nuisibles, il faut mentionner particulièrement les *Pissodes harcyniæ* (*scabricollis*), *Scolytidæ*, *Chermes*, *Grapholita pactolana*, *Nematus abietum*, etc., qui ont, dans beaucoup de cas, ravagé les peuplements endommagés par les fumées.

Il arrive souvent que, suivant la nature du sol, de

---

(1) E. Schröter. *Die Rauchquellen im Königreiche Sachsen und ihr Einfluss auf die Forstwirtschaft*, S. 26, Berlin, 1908.

nombreux vides se forment dans les forêts comme conséquence secondaire de l'action des fumées; il en résulte la formation de trouées, de clairières qui, sous l'action continue des fumées, des insectes, des agents atmosphériques, se transforment en vides étendus dénudés de toute végétation. Les modifications éprouvées par le sol des forêts endommagées sont intimement liées à ces causes. On observe notamment la formation d'humus acide à cause de la chute énorme des feuilles et des aiguilles. Les sols bas, avec sous-sol imperméable, deviennent sujets aux encrassements, car, grâce à la diminution du nombre des souches, l'évaporation devient insuffisante. Sous l'influence de l'humidité excessive, la pourriture rousse se développe d'une façon exagérée, les mauvaises herbes, surtout les Cypéracées, envahissent le sol et rendent difficile le rétablissement des forêts disparues. Les sols normaux tendent à être envahis par les mauvaises herbes et une végétation de bois tendre (blanc). Ils s'appauvrissent ainsi facilement.

MM. Schrœder et Reuss (1) ont proposé l'échelle suivante des degrés des endommagements de forêts par les fumées :

0° *Pas de lésions.*

1° *Lésions faibles.* — Certains groupes d'arbres avec des aiguilles ou des feuilles endommagées.

2° *Lésions moyennes.* — Groupes d'arbres avec des aiguilles ou des feuilles endommagées, et les cimes et certaines branches tuées.

3° *Lésions graves.* — Certains exemplaires sont tués complètement; on observe la formation des trouées dans la forêt.

4° *Formation de vides dépourvus de toute végétation.* — On observe des clairières et des vides dépourvus de toute végétation sauf des petits arbrisseaux rabougris comme vestige de la forêt disparue.

---

(1) *Die Beschädigung der Vegetation*, etc.

Plus tard, M. Reuss a subdivisé cette échelle en 10 parties, sans toutefois apporter plus de précision dans la question aussi importante que difficile de l'expertise des dégâts occasionnés par les fumées.

C) *Preuve de la présence des gaz acides dans l'atmosphère.*

Il est évident qu'il existe une limite au-dessous de laquelle les concentrations des gaz acides deviennent assez faibles pour qu'il ne puisse plus être question de lésions quelconques de la végétation, l'accumulation de SO^2 dans les feuilles devenant trop lente. Malheureusement, on n'est pas bien fixé sur cette limite qui, étant fonction des différentes conditions locales, varie d'après certains auteurs de 1 : 500.000 [Wislicenus (1)] jusqu'à 1 : 1.750.000 [Wieler (2)]. Mais malgré cette divergence d'opinions des auteurs, la connaissance de la teneur en SO^2 de l'atmosphère des contrées éprouvées par les fumées industrielles présente une telle importance pour la détermination des dommages attribuables à telle ou telle fabrique, qu'il y a intérêt à donner ici un court aperçu des procédés que l'expertise employait autrefois et emploie actuellement.

---

(1) Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, 1901, Heft 28.

(2) *Untersuchungen über Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen*, Berlin, 1905, S. 372.

Expériences démontrant l'acidité d'une fumée ou son action nocive.

Expérience n° I.

Les premières recherches dans cette direction ont été effectuées en 1848, par MM. H. Braconnot et F. Simonin (1) aux environs de Nancy. Il s'agissait d'une fabrique de produits chimiques dont les émanations dévastaient la végétation avoisinante. Pour trouver les preuves de l'action nocive des fumées de la fabrique, MM. Braconnot et Simonin ont exposé des bandes de papier de tournesol ainsi que des lamelles de verre humectées par de l'eau de chaux, à des distances variant de 200 jusqu'à 1.000 mètres, autour de l'établissement. Après 2 à 3 nuits d'exposition, les bandes de papier de tournesol qui se trouvaient sous le vent venant de la fabrique avaient rougi; l'eau de chaux était neutralisée seulement en partie. La rosée recueillie sur les plantes montrait une réaction neutre et contenait du chlore, de l'acide sulfurique, de la chaux, des alcalis et des substances organiques. La fabrique reconnut les dommages occasionnés et remboursa les dégâts.

Expérience n° II.

M. Witz (2) [Rouen] a exposé des morceaux de papier colorés par l'oxyde de plomb; sous l'action

(1) « Ueber die Ausdünstungen der chemischen Fabriken. » Abdruck aus *Journal de Chimie médicale*, in *Dinglers Polytechn. Journal*, Bd. 108.

(2) *Comptes rendus de l'Ac. des Sc.*, 1885, 100, 1384.

de l'acidité de l'atmosphère, le papier se décolorait complètement.

Expérience n° III.

M. Ost (1), pour reconnaître la présence des gaz acides dans l'atmosphère, a utilisé les morceaux d'un tissu de coton imbibés en partie avec de l'eau de chaux et en partie avec de l'eau de baryte; ces morceaux de tissus contenaient 0,07 pour 100 de cendres, et étaient exempts de toutes traces de soufre et de fluor. Les morceaux de tissu trempés dans l'eau de chaux et l'eau de baryte présentaient après desséchement les bases fixées sous forme de carbonates. Après avoir été exposés pendant 5 à 6 mois autour des sources de fumées, ces tissus ont été analysés : les morceaux de 250 centimètres carrés imbibés par l'eau de chaux ont donné 0,4 — 2,2 mgr. de fluor et ceux imbibés par l'eau de baryte 0,054 — 0,190 gr. d'acide sulfurique.

Quelques années plus tard, M. Ost (2) a fait une nouvelle communication sur sa méthode, d'où il résulte qu'elle est parfaitement efficace dans les cas où il s'agit de prouver la présence dans l'atmosphère de l'acide sulfurique.

M. Wislicenus (3), qui a utilisé la méthode proposée par M. Ost, résume ainsi les résultats de ses recherches :

---

(1) *Chem. Zeit.*, 1896, 20, 165.

(2) *Die Chem. Indust.*, 1900, 23, 292.

(3) *Ueber eine Waldluftuntersuchung i. d. sächs. Staatsforstrevieren u. d. Rauchgefar im allgemeinen.* Vortrag bei der 46. Versamlung des Sächs-Forstvereins, Freiburg, 1901.

1° L'atmosphère des forêts, même éloignées de plusieurs kilomètres de la source des fumées, contient les acides du soufre en quantités appréciables.

2° Le carbonate de baryum exposé pendant 5 mois et demi est parfaitement saturé.

3° Les saturations les plus fortes (en moyenne 94 p. 100) ainsi que le noircissement des tissus le plus prononcé, correspondent à la plus forte exposition, tandis que le moindre degré de saturation (7 p. 100) et d'enfumage correspond aux endroits protégés.

4° L'anhydride sulfureux pénètre dans les profondeurs des forêts les plus serrées, mais y est moins absorbé et perd de son activité grâce à la lumière insuffisante.

5° La suie ne pénètre pas dans les massifs denses des Epicéas.

Expérience n° IV.

Les analyses des eaux pluviales et de la neige ont servi souvent pour constater la présence des gaz acides dans l'atmosphère. Comme exemple des résultats obtenus par cette méthode, on peut citer le cas du procès judiciaire de M. Ludwig Dartevelle avec la Société de l'exploitation des mines de Sambre (1).

La fabrique des produits chimiques de la Société d'exploitation des mines de Sambre produisait l'acide sulfurique et du carbonate de soude; elle décomposa, en 1873, 5.800.000 kilogrammes de sel marin. La

(1) V. Schrœder u. Reuss, *l. c.*, S. 285.

propriété du plaignant se trouvait à 1.300 mètres de la fabrique.

L'analyse de l'eau de pluie a donné en grammes par litre :

Distance de la source des fumées (mètres).	Acide chlorhydrique.	Acide sulfurique.
530	0,0304	0,0250
730	0,0213	0,0178
1.015	0,0173	0,0199
1.220	0,0181	0,0184
1.539	0,0159	0,0192

L'analyse des eaux pluviales peut donner quelquefois des indications utiles, mais cette méthode est trop compliquée pour qu'on puisse l'employer couramment.

Expérience n° V.

Pour reconnaître que certaines lésions de la végétation avoisinant les centres industriels sont dues à l'action de l'acide sulfureux, M. Sorauer (1) a proposé de planter autour des fabriques soupçonnées des plantes annuelles très sensibles, comme par exemple *Phaseolus vulgaris*, et c'est sur ces plantes que les recherches chimiques et botaniques doivent se porter. Mais comme le remarque avec raison M. Wieler (2), l'inconvénient de cette méthode réside surtout dans le fait que dans la pratique, ce sont surtout les plantes élevées, les sommets des arbres qui souffrent, tandis que les plantes naines herbacées restent souvent indemnes.

---

(1) Sorauer u. Ramann. Sogenannte unsichtbare Rauchbeschädigungen. *Bot. C.*, LXXX, 1899.

(2) *Untersuchungen über Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen*, S. 375.

Expérience n° VI.

M. Wieler (1) a proposé une méthode qui consiste à aspirer l'air en le faisant passer par une série de flacons laveurs remplis d'une solution titrée de carbonate de potasse. La quantité de SO^2 était calculée en partant de la quantité de $BaSO^4$ formé. Cette méthode a donné des résultats encourageants. La difficulté consiste à construire un appareil transportable et d'un maniement facile. L'appareil construit par M. Wieler (fig. 14) était composé d'une poulie munie d'un crochet permettant de la suspendre à une branche quelconque. Aux bouts d'une corde passant sur cette poulie sont attachés deux aspirateurs (A et B) réunis entre eux par un tube de caoutchouc (*e*); les parties supérieures des aspirateurs sont en communication avec les flacons laveurs (D) et assurent le barbotage de l'air dans la solution de carbonate de potasse tout en permettant de tenir compte de la quantité d'air passée à travers les flacons laveurs. Les analyses de l'air à l'aide de cet appareil dans la forêt « Kleine Probstey », dont nous avons déjà parlé à propos des lésions internes des plantes, ont donné des résultats satisfaisants.

Il est évident que les données de ces analyses sont bonnes seulement pour l'endroit et les conditions dans lesquels les expériences ont été effectuées; mais on peut affirmer qu'elles donnent une bonne expression de la teneur de l'air en acide sulfureux dans la direction du vent dominant, en admettant que la

(1) *L. c.*, S. 357.

source des fumées reste toujours la même. La vitesse variable du vent détermine les oscillations de

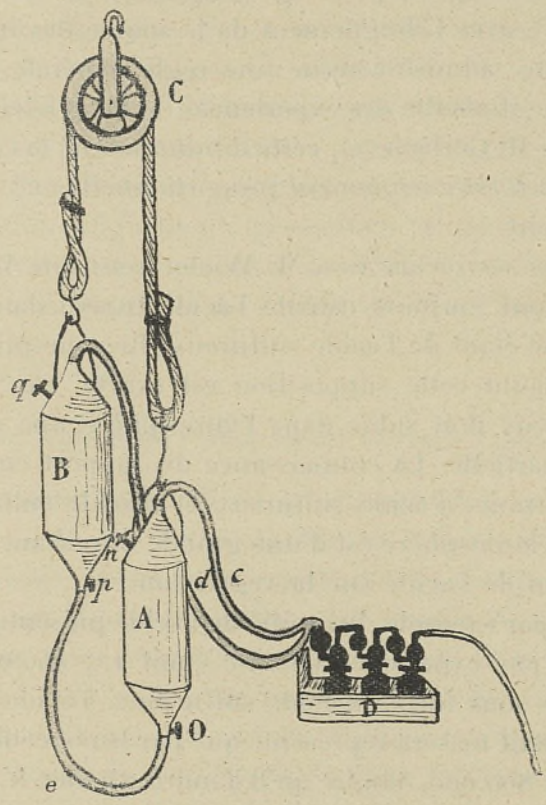

Fig. 14.

la teneur en acide : avec un vent plus fort, la teneur en acide augmente; elle diminue avec un vent faible.

Expériences à faire.

De nombreuses expériences effectuées dans ce sens pourraient permettre la détermination des rapports

entre la teneur de l'atmosphère en acide avec la vitesse du vent, la pluie, la brume et autres conditions atmosphériques. La diminution de la teneur en SO^2, avec l'éloignement de la source des fumées, doit être admise comme une règle générale, mais, comme il résulte des expériences de M. Wieler, ainsi que de M. Gerlach (1), *cette diminution de la concentration n'est aucunement proportionnelle avec l'éloignement.*

Dans ses recherches, M. Wieler ainsi que M. Gerlach, ont toujours calculé l'acide trouvé dans l'air comme étant de l'acide sulfureux. Rien ne prouve à quel point cette supposition est exacte, car l'acide sulfureux doit subir dans l'atmosphère une oxydation partielle. La connaissance du rapport entre les proportions d'acide sulfureux et d'acide sulfurique dans l'atmosphère est d'une grande importance dans l'action de l'acide sur la végétation.

Si, par exemple, la moitié de l'acide présent, déterminé par expérience comme étant 1 : 400.000, se trouve sous forme d'acide sulfurique, l'acide sulfureux actif ne sera représenté que par la concentration de 1 : 800.000, tandis qu'il faudra ajouter à l'acide sulfurique actif une concentration de 1 : 800.000. La végétation ne peut pas rester indifférente aux relations qui existent entre les quantités respectives d'acide sulfureux et d'acide sulfurique présentes, d'autant plus qu'il est reconnu que la teneur de l'air en gaz acides reste relativement invariable sur les

(1) *Bericht über die 47 Vers. des sächs. Forstvereins*, gehalten zu Eibenstock, 1901; Tharand, 1901, S. 134-137.

grandes distances, tandis que le rapport entre les deux acides peut changer avec l'éloignement au profit de l'acide sulfurique.

Un nombre plus grand de déterminations de la teneur de l'atmosphère en acide sulfureux pourrait être d'une grande importance pour certains points de l'expertise; ces expériences pourraient être facilement effectuées si on possédait un appareil fonctionnant automatiquement, permettant de se passer de la main-d'œuvre des ouvriers chargés des observations sur la direction du vent et du changement des aspirateurs.

Description de l'analysateur Gerlach (1909).

L'appareil de M. Gerlach (1), construit en 1908 (D. R. G. M. n°s 347784 et 373496, modèle de 1908 et de 1909), présente un grand progrès à ce point de vue, étant d'un mouvement plus simple et permettant une orientation facile dans le sens de la direction du vent. L' « Analysateur » de M. Gerlach (fig. 15) est basé sur le même principe que l'appareil de M. Wieler et se compose de deux aspirateurs superposés en fer-blanc (A et B) formant un double aspirateur tournant sur l'axe (*e*) fixé dans un châssis de bois (E_1, E_2, E_3, E_4). Les aspirateurs sont réunis entre eux par des tubes A*a* et B*a* également en fer-blanc, munis de robinets A*b* et B*b*, permettant l'écou-

(1) *Die Ermittellung des Säuregehaltes der Luft in der Umgebung von Rauchquellen und der Nachweis seines Ursprunges.* Berlin, 1909, Verlag D. Parey.

lement de l'eau de l'aspirateur supérieur. A*e* et B*e* représentent des ouvertures qui se ferment hermétiquement avec des bouchons de caoutchouc et qui assurent la sortie de l'air aspiré en même temps qu'elles permettent le remplissage des aspirateurs avec de l'eau.

Des tubes en verre, munis d'une échelle graduée D, encadrés dans les parois des aspirateurs, permettent de juger de la hauteur de l'eau dans les récipients.

Le goulot de l'aspirateur est fermé d'un bouchon de caoutchouc, traversé d'un tube de verre mettant, à l'aide d'un tube de caoutchouc K*a*, l'aspirateur en relation avec un flacon de Woolf L*b*, protégé par un châssis de plomb L; le flacon de Woolf est à son tour en communication avec le flacon d'absorption L*a*, également renfermé dans la caisse de plomb L. Le flacon d'absorption est relié par le tube K*l*, d'abord avec le robinet O*f*, qui est une partie de la girouette O, et puis par le tube K*e* et K*d* avec l'entonnoir M, destiné à aspirer l'air. O*a* est une girouette fixée sur l'axe A*b* qui s'appuie sur un support en verre O*d* et est retenu par l'anneau O*e* fixé sur le châssis E_1 qui supporte l'appareil. Sur le même châssis E_1 est fixé le robinet O*f*, qui a la forme d'un anneau cylindrique à travers lequel passe l'axe O de la girouette.

Comme réactif destiné à absorber le SO^2 et le SO^3 de l'atmosphère, M. Gerlach préconise, d'après M. Wislicenus (1), la solution suivante : solution de

(1) *Zeitschrift für angewandete Chemie*, 1902, 50. Katalog F. Hugershoff, Leipzig, 1903, Nr. 493.

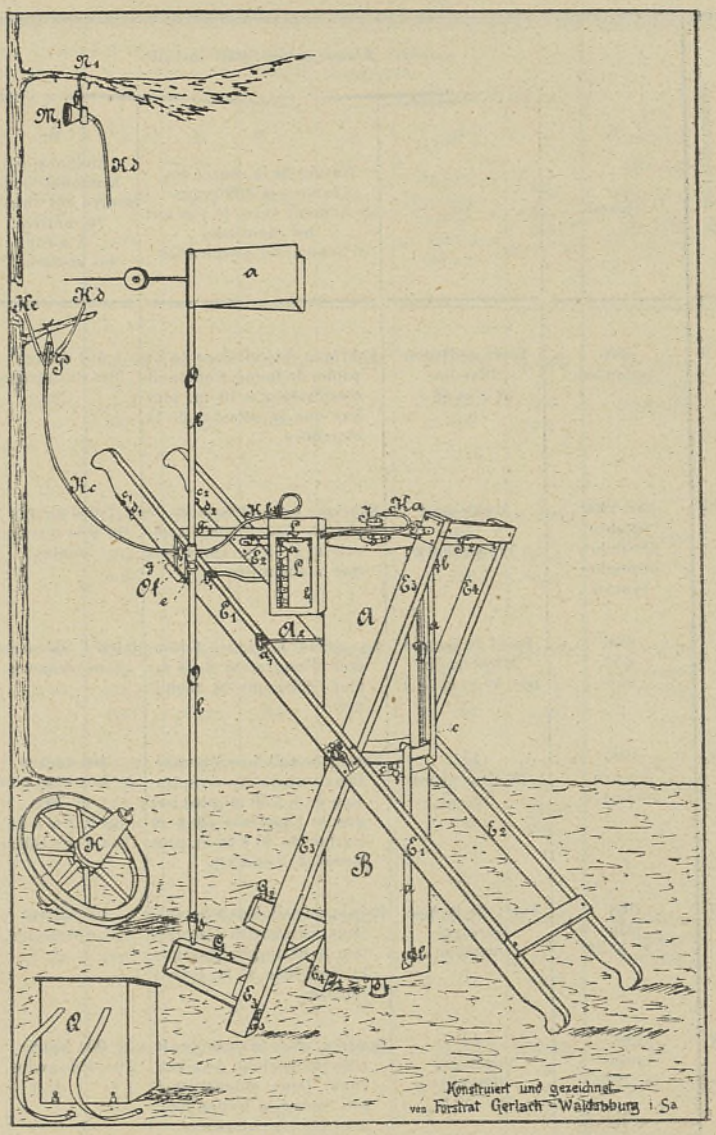

Fig. 15. — « Analysateur » de M. Gerlach. Mod. 1908 et 1909.
(D. R. G. Nos 347784 et 373496.)

N° de l'expérience	L'analysateur était installé				
	a Quand	b Où	c Nature de la source des fumées et différence de hauteur entre le sommet des cheminées et l'entonnoir d'aspiration.	d Eloignement horizontal de la source des fumées en mètres : Y a-t-il des obstacles ?	e Direction du vent dominant venant de la source des fumées. La force du vent.
9	1905 septembre	Forêt de Remse Division 40 a. et 46 a.	Fabrique de cellulose et de papier de Rems. Entonnoir d'aspiration à 10 m. plus bas que le sommet de la cheminée.	450 mètres Pas d'obstacles	O Moyennement fort.
10	1905-1906 octobre novembre décembre janvier	Muldentale en Waldenburg	Fabrique de cellulose et de papier. Entonnoir d'aspiration à 45 m. plus bas que la cheminée.	2.000 mètres Un bois d'arbres feuillus.	O et OSO moyennement fort.
11	1906 mai juin	Forêt de Remse (Klosterholz) Div. 49 h. et 58 k.	La même fabrique. Entonnoir d'aspiration à 38 m. plus élevé que la cheminée.	1.000-1.500 mètres Sans obstacles.	E et ESE fort.
12	1906 octobre novembre	*Id.* (Steingruben) Div. 47	Fabriq. de cellulose à Remse. Deux entonnoirs d'aspiration de 5 à 10 m. plus bas que la cheminée (30-x et 1-xi) et de 10 à 28 m. plus élevés (2, 3 et 5-xi).	400 mètres le 30-x et le 1-xi et 700 les 2, 3 et 5-xi Pas d'obstacles.	S et SSE très fort.
13	1907 juin 6-8, 13-19	Forêt de Remse Gersdorf Div. 45 b.	Fabriq. de cellulose à Remse. Deux entonnoirs d'aspiration à 10 m. plus bas que la cheminée et le four à calcaire.	400 mètres Pas d'obstacles.	O et SO jusqu'à NO d'abord moyennement fort puis fort.
14	1907 juin 17, 22-25	*Id* Vogelberg (Bastei) Div. 59 b.	Sources des fumées de la ville industrielle de Glauchau. Deux entonnoirs à peu près à la même hauteur que les cheminées.	4.000 mètres Pas d'obstacles.	SO et O d'abord faible puis fort.

Quantité d'air passée par l'appareil.			Résultats totaux de l'analyse (réactif potassique)						Les analyses ont été effectuées par MM.
a Nombre de litres ou de m. c.	b Pendant le vent favorable p. 100	c Pendant le vent favorable litr.	a $BaSO^4$ gr.	b SO_3 gr.	c SO_2 gr.	d SO_2 gr.	e Nombre proportionnel et p. cent des volumes.	f SO_3 gr. dans le m. c.	
4.000 ou 4,0	Environ 70 p. 100 Changement fréquent du vent.	2.800 ou 2,80	0,0045 ou 4,5 mgr.	0,00154 ou 1,54 mgr.	0,00123 ou 1,23 mgr.	0,00043	1 : 6510000 et 0,000015 p. 100	0,0005 ou 0,5 mgr.	Dr Sertz Tharandt 5-XII-1905
4.000 ou 4,0	67 p. 100 Changement fréquent du vent.	2.700 ou 2,70	1,4033 ou 1403,3 mgr.	0,48123 ou 481,23 mgr.	0,3851 ou 385,06 mgr.	0,13415	1 : 20100 et 0,004969 p. 100	0,17823 ou 178,23 mgr.	*Id.* 20-II-1906
5.400 ou 5,4	63 p. 100 Changement du vent.	2.400 ou 2,40	0,5486 ou 548,6 mgr.	0,1882 ou 188,20 mgr.	0,1505 ou 150,53 mgr.	0,0524	1 : 64880 et 0,001541 p. 100	0,0553 ou 55,3 mgr.	Dr. Muth Tharandt 19-X-1906
2.600 ou 2,6	77 p. 100 Changement du vent entre S et SSE	2.000 ou 2,00	1,9321 ou 1932,10 mgr.	0,6626 ou 662,6 mgr.	0,5302 ou 530,2 mgr.	0,1847	1 : 10828 et 0,009235 p. 100	0,3313 ou 331,3 mgr.	*Id.* 13-XI-1906
2.720 ou 2,72	63 p. 100	1.700 ou 1,70	1,2152 ou 1215,2 mgr.	0,41668 ou 416,68 mgr.	0,33340 ou 333,40 mgr.	0,11687	1 : 14537 ou 0,006879 p. 100	0,24511 ou 245,11 mgr.	M. Büttner Tharandt 2-VII-1907
3.950 ou 3,95	61 p. 100	2.400 ou 2,40	0,0046 ou 4,6 mgr.	0,00158 ou 1,58 mgr.	0,0013 ou 1,30 mgr.	0,00044	1 : 5454545 ou 0,000018 p. 100	0,00066 ou 0,66 mgr.	*Id*

5 p. 100 de carbonate de potasse pur (K^2CO^3), à laquelle on ajoute du brome jusqu'à l'obtention d'une coloration jaune de la solution. Le rôle du flacon d'absorption est rempli par l'appareil capillaire de Liebig ou de Mohr ou encore par des flacons laveurs employés par M. Wieler. A l'appareil de Liebig il faut ajouter encore un flacon de Woolf, car quelquefois, grâce aux résistances mécaniques que présentent l'appareil d'absorption et le réactif, l'air extérieur arrive par secousses et peut entraîner le réactif jusqu'à l'aspirateur. Dans les derniers modèles de 1909, cet inconvénient est diminué par la transformation de l'axe creux de la girouette en une chambre à air.

Le volume de l'air passé par l'appareil peut être lu directement en litres sur l'échelle D de l'aspirateur, mais, préalablement, il faut fermer le robinet B*d* de l'écoulement de l'eau. Pour avoir des notions plus exactes, il est recommandé d'attendre quelques instants avant de procéder à la lecture jusqu'à ce que la pression de l'air dans l'aspirateur soit égale à la pression atmosphérique extérieure, ce qui a lieu lorsque le liquide dans l'appareil d'absorption cesse de s'agiter.

Quand l'aspirateur supérieur s'est complètement vidé, et que, par contre, l'aspirateur inférieur s'est rempli, on ferme le robinet d'échappement de l'air B*c* ainsi que le robinet B*b*, et on remplace le bouchon percé *j* par un bouchon ordinaire, retenu par une vis de sûreté.

Après avoir retiré la baguette A*e*, le double aspi-

rateur peut être retourné à 180°, sur son axe. Le bouchon fermant hermétiquement l'ouverture B*d* de l'aspirateur B doit être remplacé par le bouchon percé *j* relié avec le tube en caoutchouc K*a* et l'appareil peut fonctionner à nouveau.

Lorsque l'appareil est mis en marche, la girouette agit automatiquement : si le vent change de direction, l'axe de la girouette se tourne et l'ouverture de l'axe correspondant avec les ouvertures du robinet O*f* se déplace en arrêtant l'accès de l'air dans l'appareil. Si le vent n'est pas assez fort pour pouvoir tourner la girouette, on réunit entre eux les tubes de caoutchouc K*b* et K*e* à l'aide d'un tube en verre sans intermédiaire de robinet annulaire O*f;* la diminution de frottement permet alors à la girouette de marquer plus facilement la direction du vent et fournit à l'expérimentateur la notion sur l'orientation à donner à l'appareil.

La persistance de la même direction du vent pendant toute la durée de l'expérience est d'une importance capitale pour le résultat final de l'analyse de l'air. Plus la quantité d'air qu'on fait passer à travers l'appareil est grande, plus fortes sont les concentrations de sel qu'on obtient, ce qui facilite l'analyse quantitative. D'après les recherches de M. Gerlach (1) pour obtenir une quantité de sel analysable, il faut faire passer à travers l'appareil au moins 1.000 litres d'air dans le voisinage immédiat de la source des fumées (400-500 mètres) et des quantités

(1) *Die Ermitellung des Säuregehaltes der Luft*, etc., S. 17.

proportionnellement plus grandes à un certain éloignement.

Le tableau des pages 72 et 73 présente quelques résultats obtenus par M. Gerlach avec son appareil.

Nous avons cru devoir donner quelques détails sur l'appareil Gerlach de récente invention, et presque encore inconnu en France. Il est appelé à servir, non seulement pour les recherches théoriques sur la question, mais aussi dans les cas d'expertises judiciaires.

Les expériences de ce genre, menées d'une façon méthodique, permettraient d'établir, non seulement les quantités de gaz nocifs versées dans l'atmosphère par une source de fumée quelconque, mais aussi, dans une certaine mesure et dans des conditions atmosphériques déterminées, la diminution, avec l'éloignement, de la proportion de ces gaz dans l'atmosphère.

De la même façon, on pourrait déterminer quantitativement d'autres gaz que SO^2, par exemple HCl. M. Wieler a déterminé la quantité de HCl dans l'atmosphère de « Klein Probstey » sous forme de chlorure d'argent. L'appareil a fourni au total 0,00465 gr. d'AgCl, ce qui correspond à 0,0012 gr. ou à 0,7 cc. de HCl et ce qui donne, par rapport aux 2.837 litres d'air aspiré, une proportion de 1 : 4.050.000. La quantité d'acide sulfureux dans le même cas était de 1 : 450.000, c'est-à-dire 10 fois plus élevée que celle de HCl.

CHAPITRE III

Acide sulfureux et acide sulfurique.

A) *Rôle de l'acide sulfu eux et de l'acide sulfurique dans les lésions des plantes occasionnées par les fumées industrielles.*

Il arrive presque toujours que partout où l'acide sulfureux prend naissance, on observe en même temps la formation d'acide sulfurique. Laissant de côté les cas où l'acide sulfurique s'échappe directement pendant les manipulations industrielles, il est démontré que l'acide sulfurique se forme en même temps que l'acide sulfureux au cours de la combustion de la houille. Les travaux du docteur japonais Sugimoto (1), effectués à l'Institut chimique de l'académie forestière de Saxe, montrent que les gaz de la combustion normale de la houille sortant de la cheminée renferment :

SO^2 — 1,112 gr. dans un mètre cube ($0°,760^m/_m$) = 0,0312 p. 100.

SO^3 — 0,287 gr. dans un mètre cube ($0°,760^m/_m$) = 0,0079 p. 100.

C'est-à-dire que, d'après les recherches du docteur Sugimoto, on trouve dans les gaz de la combustion 4 fois autant de SO^2 que de SO^3. Il n'existe pas beaucoup d'expériences analogues à celles de M. Sugimoto, mais on peut tout de même citer les recher-

---

(1) K. W. Jurisch. *Zwei Denkschriften über Luftrecht* (Vorwort des Herausgebers), Berlin, 1910.

ches de M. B.-H. Ost (1) qui a trouvé dans les fumées de la houille 3 à 5 fois plus de SO^2 que de SO^3.

Il est évident que ces proportions peuvent varier sous l'influence de différentes conditions comme, par exemple, les quantités d'oxygène et de vapeur d'eau présentes, le degré d'élévation de la température, certains agents catalytiques, etc. La proportion de SO^2 par rapport à SO^3 est, par exemple, beaucoup plus élevée pendant le grillage des pyrites ou la combustion directe du soufre avec un excès d'air. Sous l'influence de l'oxygène de l'air et des vapeurs d'eau, l'acide sulfureux se transforme facilement en acide sulfurique. Aussi M. Freytag (2), en analysant des échantillons d'eau de pluie pris aux environs des hauts fourneaux, n'a pas pu y déceler la présence d'acide sulfureux, mais seulement la présence d'acide sulfurique, tandis que dans ses recherches effectuées sur les lieux et au moment de la pluie, il a réussi à mettre en évidence la présence dans ces eaux d'acide sulfureux. M. Thöner (3) n'a pu trouver dans les fumées des locomotives que de l'acide sulfurique. M. R. Sendtner (4) a fait des analyses de neige provenant des différents points de Munich; il n'a trouvé dans cette neige que de l'acide sulfurique; la neige analysée le jour même où elle a tombé a donné 7,5 mgr. d'acide sulfurique par kilogramme de neige; 16 jours plus tard, la teneur de la neige ex-

(1) Zur Analyse von Rauchgasen. *Chem. Ind.*, 1899, n° 7.
(2) *Landwirtsch. Jahrb.*, 1882, II, 315.
(3) *Chem. Zeit. Repert.*, 1899, 280.
(4) R. Seudtner. Schweflige Säure u. Schwefelsäure im Schnee. *Bayer. Industrie u. Gewerbeblatt*, 1887.

posée à l'action de l'atmosphère de la ville s'était élevée jusqu'à 91,5 mg. par kilogramme.

La présence simultanée de l'acide sulfureux et de l'acide sulfurique dans les fumées industrielles a été cause que les avis des auteurs ont été très partagés sur le point de savoir auquel de ces deux gaz il faut attribuer la plus grande part dans les lésions occasionnées par les fumées à la végétation : les uns (Freytag, Haselhoff et Lindau, etc.) attribuent toute l'action nocive à l'acide sulfurique, tandis que les autres (Schröder, Wieler, etc.) accusent surtout l'acide sulfureux. Certains auteurs (1) pensent même que les vapeurs d'acide sulfurique complètement mélangées à l'atmosphère n'agissent pas autrement que l'acide sulfureux et que la détermination des proportions d'acide sulfurique et d'acide sulfureux dans l'atmosphère, n'a qu'un intérêt secondaire (fig. 16 et 17, pl. VI).

Les expériences de M. von Schröder et de M. Schmitz-Dumont (2) ont montré clairement que l'acide sulfureux agit sur les plantes seulement par le contact avec leurs organes foliaires. Les expériences ont été entreprises avec de jeunes Epiceas qui ont été divisés en quatre séries de la façon suivante :

1° Les parties aériennes des plantes seules en contact avec l'acide sulfureux;

2° Les parties aériennes ainsi que le sol en contact avec l'acide sulfureux;

---

(1) H. Wislicenus. *Ueber die Grundlagen technischer und Gesetslicher Massnahmen gegen Rauchschäden*, S. 22. Berlin, 1908.

(2) *Thar. forstl. Jahrb.*, 1896, 461.

3° Les mêmes quantités d'acide sulfureux que dans les deux cas précédents ont été amenées en solution aqueuse diluée au contact avec les racines;

4° Les plantes témoins abritées contre l'acide sulfureux.

Les concentrations de l'acide sulfureux appliquées ont été les suivantes : 3 juin 1/20.000; 4 juin 1/10.000 et 5, 6 et 7 juin 1/50.000. L'apparition des lésions a été observée le 6 juin : quelques pousses dans les séries I et II ont pris un aspect plus ou moins fané; dans la soirée, ces caractères, surtout pour la série I, se sont notablement aggravés. Les aiguilles de l'année se sont colorées en jaune ou en gris; les aiguilles de l'année précédente ont perdu leur éclat et sont devenues ternes. Dans la série II, on pouvait observer les mêmes symptômes, mais moins prononcés. Les plantes de la IIIe série, où l'acide sulfureux était mis seulement en contact avec les racines, sont restées complètement indemnes.

L'analyse chimique des aiguilles et du sol a donné les chiffres suivants par rapport à la substance sèche :

SÉRIES	AIGUILLES			SOL
	Acide sulfurique p. 100	Cendres p. 100	Acide sulfurique par rapport aux cendres p. cent	Acide sulfurique p. 100
I. Plantes seules en contact avec l'acide sulfureux..	0,581	5,72	10,16	0,0199
II. Plantes et sol en contact avec l'acide sulfureux..	0,438	5,77	8,01	0,0186
III. Sol seul en contact avec l'acide sulfureux.....	0,437	5,67	7,71	0,0242
IV. Plantes témoins.....	0,407	5,60	7,27	0,0184

PLANCHE VI

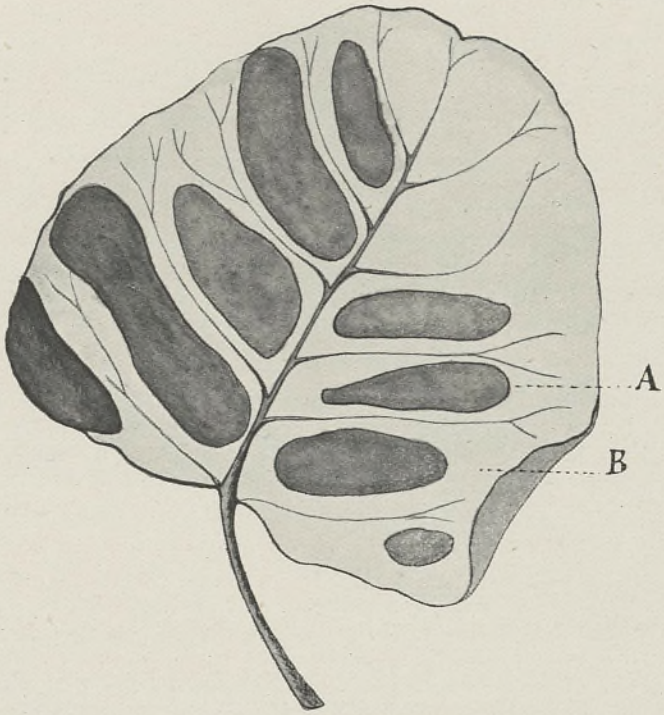

Fig. 16. — Feuille de Peuplier.
Action de SO^2, d'une usine aux environs de Nancy.
A et B : Taches d'une coloration brune.

Fig. 17. — Feuilles de Lilas (*Syringa vulgaris*)
Action de SO^2 d'une usine aux environs de Nancy.

Les expériences avec les Sapins ont confirmé ces résultats. Des expériences analogues ont été effectuées avec des Tilleuls, les concentrations de l'acide sulfureux employées étaient de 1 : 10.000. Dans la série I, les feuilles ont été en partie complètement fanées, en partie seulement tachetées, même après la première fumigation. La deuxième série présentait seulement quelques feuilles tachetées; après quelque temps, ces taches sont devenues rouge brun et avaient le même aspect que dans le cas des endommagements naturels des plantes par les fumées. Les plantes de la série III ont conservé leur aspect normal.

Les recherches avec les jeunes Érables ont donné les mêmes résultats.

Les auteurs concluent : l'arrosage des plantes par les solutions diluées d'acide sulfureux n'empêche pas la végétation. Toutes les expériences montrent que les dommages les plus graves ont été observés lorsque les parties aériennes seules se trouvent en contact avec l'acide sulfureux. Or, les lésions sont dues uniquement à l'action des acides sur les parties foliaires des plantes. L'augmentation de la teneur des aiguilles en acide sulfurique peut être expliquée seulement par l'absorption de l'acide de l'atmosphère. En général, on peut conclure que l'action *de l'acide sulfureux et de l'acide sulfurique gazeux sur les plantes est suivie d'une augmentation de la teneur des organes foliaires en acide sulfurique.*

On a objecté aux auteurs que les concentrations d'acide sulfureux qu'ils ont employées ont été trop

fortes et ne répondaient pas à la réalité. Or, les expériences de M. Stöckhard (1) avec les Epiceas qui ont reçu 395 traitements de 1 à 3 heures par jour pendant quatre mois avec des concentrations de 1 : 1.000.000 d'acide sulfureux ont montré que l'action prolongée de l'acide sulfureux, même en concentration minime peut produire sur les plantes des lésions graves, quelquefois mortelles; l'analyse des aiguilles des plantes malades a montré la présence de 0,721 p. 100 d'acide sulfurique, tandis que les plantes témoins n'en renfermaient que 0,240 p. 100.

Nous passons sous silence les autres expériences de MM. v. Schröder, Reuss, Stöckhardt, Freytag, etc., qui prouvent toute l'action nocive de très faibles concentrations d'acide sulfureux, sous condition que cette action soit plus ou moins prolongée, et nous passons aux expériences de M. Schröder (2) concernant l'action comparative de l'acide sulfurique et de l'acide sulfureux. Laquelle de ces deux combinaisons acides de soufre est la plus nocive? M. Schröder a soumis des rameaux de Hêtre et de Sapin sous la cloche à l'action de quantités équivalentes d'acide sulfureux et d'acide sulfurique et a obtenu les résultats du tableau ci-contre.

L'analyse de la substance sèche de ces rameaux a donné les teneurs suivantes en acide sulfurique :

	Témoins %	Après l'action de l'acide sulfureux	Après l'action de l'acide sulfurique
	—	—	—
Rameaux de Hêtre. . . .	0,2376	1,0475	1,0418
— de Sapin . . .	0,1905	0,2791	0,2739

(1) *Thar. forstl. Jahrb.*, 1871, 21, 230.
(2) *Thar. forstl. Jahrb.*, 1896, 46, 1.

L'action de l'acide sulfurique ressemble à celle de l'acide sulfureux, mais d'après ces expériences, ce dernier est un peu plus nocif. En outre, il est établi

	Concentration d'acide sulfureux	Comment les plantes se comportent vis-à-vis de l'acide sulfureux.	Comment les plantes se comportent vis-à-vis de l'acide sulfurique.
1° Rameaux de Hêtre	1 : 10.000	Malades à la longue.	Normales
2° —	1 : 5.333	Apparition de lésions visibles ; dépression de la transpiration.	—
3° —	1 : 1.000	Apparition des lésions extérieures	
4° Rameaux de Sapin	1 : 1.000	— —	—

d'une façon évidente que l'action de l'acide sulfureux ainsi que de l'acide sulfurique sur les plantes est accompagnée d'une augmentation de leur teneur en acide sulfurique.

Or, les recherches de M. Schröder (1) ont montré que l'augmentation de l'acide sulfurique dans les plantes peut dépendre aussi de la richesse du sol en soufre, mais ne l'est pas nécessairement; c'est pourquoi les plantes, qu'on compare au point de vue de leur teneur en acide sulfurique, doivent provenir du même sol et de la même culture. L'état de développement des plantes comparées doit être égal. Chez les Conifères, il faut comparer les aiguilles de la même année, car la teneur en acide sulfurique des aiguilles âgées est plus élevée. Chez les plantes feuil-

(1) *Die Beschädigungen der Vegetation durch Rauch*, etc. Berlin. 1883, S. 57.

lues, on observe aussi que les différentes parties de la plante renferment parfois des quantités différentes d'acide sulfurique. Ainsi, la teneur des organes foliaires des plantes en acide sulfurique peut subir des oscillations importantes, et il ne faut attribuer l'élévation de cette teneur à l'action des fumées qu'avec une grande prudence.

Il était d'une grande importance pour la pratique de l'expertise de savoir si l'acide sulfurique des organes des plantes atteintes par les fumées peut être enlevé par les eaux de pluie et les autres précipitations atmosphériques. Les recherches de M. Nobe et de M. Schröder ont permis de conclure que, par l'action prolongée de l'eau (la pluie), on peut éliminer des feuilles mortes une partie importante de l'acide qu'elles ont absorbé de l'atmosphère; il n'en est pas de même pour les Conifères et, en général, pour les plantes renfermant des résines ou des cires; ces plantes ne rendent pas, à l'eau, l'acide sulfurique en quantité suffisante pour que la reconnaissance des dommages occasionnés par les fumées soit possible.

B) *Action de l'acide sulfureux sur les parties aériennes des plantes.*

Nous avons vu précédemment quel rôle il faut attribuer à l'acide sulfureux et à l'acide sulfurique dans les lésions occasionnées à la végétation par les fumées nocives et quel changement ils provoquent dans la composition chimique des plantes. Nous allons voir maintenant comment pénètrent ces acides

dans les organes foliaires, et de quelle façon ils agissent (fig. 18, pl. VII).

MM. Haselhoff et Lindau (1) pensent que le gaz sulfureux est capable d'agir sur la cellule végétale seulement après avoir été transformé en acide sulfurique. D'après eux, le gaz sulfureux pénètre dans les tissus foliaires directement à travers l'épiderme et se répand dans les méats intercellulaires remplis de vapeur d'eau. Lorsque la feuille est éclairée et assimilée, l'oxygène provenant de la décomposition de CO^2 se dirige aussi par les méats interstitiels sur les stomates; l'oxygène naissant se prête facilement à la formation des diverses combinaisons chimiques; il est évident que dans ces conditions l'acide sulfureux se transforme facilement en acide sulfurique. Ainsi, d'après cette hypothèse, l'acide sulfureux n'agit qu'après avoir été transformé en acide sulfurique et c'est surtout à l'action de ce dernier qu'il faut attribuer les lésions des végétaux qu'on observe dans les contrées éprouvées par les fumées. Les observations prouvent, en effet, que les endommagements les plus graves ont lieu pendant les temps humides, mais clairs, c'est-à-dire dans les conditions où l'acide sulfureux se transforme facilement en acide sulfurique.

Des recherches ultérieures ont montré que cette hypothèse ne peut pas être admise.

M. Wieler (2) a démontré que le gaz sulfureux

---

(1) *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch*, S. 141.
(2) *Untersuchungen über Einwirkung der schwefliger Säure auf die Pflanzen*, S. 27. Berlin, 1905.

pénètre dans les tissus des feuilles par les stomates au même titre que l'oxygène et le gaz carbonique et non pas directement à travers l'épiderme, ainsi que l'ont pensé MM. Haselhoff et Lindau. Les stomates de la plupart des plantes possèdent la faculté de se dilater sous l'influence de la chaleur, de la lumière et de l'humidité (1); l'absorption de l'acide sulfureux de l'atmosphère augmente, ce qui explique suffisamment qu'on observe les lésions les plus graves pendant un temps chaud, humide et clair. En outre, si on soumet une plante pendant dix minutes à l'action de l'acide sulfureux dans une chambre obscure, c'est-à-dire dans des conditions où il est difficile de supposer une oxydation rapide de l'acide sulfureux, on observe tout de même l'apparition des lésions caractéristiques. On peut ainsi admettre que l'acide sulfureux peut agir directement sur les cellules sans se transformer préalablement en acide sulfurique.

En effet, les recherches de M. Wieler (2) ont montré que l'acide sulfureux possède la faculté de s'accumuler dans les tissus végétaux et d'influencer les fonctions de la feuille seulement après avoir atteint une certaine concentration. Il est évident qu'il existe dans les cellules une substance quelconque capable de retenir et d'accumuler l'acide sulfureux. L'acide sulfureux se combine très facilement avec les aldéhydes. Or, les recherches de Curtius, Reinke et

---

(1) Leitgeb. Beiträge zur Physiologie des Spaltöffnungsapparates. *Mitteilungen aus dem Bot. Institut zu Graz*, 1888, S. 123 ff.

(2) *L. c.*, S. 4.

PLANCHE VII

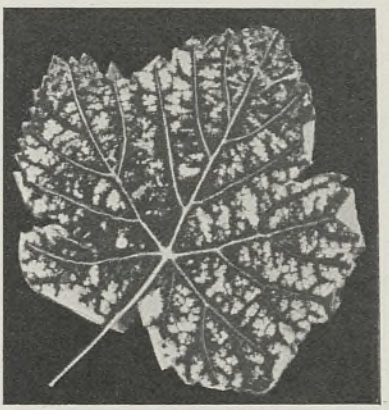

Fig. 18. — Feuille de vigne.
Lésions occasionnées par l'acide sulfureux.

(*D'après* M. Wieler)

Baumüller ont montré que les feuilles de la plupart de nos plantes (Erable, Chêne, Peuplier, Saule, Hêtre, etc.) renferment des aldéhydes. Les sucres possèdent au même degré la faculté de se combiner avec l'acide sulfureux. Enfin, les recherches de Korp et de Schmiet ont montré que l'acide sulfureux peut donner des combinaisons avec la cellulose et le blanc d'œuf.

Roque (1), Reiter (2, 3) et Farnsteiner, en analysant des fruits secs, provenant de l'Amérique et conservés à l'aide d'acide sulfureux, ont trouvé qu'une partie de l'acide sulfureux était combinée. La méthode proposée par M. Windisch leur a permis de déterminer la quantité d'acide sulfureux combinée. Cette méthode consiste à faire distiller la matière à analyser, finement coupée, avec de l'eau à laquelle on ajoute un peu d'acide phosphorique; celui-ci a pour but de détruire les combinaisons sulfureuses et mettre en liberté l'acide sulfureux. La distillation se fait dans un courant d'acide carbonique, et l'acide sulfureux entraîné est retenu dans une solution iodée où il s'oxyde en acide sulfurique. La détermination quantitative de l'acide sulfurique se fait sous forme de sulfate de baryum. La solution iodée se prépare avec 5 gr. d'iode pur et 7,5 gr. d'iodure de potassium pour un litre d'eau.

M. Wieler a adopté cette méthode pour la détermi-

---

(1) *Schweiz. Woch. Chem. Pharm.*, 1897, 35, 595.

(2) *Ibid.*, 1898, 36, 41.

(3) Ueber organisch gebundene schweflige Säure in Nahrungsmitteln. *Schweiz. Woch. Chem. Pharm.*, 1902, S. 1127.

nation des quantités d'acide sulfureux absorbées par les végétaux de l'atmosphère. Les feuilles et les aiguilles des plantes normales ne renferment pas d'acide sulfureux; ainsi la présence dans les organes des plantes endommagées par les fumées doit être attribuée à l'absorption de cet acide de l'atmosphère. Les expériences de M. Wieler avec les aiguilles de Pin, les feuilles de *Prunus Laurocerasus* et de Lierre, soumises à l'acide sulfureux sous des cloches, ont montré que l'acide sulfureux absorbé par les tissus végétaux peut y séjourner un temps illimité. En outre, la quantité d'acide sulfureux absorbée par les plantes est en relation étroite avec la concentration de l'acide dans l'atmosphère. Ainsi, les feuilles de Lierre qui ont séjourné pendant 6 heures dans une atmosphère avec 1 : 3.200 d'acide sulfureux, ont absorbé deux fois autant d'acide que les feuilles laissées pendant 5 jours dans une atmosphère dont la teneur en acide sulfureux varia de 1 : 29.600 à 1 : 49.800.

La relation qui existe entre la proportion de l'acide sulfureux absorbé et sa concentration dans l'atmosphère ne pouvait pas être déterminée par ces expériences, mais il en résulte tout de même que, dans les cas de concentration très forte d'acide sulfureux, les plantes peuvent en absorber des quantités plus ou moins appréciables, seulement lorsqu'elles sont mises au contact de ce gaz un temps assez long. (Les expériences avec le *Prunus Laurocerasus* ont montré que la plante absorbe relativement plus d'acide sulfureux d'une atmosphère pauvre en ce gaz, que d'une

atmosphère avec une forte teneur en acide sulfureux.) Après avoir obtenu ces résultats, M. Wieler a soumis à l'analyse les branches des différentes essences provenant des contrées éprouvées par les fumées (Clausthaler Silberhütte en Harz, Barmen, Myslowitz-Kattowitz, Stollberg i. Rh., etc.).

Les données de ces analyses ont montré une teneur élevée d'acide sulfureux dans les organes des plantes malades par comparaison avec les plantes normales, mais n'ont pu établir une relation entre la teneur des plantes en acide sulfureux et l'éloignement de la source des fumées, ainsi qu'avec la diminution de l'accroissement des arbres. D'une façon absolue, les organes assimilateurs des plantes accumulent d'autant plus d'acide sulfureux dans leurs tissus que la teneur de l'air en ce gaz est plus élevée, mais aussi les concentrations très faibles peuvent provoquer l'accumulation notable d'acide sulfureux dans les tissus végétaux. Dans les expériences de Wieler, l'acide sulfureux pouvait être décelé dans les aiguilles des Pins à une distance de 7 kilomètres 1/2 de la sources des fumées. Comme le montrent les recherches de M. Ost (1) et de M. Wislicenus (2), l'acide sulfureux peut être transporté par le vent, à des distances très grandes, sans se transformer en acide sulfurique. M. Wislicenus, dans le bois de Tharand, a trouvé de l'acide sulfureux à 13 kilomètres 1/2 de la source des fumées la plus proche.

---

(1) Die Verbreitung der Schwefelsaüre in der Atmosphäre. *Die Chemische Industrie*, 1901, Bd. 23.

(2) Nachweis der schwefligen Säure in der Waldluft des Tharander Waldes. *Tharander forstl. Jahrb.*, Bd. 48, S. 173 u. ff.

Action de SO^2 sur les cellules des plantes.

C'est M. Nägeli (1) qui a, le premier, attiré l'attention sur l'action nocive de l'acide sulfureux pour la vie cellulaire. Il a écrit : « ...On accuse l'acide sulfurique, l'alcool et certaines autres substances d'agir d'une façon déshydratante sur les cellules. L'acide sulfureux doit agir de même, car on voit que les feuilles se dessèchent dans une atmosphère contenant une quantité minime d'acide sulfureux. Il est évident que l'acide sulfureux prive la substance végétale, non seulement de son oxygène, mais aussi de son eau. Or, dans une atmosphère riche et chaude, les plantes perdent beaucoup plus d'eau que l'acide sulfureux en peut enlever, mais les plantes ne souffrent pas. Les plantes aquatiques, qui vivent dans l'eau, souffrent aussi de la présence de l'acide sulfureux, même en quantité minime.

Le poison agit ainsi par le contact. L'action de l'acide sulfureux sur les levures le prouve; la germination des levures est entravée, mais elles ne sont pas tuées. On ne constate aucune destruction, seulement la présence de l'acide agit sur le protoplasma vivant en empêchant ses mouvements normaux. Si on met, après un temps plus ou moins long, ces levures au contact de l'oxygène, l'acide sulfureux s'oxyde en acide sulfurique, le pigment rouge (moût de vin), qui a disparu sous l'action de l'acide sulfuri-

(1) Haselhoff u. H. Lindau. *Die Beschädigung des Vegetation durch Rauch*, S. 142.

que, réapparaît de nouveau, la germination recommence ainsi que la fermentation alcoolique.

Au voisinage d'un établissement industriel, l'acide sulfureux dégagé agit sur les organes foliaires des plantes élevées. Il dérange les fonctions vitales du plasma; « le desséchement n'est qu'un phénomène secondaire qui apparaît toujours quand les tissus végétaux sont empêchés dans leurs fonctions normales par une cause quelconque ». M. Nägeli croit que l'acide sulfureux empêche les fonctions normales du plasma. La déshydratation, la désoxydation et, plus tard, le desséchement, ne sont pour lui que des phénomènes secondaires; les changements moléculaires dont il parle ne sont visibles que grâce à ces phénomènes secondaires.

M. Klemm (1), en étudiant sous le microscope les changements provoqués dans les poils des racines de *Trianea bogotensis* par l'action des solutions de 0,5 et 1 p. 100 d'acide azotique, a observé tout d'abord le changement de la direction des courants protoplasmiques, puis la formation de différents précipités, changement de la forme de certains éléments cellulaires; finalement les cellules éclataient.

Les autres acides ont agi de façon analogue.

L'acide sulfureux des fumées industrielles, comme nous l'avons vu, pénètre dans la cellule en partie sous forme d'acide sulfureux et en partie sous forme d'acide sulfurique. Tout fait croire qu'ils agissent

(1) Desorganisationserscheinungen der Zelle. *Pringsh. Jahrb.*, 1895, 28, 627.

sur la cellule de la même manière que les autres acides.

Actions intra-cellulaires.

Que se passe-t-il dans la cellule? Les acides agissent-ils directement sur le protoplasme? Ou avons-nous affaire à une neutralisation du suc cellulaire et au remplacement des acides de ces sels par l'acide sulfureux?

A l'heure actuelle, il est encore impossible de répondre à ces questions; mais, connaissant d'un côté la faculté de l'acide sulfureux de donner des combinaisons avec certains produits d'assimilation, par exemple avec des aldéhydes, et en admettant d'un autre côté la théorie de Loew et Bokorny (1), d'après laquelle les aldéhydes entrent dans la composition de la matière albuminoïde, nous pouvons conclure aux changements profonds éprouvés par le protoplasme.

Les combinaisons de l'acide sulfureux avec les produits d'assimilation sont évacuées des organes foliaires et peuvent être rencontrées dans les autres parties des végétaux. Les éléments plastiques sont consommés par les cellules; l'acide sulfureux devenu libre s'oxyde en acide sulfurique, ce qui explique la présence de l'acide sulfurique dans l'écorce et dans le cœur des arbres.

En admettant cette explication de la provenance de l'acide sulfurique dans les tissus de la plante, il ne faut pas oublier que les plantes ont la faculté

---

(1) *Die chemische Kraftquelle im lebenden Protoplasma.* München, 1882.

d'absorber le gaz sulfureux directement de l'atmosphère par les lenticelles et qu'au moins une partie de l'acide sulfurique des tissus provient de cette absorption.

L'action de l'acide sur le protoplasme ne change pas si cet acide provient de la décomposition des combinaisons de l'acide sulfureux avec les éléments plastiques ou s'il est directement absorbé de l'atmosphère.

L'action de l'acide sulfureux et l'action de l'acide sulfurique dépendent de leur caractère acide, et à ce point de vue, on n'observe pas une différence entre l'action de l'acide sulfureux et de l'acide chlorhydrique. La désorganisation du protoplasme entraîne avec elle, bien entendu, le dérangement de ses fonctions normales.

Échanges gazeux des plantes modifiés par les fumées acides.

L'influence de l'acide sulfureux sur l'assimilation a été étudiée par M. Wieler (1), que nous avons déjà cité maintes fois. La méthode de M. Wieler consistait à déterminer la différence entre la quantité de gaz carbonique mise à la disposition de la plante et la quantité trouvée à la fin de l'expérience. Il était établi, par des expériences préalables, que l'intensité de la respiration n'est pas influencée par les faibles

(1) *Untersuchungen über die Einwirkung der Schwefligen Säure.* Berlin, 1905, SS. 100-161.

concentrations d'acide sulfureux qui ne tuent pas les tissus des organes foliaires.

De l'autre côté, les observations sur la périodicité de l'intensité de la respiration aux différents moments de la journée et de la nuit, ont permis de déterminer la quantité moyenne de CO^2 résultant de la respiration de la plante, l'énergie de l'assimilation ne présentant pas d'oscillations périodiques et ne dépendant que de l'intensité de l'éclairage.

En tenant compte de toutes ces conditions, M. Wieler (1) a procédé à de nombreuses recherches qui l'ont amené à la conclusion que l'énergie de l'assimilation est diminuée sous l'influence de l'acide sulfureux.

L'auteur a expérimenté avec le *Picea excelsa, Taxus baccata, Fagus, Quercus, Betula, Salix, Vitis vinifera, Aralia japonica, Abutilon palmicetum, Genista, Andreana, Ficus elastica, Cereus grandiflorus, Allium Cepa.* Toutes ces plantes se sont montrées d'une susceptibilité très inégale vis-à-vis de l'acide sulfureux.

Le *Picea* et le *Fagus* se sont montrés comme les plus sensibles, tandis que l'intensité de l'assimilation chez *Quercus* commence à diminuer seulement avec les concentrations qui, chez le *Picea* et le *Fagus*, occasionnent déjà des lésions apparentes. Ces données sont d'accord avec la grande résistance de *Quercus* observée dans les contrées éprouvées par les fumées. Les concentrations élevées telles que 1 : 40.000 et

(1) *Untersuchungen über die Einwirkung Schwefligen Säure die Pflanzen*, S. 157.

1 : 52.000 laissent le *Quercus* indemne, tandis qu'elles provoquent des lésions visibles chez la plupart des plantes soumises aux expériences.

Ainsi, il doit exister pour chaque espèce végétale une concentration limite de l'acide sulfureux au-dessous de laquelle la diminution de l'intensité de l'assimilation commence à se manifester. Mais, la détermination de ces concentrations limites n'a aucun sens pratique, car elles varient beaucoup avec la durée de l'action de l'acide sulfureux. Comme nous l'avons vu précédemment, l'acide sulfureux peut s'accumuler dans les tissus des organes foliaires, ainsi les concentrations faibles, mais agissant un temps prolongé, peuvent provoquer un dérangement sensible à l'assimilation.

Rôle des stomates et des chloroplastes.

La question se pose : doit-on attribuer la diminution de l'intensité de l'assimilation au dérangement des chloroplastes, ou tout simplement à la fermeture des stomates sous l'influence de l'acide sulfureux? Les recherches de M. Boussingault et de M. Ewart prouvent que, sous l'action de certaines substances auxquelles il faut ajouter aussi l'acide sulfureux, l'activité des chloroplastes cesse. Mais on pourrait aussi facilement expliquer la diminution de l'assimilation par la fermeture des stomates. L'examen direct des stomates à l'aide du microscope ne peut guère nous être utile, car chez les plantes qui possèdent des stomates mobiles, les stomates présentent

différents stades d'ouverture. Le microscope n'a pas pu jusqu'à présent découvrir si le *Picea* possède des stomates mobiles ou fixes. D'une importance capitale pour la question que nous nous posons, doivent être les expériences avec les plantes qui ont des stomates immobiles. D'après les travaux de M. Stahl (1), certains arbres de nos forêts, notamment *Betula alba*, *Alnus glutinosa* et les différents *Salix* appartiennent à cette catégorie. Or, les expériences avec les *Betula* et les *Salix* ont permis de constater une diminution de l'assimilation. Pour le Bouleau, on a obtenu les chiffres suivants :

Sans acide.	72 mg. CO_2
1 : 140,000	56 —
Sans acide.	70 —

Certaines feuilles, sous l'action des concentrations de 1 : 140.000, ont présenté des lésions apparentes, mais ces lésions ne peuvent pas expliquer la diminution de l'assimilation puisque, après l'expérience, l'assimilation a de nouveau atteint son intensité primitive. Les expériences avec les *Salix* confirment ces résultats.

D'un autre côté, il résulte des recherches sur les plantes possédant des stomates mobiles que les faibles concentrations de SO^2 qui ne tuent pas les cellules, mais provoquent la diminution de l'assimilation (telles que, par exemple, 1 : 250.000) sont sans influence sur le mécanisme des stomates.

On a ainsi le droit de conclure que la diminution

(1) *Bot. Ztg.*, 1894, S. 124.

de l'intensité de l'assimilation sous l'action de l'acide sulfureux doit être attribuée au dérangement des chloroplastes.

La transpiration des plantes est-elle influencée par les fumées?

La question de la sensibilité ou de l'indifférence de mécanisme des stomates mobiles vis-à-vis de l'acide sulfureux est intimement liée avec le phénomène de la transpiration des plantes. D'après les recherches de M. v. Schröder (1), la transpiration des plantes sous l'action de l'acide sulfureux diminue notablement, tandis que l'absorption de l'eau augmente. Ces données ont été acceptées sans vérification par M. Harting (2), qui en tire toute une théorie pour l'explication des lésions chroniques chez *Picea*. Les recherches de MM. Ramann (3), Sorauer (4) et Wieler (5) ont montré l'inadmissibilité de cette théorie. M. Wieler a repris les expériences de M. v. Schröder et a démontré que les résultats obtenus par cet auteur doivent être expliqués par les concentrations trop fortes de l'acide sulfureux (1 : 1.000 à 1 : 10.000) qu'il a employé et par l'intensité de transpiration in-

(1) V. Schröder u. Reuss. *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch.* Berlin, 1885.

(2) Einwirkung des Hütten- u. Steinkohlenrauches auf die Gesundheit der Nadelwaldbäume. *Forstl. naturw. Zeitschrift*, 1896.

(3) Ueber Rauchbeschädigungen. *Zeitschr. f. Forst. u. Jagdwesen*, 1896, 28, S. 511.

(4) Ueber die Rotfärbung der Spaltöffnungen bei Picea. *Notizbl. d. Königl. bot. Gartens u. Museums zu Berlin*, 1898, n° 16, 239.

(5) *Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen.* Berlin, 1905, SS. 166-192.

dividuelle des branches dont il n'a pas tenu compte. En effet, les concentrations telles que 1 : 1.000 ou 1 : 10.000 tuent les feuilles plus ou moins vite; les cellules des stomates sont tuées au même titre que les autres cellules des tissus foliaires. Or, l'ouverture des stomates dépend surtout de l'augmentation de la pression osmotique dans les cellules stomatiques qui, dans les cellules mortes, devient nulle. Les stomates dont les cellules sont tuées se ferment et c'est surtout à cette fermeture des stomates qu'il faut attribuer la diminution de la transpiration sous l'action de l'acide sulfureux observée par M. v. Schröder.

Dans la pratique, on n'observe des lésions apparentes des feuilles que dans le voisinage immédiat des sources de fumées, tandis que l'action nocive des fumées se manifeste à une distance beaucoup plus grande. Il est peu probable que, dans les cas de lésions chroniques, les cellules stomatiques sont tuées et qu'il en résulte une diminution de la transpiration. Pour en avoir une preuve certaine, il fallait opérer avec des concentrations d'acide sulfureux qui ne tuent pas les tissus foliaires.

M. Wieler a effectué une série d'expériences à l'aide d'un appareil (1) permettant de tenir compte de l'eau évaporée par les plantes ainsi que de l'eau absorbée. Comme matériel d'expérience, il a pris des cultures aqueuses de Saule et de Peuplier, des pousses de Lierre et de Vigne, des branches de *Taxus*, de *Prunus Laurocerasus*, de *Buxus sempervirens*, de

(1) *Untersuchungen über die Einwirkung der Schwefligen Säure*, etc., S. 175.

Hêtre, de Chêne, de Bouleau, d'*Acer Pseudoplatanus*, de *Populus nigra* et de *Robinia*.

La présence, parmi ces plantes expérimentées, de celles qui ont des stomates mobiles et des stomates fixes, a permis de conclure si la transpiration est influencée par l'intermédiaire des stomates ou par d'autres causes. Les expériences ont été faites en partie dans l'obscurité, en partie dans la lumière diffuse, en partie en pleine lumière solaire, et en partie à la lumière électrique, et ont permis de conclure que la circulation d'eau dans les plantes n'est pas influencée par les concentrations d'acide sulfureux qui ne tuent pas la substance foliaire.

Émission d'eau sous l'action excitante des acides des fumées.

Dans les expériences avec l'acide sulfureux sous la cloche, on observe souvent l'apparition sur les feuilles des dessins caractéristiques (*Nervaturzeichnungen*, d'après v. Schröder, *Injectionen*, d'après Wieler), sous forme de bandes vertes claires, couvertes de petites gouttelettes d'eau, accompagnant de deux côtés les nervures principales sur un fond général plus sombre des feuilles. Wieler explique l'apparition de ces dessins exclusivement par la turgescence des cellules sous l'action excitante de l'acide; les cellules éclatent finalement et les gouttelettes d'eau perlent sur la surface des feuilles. Ces dessins apparaissent d'autant plus vite que les concentrations d'acide sulfureux sont plus fortes et peuvent être provoquées

au même titre par les vapeurs de chloroforme, d'acide chlorhydrique et par toute une série d'autres substances gazeuses.

Ralentissement de l'évacuation des feuilles des produits d'assimilation.

La diminution de l'assimilation sous l'influence de l'acide sulfureux est compliquée par le ralentissement de l'évacuation des feuilles des produits d'assimilation. Dans les feuilles endommagées par l'acide sulfureux, on trouve toujours des quantités notables d'amidon, ce qui explique d'ailleurs les dimensions démesurées des chloroplastes.

On sait que l'évacuation des produits d'assimilation dépend de l'activité des diastases contribuant à la transformation des produits d'assimilation (1). Or, M. Wieler (2) voit l'explication du ralentissement de l'évacuation des produits d'assimilation dans la diminution de l'activité des diastases sous l'action de l'acide sulfureux.

De la diminution de l'assimilation et du ralentissement de l'évacution des produits d'assimilation peut résulter un manque des éléments plastiques nécessaires à la croissance des plantes. La largeur des couches annuelles des plantes ligneuses diminue de telle façon que la coupe transversale d'une souche malade permet de déterminer approximativement

---

(1) Brown and Morris. A contribution to the chemistry and physiology of foliage leaves. *Journ. of the Chem. Society Bot.*, 63, 1883.

(2) *Untersuchungen über die Einwirk. der Schwefligen Säure*, etc., S. 130.

l'année dans laquelle la source des fumées a commencé à exercer son action nocive (voir plus haut page 53).

L'affaiblissement de la croissance des plantes, leur aspect rabougri, la mort de certaines branches, etc., doivent être, au moins en partie, expliqués par le dérangement de l'assimilation. Mais le sol n'échappe pas aussi à l'action des gaz industriels et, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, il joue un rôle important dans le dépérissement de la végétation des contrées éprouvées par les fumées.

C) *Action de l'acide sulfureux sur les parties souterraines des plantes et sur le sol.*

Comme nous l'avons vu précédemment, l'acide sulfureux s'oxyde vite dans une atmosphère humide et donne de l'acide sulfurique. La topographie locale a une grande influence sur la vitesse de cette oxydation et sur la précipitation de l'acide. Ainsi, on a observé que les vallées humides attirent en quelque sorte les vapeurs sulfureuses. La faculté de l'acide sulfureux de se transformer en acide sulfurique explique que dans le sol, qui se trouve certainement sous l'action des gaz acides, on ne trouve point d'acide sulfureux, mais seulement de l'acide sulfurique.

Expérience de Freytag.

M. Freytag (1) a procédé à l'expérience suivante : il a pris 50 grammes d'une terre quelconque dans

(1) *Mitt. d. Landw. Akad. Pappelsdorf*, 1869, 234, u. *Thar. forstl. Jahrb.*, 1872, 22, 185.

un champ, il l'a mélangée avec 500 cc. d'une solution aqueuse d'acide sulfureux (0,00082 gr. d'acide pour un c.c. d'eau); trois minutes plus tard, les 35 p. 100 d'acide sulfureux ont déjà disparu; une heure plus tard, la perte était de 70 p. 100, et après trois heures l'acide sulfureux était totalement transformé en acide sulfurique.

Ainsi, dans le sol, nous avons affaire exclusivement à l'acide sulfurique. Cet acide forme des combinaisons avec des bases qui se trouvent dans le sol; la présence de l'acide sulfurique libre peut être observée seulement dans le sol exclusivement pauvre en bases capables de neutraliser l'acide. Mais le danger de l'action directe de l'acide sur les racines des plantes n'existe pas, même dans ce cas-là, car les solutions aqueuses de l'acide pénètrent dans les couches profondes du sol inaccessibles aux racines.

En outre, les expériences de M. Reuss (1) montrent que les solutions faibles d'acide sulfureux restent sans action sur les racines des plantes. M. Reuss a opéré avec six Sapins âgés de quinze ans, d'une hauteur et d'un développement autant que possible égaux. Les arbres ont été arrosés quotidiennement à partir du 16 juillet jusqu'au 10 septembre avec des solutions d'acide sulfurique de différentes concentrations :

Sapin n° 1.	— 2 gr.	d'acide sulfurique	pour 10	litres d'eau.
— 2.	— 10	—	—	
— 3.	— 35	—	—	
— 4.	— 65	—	—	
— 5.	— 88	—	—	
— 6.	— Témoin.			

(1) *Rauchbeschädigungen in dem von Tiele-Winklerschen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz.* Goslar, 1893.

Pendant toute la durée des expériences, les arbres n'ont pas présenté de symptômes maladifs. L'analyse chimique des aiguilles, effectuée le 10 septembre, n'a pas montré d'augmentation plus ou moins appréciable de leur teneur en acide sulfurique. Des expériences analogues de M. Freytag (1) avec l'Avoine, le Blé, les Pois, ont donné des résultats analogues et l'ont obligé à conclure que l'acide sulfurique, comme l'acide sulfureux des fumées industrielles, n'a aucune influence directe sur les plantes par l'intermédiaire des racines.

Controverse visant l'action des fumées sur les sols.

Mais, en dehors de l'action directe de l'acide sulfureux et de l'acide sulfurique sur les racines des plantes, on peut supposer une action indirecte par l'intermédiaire de sols modifiés sous l'action des gaz acides. Les opinions des auteurs sur cette question sont fortement partagées; tandis que les uns nient la possibilité de changements appréciables de propriétés chimiques et physiques du sol sous l'action des gaz industriels, les autres s'accordent à dire que le sol des régions éprouvées par les fumées s'appauvrit en éléments nutritifs; il devient plus acide et sa flore bactérienne change complètement. Certains auteurs [Borgreve (2)] vont même plus loin et affirment que toutes les lésions des plantes, ainsi que l'augmentation de leur teneur en soufre, doivent être

(1) *Mitt. d. königl. landw. Akad. Pappelsdorf*, 1860, 2.
(2) Ueber Waldschäden in der Umgebung industrieller Anlagen. *Forstl. Blätter*, 1877, N. F. 6, 49.

inscrites au compte des changements qui ont eu lieu dans le sol.

MM. Haselhoff et Lindau (1) écrivent : « ... Tout d'abord, on peut croire que l'action constante des gaz sulfureux pourrait contribuer à l'accumulation des sulfates dans le sol. Ces derniers ne peuvent aucunement nuire à la végétation. Mais, en réalité, on observe un appauvrissement du sol, car les sels solubles qui se forment sont entraînés dans les couches inférieures du sous-sol et se perdent pour la plante. »

Les recherches de MM. v. Schröder et Reuss (2) dans les environs d'Alternauer-Hütte (Oberharz) montrent que la richesse du sol en composés sulfureux n'est pas en relation avec la teneur en acide sulfurique des parties aériennes des plantes :

TENEUR EN ACIDE SULFURIQUE		ÉTAT DE L'ARBRE
Dans le sol, p. 100	Dans les aiguilles de sapin, p. 100	
0,063	0,610	Très endommagé.
0,082	0,879	— —
0,068	0,204	Lésions faibles.
0,064	0,084	Indemne.

La teneur en acide sulfureux dans les aiguilles des plantes malades doit être ainsi attribuée à l'absorp-

(1) *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch.* Berlin, 1903, S. 86.

(2) *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden.* Berlin, 1883, 57.

tion de l'acide sulfureux de l'atmosphère; le sol ne joue aucun rôle, ou joue un rôle tout à fait secondaire.

MM. Haselhoff et Lindau (1), en se basant sur leurs observations aux environs d'une grillerie de blende, ainsi que sur les recherches de MM. Schröder et Reuss et de MM. Schröder et Schmits-Dumont (2), arrivent aux conclusions suivantes : malgré une action forte et prolongée du gaz sulfureux, on n'observe pas d'augmentation de la teneur du sol en acide sulfurique et on ne saurait parler d'une action nocive des gaz industriels sur le sol. En ce qui concerne le remplacement par l'acide sulfurique des sels du sol et leur transformation en sels solubles facilement éliminables par les eaux atmosphériques, MM. Haselhoff et Lindau pensent que ces réactions sont tout à fait insignifiantes par comparaison avec les réactions qui se passent dans le sol, par exemple, sous l'action de l'acide sulfurique apporté avec les engrais minéraux. Par exemple, 125 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque, 250 kilogrammes de superphosphate et 300 kilogrammes de kaïnite par hectare, enfouis à la fois dans le sol, provoquent des réactions beaucoup plus intenses que l'action prolongée de très faibles concentrations d'acide sulfureux de l'atmosphère. En résumé, cette opinion peut être exprimée ainsi : *les gaz acides intoxiquent non pas le sol, mais la plante elle-même.*

---

(1) *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch.* Berlin, 1903, SS. 41-47.

(2) Neue Beiträge zur Rauchfrage. *Tharand. forstl. Jahrb.*, 1896, 46, 1.

Certains autres auteurs pensent justement le contraire et cherchent à voir la cause du dépérissement des plantes dans les changements éprouvés par le sol. « Les trois faits suivants, écrit M. Wieler (1) dans son travail *Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen*, font croire que le sol joue un rôle capital dans les lésions des plantes sous l'action des fumées industrielles : 1° la *formation des clairières dénudées* de toute végétation aux environs de certaines usines; 2° la *formation de surfaces dénudées aux pieds des vieux arbres élevés* des régions éprouvées par les fumées, et 3° la *stérilité de la terre* prise dans ces clairières dénudées et transportée dans un endroit exempt de l'action des fumées nocives.

On a observé à l'encontre du premier point que les gaz, après avoir tué les plantes existantes, empêchent la levée de toute nouvelle végétation. Le deuxième point pouvait être expliqué par le fait que l'eau de pluie qui s'écoule des branches et de la souche de l'arbre renferme une proportion plus ou moins forte d'acide sulfurique. M. Hasenclever (2) dit notamment : « Dans ce cas-là, l'arbre, avec ses branches, joue le rôle de la tour de condensation avec ses morceaux de coke. »

Le troisième point ne peut pas être expliqué aussi facilement. C'est MM. v. Schröder et Reuss qui ont les premiers, en 1879, posé la question de l'intoxication possible du sol par les gaz industriels.

---

(1) *Untersuchungen über die Einwirkung schwefligen Säure auf die Pflanzen*. Berlin, 1905.

(2) *Ueber Beschädigung der Vegetation durch Säure Gase*, 1895.

Action du sol : Méthode expérimentale.

Ces auteurs ont pris de la terre d'une de ces clairières et l'ont transportée dans un fossé loin de tous les centres industriels. Cette terre était une terre argileuse avec un peu d'humus. On a planté dans cette terre :

244 Picea excelsa.	Agés d'un an.
200 Pinus silvestris. . . .	—
200 Fagus silvatica. . . .	—
162 Sorbus aucuparia. . .	Agés de deux ans.
145 Acer campestre . . .	—
110 Quercus.	Agés d'un an.

En deux ans, la plus grande partie de ces arbres sont morts. La perte était :

Pour Sorbus de.	100	p. cent.
— Acer	92	—
— Fagus	72	—
— Picea	8	—
— Pinus	8	—
— Quercus	0	—

La conservation des *Quercus*, des *Pinus* et des *Picea* s'explique parce que, dans ce cas, les racines de ces plantes sont sorties de la couche de la terre dans laquelle elles ont été plantées et ont pénétré dans le sol normal; leur développement s'effectuait ainsi dans des conditions presque normales et elles ne différaient en rien des plantes témoins. MM. von Schröder et Reuss ont supposé, dans ce cas, une intoxication du sol par les particules de plomb et d'autres métaux déposés par la fumée. Des expériences ultérieures ont montré qu'il n'en était rien et qu'il faut voir la cause du dépérissement des plantes dans *l'appauvrissement du sol et dans le change-*

ment de ses propriétés physiques sous l'action de l'acide sulfurique.

L'acide sulfurique est entraîné dans le sol avec les précipitations atmosphériques. L'analyse des eaux de pluie aux environs de Haumont, en 1877, à une distance de 530 à 1.550 mètres d'une usine de produits chimiques, a montré une acidité correspondant à une concentration de 1 : 27.000 jusqu'à 1 : 16.700 d'acide sulfurique. Hasenclever (1), en 1879, a calculé la quantité d'acide sulfureux et d'acide chlorhydrique versée dans l'atmosphère par 220 cheminées de la petite bourgade industrielle de Stolberg. Ces calculs ont donné, pour une surface de 650 hectares, 86.588 kilogrammes en 24 heures, ce qui fait 31.244.620 kilogrammes par an, ou 0,793 kilogramme par an et par mètre carré. Des calculs analogues ont donné, pour Clausthal et Altenau, 120 et 70 grammes par mètre carré. Il faut ajouter, en tous cas, que ces calculs sont un peu arbitraires. On peut accorder plus de confiance aux chiffres obtenus par M. Sendtner (2) à Munich. D'après ces chiffres, les quantités d'acide sulfureux dans l'atmosphère de Munich sont de 28 grammes par mètre carré. Ce chiffre est très inférieur à celui obtenu par M. Hasenclever, mais, en partant même de ce chiffre, et en ne perdant point de vue qu'il est obtenu pour une ville où l'industrie est faiblement développée, on peut concevoir

---

(1) Ueber die Beschädigung der Vegetation durch Säure Gase. *Die chem. Industrie*, 1879, 2; 1895, 18.

(2) Schweflige Säure und Schwefelsäure im Schnee. *Bayer. Industrie und Gewerbeblatt*, 1887.

les quantités énormes d'acides qui tombent sur le sol dans les régions industrielles et les changements de composition chimique, des propriétés physiques et de la flore bactérienne de ces sols dont elles sont cause.

Action chimique de l'acide sulfurique sur les éléments basiques fertilisants du sol.

Les recherches de Damseaux (1) montrent que l'acide sulfurique libre, entraîné dans le sol avec des précipitations atmosphériques, décompose les sels existants et donne des combinaisons plus ou moins solubles avec le calcium, le magnésium, le fer, l'aluminium, la potasse, etc.; il est vrai que la faculté d'absorption du sol par rapport aux sels potassiques est très grande, mais il ne faut pas oublier qu'avec les solutions calciques les sels potassiques sont entraînés facilement, et dans une proportion d'autant plus grande que ces solutions sont plus riches en sels calciques. Or, le sulfate de calcium, qui se forme sous l'action de l'acide sulfurique libre, et les sels calciques préexistants présentent des conditions favorables pour l'élimination de la potasse et provoquent un appauvrissement rapide du sol en cet élément fertilisant.

D'un autre côté, dans les sols pauvres en chaux, l'acide sulfurique décompose les sels phosphoriques

(1) Influence des dégagements d'anhydride sulfureux sur les terres et sur les productions agricoles. *Ann. de la Soc. agronom. fr. et étrang.*, 1896, série 2, p. 121.

en remplaçant l'acide phosphorique, qui est entraîné dans les couches profondes du sol. Les recherches de M. Driosche (1) ont confirmé les conclusions de M. Damseaux.

Vu le rôle important que joue dans le sol le calcium, arrêtons-nous plus longuement sur l'action de l'acide sulfurique sur cet élément. Supposons que la teneur du sol en carbonate de calcium soit de 1 p. 100; en admettant le poids spécifique de la terre = 2, nous pourrons conclure qu'un mètre cube de cette terre sera composé de 2.000 kilogrammes de terre et de 20 kilogrammes de carbonate de calcium. Pour que ces 20 kilogrammes de carbonate de calcium soient transformés en sulfate de calcium, il faudra la présence de 12,8 kilogrammes d'acide sulfurique. Or, d'après les calculs de M. Reuss (2), la quantité d'acide sulfurique qui tombe par an sur un mètre carré est de 352 grammes pour le district industriel de Myslowitz-Kattowitz. Ainsi, dans ces conditions, il faudrait 36 ans pour la disparition complète du calcium sur la profondeur d'un mètre et un an pour la disparition du calcium sur la profondeur de trois centimètres. Si on suppose que la formation journalière de sulfate de calcium sur la surface d'un mètre carré est de 2 grammes, on conçoit que cette quantité peut être facilement lessivée, par les eaux atmosphériques, dans le même temps. Ainsi,

---

(1) Damseaux. Influence des dégag. d'anhydr. sulfureux, etc. *Ann. de la Soc. agr. fr. et étrang.*, 1896, série 2, p. 121.

(2) *Rauchbeschädigungen in dem von Tiele Winklerschen Forstrevier Myslowitz-Kattowitz*, 1893, S. 210.

l'accumulation de gypse dans le sol ne peut pas avoir lieu. L'action des amendements calcaires, dans ces cas, doit être notablement diminuée.

Action de l'acide sulfurique sur l'humus.

Les combinaisons de l'acide humique dans les couches superficielles du sol sont aussi décomposées par l'acide sulfurique. Les analyses ont montré une forte acidité des couches supérieures du sol, mais cette acidité est due exclusivement à la formation de l'acide humique libre. Les extraits aqueux d'un sol pareil colorent le papier de tournesol en rouge, tandis que la présence de l'acide sulfurique ne peut pas être mise en évidence.

Les déterminations quantitatives de l'acide humique libre effectuées par M. Wieler, d'après la méthode de M. Tacke (1), dans les sols éprouvés par l'action des gaz industriels, par comparaison avec des sols normaux, ont pleinement confirmé les conclusions de M. Damseaux.

La présence de l'acide humique libre exerce une action nocive sur les propriétés physiques du sol et sur la flore microbienne (2). Les processus bactériologiques s'arrêtent et on observe une accumulation des matières organiques non décomposées dans les couches supérieures du sol. Déjà MM. v. Schröder et Reuss ont remarqué que, dans les peuplements de

(1) *Chem. Zeitung*, 1897, S. 174.

(2) Hiltner u. Störner. *Arbeiten aus d. biologischen Abt. f. Landw. u. Fortswirtschaft*, 1903, Bd. 3, Heft 5.

Conifères soumis à l'action des gaz industriels, on observe une accumulation énorme des aiguilles tombées. MM. v. Schröder et Reuss ont pensé que la conservation des aiguilles tombées est due à l'intoxication de ces dernières par l'acide arsénique et l'oxyde de plomb, dont les particules très petites sont apportées avec les fumées, mais cette supposition ne fut pas confirmée par les recherches.

Ralentissement des phénomènes microbiens dans le sol.

M. Wieler explique l'accumulation de la matière organique non décomposée par l'absence, dans le sol acide, des microorganismes nécessaires.

M. Damseaux (1) dit que, dans le rayon d'action des fumées, qu'il a étudié en Belgique, l'acide humique libre s'est trouvé en forte proportion dans les couches superficielles des prairies, qui ont surtout souffert des gaz sulfureux. Le sol avait une réaction acide fortement prononcée, les processus de nitrification, déjà fortement atténués par la disparition de la chaux, se sont complètement arrêtés, et on observait l'accumulation de parties végétales mortes non décomposées; il s'est formé, en quelque sorte, une couche de tourbe qui a séparé les racines des herbes du sol sous-jacent. La nature de la végétation s'était également modifiée : les bonnes herbes fourragères ont été remplacées par des *Cypéracées* acides, qui

(1) Influence des dégag. d'anhydr. sulf., etc. *Ann. de la Soc. agr. fr. et étr.*, 1896, série 2, S. 121.

provoquent chez les animaux une maladie caractéristique appelée par M. Haubner « la maladie acide » (1, 2).

Dans les conditions normales, la décomposition des parties végétales mortes formant l'humus donne naissance à certaines substances minérales et à l'acide carbonique. Une partie de ces substances minérales n'est pas retenue par le sol et est lessivée par les eaux pluviales; c'est la chaux qui s'élimine le plus vite. Mais les sols sains et normaux des forêts n'accusent pas un appauvrissement appréciable, ce que, d'après les recherches de M. P. E. Müller (3), il faut attribuer à l'activité des vers de terre, qui remontent à la surface du sol, avec leurs excréments, la terre des couches profondes du sol, et contribuent ainsi à la formation de l'humus des forêts. En l'absence des vers de terre (ce qu'on observe souvent dans les régions fortement éprouvées par les fumées), ce mélange systématique des différentes couches du sol n'a pas lieu; le sol devient acide et tourbeux.

Minéralisation acide des plantes herbacées (4).

La minéralisation des plantes herbacées constitutives des prairies à foins est considérablement influencée. L'exemple que nous prendrons portera sur

(1) *Archiv f. Wiesensch. u. prakt Tierheilkunde*, 1878, 4, 97, 241.

(2) E. Gain et Brocq-Rousseu. *Traité des Foins*, Paris, 1912, p. 372-377. Cet ouvrage donne un chapitre sur les foins acides produits par les sols qui reçoivent des fumées industrielles ou qui sont souillés par divers produits chimiques.

(3) *Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden*. Berlin, 1887, S. 170.

(4) E. Gain et D. Brocq-Rousseu. *Traité des Foins*, pp. 373-375.

des foins récoltés aux environs d'une usine métallurgique. L'analyse chimique de ces foins montre que leur teneur en principes utiles est très modifiée, et d'autre part ils contiennent une proportion d'acide sulfurique considérable. Voici quelques analyses.

Influence des fumées industrielles sur un foin de prairie.

	Nombre d'analyses	Acide sulfurique p. 100 de cendre pure	Relation
A l'orientation nord-est du foyer d'émission			
Dans le rayon de 400 à 700 mètres	5	14,04	100
— 1.000 à 1.600 —	7	11,97	85
— 2.000 et au delà	5	6,92	49
Aux autres orientations			
De 400 à 700 mètres	2	9,60	100
— 1.000 à 1.600 —	6	8,73	91
— 2.000 mètres et au delà	3	6,45	77

Foin de prairie (l'année suivante).

	Nombre d'analyses	Acide sulfurique p. 100 de cendre pure	Relation
Au nord du foyer d'émission			
Bas rayon	3	9,33	100
Haut rayon	3	5,66	60
Aux autres orientations			
Bas rayon	2	7,75	100
Haut rayon	3	5,64	73
Trèfle violet			
Nord-est du foyer d'émission			
Rayon de 600 à 900 mètres	2	4,07	100
— 1.200 à 1.600 —	4	1,71	42

Les analyses de ces foins montrent donc une moyenne de 9,78 p. 100 d'acide sulfurique pour cent de cendres pures, avec un minimum de 4,50 p. 100, et un maximum de 18,74 p. 100; alors que normalement, d'après Pétermann, les analyses donnent une moyenne de 7,30 avec un minimum de 3,98 et un maximum de 10,23 p. 100 de cendres pures (1).

L'herbe verte de prairie subit une augmentation sensible dans la teneur en cendres de la substance sèche. Sous l'action des fumées, elle passe de 9,86 et 8,26 p. 100 dans les bas rayons près de l'usine, de 7 à 8 p. 100 à la distance de 2 kilomètres. L'écart est surtout grand pour le foin. La teneur en cendres de la substance sèche des foins étant représentée par 100, elle tombe à 84, de 1.000 à 1.600 mètres d'éloignement, et à 59 environ, au delà de 2 kilomètres.

Si les cendres avaient une composition normale, l'inconvénient ne serait que secondaire; mais il se passe ce fait très grave, c'est que, plus le pourcentage de substance sèche est élevé, plus les cendres sont pauvres en acide phosphorique, en potasse et en chaux, alors qu'il y a augmentation en silice, en alumine et en fer.

Les analyses suivantes montrent ces différences. On représente par 100 la teneur des cendres des fourrages voisins de l'usine.

---

(1) Pétermann. *Recherches de chimie et de physiologie végétales*, 1886, p. 490.

Influence des fumées sur la minéralisation utile du foin.

	A l'orientation la plus frappée		Aux autres orientations	
	Potasse	Acide phosphorique	Potasse	Acide phosphorique
Foin (1re année)				
Bas rayon	100	100	100	100
Haut rayon	139	300	131	135
Foin (2e année)				
Bas rayon	100	100	100	100
Haut rayon	181	204	141	140

La composition organique de ces foins change :

A l'orientation la plus frappée :

		Cellulose	Matières albuminoïdes	Graisses
Foin 1re année	bas rayon	23,95	8,44	2,76
	haut rayon	23,64	8,93	3,45
Foin 2e année	bas rayon	—	6,45	—
	haut rayon	—	7,88	—

On voit que la proportion de cellulose est augmentée, lorsqu'on s'approche de la source des fumées.

La digestibilité de ces foins étudiée par le procédé de Stützer a donné :

Foin de bas rayon, digestibilité des albuminoïdes, 68,66 p. 100.

Foin situé à 3-4 kilomètres, digestibilité des albuminoïdes, 77,46 p. 100.

Donc, ces foins acides ont subi des changements considérables dans leur structure et leur composition.

Le bétail qui consomme ces foins voit son développement entravé, et il est exposé à une maladie que Haubner (1) a qualifié du nom de maladie acide et dont nous avons fait mention plus haut.

Toutes ces modifications de nature physique, chimique et biologique éprouvées par le sol sous l'action des fumées industrielles ne peuvent rester sans influence sur le caractère de la végétation. Il est connu, en effet, que la nature de la végétation herbacée est dans un rapport étroit avec la nature de l'humus dans le sol; il y a des plantes caractéristiques pour les sols acides ainsi que pour les sols neutres.

Le même phénomène s'observe autour des sources de fumées nocives : une forme de la flore herbacée est remplacée par une autre, et ce changement peut, dans certains cas, nous renseigner sur la nature des modifications éprouvées par le sol. En même temps que la végétation herbacée, la végétation ligneuse souffre aussi, mais, pour cette dernière, les lésions extérieures n'apparaissent que tardivement, surtout pour les espèces dont les racines vont profondément et qui peuvent ainsi résister plus longtemps à l'appauvrissement du sol en éléments nutritifs.

L'état maladif des arbres se manifeste d'abord par le desséchement de certaines branches, finalement l'arbre meurt (fig. 19, pl. VIII).

M. Wieler trouve une ressemblance frappante entre les Hêtres végétant sur un sol tourbeux et les Hêtres d'une contrée éprouvée d'une façon chronique

---

(1) Haubner. *Arch. f. Wissen. u. prakt. Thierheilk.*, 1878, IV, 97, 241.

par les fumées. Il est impossible de mener cette comparaison plus loin et de conclure que les causes du mal, dans les deux cas, doivent uniquement être attribuées au mauvais état du sol, mais elle nous donne l'idée que des soins rationnels, donnés au sol malade, peuvent augmenter la résistance des peuplements contre les fumées.

Il est évident que l'emploi des engrais minéraux, la création de cultures mélangées de Conifères et d'arbres feuillus, la plantation d'espèces résistantes et d'autres moyens purement culturaux ne suffisent pas à combattre ou même à enrayer l'action des fumées industrielles sur la végétation lorsqu'ils ne sont pas accompagnés de mesures techniques destinées à empêcher les gaz acides de s'échapper dans l'atmosphère (fig. 20, pl. VIII).

Nous ne pouvons pas entrer ici dans l'exposition de ces mesures purement techniques et nous renvoyons le lecteur aux ouvrages spéciaux (1).

D) *Recherches personnnelles : Action de l'acide sulfureux sur le pollen.*

1° Phénomènes généraux observés.

Il est connu que les fumées de certaines usines ont une action nuisible sur les phénomènes de fécondation et sur la formation des fruits.

---

(1) Wislicenus. *Ueber die Gründlagen technischer und Gesetzlicher Massnahmen gegen Rauch.* Berlin, 1908.
Donath. *Zug und Kontrolle der Dampfkesselfeuerungen.* Leipzig, 1902.
Hering. *Die Verdichtung des Hüttenrauches.* Stuttgart, 1888.
K. Jurisch. *Das Luftrecht in der Deutschen Gewerbeordnung.* Berlin, 1905.

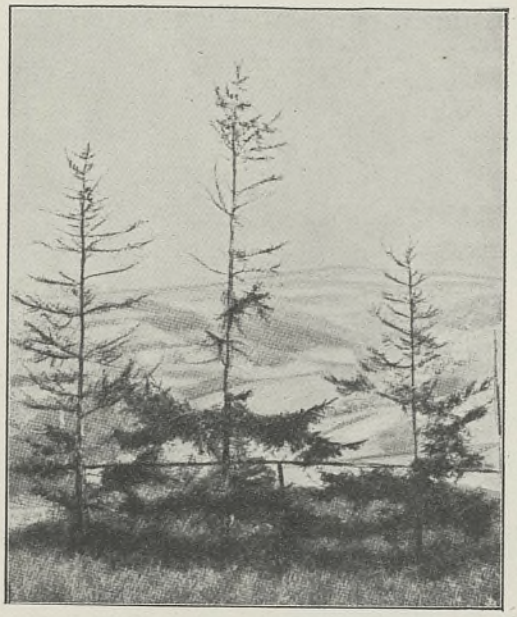

Fig. 19. — *Piceas* âgés de 35 ans, fortement atteints par les fumées.
(*D'après* M. Grohmann.)

Fig. 20. — Cultures mélangées de Hêtres, de Melèzes et de Pins Weymouth, en Saxe.
(*D'après* M. Grohmann.)

L'action de l'acide sulfureux, en particulier, a déjà été étudiée dans ses lignes générales.

Lorsque l'action des vapeurs nocives s'exerce à de faibles concentrations, et pendant un temps très long, on a affaire à de véritables maladies chroniques des plantes. Les fonctions de respiration et d'assimilation des végétaux sont profondément modifiées, ainsi que les fonctions de nutrition, par suite du changement des propriétés physiques et chimiques du sol.

Lorsque, au contraire, les concentrations sont assez fortes et que l'action s'exerce pendant un temps assez court, il peut se faire que les tissus des plantes soient détruits; on observe alors sur les feuilles des taches ou des corrosions caractéristiques.

L'étude de l'influence de l'acide sulfureux sur le pollen rentrera dans ce dernier cas, puisque la floraison et les phénomènes de fécondation ne s'exercent que pendant un temps relativement court.

Toutes les observations que nous pourrions relater concernant l'action de l'acide sulfureux sur les plantes constatent un fait : l'influence néfaste de cet acide sur la formation des fruits. Mais il est intéressant, au point de vue biologique, de se poser un certain nombre de questions pour se rendre compte du mécanisme de l'intoxication. Est-ce la faculté germinative du pollen, ou ultérieurement la croissance des tubes polliniques qui est atteinte? Les organes femelles ne sont-ils pas influencés? Quelle est la concentration au-dessous de laquelle l'acide sulfureux devient inoffensif? Comment expliquer que les

graines qui se forment sont plus légères que les graines normales, et parfois d'une forme irrégulière? La faculté germinative de ces graines est-elle normale? Comment se comportent les individus provenant de ces graines?

Nous nous sommes posé un certain nombre de ces problèmes, et c'est précisément l'un d'eux qui nous occupera dans cette note.

Avant d'exposer les résultats de nos expériences personnelles, nous rappellerons que les concentrations auxquelles l'acide sulfureux n'est pas nuisible pour les plantes sont en général très faibles. Le taux de cette concentration varie notablement, suivant les auteurs.

D'après Wislicenus (1), la limite de l'action nuisible se trouve près de 1/500.000.

D'après Wieler (2), les concentrations de 1/1.500 millièmes à 1/1.750.000 peuvent être considérées seulement comme inoffensives.

Quelques auteurs ont signalé des cas manifestes d'intoxication par l'acide sulfureux : Fricke (3) rapporte un cas où des quantités considérables d'acide sulfureux étaient déversées dans l'atmosphère par une usine où l'on grillait de la blende. Dans le voisinage de cette usine, les Blés étaient maigres, à chaumes minces et à épis courts, et les feuilles d'Avoine

---

(1) Zur Beurteilung und Abwehr von Rauschschäden. *Zeitsch. für angewanste Chemie*, 1901, Hf. 28.

(2) *Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen*, SS. 357-367.

(3) *Landwirt. Vers. Stat.*, XXIV, SS. 277-283; *Biederm. Centralb.*, XVI, S. 771.

étaient toutes desséchées à la pointe. Le même auteur (1) signale également un champ d'Avoine situé à proximité de fours à coke. Dans le voisinage immédiat de l'usine, la végétation était beaucoup plus pauvre qu'à une certaine distance; c'est ainsi que 1.000 grains d'Avoine malade pesaient 14 gr. 76, alors que 1.000 grains d'Avoine saine pesaient 25 grammes 25. Dans ce cas encore, c'est l'acide sulfureux qui doit être incriminé. A. Stockhardt (2) a observé que, *si l'action des fumées se produit au moment de la floraison, on trouve beaucoup d'épis vides ou ne portant que peu de graines.*

D'après Fr. Noble (3), les champs de Blé qui ont souffert de l'action de ces fumées ont un reflet jaunâtre caractéristique, qui se voit d'assez loin. Ce sont surtout les tiges les plus élevées et les extrémités des feuilles dressées qui souffrent le plus. Sous l'action des fumées, les glumes se décolorent puis se dessèchent, brunissent et finalement tombent.

Souvent les épis se courbent ou se tordent en spirale.

Si l'action nocive se produit au moment de la floraison, les étamines se dessèchent et les épis sont à moitié vides; les graines formées ont souvent une forme irrégulière. *L'action nocive s'exerce d'une façon plus intense sur le côté de l'épi tourné vers la source des fumées.*

---

(1) *Loc. cit.*

(2) V. Schröder und Reuss. *Die Beschädigung der Veget. durch Rauch und die Oberharzer Huttenrauschäden.* Berlin, 1883.

(3) *Id.*

Stockhardt (1) décrit l'aspect d'un jardin situé au voisinage d'un four à briques. Le jour où l'usine commença à employer de la houille comme combustible, les arbres commencèrent à souffrir et les jeunes fruits (surtout les prunes) tombaient en masse. L'action des fumées de houille s'explique par les quantités très appréciables d'acide sulfureux qu'elles contiennent.

2° Milieux de germination.

Nous avons dû nous préoccuper d'assurer des milieux de germination convenables pour les pollens des différentes plantes sur lesquelles nous voulions expérimenter.

Un certain nombre de conditions de germination et de solutions convenables sont déjà connues (2).

La solution qui paraît la plus favorable est une solution de saccharose. Voici l'optimum de concentration de la solution pour les espèces suivantes :

Allium Victoriale	3 p. 100
Narcissus poeticus	—
Tulipa Gesneriana	—
Leucoium æstivum	—
Vinca major	—
Vinca minor	—
Helleborus orientalis	—
Galanthus nivalis	—
Pétunia Sp	—
Bilbergia	1 p. 100
Papaver	—
Pæonia	5 à 20 p. 100
Eranthis	—
Ampelopsis quinquefolia	30 à 50 p. 100

(1) *Loc. cit.*

(2) E. P. Sandsten. Quelques conditions qui influencent la germination et la fertilité des pollens. *Univ. Wisconsin. Agr. Exp. St. Research*, Bull. n° 4, juin 1904.

Viola	30 à 50 p. 100
Sedum	—
Lathyrus latifolius	20 p. 100
Hyacinthus	50 p. 100
Primula officinalis	3 à 10 p. 100
Primula floribunda	—
Gloxinia	5 à 10 p. 100
Orchis maculata	—
Convallaria maialis	5 à 20 p. 100

Le pollen de *Solanum Lycopersicum* germe le mieux dans une solution de sucre de canne à 10 p. 100, faiblement acide. Celui de *Phaseolus multiflorus* germe le mieux dans l'huile d'olive pure.

On peut remarquer que la latitude dans les concentrations est parfois très grande; ainsi, le pollen de *Narcissus tazetta* germe déjà dans une solution de sucre de canne à 1 p. 100, mais encore mieux dans une solution à 60 p. 100, tandis que le pollen de *Tillia americana* ne germe que dans des solutions de 20 à 25 p. 100, c'est-à-dire dans un écart de 5 p. 100.

En dehors de la question du milieu de germination, nous avons dû nous préoccuper de la température, afin de nous assurer que les influences sur la germination étaient dues exclusivement à l'action de l'acide sulfureux.

Nous avons vu ainsi que la vitalité du pollen n'est pas influencée sensiblement par des températures comprises entre 25 et 55°.

Une température de moins de 25° en air sec a une influence très fâcheuse sur le pollen.

Une température de 70 à 80° devient désastreuse pour le pollen de certaines plantes. Entre 40 à 50° en air saturé, le pollen éclate, en raison de l'absorp-

tion extrêmement rapide du liquide; le nombre des grains éclatés augmente avec la température.

La lumière du soleil n'a que peu ou pas d'influence sur la germination et la croissance des tubes polliniques.

3° Recherches personnelles.

a) *Méthode.*

La méthode générale a consisté à introduire des plantes en fleurs sous une cloche renfermant un mélange connu d'air et d'acide sulfureux. L'appareil employé (fig. 21) se compose, dans son ensemble, d'une cloche A, d'une contenance de 27 litres. Cette cloche, ouverte à son extrémité inférieure, repose pendant les expériences sur un plateau en verre rodé, et l'adhérence parfaite est produite par un corps gras, comme dans les cloches à faire le vide. Cette cloche porte à sa partie supérieure un goulot fermé par un bouchon traversé par deux tubes de verre, l'un J, qui plonge jusqu'au fond de la cloche, et l'autre c, s'arrête au contraire en haut de cette cloche; ces deux tubes portent chacun un robinet. Cette cloche peut être mise en communication par un tube de caoutchouc T avec un appareil connu dans les laboratoires sous le nom de nitromètre N. C'est à l'aide de ce nitromètre que sont mesurées les quantités d'acide sulfureux à introduire dans la cloche.

Pour introduire l'acide sulfureux dans le nitromètre, on adapte l'extrémité inférieure du tube T à un siphon d'acide sulfureux. Le gaz pénètre dans la branche graduée F, et, à l'aide du robinet à double

voie R et de la branche E, qui se lève et s'abaisse à volonté en faisant monter ou descendre une colonne de mercure, on obtient dans la branche F un volume connu d'acide sulfureux à la pression extérieure. Il

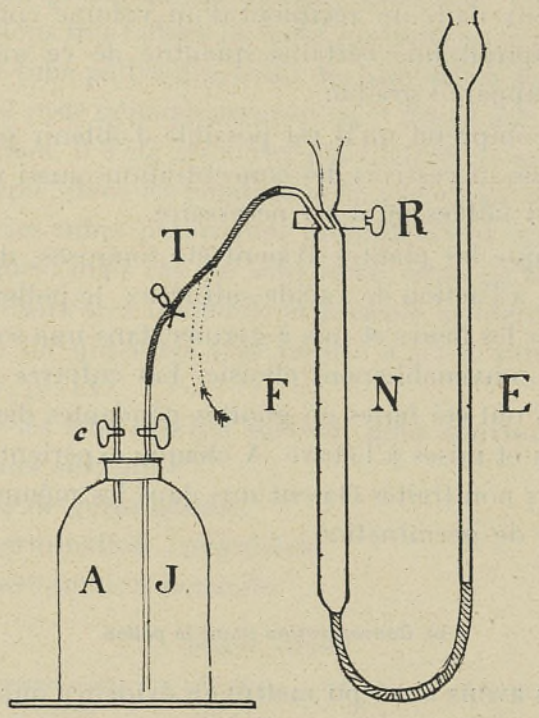

Fig. 21. — Appareil employé dans les expériences sur la résistance du pollen à l'action de l'acide sulfureux. (Nancy, 1911.)

suffit de mettre ensuite le tube de caoutchouc en relation avec la cloche, de tourner le robinet R et d'abaisser la branche E. Le mercure, montant dans la branche F, chasse entièrement l'acide sulfureux dans la cloche. L'équilibre de pression peut être rétabli dans la cloche en ouvrant le robinet *c*. L'acide sulfu-

reux, plus lourd que l'air, reste au fond de la cloche et l'excès d'air sort à l'extérieur.

Pour les concentrations très faibles, nous faisions préalablement un premier mélange d'air et d'acide sulfureux dans un récipient d'un volume connu et l'on aspirait une certaine quantité de ce mélange dans l'appareil gradué.

On comprend qu'il est possible d'obtenir par des dilutions successives des concentrations aussi variées et aussi faibles qu'il est nécessaire.

Lorsque les plantes avaient été soumises, dans la cloche, à l'action de l'acide sulfureux, le pollen était pris sur les fleurs et mis à germer dans une solution sucrée convenablement choisie. Les cultures de ces pollens ont été faites en gouttes pendantes dans des cellules et mises à l'étuve. A chaque expérience, des témoins non traités étaient mis dans les mêmes conditions de germination.

b) *Concentration tuant le pollen.*

Nous avons ainsi pu mettre en évidence que, dans une atmosphère saturée d'acide sulfureux, les pollens des plantes suivantes étaient tués par un séjour de 3 à 5 minutes :

Helleborus viridis.	Narcissus poeticus.
Helleborus orientalis.	Caltha palustris.
Hepatica triloba.	Cytisus laburnum.
Freesia refracta.	Viola tricolor.
Galanthus nivalis.	Orchis maculata.
Primula.	Bilbergia.
Primula officinalis.	Eranthis.
Vinca minor.	Crocus.
Convallaria maialis.	

c) *Concentrations nuisibles au pollen.*

Les expériences que nous avons faites en vue de déterminer les concentrations limites qui sont nuisibles au pollen seront données plus loin. Les concentrations très faibles ne tuent souvent pas le pollen, mais le tube pollinique subit des anomalies de croissance; il reste généralement court et prend une forme irrégulière. Il a été démontré par Coupin (1) que parfois même, dans les conditions de germinations normales, les tubes polliniques présentent des cas tératologiques; mais ces cas sont rares, alors qu'ils sont au contraire très fréquents et presque la règle après l'action de quantités très faibles d'acide sulfureux (fig. 22, pl. IX).

Dans les tableaux qui suivent, nous conviendrons des signes suivants :

O pas de germination;
— germination irrégulière;
+ germination normale.

Hepatica triloba.

Concentrations	1/12.000	1/27.000	1/48.000
3 heures	o	+	+
6 —	o	+	+
12 —	o	+	+
24 —	o	+	+
48 —	o	—	+

Bilbergia.

3 heures	—	+	+
6 —	o	+	+
12 —	o	+	+
24 —	o	+	+
48 —	o	+	+

(1) H. Coupin. Germinations tératologiques des grains de pollen. *Rev. gén. de Botanique*, 1907, p. 226.

Helleborus orientalis.

3 heures	o	+	+
6 —	o	+	+
12 —	o	+	+
24 —	o	+	+
48 —	o	+	+

Vinca minor.

3 heures	—	+	+
6 —	—	+	+
12 —	o	—	+
24 —	o	—	+
48 —	o	o	+

Viola tricolor.

3 heures	o	—	+
6 —	o	—	+
12 —	o	—	+
24 —	o	o	+
48 —	o	o	—

Primula officinalis.

3 heures	—	+	+
6 —	o	+	+
12 —	o	+	+
24 —	o	+	+
48 —	o	+	+

Petunia.

3 heures	o	—	+
6 —	o	—	+
12 —	o	o	+
24 —	o	o	+
48 —	o	o	+

Lilium candidum.

3 heures	o	+	+
6 —	o	+	+
12 —	o	+	+
24 —	o	+	+
48 —	o	—	+

Pisum.

3 heures	o	+	+
6 —	o	+	+
12 —	o	+	+
24 —	o	—	+
48 —	o	o	+

Pour deux de ces plantes, nous avons cherché à serrer la question de plus près en faisant un plus

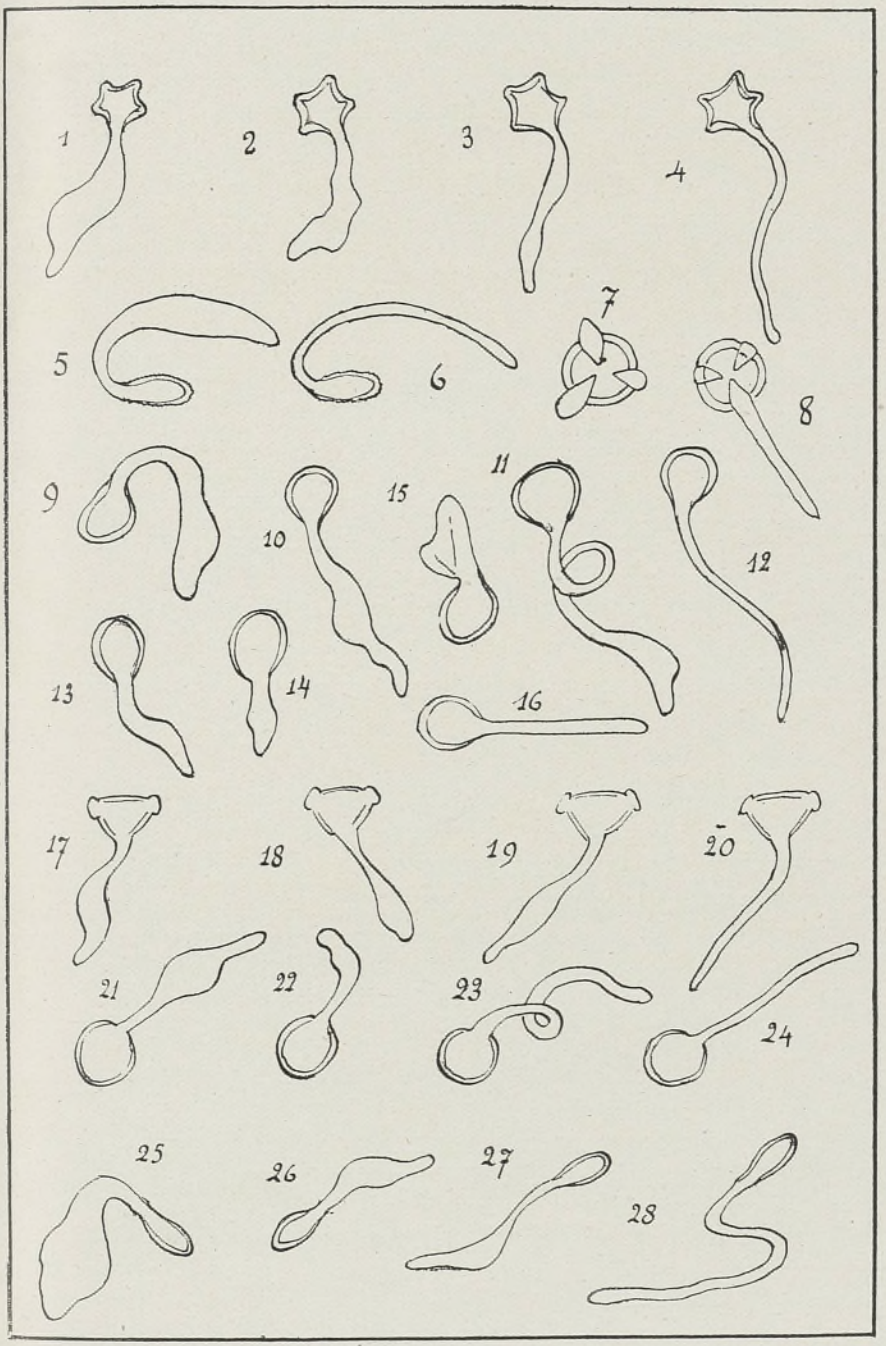

FIG. 22.

1-4 Pensée.
5-6 Bilbergia.
7-8 Helleborus orientalis.
9-12 Eranthis.
13-16 Hepatica triloba.
17-20 Vinca minor.
21-23 Primula officinale.
25-28 Galanthus nivalis.

grand nombre de concentrations; voici les résultats de ces expériences :

Viola tricolor.

Concentrations	3 h.	6 h.	24 h.	48 h.
1/1.000	0	0	0	0
1/1.200	0	0	0	0
1/2.777	0	0	0	0
1/4.800	0	0	0	0
1/13.333	—	0	0	0
1/28.000	—	—	—	0
1/75.000	+	—	—	—
1/300.000	+	+	+	—

Vinca minor.

1/1.000	0	0	0	0
1/1.200	0	0	0	0
1/2.777	0	0	0	0
1/4.800	0	0	0	0
1/13.333	—	—	0	0
1/28.000	+	—	—	0
1/75.000	+	+	+	+
1/300.000	+	+	+	+

d) *Conclusions.*

1° L'action de l'acide sulfureux sur la faculté germinative du pollen varie avec la concentration et la durée de l'action;

2° L'acide sulfureux à la concentration de 1/48.000 agissant pendant 48 heures n'influence pas la faculté germinative du pollen;

3° Les concentrations au-dessus de 1/13.000 suspendent presque toujours la faculté germinative, si cette action ne s'exerce que pendant 3 heures;

4° On peut admettre que la concentration de 1/13.000 agissant pendant 24 heures doit être considérée comme la limite minimum de l'action mortelle pour le pollen.

E) *Recherches personnelles : Effets de l'acide sulfureux sur la formation des grains de Blé.*

1° Généralités.

Les expériences précédentes nous ont montré qu'il existe une certaine limite de concentration au-dessous de laquelle l'acide sulfureux n'est plus mortel pour le pollen, mais exerce sur lui une action toxique qui se traduit par la longueur moins grande du tube pollinique et sa déformation.

Dans la pratique, les concentrations d'acide sulfureux assez fortes pour empêcher complètement la germination du pollen (1/13.000) ne sont réalisées que très rarement et seulement dans le voisinage immédiat des sources de fumées. En outre, la floraison ne durant qu'un temps très court, et les lésions des organes reproducteurs présentant plutôt un caractère aigu, on en peut conclure à la sensibilité très grande des pistils pour les concentrations minimes de gaz acide sulfureux.

En effet, les observations de MM. Fricke (1), Nobbe (2), Stockhardt (3), etc., montrent qu'il arrive que, lorsque les fumées tombent sur un champ au moment de la floraison, on voit qu'un grand nombre des épis sont complètement ou à moitié vides; les

---

(1) *Landw. Versuchsst.*, 1887, 34, 277.

(2) Haselhoff u. Lindau. *Die Beschädigung des Veget. durch Rauch.*, S. 14.

(3) *Tharand. forstl. Jahrb.*, 1871, 21, 218.

grains formés sont d'une forme irrégulière et d'un poids plus faible que le poids des grains normaux.

On pourrait objecter que les lésions des organes assimilateurs des plantes qu'on observe dans les champs éprouvés par les fumées ne peuvent pas rester sans influence sur la nutrition générale des plantes et, par conséquent, sur le développement des grains, et qu'au moins une partie de la diminution de la récolte doit être attribuée à cette sorte de lésions. Nous nous sommes proposé de reproduire artificiellement le phénomène décrit par les auteurs précédemment cités et de déterminer quelle partie il faut attribuer dans la diminution de la récolte, sous l'influence de l'acide sulfureux, aux lésions seulement des organes reproducteurs des plantes, et, de plus, dans quel rapport se trouve la diminution de la récolte en grains avec le degré de concentration de l'acide sulfureux employé.

2e Méthode.

Nous avons choisi le Blé comme plante à expérimenter à Nancy; les expériences ont été effectuées en plein champ. Pendant nos expériences de l'été 1911, nous n'avons pas tenu compte de l'influence des lésions des parties vertes de la plante sur la formation des grains. La méthode générale consistait, comme dans les recherches précédentes, à mettre les plantes, au moment de la floraison, pendant 24 heures dans une atmosphère renfermant différentes concentrations d'acide sulfureux.

Les touffes de Blé ont été introduites dans des cy-

lindres en fer-blanc (fig. 23) ouverts d'un côté et fermés de l'autre. Une ouverture pratiquée dans la

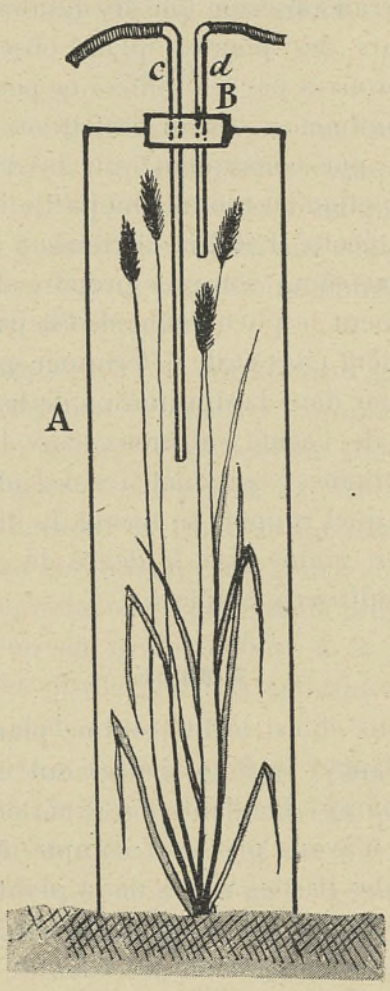

Fig. 23.

partie supérieure du cylindre (A) et fermée hermétiquement à l'aide d'un bouchon de caoutchouc (B)

traversé par deux tubes en verre (*c*, *d*) permettait d'introduire l'acide sulfureux dans le cylindre. Le tube *c* descendait jusqu'à mi-hauteur du cylindre et était réservé pour l'introduction de l'acide sulfureux, l'autre tube *d* était destiné à la sortie de l'air. L'extrémité ouverte du cylindre était tout simplement enfoncée dans le sol.

Il est évident que l'imperfection de cet appareil de nos expériences préliminaires ne pouvait pas nous garantir de la perte d'une certaine quantité d'acide sulfureux absorbé par le sol dans lequel était enfoncé le cylindre; ainsi il faut supposer que les concentrations réelles de l'acide sulfureux dans ces expériences étaient inférieures à celles que nous avons calculées théoriquement.

L'appareil qui nous a servi pour mesurer les quantités d'acide sulfureux à introduire dans le cylindre était le même nitromètre dont nous avons décrit le maniement à propos de nos expériences sur le pollen.

Les concentrations de l'acide sulfureux choisies étaient de 1/5.000, de 1/8.000, de 1/12.000 et de 1/24.000. Nous avons admis ces concentrations pour nous conformer à nos expériences sur le pollen, d'après lesquelles les concentrations supérieures à 1/13.000 d'acide sulfureux agissant pendant vingt-quatre heures peuvent être envisagées comme mortelles pour le pollen; de façon que les pistils de nos épis ayant subi l'action des concentrations de 1/8.000 et de 1/5.000 ne puissent pas être fécondés que par le pollen normal des pieds voisins.

3° Résultats des expériences de l'été 1911.

Dans les expériences de l'année 1911 nous avons opéré avec du Blé Bordier et nous avons tenu compte du poids moyen des grains et du nombre des grains par épi.

Les résultats de ces expériences sont exprimés dans le tableau de la page 136.

En examinant ces chiffres, nous apercevons que le poids moyen des grains diminue en même temps que la concentration de l'acide sulfureux devient plus forte. Ce poids moyen est au-dessous de la normale, même dans le cas de la concentration de 1/24.000.

Le nombre des grains formés par épi ne suit pas régulièrement les oscillations de la concentration de l'acide sulfureux, mais c'est toujours dans les concentrations les plus fortes qu'on trouve les épis complètement vides ou avec un nombre de grains très faible. Les grains obtenus ont en général une forme irrégulière, sont ridés et pèsent moins que les grains témoins. Dans certains épillets ayant subi l'action des fortes concentrations de l'acide, les pistils conservent leurs stigmates plumeux et présentent un certain degré de développement, ce qui nous prouve qu'ils ont tout de même été fécondés, mais que l'action de l'acide sulfureux a arrêté leur développement. Les autres pistils, qui se sont développés en grains d'un poids inférieur, ont été sûrement fécondés par le pollen normal des pieds voisins, car le pollen du pied expérimenté, ayant subi l'action de concentra-

tions de 1/5.000 de l'acide sulfureux, devait être tué. Les concentrations telles que de 1/24.000 ne tuent pas le pollen; ainsi la diminution de poids des grains obtenue sous l'action de ces concentrations peut être attribuée autant aux lésions des pistils qu'aux lésions du pollen sans nous donner de renseignement sur le degré de sensibilité des organes femelles à l'acide sulfureux.

Les feuilles des pieds soumis à l'action de l'acide sulfureux présentaient des brûlures même dans le cas des concentrations les plus faibles. La diminution de la récolte en grains pourrait donc être au moins en partie attribuée aux lésions des organes assimilateurs. Or, les expériences de l'été 1912 montrent que la diminution de la récolte peut être occasionnée exclusivement par l'action de l'acide sulfureux sur les organes reproducteurs.

Effets des différentes concentrations de SO^2 sur la formation des grains de Blé (Bordier). — Expériences de l'été 1911, Nancy.

Concentration de SO^2	N° de l'épi	Nombre de grains par épi	Pied I		Pied II		Poids moyen de 10 grains normaux
			Poids de la récolte par épi	Poids moyen de 10 grains	Nombre de grains par épi	Poids de la récolte par épi	Poids moyen de 10 grains	
			gr.	gr.		gr.	gr.	
1/5000	1	0	0	0,106	3	0,041	0,096	0,495
	2	1	0,026		2	0,012		
	3	2	0,020		9	0,057		
	4	0	0		0	0		
	5	0	0		0	0		
	6	4	0,038			—		
	7	16	0,070			—		
	8	11	0,220			—		
	9	14	0,113			—		
1/8000	1	5	0,095	0,181	7	0,111	0,169	
	2	10	0,124		15	0,297		
	3	11	0,253		10	0,165		
1/12000	1	3	0,008	0,192	16	0,691	0,174	
	2	0	0		19	0,612		
	3	5	0,026		21	0,522		
	4	3	0,086		21	0,448		
	5	17	0,736		9	0,098		
	6	17	0,632		22	0,283		
1/24000	1	22	0,934	0,423	25	0,735	0,391	
	2	26	1,135		27	1,218		
	3	18	0,811		18	0,731		
	4	14	0,549		21	0,755		

4° Résultats des expériences de l'été 1912 (Nancy).

Dans les expériences de l'été 1912, nous nous sommes proposé de déterminer quelle part il faut attribuer dans la diminution de la récolte en grains sous l'action de l'acide sulfureux, aux lésions des organes végétatifs du Blé et aux lésions des organes reproducteurs. Nous avons expérimenté, cette fois, avec le Blé Bon Fermier. La méthode a consisté à introduire dans un ballon destiné à recevoir le mélange d'air et d'acide sulfureux, les épis d'un pied de Blé, laissant les parties végétatives de la plante hors de l'action de l'acide sulfureux (fig. 24, pl. X).

Les concentrations de SO^2 choisies étaient de 1/3.000, 1/7.500, 1/10.000, 1/15.000 et 1/30.000. La durée du séjour des épis en floraison au contact de l'acide sulfureux était fixée à 24 heures. L'appareil destiné à mesurer l'acide sulfureux était celui dont nous nous sommes servi dans nos expériences précédentes.

Les résultats des expériences exprimés dans le tableau de la page 138 confirment les résultats des expériences de l'été 1911 et montrent une diminution régulière de la récolte par épi, ainsi que du poids moyen des grains, suivant la croissance des concentrations de l'acide sulfureux. Le plus grand nombre des épis vides correspond aussi à la concentration la plus forte de l'acide sulfureux, notamment à celle de 1/3.000.

Effets des différentes concentrations de l'acide sulfureux sur la formation de grains de Blé (Bon Fermier). — Expériences de l'été 1912, Nancy.

Concentrations de SO^2	N° de l'épi	Poids moyen de 10 grains de chaque épi soumis à l'expérience								Poids moyen de 10 grains correspt aux différentes concentrations de SO^2	Poids moyen de 10 grains normaux
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1/3000	1	0,260	0	0,180	0,164	0,212	0,289	0,151	0,405	0,198	0,655
	2	0,200	0	0,217	0,131	0,111	0,106	0,105	0,098		
	3	0,192	0,102	—	0,128	0,381	0,139	0	0,360		
	4	0,113	0	—	0,249	0	0,135	0	0,386		
	5	0,288	0	—	0,351	0	0	0	0,351		
	6	0,202	0,178	—	0,131	0	0	0	0,303		
1/7500	1	0,480	0,470	0,470	0,430	0,350	0,420	0,351	0,325	0,394	
	2	0,490	0,479	0,312	0,499	0,367	0,499	0,357	0,343		
	3	0,505	0,499	0,305	0,481	0,405	0,325	0,429	0,351		
	4	0,482	0,501	—	0,479	0,481	0,317	0,291	0,392		
	5	0,474	0,481	—	0,435	0,437	0,257	0,304	0,357		
	6	0,487	0,478	—	0,475	0,488	0,283	0	0,481		
1/10000	1	0,350	0,515	0,395	0,450	0,489	0,405	0,445	0,480	0,464	
	2	0,485	0,503	0,455	0,451	0,501	0,409	0,485	0,492		
	3	0,477	0,444	0,485	0,432	0,430	0,541	—	0,483		
	4	0,462	0,495	0,491	0,493	0,455	0,483	—	0,436		
	5	0,487	0,406	0,401	0,475	0,421	0,470	—	0,501		
	6	0,490	0,423	0,553	0,499	0,403	0,529	—	0,464		
1/15000	1	0,490	0,500	0,450	0,460	0,555	0,436	0,420	0,500	0,507	
	2	0,487	0,430	0,515	0,505	0,415	0,518	0,527	0,531		
	3	0,550	0,549	0,533	0,524	0,511	0,545	0,592	0,582		
	4	0,515	0,510	0,511	0,579	0,494	0,483	0,467	0,493		
	5	0,581	0,59.	0,443	0,531	0,437	0,418	0,490	0,418		
	6	0,535	0,578	0,570	0,534	0,429	0,561	0,511	0,512		
1/30000	1	0,624	0,525	0,515	0,601	0,525	0,634	0,495	0,631	0,562	
	2	0,556	0,400	0,513	0,597	0,583	0,516	0,591	0,580		
	3	0,583	0,579	0,618	0,481	0,591	0,514	5,611	0,595		
	4	0,525	0,542	0,621	0,493	0,530	0,627	0,564	0,543		
	5	0,561	0,590	0,584	0,550	0,550	0,551	0,619	0,618		
	6	0,504	0,588	0,521	0,567	0,543	0,567	0,624	0,491		

PLANCHE X

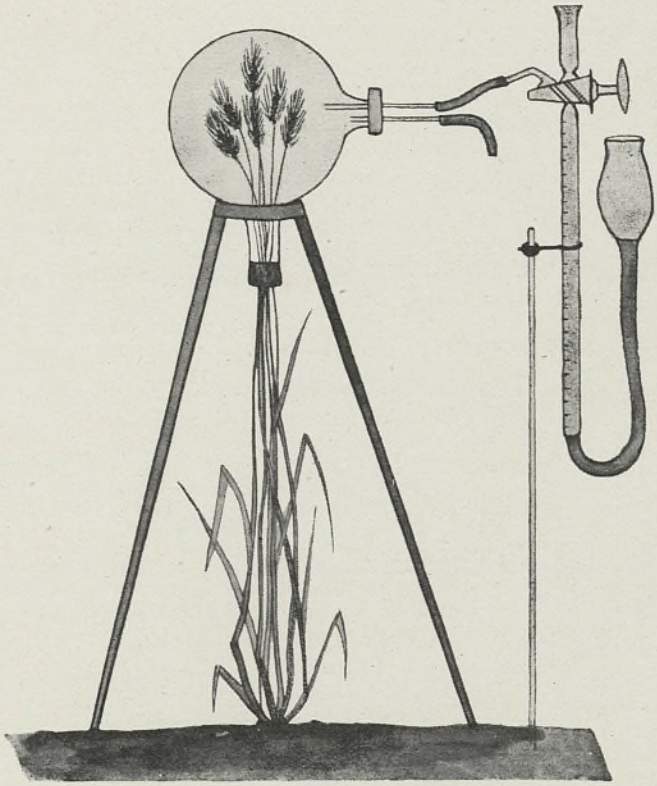

Fig. 24.

5° Conclusions.

1° Les concentrations très fortes d'acide sulfureux (au-dessous de 1/10.000) agissant sur les plantes au moment de la floraison, peuvent empêcher complètement la formation des grains;

2° L'action, pendant 24 heures, au moment de la floraison, de concentrations d'acide sulfureux aussi faibles que 1/30.000, suffit pour diminuer notablement le poids moyen des grains et le nombre de grains formés;

3° La diminution du poids moyen des grains augmente régulièrement avec l'élévation de la concentration de l'acide sulfureux;

4° La diminution de la récolte en grains est due, pour la plus grande part, aux lésions des organes reproducteurs; les organes femelles sont aussi influencés que les organes mâles.

F) *Facteurs qui augmentent ou qui diminuent la gravité des lésions des plantes occasionnées par les fumées.*

Comme nous l'avons vu précédemment, les plantes montrent une sensibilité très différente vis-à-vis des fumées nocives. Généralement, le danger des lésions est surtout grand au moment de la formation des nouvelles feuilles et des aiguilles, et pendant la floraison. En outre, il est connu que les Conifères sont beaucoup moins résistants à l'action des faibles concentrations d'acide sulfureux que les plantes feuillues, qui présentent des lésions visibles seulement sous l'influence de concentrations plus ou moins

fortes d'acide sulfureux et des acides fortement hygrophiles. Par contre, les feuilles tendres de certains arbres feuillus, notamment de Hêtre, sont très sensibles à l'action corrodante des acides forts. C'est pourquoi on observe des lésions chroniques provoquées par l'intoxication des plantes, principalement chez les Conifères, tandis que les corrosions aiguës extérieures s'observent aussi bien chez les Conifères que chez les arbres feuillus (1). Dans le cas des endommagements chroniques, les plantes de la même espèce montrent souvent une résistance individuelle très différente.

A côté des facteurs individuels qui influencent la gravité des lésions, il faut mentionner les facteurs locaux. Il est évident qu'une espèce végétale est d'autant plus résistante qu'elle est dans des conditions plus favorables à sa végétation.

Les erreurs dans la culture et les soins à donner aux plantes peuvent, dans une large mesure, influencer la résistance de ces dernières. Les conditions optimales de la végétation sont des facteurs importants pour augmenter la résistance des plantes contre les fumées, au même titre que contre les maladies parasitaires et les ravages des insectes.

Les propriétés physiques et chimiques du sol qui ne conviennent pas aux besoins de l'espèce végétale donnée, et surtout la teneur insuffisante ou superflue de ce sol en eau, augmentent la sensibilité des végétaux pour les fumées. C'est ainsi que M. Groh-

---

(1) H. Wislicenus. *Ueber die grundlagen Technischer und Gesetzlicher Massnahmen gegen Rauchschäden*, S. 17. Berlin, 1908.

mann (1), en Saxe, a réussi à augmenter la résistance de certains peuplements en établissant des cultures mélangées de Conifères et d'arbres feuillus et en augmentant ainsi la fraîcheur du sol. Les expériences avec l'amélioration du sol des forêts par les engrais ont donné des résultats encourageants, mais, comme le pense M. Wislicenus, il est douteux que les mesures purement culturales puissent constituer un vrai remède contre l'action néfaste des fumées (2).

L'influence de la température de l'air et de sa teneur en vapeur d'eau sur la sensibilité plus ou moins grande des plantes dans les conditions naturelles n'est pas bien connue. En tout cas, les recherches récentes de Mathæi (3) et de Jost (4) montrent que l'activité de l'assimilation diminue lorsque la température optimale est dépassée. Or, il est connu que la sensibilité des plantes pour les gaz acides augmente ou diminue avec l'intensité de l'assimilation. En ce qui concerne l'humidité relative de l'atmosphère et les précipitations atmosphériques, ce sont des facteurs importants de l'augmentation ou de la diminution des dangers que présentent les fumées pour les plantes. Ainsi, les précipitations qui entraînent avec elles, sur la végétation, des gaz acides avant qu'ils se soient dispersés dans l'atmosphère,

---

(1) *Erfahrungen und Anschauungen über Rauchschäden im Walde und deren Bekämpfung.* Berlin, 1910.

(2) Albert R. Welche Erfahrungen liegen bis jetzt über den Einfluss künstlicher Düngung und Bodenbearbeitung im forstlichen Grossbetriebe vor ? *Zeitsch. f. Forst- und Jagdwesen*, XXXVII, März 1905.

(3) *Philos. transact. of the royal Soc. of London*, 1904, 197, 47.

(4) L. Jost. Ueber die Reactionsgeschwindigkeit im Organismus. *Biologisches Zentralblatt*, XXVI, 225, 1906.

peuvent devenir très préjudiciables. L'eau ou la neige qui adhèrent aux organes foliaires absorbent les acides de la fumée et, en s'évaporant, peuvent provoquer des corrosions. Il paraît que, dans l'air sec, la plante est plus résistante que dans l'humidité lorsque la transpiration est moindre.

Parmi les autres facteurs climatériques pouvant influencer d'une façon ou de l'autre la gravité des lésions des plantes, ce sont les courants d'air, qui transportent et mélangent les fumées. Malheureusement, il n'existe qu'un seul ouvrage consacré à cette question importante, notamment celui de l'ingénieur norvégien J. Isaachsen (1), où l'auteur examine les coefficients de la dilution dans l'air libre en partant des éléments d'une théorie des mélanges. Il résulte de cet ouvrage que, pendant les accalmies, la dilution dans l'atmosphère des gaz de la fumée est extrêmement lente. Les gaz chauds dépourvus de suie et de poussière montent dans les couches élevées de l'atmosphère; la végétation avoisinante, au moins celle des vallées, est ainsi en partie préservée de l'action immédiate des fumées. En se refroidissant, les gaz nocifs deviennent de nouveau plus lourds que l'air et descendent dans les couches inférieures de l'atmosphère. Ainsi, si la source des fumées se trouve dans une vallée, et si la cheminée ne dépasse pas les bords de la vallée, les gaz acides, en descendant, peuvent en quelque sorte remplir ces vallées et occa-

---

(1) Ueber das Verhalten der Schornsteingase nach dem Verlassen des Schornsteines. *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses*, 81, 160; Berlin, 1902.

sionner des lésions beaucoup plus graves que lorsque ces gaz ont été portés par le vent directement sur les peuplements voisins. Au contraire, si la cheminée dépasse les bords de la vallée, au moins une partie des fumées est entraînée par les courants d'air des couches élevées de l'atmosphère.

Les courants d'air descendants ou ascendants agissent, les premiers d'une façon défavorable, les seconds d'une façon favorable, mais ils sont trop rares pour qu'on puisse les prendre en considération en parlant des facteurs atténuant la gravité des lésions occasionnées par les fumées.

Contrairement à ce qui paraît tout d'abord, les mouvements horizontaux de l'air ne jouent qu'un rôle insignifiant dans la dispersion des fumées; le rôle de ces mouvements horizontaux est plutôt de transporter aux grandes distances les gaz nocifs. Un vent régulier fort ou faible a une action diluante sur les fumées beaucoup moins grande qu'un vent qui souffle par rafales. Dans ce cas, il peut arriver que les gaz conservent une concentration à peu près invariable après avoir été entraînés bien loin. Seulement, les conditions qui provoquent des tourbillonnements de l'air contribuent à la dilution des fumées et diminuent le danger que présente le transport aux grandes distances des concentrations élevées de gaz acides. Ainsi, les arbres élevés qui entourent les usines protègent les peuplements disposés plus loin, mais c'est, bien entendu, seulement dans le cas où le vent souffle d'une façon oblique en dépassant les sommets des plantations protectrices. C'est

pourquoi M. Wislicenus (1) croit, contrairement à l'opinion répandue, qu'il est d'une erreur capitale de faire des cheminées élevées au voisinage ou même au milieu des forêts.

Parmi les autres facteurs climatériques qui peuvent influencer le degré des endommagements de la végétation par les fumées, il faut mentionner encore la lumière. Les observations [v. Schröder (2), Harting (3), Wislicenus (4), Wieler (5)] montrent que l'action de l'acide sulfureux sur les plantes devient plus forte avec un éclairage intense et diminue dans l'obscurité. Il est prouvé, au moins pour les jeunes Pins, qu'à l'obscurité et en hiver, c'est-à-dire pendant les périodes où les plantes n'assimilent pas, on ne constate pas l'apparition des lésions extérieures.

La distance de la source des fumées au peuplement considéré est évidemment un facteur favorable pour la végétation, mais généralement on attribue à ce facteur une importance qu'il n'a réellement pas. Comme nous l'avons vu précédemment, les gaz peuvent être entraînés par le vent et transportés à des distances considérables, et le degré de dilution de ces gaz n'est aucunement proportionnel avec l'éloignement de la source des fumées.

En ce qui concerne la situation relative des usines

---

(1) *Ueber die Grundlagen Technischer und Gesetslicher Masznahmen gegen Rauchschäden*, S. 22. Berlin, 1908.

(2) V. Schröder u. Reuss. *Beschädigung der Vegetation durch saure Gaze*, S. 76. Berlin, 1883.

(3) *Forstlich. naturwissenschaftliche Zeitschrift*, 16 (1896), S. 252.

(4) *Tharander forstliches Jahrbuch*, B. 48 (1898), S. 152.

(5) *Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen*, S. 41. Berlin, 1905.

et des peuplements ligneux, il en faut tenir compte seulement pour les endommagements chroniques occasionnés par l'acide sulfureux transporté par les vents. C'est ainsi que la prédominance des vents Sud-Ouest et Ouest, dans l'Europe centrale, rend la plus préjudiciable la situation Nord-Est et Est des peuplements vis-à-vis de la source des fumées. La topographie du terrain peut aussi entrer en jeu en aggravant ou en diminuant les dangers d'endommagement des forêts. Dans une plaine, par exemple, si la cheminée dépasse en hauteur les peuplements avoisinants et si ces derniers sont composés d'individus de la même espèce et du même âge, la surface éprouvée par les fumées doit avoir une forme idéale elliptique. Si, au contraire, la cheminée est plus basse que les peuplements voisins, les premières rangées des arbres peuvent protéger, dans une certaine mesure, les autres arbres.

Les pentes boisées, quoiqu'elles portent à peu près le même nombre de plantes que leurs projections horizontales, sont plus exposées à l'action des fumées des usines disposées dans les vallées. Ainsi, les usines dans les vallées présentent pour les espèces végétales sensibles beaucoup plus de dangers que quand elles se trouvent dans des plaines; dans ces conditions, rien que la fumée de la combustion de la houille peut causer de graves préjudices aux peuplements de Pins.

La quantité totale des gaz acides versée dans l'atmosphère ne paraît avoir d'influence sur l'intensité des lésions que dans le cas où les sources des

fumées se trouvent dans des vallées profondes et où, pendant un temps calme, les fumées s'accumulent de plus en plus; la quantité totale du gaz acide contribue plutôt au degré de l'extension des lésions. D'après ce que nous connaissons de l'action des gaz acides sur la végétation, c'est évidemment le degré de la concentration de ces gaz qui est d'une importance capitale pour la gravité plus ou moins grande des lésions. Mais où se trouve la limite des concentrations nocives? Les expériences de M. Stockhardt et de M. v. Schröders montrent que les Pins qui ont subi, dans des petites serres closes, 233 fois l'action de l'acide sulfureux en concentration de 1 : 1.000.000 ont présenté, au bout de 60 jours, tous les caractères des endommagements chroniques. M. Wislicenus a pu provoquer des lésions chroniques de jeunes Pins avec des concentrations d'acide sulfureux égales à 1 : 500.000 seulement.

Il est évident que dans la pratique il ne peut pas être question d'une action aussi constante et régulière des gaz sur la végétation que pendant les expériences dans les serres spécialement aménagées dans ce but. On peut supposer qu'il s'agit de concentrations notablement supérieures pour occasionner des lésions qu'on observe dans les conditions naturelles. Un grand nombre de déterminations directes de la teneur de l'atmosphère en gaz acides est nécessaire pour nous fournir les renseignements sur cette question.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES DU CHAPITRE III

Pour les fumées renfermant du gaz sulfureux :

1° Les doses supérieures à 1/13.000 sont dangereuses pour la vie du pollen. La reproduction et le rendement agricole des plantes peuvent être influencés déjà avec des doses de 1/30.000.

2° Les doses de 1/30.000 agissant seulement pendant quelques heures déterminent des accidents et lésions de corrosions des feuilles;

3° Des doses faibles de 1/1.000.000 peuvent déterminer des lésions chroniques si l'action de la fumée sulfureuse dure pendant longtemps d'une façon continue.

CHAPITRE IV

Chlore et Acide chlorhydrique.

A) *Action de l'acide chlorhydrique sur les parties aériennes des plantes.*

Un grand nombre de différentes industries peuvent donner lieu à la formation de chlore et d'acide chlorhydrique. Ce sont surtout les briqueteries, les poteries, où on emploie du sel marin, les fabriques de porcelaine et de verre, certains établissements métallurgiques où on travaille le nickel, le cobalt, le platine, les usines de produits chimiques et surtout celles de soude. L'acide chlorhydrique, ainsi que le chlore, peuvent provenir en partie de la matière première travaillée, et en partie de la combustion de la houille. M. Winkler (1) donne la teneur de la houille en chlore actif comme étant de 0,14 p. 100.

Comme l'acide sulfureux et l'acide sulfurique, le chlore et l'acide chlorhydrique apparaissent presque toujours l'un à côté de l'autre, ce qui s'explique par la transformation facile du chlore en acide chlorhydrique. Le gaz chlorhydrique qui se dégage avec les fumées dans l'atmosphère est incolore, mais, grâce à son affinité chimique pour l'eau, il forme avec la vapeur d'eau des brouillards visibles. Ces brouillards chlorhydriques sont très persistants et forment,

(1) *Zeitschr. f. angew. Chem.*, 1896, 9, 372.

surtout pendant les temps humides, des nuages épais et lourds qui tombent sur le sol sans se disperser. Cette particularité des vapeurs chlorhydriques les rend très dangereuses pour la végétation voisine et explique leur action corrodante sur les organes verts des plantes.

Richesse des fumées en HCl.

Ce sont surtout les usines à soude qui présentent un grand danger pour la végétation, grâce aux concentrations élevées de l'acide chlorhydrique qu'elles versent dans l'atmosphère.

D'après M. Lambotte (1), la teneur en acide chlorhydrique des fumées d'une grande usine à soude au moment de leur sortie de la cheminée est environ de 1/1.000. A une distance de 100-200 mètres de la source des fumées, par un temps calme, la concentration peut s'abaisser jusqu'à 3/100.000. Il est évident que dans les usines bien aménagées les vapeurs chlorhydriques peuvent être condensées d'une manière plus complète, mais, dans la plupart des cas où la condensation de ces vapeurs n'a pas pour but la fabrication de l'acide chlorhydrique, la concentration des vapeurs qui s'échappent dans l'atmosphère est encore très grande.

Aspect des lésions et des plantes intoxiquées par HCl.

M. G. Christel (2) décrit de la façon suivante l'aspect de la végétation à une distance de 1.000 mè-

(1) V. Schröder u. Reuss. *Die Beschädigung der Veget. durch Rauch*, etc. S. 86.
(2) *Arch. d. Pharm.*, 1871, 197, 252.

tres d'une usine de soude : « Les Chênes, les Hêtres et les différents arbres fruitiers éloignés de 200 mètres de l'usine présentaient de fortes lésions extérieures; les feuilles des arbres fruitiers étaient tachetées et bordées de brun. Les feuilles des Tilleuls, des Chênes, des Marronniers, des Framboisiers et des Groseillers éloignés de 500 mètres de l'usine étaient pour la plupart tombées vers le commencement de juillet et présentaient des bordures brunes. Un champ de seigle, éloigné de 100-150 mètres, présentait en juin un développement normal; mais, plus tard, les épis prirent une teinte rougeâtre du côté tourné vers l'usine; les feuilles étaient colorées à la base en brun, en partie complètement tuées. Les épis furent colorés prématurément en jaune paille et ne donnèrent pas de grains. Le Blé, l'Avoine et l'Orge présentaient, en juin, des feuilles tachetées de brun et tordues en spirale; un grand nombre de feuilles étaient complètement tuées. Le Lin et les Pois présentaient aussi des feuilles tachetées ou mortes, colorées entièrement en noir. Les Pommes de terre seules ne présentaient aucune lésion extérieure. »

Certains auteurs ont cru pouvoir distinguer l'action de l'acide chlorhydrique d'après la forme et la coloration des taches sur les feuilles. Les recherches de MM. Sorauer, de Wieler, etc., ont montré que l'aspect extérieur, ainsi que l'anatomie de ces taches n'ont rien de caractéristique, et que toute une série de substances gazeuses et de vapeurs peuvent produire des lésions absolument identiques.

M. Baumann (1) communique ses observations sur les endommagements des forêts par une usine de produits chimiques à Hönningue. Les lésions ont été provoquées par l'action simultanée de l'acide chlorhydrique et de l'acide sulfureux. Les feuilles des arbres présentaient des taches et des bordures brunes. On a soumis à l'analyse chimique les feuilles des Tilleuls atteints :

	Dans les substances sèches.		Dans les cendres.	
	Feuilles endommagées. p. 100.	Feuilles saines. p. 100.	Feuilles endommagées. p. 100.	Feuilles saines. p. 100.
Cendres	11,00	9,58	—	—
Acide sulfurique totale	0,672	0,543	0,14	5,57
Acide sulfurique soluble dans l'eau.	0,435	0,287	3,98	2,99
Chlore	1,440	0,553	13,23	5,77

On voit, d'après ces chiffres, que les feuilles des plantes attaquées par l'acide chlorhydrique accusent une augmentation de leur teneur en cet acide.

Concentrations toxiques.

Pour déterminer le mode d'action de l'acide chlorhydrique, MM. v. Schröder et Reuss (2) ont entrepris une série d'expériences avec des branches de

(1) Haselhoff u. Lindau. *Die Beschädigung der Veg. d. Rauch*, S. 252.

(2) V. Schröder u. Reuss. *Die Beschädigung der Veg. d. Rauch*, S. 90.

différentes plantes. Il résulte de ces expériences que le séjour pendant une heure dans une atmosphère renfermant 1/1.000 d'acide chlorhydrique occasionne l'apparition de bordures brunes plus ou moins nettes, tandis que la surface des feuilles reste verte; les taches sur la surface des feuilles sont rares.

Les expériences ont été répétées avec des Chênes, des Hêtres et des Sapins en pots. Les concentrations de 1/10.000 agissant pendant une heure produisaient l'apparition de bordures blanchâtres sur les feuilles de Hêtre. Après un séjour de 24 heures dans cette atmosphère, le Hêtre présentait des bordures blanchâtres bien nettes, le Chêne seulement quelques taches sur les bordures des feuilles; le Sapin ne portait pas de lésions extérieures. Quelques semaines après cette expérience, les bordures blanchâtres des feuilles de Hêtre ont pris une coloration rouge-brune; les taches sur les feuilles de Chêne sont devenues brunes et les extrémités des aiguilles de Sapin se sont colorées en brun.

Modification de la composition chimique des feuilles.

Pour étudier les changements chimiques provoqués dans les plantes par l'action des vapeurs chlorhydriques, MM. Schröder et Reuss ont soumis des branches coupées d'*Acer pseudoplatanus*, de Chêne, de Bouleau et de Poirier, pendant 4 heures et demie à 5 heures, à l'action d'une atmosphère renfermant 1/1.000 de vapeurs chlorhydriques. Les vapeurs ont été obtenues par la vaporisation d'une solution d'acide chlorhydrique. Les feuilles d'*Acer pseudopla-*

tanus présentaient, après l'expérience, des taches et des bordurers, celles de Bouleau et de Poirier seulement des bordures, et celles de Chêne des taches seulement aux extrémités des feuilles.

L'analyse des feuilles a donné la teneur suivante dans la matière sèche en acide chlorhydrique :

	Normales	Après l'expérience	Augmentation %
Acer pseudoplatanus	0,4843	1,0133	209
Chêne	0.0834	0,4416	529
Bouleau	0.0515	0,4174	810
Poirier.	0,0574	0,5911	1030

Ces chiffres montrent nettement l'absorption par les feuilles de l'acide chlorhydrique. La comparaison des quantités d'acide sulfureux et d'acide chlorhydrique absorbées par les feuilles montre l'absorption plus énergique de l'acide sulfureux :

	Acide sulfurique	Acide chlorhydrique
Chêne	0,424	0.369
Bouleau	0,589	0,366
Poirier.	0,478	0.549

Intoxications sans lésions apparentes.

Des expériences plus récentes de Ramann (1) et de Sorauer avec les Epicea montrent que les plantes accusent une augmentation notable de leur teneur en acide chlorhydrique sous l'action prolongée de très faibles concentrations de cet acide, sans présenter de lésions extérieures; la coloration des aiguilles ne change même pas. L'augmentation de la teneur des plantes en acide chlorhydrique n'est pas en rapport,

(1) Sorauer u. Ramann. Sogenannte unsichtbare Rauchbeschädigungen. *Bot. Centralbl.*, 1899, 80, 50, 106, 156, 205, 251.

dans ce cas, avec la quantité totale de l'acide mis à la disposition de la plante; les plantes qui ont subi l'action des vapeurs chlorhydriques tous les deux ou trois jours ont montré une teneur plus élevée en acide chlorhydrique que celles qui l'ont subie tous les jours.

Action de HCl sur les échanges gazeux des feuilles.

Comme dans le cas de l'acide sulfureux, l'absorption par les feuilles de l'acide chlorhydrique est suivie d'un dérangement des fonctions physiologiques. MM. Wieler et Hartleb (1) ont étudié l'influence de l'acide chlorhydrique sur l'assimilation. Ils ont opéré d'abord sur l'*Elodea canadensis*. L'énergie de l'assimilation de cette plante a été déterminée préalablement en comptant le nombre de bulles de gaz sorties de l'eau dans un temps donné. La température et le degré d'éclairage étaient constants durant toutes les expériences; une ampoule électrique servait de source de lumière.

La plante a été mise pendant 20 minutes dans de l'eau renfermant 0,08 p. 100 d'acide chlorhydrique, puis transportée dans de l'eau sans acide chlorhydrique, mais renfermant du gaz carbonique. Les nombres de bulles de gaz représentant les moyennes de plusieurs observations étaient les suivants :

Dans l'eau renfermant de l'acide carbonique	138 bulles.
Après le séjour pendant 20 minutes dans l'eau avec 0,08 % d'acide chlorhydrique, mais sans CO^2	7 —
3 heures après.	11 —
4 —	17 —
7 —	142 —

(1) *Bericht. d. Deutsch bot. Ges.*, 1900, 18, 348; *Zeitschr. f. angew. Chemie*, 1900, 13, 1035.

Les auteurs pensent que l'action de l'acide chlorhydrique sur les chloroplastes est analogue à celle des anesthésiques, tels que l'éther, le chloroforme, etc.

MM. Wieler et Hartleb ont poursuivi ces expériences avec les Haricots, les Chênes et les Hêtres. Les plantes ont été placées sous des cloches, dans une atmosphère renfermant une certaine proportion d'acide chlorhydrique et de gaz carbonique. Préalablement, les plantes ont été dépourvues de leur amidon par un séjour prolongé dans l'obscurité. Après l'expérience, les plantes ont été examinées par la méthode de Sachs (réaction d'iode) au point de vue de leur teneur en amidon. Malheureusement, la quantité d'amidon formée ne pouvait pas être déterminée, et c'est d'après la quantité de gaz carbonique décomposé qu'il fallait calculer la diminution de l'intensité de l'assimilation.

Ces expériences ont permis d'observer un phénomène bien curieux : pour désamidonner les plantes normales, un séjour de 12 heures dans l'obscurité était suffisant, mais, lorsque les plantes avaient préalablement subi l'action des vapeurs chlorhydriques, il fallait au moins 60 heures pour produire la disparition de l'amidon. Ainsi, l'acide chlorhydrique, au même titre que l'acide sulfureux, non seulement dérange l'intensité de l'assimilation, mais aussi ralentit l'évacuation des produits de l'assimilation.

Pour pouvoir déterminer quantitativement la dépression de l'assimilation sous l'action de l'acide

chlorhydrique, MM. Wieler et Hartleb ont procédé à une série d'expériences analogues à celles qui ont été effectuées par M. Wieler dans ses recherches sur l'action de l'acide sulfureux, et dont nous avons parlé dans le chapitre précédent. Avant de procéder à ces expériences, il fallait savoir à quel point la respiration est influencée par l'acide chlorhydrique. On sait que l'intensité de la respiration des plantes n'est pas constante. Le Hêtre présente, par exemple, une périodicité qui atteint son maximum pendant les premières heures de la nuit. Ainsi, il fallait déterminer expérimentalement la quantité moyenne de CO^2 rejetée par les plantes dans les 24 heures (1). Les expériences préliminaires, avec l'action de l'acide chlorhydrique, sur l'intensité de la respiration des feuilles de Hêtre, ont montré qu'avec la concentration de 1/100.000 la quantité de CO^2 rejetée devient double et l'est encore avec les concentrations de 1/300.000 et de 1/400.000. Ces rapports sont à peu près les mêmes pour le Chêne. En tenant compte de ces données, les auteurs ont calculé que *la dépression de l'assimilation est égale à 55-60 p. 100 chez le Hêtre et à 42 p. 100 chez le Chêne, pour la concentration de 1/500.000 d'acide chlorhydrique*. Or, ces pertes en éléments plastiques sont très sensibles et expliquent aisément la souffrance des plantes sous l'action des vapeurs chlorhydriques.

Des expériences préalables ont permis à M. Wieler

---

(1) Les dernières recherches de MM. Maquenne et Demoussy ont montré qu'en effet le quotient respiratoire de jour est égal au quotient de la nuit. (*C. R. Ac. Sc. Paris*, 1er janvier 1913.)

de constater que les faibles concentrations d'acide chlorhydrique restent sans influence sur le mécanisme des stomates. Ainsi, la diminution de l'intensité de l'assimilation ne pouvait pas être expliquée par l'arrivée insuffisante de gaz carbonique due à la fermeture des stomates, mais doit être, d'après les auteurs, attribuée à l'activité abaissée des chloroplastes. L'action de l'acide chlorhydrique sur la transpiration n'a pas été étudiée par les auteurs, mais ils pensent qu'elle ne doit pas être influencée.

Les effets physiologiques de l'action de l'acide chlorhydrique ne diffèrent pas beaucoup, comme nous le voyons, des effets de l'acide sulfureux, ce qui fait croire que leur action nocive sur le plasma est due surtout à leur caractère acide.

B) *Action du chlore et de l'acide chlorhydrique sur le sol et sur les racines des plantes.*

On n'a pas de documents aussi nombreux sur l'action de l'acide chlorhydrique que sur l'action de l'acide sulfureux, mais, d'après ce qu'on sait, on peut conclure que l'acide chlorhydrique contribue aussi à l'appauvrissement du sol en éléments fertilisants.

Dans la pratique, on n'observe que très rarement l'action du chlore libre sur le sol. Même si le chlore arrive jusqu'au sol, il se transforme rapidement en acide chlorhydrique. Une fois dans le sol, l'acide chlorhydrique forme des combinaisons avec les bases présentes. Les chlorures étant très solubles sont facilement entraînés dans les couches profondes du sous-

sol. Ce sont surtout les éléments alcalins et alcalino-terreux qui entrent en combinaison avec l'acide chlorhydrique; il en résulte un appauvrissement du sol en ces éléments. Ainsi, l'action de l'acide chlorhydrique ne contribue aucunement à l'accumulation des chlorures dans le sol.

Action des chlorures sur les plantes.

En ce qui concerne l'action des différents chlorures sur les plantes, les expériences sont nombreuses (1). Les expériences de la station de Munster montrent que les herbes des prairies supportent facilement la présence de 2 grammes de chlorure de calcium par litre dans les cultures aqueuses. M. Hindorf a trouvé que les solutions de 2 grammes de $CaCl^2$ par litre d'eau excitent la germination des grains; les concentrations supérieures à 5 grammes par litre sont nocives. Cette question a fait l'objet de nombreuses recherches de morphologie expérimentale et d'études comparatives notamment avec les plantes du bord de la mer et des flores halophiles. Les fumées ne sont pas, d'ailleurs, une source très notable de chlorures pour la partie superficielle de la terre arable. Nous ne pouvons que citer ici pour mémoire l'étude de l'influence des chlorures, et renvoyons aux ouvrages spéciaux (2).

---

(1) Haselhoff et Lindau. *Die Beschädigungen des Veg. d. Rauch.*, S. 234, 238.

(2) Voir notamment : Lesage. *Rev. gén. de Bot.*, t. 2, 1890.

Dr A. F. W. Schimper. *Pflanzen-geographie auf physiologischer Grundlage.* Iéna, 1898, p. 128, bibliographie du chap. V.

Dr E. Warming. *Pflanzengeographie Litteraturverzeichnis*, pp. 400-419, etc.

D'après M. Bardeleben, certaines plantes supportent facilement l'arrosage avec des solutions de 5 grammes de chlorure de sodium par litre, tandis que les autres sont sensibles même aux solutions de 1 gramme par litre. M. Storp a étudié l'action du chlorure de sodium sur l'Orge dans les cultures aqueuses; les concentrations employées étaient de 0,2-0,6 grammes. Le chlorure de sodium s'est montré sans action dans les cultures riches en éléments nutritifs et a exercé une action nocive dans les vases où la quantité d'éléments nutritifs était insuffisante. Le sel peut rendre les plantes chlorotiques.

Nous reviendrons sur la question de nocivité des chlorures pour la végétation dans le chapitre consacré à l'action des poussières industrielles mélangées aux sols. L'action toxique des chlorures sur la végétation est évidente, mais les quantités qui peuvent nuire sont relativement très élevées et ne peuvent aucunement se former dans les sols sous l'action des vapeurs chlorhydriques. Au contraire, c'est un appauvrissement du sol en bases qu'on observe.

CHAPITRE V

Action des vapeurs de goudron sur la végétation.

L'action nocive des vapeurs de goudron sur la végétation est connue depuis très longtemps. Si on n'a pas, jusqu'en ces dernières années, observé de dommages considérables, c'est en raison de l'emploi relativement restreint du goudron.

Certaines revues horticoles ont signalé, il y a une quarantaine d'années, les préjudices occasionnés aux plantes, dans des serres dont les parties en bois étaient enduites de goudron en vue de les préserver contre l'humidité. Les caisses à goudron laissées dans les jardins, les toits et les clôtures enduits de goudron et réchauffés par le soleil, étaient presque les seules causes des dommages causés par les vapeurs de goudron.

Le goudronnage des routes, qui est devenu la conséquence et le palliatif des progrès de l'automobilisme, et l'emploi de plus en plus fréquent de différents dérivés du goudron, en agriculture et en horticulture, ont augmenté dans des proportions considérables les dommages causés à la végétation. Cette question de l'action nocive des vapeurs de goudron se trouve ainsi placée à l'ordre du jour des préoccupations du monde agricole.

Pour la commodité de l'exposition, nous allons diviser notre travail de la façon suivante :

A. — Eléments nuisibles contenus dans le goudron.

B. — Action sur la végétation de ces différents éléments.

C. — Caractères des lésions produites.

D. — Mode d'action des vapeurs.

E. — Action de l'asphalte.

A) *Éléments nuisibles contenus dans le goudron.*

Dans l'industrie, on obtient le goudron par distillation de la houille et de beaucoup d'autres substances organiques. La composition chimique du goudron varie donc suivant la matière première employée et suivant la méthode de distillation. Il se présente presque toujours sous l'aspect d'un liquide visqueux, oléagineux, d'une couleur sombre et d'une odeur caractéristique.

Le goudron de houille est un produit résiduaire de la fabrication du gaz d'éclairage, et représente un mélange contenant plus de 50 composés organiques différents, comme par exemple, le benzène, le toluène, le xylène, le naphtalène, l'anthracène, l'ammoniaque, les différents phénols, etc., c'est-à-dire tous les produits qui, après distillation, redeviennent facilement liquides.

Le goudron de bois est aussi un produit secondaire de l'extraction de la térébenthine de certains Conifères, ou un résidu de la fabrication du charbon de

bois. Le premier de ces goudrons de bois est transparent, visqueux et renferme une forte proportion de paraffine; le second est noir et renferme beaucoup de naphtaline; il rappelle plutôt le goudron de la houille.

Le carbolineum pur est un produit obtenu par distillation partielle du goudron de la houille. Actuellement, il existe dans le commerce beaucoup de produits connus sous les noms de carbonyle, huile verte, carbonéine, carbolineum, Tuv d'Ermisch, etc., qui sont aussi des dérivés du goudron soit purs, soit mélangés avec certaines autres substances.

Les expériences de MM. Haselhoff et Lindau (1) ont démontré que l'effet de l'action des vapeurs de goudron brut et de goudron raffiné ne diffèrent pas sensiblement et que, par conséquent, une différenciation à ce point de vue entre le goudron et ses dérivés n'a aucune raison d'être dans la pratique.

M. Aderholdt (2), qui a effectué des recherches sur l'action du carbolineum sur les arbres fruitiers, a observé que son influence est d'autant plus néfaste pour la santé et le développement général des plantes qu'il renferme plus d'huiles et d'éthers volatils.

Le carbolineum pur ne se présente pas comme un produit toujours identique à lui-même, mais diffère d'après les méthodes de fabrication et ne possède pas toujours les mêmes propriétés.

Le *Carbolineum Avenarius* pur est un liquide brun,

---

(1) *Die Beschädigungen der Vegetation durch Rauch*, p. 236.

(2) Karbolineum als Obstbaumschutzmittel. *Oesterreichische Gartenzeitung*, p. 310, 1906.

oléagineux, d'une odeur caractéristique de térébenthine, insoluble dans l'eau. Son poids spécifique est de 1,14; sa température d'ébullition est de 295°.

Le carbolineum est d'une qualité d'autant meilleure que son point d'ébullition est plus élevé.

M. Becker (1) a proposé un moyen de reconnaître facilement la qualité du carbolineum : on prend une assiette d'un poids connu et on y verse 50 grammes de carbolineum; puis on dépose sur le fond de l'assiette des bandes de papier à filtre en nombre suffisant pour absorber entièrement le carbolineum. On pèse de nouveau pour déterminer le poids de papier et on place l'assiette dans un endroit préservé des mouches et de la poussière. Tous les jours, on effectue une pesée jusqu'à ce qu'on n'observe plus de diminution de poids due à la volatilisation des éthers et des huiles. La différence de poids donne un indice sur la qualité du carbolineum. Pour un bon carbolineum, cette différence doit être insignifiante; en outre, un bon carbolineum laisse sur la papier après évaporation une trace oléagineuse, tandis que dans le cas d'un mauvais carbolineum, la perte en poids peut dépasser 50 p. 100 et on observe sur le papier des particules dures de goudron.

L'étude de l'action des vapeurs des différentes substances constituant le goudron, le carbolineum, etc., a confirmé que c'est à la toxicité des substances volatiles qu'il faut attribuer les dommages causés à la végétation par les produits à base de goudron.

---

(1) Ueber die Erkennung guter und schlechter Karbolineummarke. *Erfurter Führer*, 1907.

B) *Action sur la végétation de ces différents éléments.*

Comme nous l'avons vu précédemment, différents phénols entrent toujours dans la composition du goudron. Si on pose un cristal de phénol pur sur une feuille, et si on l'arrose légèrement, on voit se former des taches brunes (1). Si on fait agir sur les plantes des vapeurs de phénol, les feuilles brunissent complètement; les feuilles non cutinisées brunissent très vite, les feuilles fortement cutinisées sont plus résistantes.

Dans toutes les cellules, on observe une forte plasmolyse et une précipitation d'une masse pulvérulente. Les chloroplastes changent leur forme et on observe à leur intérieur de petits grains bruns, qui n'arrivent pas toujours à masquer complètement le pigment vert. Toutes les plantes ne réagissent pas de même à l'action des vapeurs de phénol. En général, les dicotylédones brunissent complètement, tandis que les monocotylédones ne brunissent que partiellement.

M. Olivier croit que l'action du phénol se traduit par les réactions chimiques trouvées par MM. Schunck et Brebner (2) dans l'action de l'aniline. Lorsque l'aniline se trouve dans les cellules en présence d'oxygène actif, on observe un brunissement. Sur les tissus morts et sur les plantes placées dans une atmosphère d'hydrogène pur, les vapeurs de phénol

---

(1) F. Olivier. *Journal of the hortc. Soc.*, 1893, 16, 32.
(2) *Ann. of Botany*, 1892, 6, 167.

n'agissent plus. Il faut ajouter que le phénol n'a pas une action générale sur le pigment chlorophyllien, mais qu'il agit seulement dans les endroits où commence à se former de l'oxygène actif.

Les observations de M. Husson (1) sur les dommages causés à un vignoble par les fumées d'un four à chaux, prouvent aussi d'une façon indirecte l'action nuisible des vapeurs de phénol. Les fumées de ce four se répandaient sur le coteau occupé par le vignoble; les plantes ne souffraient pas visiblement, mais le vin obtenu avait toujours un goût caractéristique et désagréable; la fermentation était mauvaise et le vin obtenu avait toujours un degré et demi d'alcool de moins que le bon vin de la même région. Sur les feuilles de la vigne se déposait une poussière qui avait le même goût et la même odeur que le vin. Afin de déterminer si le four à chaux était bien la cause ou bien si l'action était due à la fumée des locomotives qui passaient à proximité des vignobles, on éteignit le four. Une pluie abondante ayant lavé les feuilles, et les grappes, de la poussière qui était déposée à leur surface, le vin obtenu ne possédait plus qu'une trace du goût précédent. Lorsqu'on alluma de nouveau le four, le mauvais goût du vin réapparut. La fumée du four avait la même odeur caractéristique. L'analyse chimique décela la présence dans cette fumée de phénol et d'aniline, auxquels il fallait attribuer l'action nuisible.

Des expériences faites avec le benzène, le nitro-

(1) *Comptes rendus*, 1876, 82, 1218.

benzène, le naphtalène montrèrent que ces substances agissent de la même façon que le phénol sur les tissus vivants; l'action du naphtalène est beaucoup plus faible en raison de sa moindre faculté de volatilisation (1).

M. Mirande (2) a étudié sur les feuilles de Laurier-cerise et de Cotoneaster, dont les feuilles renferment certaines glucosides, l'action des vapeurs de différentes substances constituant le goudron. D'après cet auteur, l'ammoniaque provoque très rapidement une profonde coloration brun rouge, et le dégagement d'acide cyanhydrique. Avec le xylène, le toluène, le benzène, le brunissement est très rapide et très accentué au bout de quelques minutes; le dégagement d'acide cyanhydrique se produit très rapidement avec le xylène, assez rapidement avec le toluène et moins rapidement avec le benzène. Avec l'anthracène en cristaux, on obtient peu à peu le noircissement de la feuille ainsi que le dégagement d'acide cyanhydrique. Les vapeurs de naphtalène sont sans action appréciable. Le phénol donne du noircissement et peu ou pas de dégagement d'acide cyanhydrique.

Si on mélange des substances à action lente avec des substances à action rapide, on obtient des effets résultants intermédiaires.

---

(1) Haselhoff u. Lindau. *Die Beschädigungen der Vegetation durch Rauch*, p. 294.

(2) De l'action des vapeurs sur la végétation. *Comptes rendus*, 1910, n° 7, T. 151.

Action sur les plantes vertes de quelques substances extraites du goudron de houille. *Comptes rendus*, 23 janvier 1911.

L'action des vapeurs de goudron dans une atmosphère limitée, à la température ordinaire, provoque le noircissement et le dégagement d'acide cyanhydrique dans les feuilles de Laurier-cerise au bout de deux jours; les feuilles à cuticule peu épaisse se recouvrent de taches rouges ou noires en moins de 24 heures.

c) *Caractères des lésions produites par les vapeurs de goudron.*

Nous nous bornerons ici à citer quelques observations en renvoyant le lecteur à la bibliographie donnée à la fin de cet ouvrage.

En 1876, une revue anglaise (1) a communiqué toute une série d'observations sur l'action nocive des vapeurs de goudron.

On a remarqué que dans les serres, dont les cloisons et toutes les parties en bois étaient enduites de goudron, les plantes présentaient des symptômes de maladie en hiver lorsqu'on commençait à chauffer les serres, et lorsque la ventilation était réduite : les feuilles se couvraient de taches et tombaient. Au contraire, en été, quand les serres restaient constamment ouvertes, avec une aération suffisante, les plantes se portaient bien. La pratique a montré qu'une serre ainsi goudronnée ne devient absolument inoffensive pour la santé des végétaux que lorsque l'odeur de goudron a complètement disparu; cette odeur peut persister parfois pendant plusieurs années.

---

(1) *Vergl. Garden Chron.*, 1876, 2e sér., 5, 532.

D'après M. Zorn (1), les feuilles de Fraisier devenaient brunes et se tordaient lorsque les planches constituant les cadres des couches étaient enduites de carbolineum.

M. Mokrzecki (2) communiqua un cas où des plantes transportées dans une serre, dont les cloisons et les poteaux étaient imprégnés de carbolineum, se fanèrent aussitôt et périrent à la fin de l'été malgré une ventilation active; d'autres plantes transportées dans la même serre, six mois après, ont péri de la même façon.

Des observations analogues sont rapportées par M. Padalk (3), sur de jeunes plantes maraîchères cultivées dans des couches dont les planches étaient enduites de carbolineum.

Le même phénomène a été observé, en 1911, dans le jardin de l'Ecole pratique d'agriculture de Mathieu de Dombasle, à Tomblaine; les feuilles des concombres plantés dans des couches dont les planches étaient badigeonnées avec du carbolineum Avenarius se couvrirent de taches et moururent.

Les tuteurs imprégnés de carbolineum peuvent causer des préjudices à la vigne; d'après une communication de la *Chronique agricole du canton de Vaud* (4), « les grappes de raisins voisines des tuteurs se couvrent de taches brunes et prennent un

---

(1) *Practischer Ratgeber im Abst und Gartenbau*, 1905, n° 51.

(2) Carbolineum et son application en horticulture. *Bull. de la Soc. Imp. d'arboricult. de Simféropol*, 1907, n° 1.

(3) *Horticulture et jardinage progressifs*, 1907, p. 3 (Saint-Pétersbourg).

(4) *Chronique agricole du canton de Vaud*, 1892, n° 10.

goût désagréable; on conseille de n'employer les tuteurs imprégnés de carbolineum que lorsque l'odeur de carbolineum a disparu complètement.

M. Jungner (1) rapporte des observations concernant des pommes de terre plantées le long d'une clôture enduite de carbolineum. Les feuilles prenaient une coloration grisâtre avec un éclat métallique. Sorauer (2) constate les lésions produites sur des pommes de terre par les vapeurs d'une installation d'imprégnation des bois par le carbolineum. Sous l'action du vent qui avait chassé pendant cinq jours les émanations de l'usine sur les champs en observation, les feuilles, jusque-là parfaitement saines, prirent un aspect bronzé, jaunâtre, marbré; de petits points bruns se formèrent sur la face supérieure des feuilles, surtout sur les parties renflées de ces feuilles. Les feuilles très exposées ont présenté des surfaces jaunes et brunes, marbrées, d'un aspect luisant, lorsque les feuilles étaient encore fraîches. On a retrouvé les mêmes lésions à un moindre degré à la face inférieure.

Dans un autre cas, il s'agissait de Rosiers et de Fraisiers dont les feuilles présentaient des endroits colorés en violet brun luisant. En regardant ces feuilles à contre-jour, on pouvait distinguer à l'œil nu, dans l'épaisseur des tissus, un grand nombre de petits points bruns. Dans les endroits luisants et colorés, l'épiderme était déprimé, et le parenchyme palissadique desséché. Une autre observation de

(1) *Arbeiten d. Deutsch. Landw. Ges.*, 1901, Heft 60, S. 128.
(2) *Arbeiten d. Deutsch. Landw. Ges.*, 1900, Heft 50, S. 110, 189.

M. Sorauer fut faite dans un jardin voisin d'une usine à gaz : les Framboisiers plantés le long d'une clôture en planches présentaient sur les feuilles des taches jaunes et brunes. Les extrémités des branches étaient desséchées. La cause de ces lésions était le dégagement de vapeurs de goudron provenant de l'usine.

Une observation semblable a été faite par M. E. Gain aux environs de Nancy il y a quelques années. Les feuilles luisantes et bronzées de plus de 25 espèces végétales ont été récoltées et figurent au Musée de Pathologie végétale de l'Institut Agricole de Nancy. En lavant les feuilles avec de l'eau, des produits gras et volatils du goudron surnageaient.

MM. Haselhoff et Lindau (1) ont entrepris une série d'expériences pour déterminer l'intensité des lésions produites par les vapeurs de goudron sur différentes plantes. Ces expériences ont été effectuées dans de petites serres transportables; les plantes séjournaient de 15 à 30 minutes dans des serres remplies de vapeurs; mais un temps beaucoup plus court est suffisant pour provoquer des lésions appréciables.

Des feuilles de Blé et de Seigle, sous l'action des vapeurs, se courbaient à la base et leurs extrémités se coloraient en vert jaunâtre pâle. Les nervures devenaient plus apparentes. Dans la journée suivante, les feuilles jaunissaient entièrement et se desséchaient. Les auteurs précédemment cités ont opéré, en outre, sur des Pois, des Haricots, des

(1) *Die Beschädigungen der Vegetation durch Rauch*, p. 296.

Dahlias, des Rosiers, des Poiriers, des Chênes, des Pins de montagne, des *Abies brachyphylla*, des Mélèzes, etc. Les expériences ont démontré que la résistance à l'action nocive des vapeurs de goudron varie d'une plante à l'autre, et que, exception faite pour le Pin des montagnes qui est réfractaire, et l'*Abies brachyphylla*, qui est très résistant, toutes les plantes sont tuées par les vapeurs de goudron. Les plantes annuelles meurent très vite; les plantes vivaces arborescentes perdent toutes leurs feuilles, et meurent aussi en un temps plus ou moins long.

Dans les feuilles de Seigle, les cellules étaient fortement plasmolysées, mais les corpuscules chlorophylliens restaient assez distincts. Les cellules colorées en noir n'ont pas été très nombreuses.

Les feuilles de Blé présentaient le même aspect, mais ici l'action des vapeurs était plus intense. Les corpuscules chlorophylliens étaient difficilement distincts; les cellules épidermiques tout à fait hyalines, tandis que beaucoup des cellules du mésophylle avaient un contenu coloré en brun ou en noir par la précipitation du tanin.

Les Haricots présentaient des cellules fortement plasmolysées; on distinguait encore les grains chlorophylliens. La précipitation du tanin ne se produisait pas du tout, ou se produisait seulement sur les bords des feuilles sous forme de petits points noirs visibles à l'œil nu.

Les Pois présentaient à peu près les mêmes lésions anatomiques que les Haricots; le noircissement des cellules n'était pas général; il fallait chercher des

endroits bien déterminés où la précipitation se produisait. Les coupes longitudinales de la face inférieure des feuilles montraient nettement que les cellules où le tanin se précipite se trouvent près des stomates. Les fils des cellules noircies se prolongent des stomates dans les tissus, et vont même juqu'à l'épiderme supérieur. Les cellules épidermiques ne présentent jamais de noircissement.

Dans les feuilles des Rosiers, la plasmolyse est faiblement prononcée, mais les grains chlorophylliens ne sont pas distincts. La parenchyme pallissadique est plus ou moins bruni ou noirci, tandis que le parenchyme lacuneux ne présente que des précipitations de tanin isolées. Les endroits où les tissus assimilateurs sont brunis se présentent à l'extérieur comme des taches sombres.

Les feuilles de Poirier permettent le mieux l'étude du phénomène. La plasmolyse est ici suivie d'une dissolution des grains chlorophylliens; ils disparaissent complètement dans la masse protoplasmique; en même temps, on voit apparaître des petites gouttelettes huileuses probablement formées des produits de dissolution des corpuscules chlorophylliens et du plasma. Ensuite le protoplasme contracté noircit, et il n'est plus possible de distinguer les éléments cellulaires. Si on ajoute sur les coupes du chloral hydraté, la coloration noire disparaît : les tissus deviennent d'abord verdâtres, et enfin se décolorent complètement.

Dans les cellules des feuilles de Chêne, on n'observe pas beaucoup de changement. La plasmolyse

est faiblement prononcée, et la précipitation du tanin se produit rarement, et dans un nombre restreint de cellules.

Les aiguilles de Mélèze ne se comportent pas toujours de la même façon vis-à-vis des vapeurs de goudron. On observe souvent une dissolution du protoplasme et l'apparition de gouttelettes huileuses; les grains chlorophylliens restent encore intacts. Dans les cas où les lésions sont graves, le contenu cellulaire est coloré en brun; les grains chlorophylliens sont complètement dissous, mais les gouttelettes huileuses n'apparaissent pas. Les cellules épidermiques ne se modifient pas.

Chez *Abies brachyphylla*, dont les aiguilles sont très résistantes, on n'observe pas de plasmolyse ni de disparition des grains clorophylliens. Mais on trouve quelques cellules disséminées dans le tissu qui présentent le phénomène de brunissement, et sont plasmolysées. On n'est pas certain que, dans ce cas, ce soient les vapeurs de goudron qui ont amené leur mort. L'épiderme et les stomates n'éprouvent pas de modifications.

Les aiguilles de Pin des montagnes sont complètement réfractaires à l'action des vapeurs de goudron.

Conclusions : De ces observations, on peut tirer les caractères généraux des lésions causées par les vapeurs de goudron. Extérieurement, ils se traduisent par la coloration brunâtre et luisante des feuilles; plus tard, les feuilles se fanent. Ensuite, on voit se former des taches brunes dans lesquelles les tissus sont détruits. La plasmolyse fortement prononcée a

pour résultat l'affaissement des feuilles qui deviennent molles. Dans les cellules, on observe souvent la disparition des grains chlorophylliens, une dissolution de protoplasme et l'apparition des gouttelettes huileuses jaunâtres ou brunâtres. Le contenu cellulaire contracté est coloré souvent en brun ou en brun noir par la précipitation du tanin.

Par des coupes, sur les échantillons que le Musée du Laboratoire a mis à notre disposition, nous avons vérifié les divers caractères micrographiques des lésions des plantes attaquées par les vapeurs goudronneuses.

D) *Mode d'action des vapeurs de goudron.*

M. Mirande (1), en étudiant l'action des vapeurs de goudron sur les feuilles de *Prunus Laurocerasus*, qui, comme on le sait, renferment certaines glucosides, a constaté que le noircissement des feuilles est toujours accompagné d'un dégagement de l'odeur caractéristique de l'acide cyanhydrique. Le protoplasme des cellules est, en même temps, fortement plasmolysé, et coloré en brun ou en noir. Des phénomènes absolument identiques peuvent être provoqués par toute une série d'autres facteurs comme l'anesthésie, le gel, les radiations ultraviolettes, la sécheresse, les traumatismes, certains sels, etc. (2).

Les feuilles des plantes vertes noircissent et sou-

---

(1) Influence exercée par certaines vapeurs sur la cyanogenèse végétale. *C. R.*, 12 juillet 1909, p. 140.

(2) M. Mirande. De l'action des vapeurs sur les plantes vertes. *C. R.*, 16 août 1910, n° 7, T. 151.

vent dégagent certaines substances volatiles (1). En comparant ses observations avec des recherches précédentes de M. Guignard (2) sur la myrosine et la synigrine de la Moutarde, sur l'émulsine et les glucosides cyaniques des feuilles de certaines plantes, M. Mirande conclut que, dans ses expériences, le noircissement des feuilles de *Prunus Laurocerasus*, accompagné d'acide cyanhydrique, doit être attribué à l'action d'une diastase spéciale aux feuilles de *Prunus Laurocerasus* sur les glucosides qu'elles renferment.

Les vapeurs de goudron pénètrent par les stomates, se répandent dans les espaces intercellulaires et provoquent dans les cellules des phénomènes de coloration, en amenant la mort du protoplasme par rupture plasmolytique de la membrane plasmique. Suivant les plantes, il peut se produire aussi des phénomènes de dégagement à l'extérieur et à l'état gazeux de certaines substances.

Ces phénomènes sont dus à la diffusion, après la mort, du protoplasme des substances cellulaires, précédemment localisées dans la plante intacte, et qui, arrivées en contact, réagissent chimiquement (le plus souvent par l'action diastasique) pour produire des substances nouvelles, dont les unes, souvent colorées, restent dans les cellules, et dont les autres peuvent se dégager à l'extérieur.

---

(1) Heckel. Influence des anesthésiques et du gel sur les plantes à coumarine. *C. R.*, 15 novembre 1909.

(2) Guignard. Influence de l'anesthésie et du gel sur le dédoublement de certaines glucosides chez les plantes. *C. R.*, 12 juillet 1909, p. 91.

M. Mirande (1), en constatant l'influence nuisible des vapeurs de goudron, n'admet pas l'action corrosive de la poussière provenant des routes goudronnées et disposée par le vent sur les feuilles des plantes avoisinantes.

MM. Griffon et Gatin (2), qui se sont occupés de la question à propos des arbres du bois de Boulogne, à Paris, ont été amenés à des conclusions quelque peu différente de celles de M. Mirande. Griffon (3), en admettant l'action nuisible des vapeurs de goudron, remarque que, dans le goudronnage des routes, le goudron est répandu en couche mince et se refroidit vite; les vapeurs qu'il émet se diluent dans une masse d'air énorme. Seules, les plantes qui se trouvent tout près de la surface enduite peuvent être atteintes. Il explique la coloration brune des feuilles des arbres bordant les allées du bois de Boulogne par l'action prolongée des petites particules de goudron sous l'influence de la radiation solaire.

La poussière provenant de l'avenue du Bois de Boulogne, répandue sur les feuilles de Bégonias, de Pélargoniums, de Saxifrages, plantes à tissus très aqueux et délicats, produit des brûlures, tandis que la poussière des routes ordinaires ne provoque aucune action nuisible. Le rabougrissement des rameaux sous l'influence de la poussière chargée de

---

(1) Les effets du goudronnage des routes sur la végétation. *C. R.*, 23 janvier 1911.

(2) Influence du goudronnage des routes sur les arbres du Bois de Boulogne. *C. R.*, T. 153, 17 juillet 1911.

(3) Influence du goudronnage des routes sur la végétation avoisinante. *C. R.*, 5 décembre 1910.

goudron est accompagné de modifications anatomiques corrélatives (1, 2). Le rameau normal est d'un diamètre plus grand que le rameau malade. La réduction du diamètre porte surtout sur le cylindre central; les deux écorces ont une épaisseur sensiblement égale. Le liège sous-épidermique est plus développé chez la plante qui a subi l'action des poussières goudronneuses. L'endoderme, bien marqué chez les rameaux normaux, particulièrement au niveau des paquets de sclérenchyme péricyclique, ne présente aucune différenciation spéciale chez les rameaux goudronnés; cet endoderme est formé de cellules qui sont semblables à celles du parenchyme cortical. Chez les rameaux attaqués les rayons médullaires sont à peine marqués, à l'inverse de ceux du rameau sain, et les cellules de la moelle y sont plus petites.

Les rameaux sains sont très riches en amidon, tandis que les rameaux malades en sont presque totalement dépourvus. En outre, la plante réagit dans certains cas, contre l'action nocive des poussières du goudron en développant des assises subéreuses. Mais l'action du goudron se manifeste principalement par un ralentissement de la végétation, se traduisant par un développement moins grand de l'appareil conducteur, et par une entrave apportée à la mise en réserve de l'amidon. Ceci permet d'expliquer pourquoi le goudronnage des routes n'a pas toujours un

---

(1) C.-L. Gatin. Reproduction expérimentale des effets du goudronnage des routes sur la végétation avoisinante. *C. R.*, n° 15, 1911.

(2) C.-L. Gatin et Futeaux. Modifications anatomiques produites chez certains végétaux par la poussière des routes goudronnées. *C. R.*, 27 novembre, n° 21, 1911.

effet immédiat sur les arbres voisins, mais une action à longue échéance.

Certains auteurs (1) pensent que la composition de la couche épidermique de la feuille doit intervenir en la circonstance, ce qui permettrait d'expliquer l'immunité dont jouissent certaines espèces. Si cette couche épidermique est formée, par exemple, d'un revêtement cireux (*Copernicia cerifera*), elle constituera un véritable enduit protecteur contre la poussière ordinaire des routes, mais autrement, elle se dissoudra, au contraire, dans les éléments alcalins que renferment les particules goudronneuses et dont la causticité est essentiellement nuisible. Ces agents alcalins, passant, par résorption, dans le parenchyme foliaire, lui communiqueraient le noircissement ou le brunissement qui compromet la vie de la plante.

Bien des espèces ligneuses échappent à ces altérations pour des causes multiples, et c'est sans doute par suite des appréciations exagérées ou contradictoires émises sur cette question de pathologie végétale que le deuxième Congrès de la route, tenu à Bruxelles en 1910, a cru pouvoir se tirer d'embarras en l'absence de toute conclusion nette, en remettant cette étude à une session ultérieure.

E) *Action des vapeurs d'asphalte.*

L'action nocive des vapeurs d'asphalte a été mentionnée pour la première fois par MM. Alten et Jän-

---

(1) A. Barillé. Effets du goudronnage des routes sur l'homme et sur les végétaux. *Horticulture nouvelle*. 1911.

nieke (1) en 1891, et peut être citée ici dans le même ordre d'idées que l'action des vapeurs de goudron. MM. Alten et Jännieke ont remarqué que les feuilles des Rosiers, dans le voisinage d'un tonneau rempli d'asphalte, se recouvraient de taches brunes. Les recherches anatomiques ont montré que ce ne sont que les cellules de l'épiderme qui sont atteintes.

Sorauer (2) a étudié la question sur toute une série de plantes (Rosiers, Marronniers, Poiriers, *Vitis vinifera*, *Ampelopsis quinquefolia*, *Hedera Helix*, *Pæonia herbacea*, *Hydrangea paniculata*, *Phlox decussata*, *Lonicera xylosteum*, *Deutzia gracilis*, *D. scabra*, *Symphoricarpos racemosa*, *Forsythia suspensa*, *Spirea salicifolia*, *Fragaria chilensis*, *Rubus idæus*, *Dicentra spectabilis*, *Tradescantia zebrina*, *Colutea arborescens*, *Liriodendron tulipifera*, *Chelidonium majus*).

Les plantes aspergées avec de l'eau ont été mises dans une serre bien fermée; on fait dégager dans cette serre des vapeurs d'asphalte, en faisant chauffer différentes sortes d'asphaltes sur de petites plaques de fer pendant 1 h. 1/2 à 3 heures. Les lésions typiques n'apparaissent pas immédiatement, mais seulement quelques jours plus tard, après qu'on a sorti les plantes de la serre, et qu'on les a mises dans un endroit ombragé. Chez les Rosiers, la face supérieure des feuilles s'était colorée totalement ou partiellement en noir mat. Cette coloration se manifestait sur-

(1) Eine Schädigung von Rosenblättern durch Asphaltdämpfe. *Botan. Ztg.*, 1891, 49, 195.

(2) Die Beschädigung der Vegetation durch Asphaltdämpfe. *Zeitschr. f. Pflanzenkr.*, 1897, 7, 10, 84.

tout entre les nervures, alors que le long des nervures persistait une bande étroite de tissu encore vert.

Les différentes plantes ne présentent pas les mêmes lésions. Sur les feuilles des plantes riches en tanin, on observe la formation des taches brunes, disposées généralement entre les nervures. Les feuilles des plantes comme *Brassica oleracea*, *Papaver somniferum*, *Stellaria media*, *Amygdalus nana*, *Acer pseudoplatanus*, *A. negundo*, portent, au contraire, des taches blanches ou d'un blanc jaunâtre. Les feuilles de ces plantes ne renferment pas de tanin.

Aux endroits tachés, les tissus sont morts. C'est toujours la partie supérieure de la feuille qui est la plus atteinte. Certaines plantes (par exemple *Ampelopsis quinquefolia*) réagissent par formation de couches de liège.

Sous une action faible et prolongée des vapeurs, on observe une contraction de protoplasme et une coloration brune due à la précipitation du tanin. Une action forte provoque, au contraire, une adhérence du protoplasme aux parois, sans précipitation de tanin.

M. Sorauer (1) conclut que ce sont les premiers produits de distillation dont l'action est surtout nuisible.

En résumé: *l'action des vapeurs d'asphalte est absolument analogue à celle des vapeurs de goudron* (2).

---

(1) Durch Asphaltdämpfe geschädigten Rosen. *Zeitschr. f. Pflanzenkrankh.*, 1898, 8, 223.

(2) *Gaz d'éclairage.* — Le gaz d'éclairage représente un élément nocif pour la végétation, mais il ne peut pas rentrer, à proprement parler, dans la catégorie des fumées industrielles. C'est pourquoi nous avons négligé son étude spéciale dans ce travail. On trouvera des documents sur cette question dans les mémoires cités sous les n°s 60, 75, 110, 7, 141 et 201 du chapitre VIII, donnant la bibliographie.

CHAPITRE VI

Poussières industrielles.

A) *Composition des poussières.*

Dans la pratique, on a été souvent tenté d'attribuer la plus grande part des dommages causés à la végétation, dans le voisinage des installations industrielles, aux particules solides qui se trouvent en suspension dans la fumée et qui se déposent sous forme de poussière sur le sol et les plantes. L'action nocive de cette poussière pour la végétation fut exagérée, avant qu'on connaisse les causes principales du dépérissement de la végétation autour de certains centres industriels; mais, malgré le rôle prépondérant qu'il faut attribuer aux substances gazeuses de la fumée, les particules solides entraînées avec elle ne sont pas toujours complètement inoffensives.

On a pensé autrefois que les fines particules de poussière, en couvrant les feuilles, bouchent les stomates et empêchent ainsi les échanges gazeux et le fonctionnement normal de l'appareil chlorophyllien (1). Les expériences de A. Stöckhardt (2) et de MM. v. Schröder et Reuss (3), ont démontré que ces

(1) Eulenberg. *Handbuch d. Gewerbe Hygiene.* 1876, S. 320.
(2) *Thar. forstl. Jahrb.*, 1871, 21, 218.
(3) *Die Beschäd. d. Veg. durch Rauch u. die Obertarzer Hüttenrauchschäden*, 1883, S. 242.

troubles mécaniques ne sont pas à craindre et que l'action nocive des poussières industrielles dépend exclusivement de leur composition chimique. Or, cette composition varie beaucoup d'une industrie à l'autre, même dans le cas de la même matière travaillée et du même combustible employé (1).

D'après F. Fischer (2), la poussière des hauts fourneaux renferme les éléments suivants :

	HAUTS FOURNEAUX DE :			
	GLEIWITZ.	TARNOWITZ.	FRIEDR.-WILHELM.	CLEVELAND.
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
Potassium	12,28	»	17,05	»
Sodium	12,58	»	9,53	4,70
Calcium	6,15	»	25,95	12,30
Magnésie	5,87	»	2,31	5,03
Oxyde de fer	9,50	»	0,91	14,22
— de manganèse	0,31	»	0,37	»
— de zinc	25,51	35,65	1,30	10,48
— de plomb	13,75	10,64	»	»
Silice	17,72	15,55	24,05	22,60
Soufre	0,24	»	1,71	0,17
Sulfure de zinc	»	»	»	13,70
Argile	»	4,21	10,90	8,20

M. Agnus Smith (3) trouve la composition suivante des poussières provenant du grillage de la blende :

	I	II
Oxyde de zinc insoluble	8,40	8,20
— soluble	17,80	12,00
Oxydule de fer soluble	2,16	2,52

(1) E. Haselhoff u. G. Lindau. *Die Beschädigung d. Veg. durch Rauch*, S. 325-328.
(2) F. Fischer. *Handbuch der chemischen Technologie*, 1893, S. 201.
(3) G. Lunge. *Handbuch der Sodaindustrie*, 1893, I, 270.

Oxyde de fer soluble	2,49	4,20
Oxyde de plomb	3,38	4 26
Acide sulfurique insoluble	6,46	8,04
— soluble	20,43	18,84
Eau	6,59	9,00
Résidu (probablement oxyde de fer). . .	31,80	32,42

Les données de ces analyses, ainsi que d'un très grand nombre d'autres (1, 2), nous montrent que, parmi les substances entrant dans la composition des poussières industrielles, nous avons surtout affaire aux combinaisons de l'acide sulfurique et de l'acide arsénique avec Pb, Zn, Fe, Mn, K, Na, Ca. Ce sont précisément les mêmes métaux qu'on retrouve souvent en quantités très notables dans le sol des environs de certaines usines. M. A. Stöckhard (3) a trouvé dans le sol des environs des hauts fourneaux de Halsbrucke, qui n'a porté presque aucune végétation, 0,38-1.05 p. 100 de Pb. J. v. Schröder et A. Schertel (4) ont trouvé dans le sol des environs des hauts fourneaux de Freiberg 0.048-0,440 de Pb. M. Freytag (5) trouve aux voisinages de hauts fourneaux de Hettstedter 0,009-0,092 p. 100 d'oxyde de Cu et et 0,019-0,073 p. 100 d'oxyde de Zn.

La teneur du sol en ces éléments diminue à mesure qu'on s'éloigne des établissements métallurgiques et nous renseigne sur leur origine, mais ne nous permet pas encore d'attribuer à leur présence l'infertilité

---

(1) M. Freytag. *Jahrb. f. Berg- und Hüttenwesen in kön. Sachsen*, 1873, Abt. 3.

(2) C. A. Hering. *Die Verdichtung des Hüttenrauches*. Stuttgart, 1888.

(3) *Jahrb. d. kgl. Sächs. Akad. f. Forst. u. Landwirte*, 1853, 169.

(4) *Jahrb. f. Berg- u. Hüttenwesen i. kön. Sächs*, 1894, Abh. 93.

(5) Ouvr. cité.

du sol. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, le mauvais état de la végétation avoisinant certains établissements industriels doit être attribué en majeure partie à l'action nocive de l'acide sulfureux et à l'appauvrissement du sol en éléments nutritifs; si, en même temps, une intoxication du sol par les particules métalliques a lieu, son influence sur la végétation ne peut pas être séparée de celle des gaz acides; seules, les cultures expérimentales dans des sols mélangés avec différentes quantités des combinaisons en question peuvent nous renseigner sur leur rôles vis-à-vis de la végétation.

MM. J. v. Schröder et C. Reuss (1) résument de la façon suivante leurs expériences :

1° Les combinaisons insolubles de Pb, de Cu et de Zn, mélangées d'une façon mécanique au sol, ne sont pas à craindre dans le cas où leur teneur n'est pas trop élevée. Les limites sont difficiles à établir, mais, en tous cas, la teneur en dixièmes pour cent, comme cela arrive le plus souvent dans les sols éprouvés par les fumées industrielles, est sûrement complètement indifférente. Ces quantités insignifiantes ne peuvent même pas provoquer un ralentissement de la végétation et une diminution de la récolte sans apparition de symptômes typiques.

2° Les combinaisons solubles des métaux précédemment mentionnés se transforment par absorption aussitôt arrivées dans le sol en combinaisons insolubles. Une action directe de telles solutions sur

(1) V. Schröder u. Reuss, *op. cit.*, p. 43.

les racines des plantes est pour ainsi dire complètement éliminée. Dans ce rapport, l'absorption doit être envisagée comme un facteur favorable, rendant les sels métalliques inoffensifs pour la végétation. En outre, il n'est pas généralement à craindre que l'absorption des bases provoque un appauvrissement du sol en éléments nutritifs, et son intoxication uniforme. Les quantités de sels métalliques apportées avec les poussières sont en effet très faibles, et ensuite le processus est lent, de façon que la désagrégation continuelle du sol neutralise cette action.

3° Il existe des sols qui cèdent facilement à l'eau les métaux lourds ou qui ne possèdent, vis-à-vis de ces derniers, aucun pouvoir absorbant. Dans ces cas, nous avons affaire aux conditions défavorables sous lesquelles même des quantités minima des sels métalliques peuvent être nuisibles à la végétation. Mais, conformément à l'expérience, les sols de cette nature ne se rencontrent que très rarement, et seulement dans le voisinage immédiat des établissements industriels. Un sol extrêmement pauvre ne saurait être modifié à ce point par les sels solubles de la poussière des fumées.

4° C'est surtout la présence de l'arsenic dans la poussière qui est à craindre. Les conditions pour l'absorption de l'arsenic sont des plus défavorables; les expériences montrent une action nocive de l'arsenic même lorsqu'il se trouve dans le sol en quantité moindre de 1/10 p. 100. Les doses tout à fait faibles sont inoffensives.

5° De petites quantités de Zn, de Pb, de Cu et des

traces d'arsenic peuvent être absorbées par les plantes sans que leur végétation normale soit dérangée.

6° Puisque l'arsenic peut être facilement condensé dans les carnaux par lesquels passent la fumée, et que les sels métalliques solubles peuvent être en grande partie retenus, la question de l'intoxication des sols cultivés des prairies et des forêts, dans le cas des usines bien aménagées, n'a pas d'importance pratique.

Des expériences plus récentes ne font que confirmer les conclusions générales de MM. v. Schröder et Reuss : *les poussières industrielles arrivées en contact avec des plantes, soit par un dépôt direct sur les feuilles, soit par l'intermédiaire du sol, ne peuvent agir d'une façon nocive que lorsqu'elles renferment des substances toxiques sous la forme soluble* (1). Ainsi, les oxydes métalliques non solubles ou les silicates ne sont pas dangereux pour la végétation, tandis que leurs sulfates ou chlorures solubles peuvent agir d'une façon toxique.

B) *Action de la poussière sur le sol.*

En ce qui concerne les combinaisons métalliques des poussières dans le sol, il peut arriver que certaines substances insolubles passent à l'état soluble et commencent à exercer une action toxique.

---

(1) E. Haselhoff. Versuche über die Einwirkung von Flugstaube auf Boden und Pflanzen. *Landw. Versüchsst.*, XLVII, S. 189, 1908.

M. E. Haselhoff (1) cite l'exemple suivant : il s'agissait des endommagements de la végétation dans les champs aux environs d'une usine de grillage de minerais de cuivre. La première impression faisait croire qu'on avait affaire à l'acide sulfureux. Les expériences ont montré que les plantes ne se développaient pas normalement, même si elles étaient soustraites à l'action des fumées industrielles, en les faisant pousser dans le sol pris aux environs de l'usine. Les expériences ont été effectuées dans des serres avec de la terre prise aux différentes distances de l'usine : *a*) au voisinage immédiat de l'usine; *b*) à un certain éloignement; *c*) à une distance assez grande pour que l'action des émanations de l'usine ne puisse avoir une influence quelconque sur le sol.

Dans ces échantillons de sol on a planté des Haricots.

RÉCOLTE PAR POT :

Sol		PREMIÈRE ANNÉE Parties aériennes	PREMIÈRE ANNÉE Racine	PREMIÈRE ANNÉE Total	DEUXIÈME ANNÉE Parties aériennes
1 endommagé	*a*. . .	1,00	0,33	1.33	3.8
	b. . .	7,83	0,70	8,53	12.3
2 —	*a*. . .	2,29	0,55	2,75	12,2
	b. . .	6.73	0,77	7,50	13,6
3 normal	*c*. . .	7,50	0.87	8.37	16.7

Ces chiffres montrent clairement les propriétés toxiques du sol ; cette toxicité diminue à mesure qu'on s'éloigne de l'usine.

---

(1) Die Beschädigung von Boden und Pflanzen durch Flugstaub. *Fühlings Landwirtsch. Zeitung*, 15 septembre 1908, 18 Heft.

L'analyse des sols a donné des résultats qui ne peuvent pas expliquer la différence de la croissance des plantes :

	Az	Ca	Mg	K	PO_3
1 *a*.	0,164 %	1,087 %	0,348 %	0,346	0,171
1 *b*.	0,134 »	1,170 »	0,555 »	0,302	0.129
2 *a*.	0,170 »	1,930 »	0,493 »	0,183	0,129
2 *b*.	0,150 »	1,967 »	0,568 »	0,211	0,159
3 *c*.	0,113 »	3,050 »	0,752 »	0,304	0.100

D'après ces chiffres, on pouvait être en droit d'attendre un résultat tout à fait contraire, la teneur en Az, en K et en PO_3, des sols endommagés, étant supérieure à celle du sol normal.

On admet souvent que le sol est influencé défavorablement par les gaz des fumées industrielles au point de vue de sa population bactérienne.

Cette différence, dans les expériences de M. Haselhoff, ne pouvait pas être constatée.

La différence la plus apparente entre les échantillons de terre pris dans le voisinage de l'usine, et ceux de terre normale, est la teneur moindre de la première en Ca et Mg. Comme nous l'avons vu dans un des chapitres précédents, on admet une dissolution de la chaux par l'acide sulfureux entraîné dans le sol par les précipitations atmosphériques. Mais cette diminution de la teneur du sol en Ca ne suffit pas encore pour expliquer la mauvaise végétation.

La teneur globale des sols en Cu ne pouvait non plus donner une explication suffisante du fait; on a procédé à une détermination de la teneur des sols en combinaisons cupriques solubles.

On a trouvé :

Sol	Oxyde de cuivre Total	Soluble
1 *a*	0,184 %	0,0585 %
1 *b*	0,026 »	0,0114 »
2 *a*	0,065 »	0,0247 »
2 *b*	0,54 »	0,0053 »
3 *c*	0,013 »	0,0066 »

Ces chiffres nous renseignent sur la cause des propriétés toxiques du sol dans le voisinage de l'usine. En ce qui concerne la diminution de la solubilité des combinaisons cupriques à mesure qu'on s'éloigne de la source des fumées, elle doit être attribuée à l'action probable de l'acide sulfureux. Les expériences avec un sol mélangé de sels cupriques et abandonné à l'action de l'acide sulfureux gazeux ont pleinement confirmé cette supposition, et, en outre, ont montré une différence entre l'action du carbonate de cuivre et du sulfure de cuivre sur les plantes. La croissance des haricots dans le sol mélangé avec le carbonate de cuivre a été fortement gênée, tandis que ce n'était pas le cas dans le sol auquel on a ajouté le sulfure de cuivre. L'explication de cette différence réside dans la plus grande solubilité du carbonate de cuivre : le sol mélangé avec le carbonate de cuivre permettait de constater 0,0016 p. 100 de cuivre soluble dans l'eau, tandis que le sol avec le sulfure de cuivre en était exempt.

Aucune plante n'a pu lever dans les sols qui, après avoir été mélangés de sels cupriques, avaient subi l'action de l'acide sulfureux.

Ainsi, il est évident, que ce sont les combinaisons

cupriques qui ont provoqué le dérangement de la végétation. Ainsi dans le cas cité par M. Haselhoff, il est probable que le cuivre provenait non seulement de la poussière des fumées, mais aussi préexistait dans le sol, car on trouvait aussi des sels de cuivre dans le sol des endroits éloignés de l'usine. Les combinaisons cupriques qui se déposent sur le sol avec la poussière des fumées sont presque insolubles et inoffensives, mais grâce à l'action de l'acide sulfureux (dont la présence est de règle dans ces cas), il y a solubilisation de ces composés qui deviennent dangereux pour la végétation.

Ce qui a été dit à propos des composés cupriques peut être répété pour les composés de zinc, de plomb, de nickel, etc.

La nocivité des combinaisons solubles de zinc pour la végétation a été prouvée par de nombreuses expériences. M. Pappenheim (1) a cultivé des Pois, des Haricots, et du Seigle sur un sol renfermant 10 p. 100 d'oxyde de zinc; la végétation était tout à fait normale. M. Knop (2), a pu cultiver d'une façon normale le Trèfle sur un sol mélangé de carbonate de zinc; les plantes n'ont pas absorbé de zinc. M. Freytag (3) n'a trouvé aucune différence entre le Maïs, l'Avoine, le Blé et l'Orge cultivés sur un sol normal et sur un sol renfermant 0,2 p. 100 de carbonate de zinc. Le même auteur a cultivé du Blé,

---

(1) *Verhandlungen d. Ver. z. Förder. d. Gewerbefl. i. Preussen*, 1865, 44, 67.

(2) *Landw. Versuchsst.*, 1858, 1, 3.

(3) *Mitt. d. königl. Landw. Akad. Pappelsdorf*, 1868, 1, 85.

de l'Avoine et des Pois dans un sol renfermant 1, 2, et 5 p. 100 d'oxyde de zinc; les plantes ont été tout à fait normales, mais ont absorbé du zinc.

Dans les expériences (1) de la Station expérimentale de Münster i. W. (Allemagne), le sol était traité par des quantités différentes de solutions aqueuses de sulfate de zinc; la végétation dans ces sols était dérangée et on pouvait constater dans tous les cas une absorption de zinc par les plantes.

Les recherches de J. Augustus Woelcker, à la station expérimentale de Woburn (Angleterre), ont montré que les sels de zinc, oxyde, chlorure, sulfate et carbonate, quand on emploie une dose de chacun d'eux contenant 0,04 de métal p. 100 de terre, exercent une influence toxique sur le développement du Blé, et que leur nocivité s'accroît en raison de leur solubilité (2).

M. Pappenheim (3) a mélangé au sol de l'oxyde de Pb et y cultiva du Blé et des Pois sans pouvoir observer de dérangement dans la végétation; des Haricots n'ont pas levé dans ce même sol.

M. Klein (4) n'a pu observer aucun dérangement de la végétation chez un Picea qui végétait depuis longtemps dans un sol renfermant 0,1 p. 100 d'oxyde de plomb. M. J. v. Schröder (5) a mélangé à un sol composé d'argile et d'humus 5 p. 100 d'oxyde de

---

(1) *Landw. Jahrb.*, 1883, 12, 472.

(2) *La vie agricole et rurale*, 1912, n° 27, p. 662.

(3) *Vehrh. d. Ver. z. Förder. d. Gewerbefl. in Preussen*, 1865, 44, 67.

(4) *Chem. Ackersmann*, 1875, 248.

(5) V. Schröder u. Reuss, *loc. cit.*, p. 36.

plomb finement pulvérisé et y a cultivé de l'Orge; pendant toute la période végétative, les plantes ne paraissaient pas être malades, seulement quelques feuilles présentaient des extrémités desséchées et la végétation était un peu retardée par comparaison avec les témoins; ce retard était d'autant plus grand que la proportion d'oxyde de plomb dans le sol était plus élevée. Ce retard a trouvé aussi son expression dans la récolte :

Sol normal	6,798 gr.
5 p. 100 d'oxyde de Pb	4,325 —
10 p. 100 —	3,245 —

M. J. v. Schröder résume de la façon suivante l'action de l'oxyde de Pb, de l'oxyde de Cu, et en général des compositions métalliques insolubles à mesure que leur teneur augmente dans le sol : « d'abord pas d'action nocive, puis une gêne dans le développement général des plantes sans apparition de symptômes maladifs, enfin une faible production avec des caractères maladifs apparents ».

Poussières arsénicales.

En ce qui concerne l'Arsenic, sa présence dans les poussières industrielles est beaucoup plus dangereuse tant par la toxicité de ses combinaisons, que par les conditions peu favorables de l'absorption de cet élément par le sol.

M. Klein (1) a observé la végétation d'un Epicea

(1) *Chem. Ackersmann*, 1875, 248.

dans un sol renfermant 0,1 p. 100 d'acide arsénique: le sommet de l'arbre était desséché; une pousse latérale qui s'était développée à sa place s'était desséchée après quelques années et finalement l'arbre était mort.

M. Fr. Nobbe (1) a étudié sur l'Orge et sur la Vesce l'influence de la présence dans le sol de l'Arsenic, de l'Arsenic sulfuré et de certaines combinaisons de Plomb. 1.000 gr. de terre ont été mélangés avec 0,006-0,400 gr. d'arsenic sous forme d'acide arsénique et d'orpiment, et avec 0,020-2 gr. de plomb sous forme d'oxyde de plomb, de nitrate de plomb et de sulfate de plomb.

Un développement maladif et tardif pouvait être observé seulement dans les pots contenant le maximum d'arsenic; la présence de 0,4 p. 100 d'arsenic, sous forme d'arsenic sulfureux, amenait très vite la mort des plantes. En dehors de ces cas, l'addition d'arsenic et de composés de plomb n'a pas provoqué un dérangement quelconque de la végétation; l'acide arsénique et le nitrate de plomb solubles se sont transformés dans le sol en combinaisons insolubles et inoffensives.

J. König (2) a mélangé 0,025 p. 100, 0,05 p. 100 et 0,1 p. 100 d'acide arsénique à des sols calcaire, argileux et sablonneux et y a semé du Raygrass anglais. Les plantes témoins ont végété d'une façon normale, tandis que l'action toxique de l'arsenic se

(1) V. Schröder u. Reuss, *loc. cit.*, p. 32.

(2) J. König. *Die Verunreinigung der Gewässer*, 1899, 2, 340.

manifesta dès le commencement de l'expérience et était différente suivant la nature du sol. Dans les sols sablonneux et calcaires, l'addition de 0,025 p. 100 d'acide arsénique exerçait une action à peine appréciable; avec 0,05 p. 100 d'acide arsénique, les symptômes maladifs se sont manifestés d'une façon plus apparente et, enfin, l'addition de 0,1 p. 100 d'acide arsénique a provoqué le rougissement des extrémités des feuilles et une végétation languissante. Dans le sol argileux, 0,025 p. 100 et 0,05 p. 100 d'acide arsénique sont restés sans effet apparent; avec 0,1 p. 100 d'acide la végétation a souffert, mais pas aussi fortement que dans le cas des sols calcaires et sablonneux. Ces résultats ont été confirmés par la pesée de la substance sèche de la récolte :

	POIDS DE LA RÉCOLTE			
Acide arsénique. . .	0	0,025 %	0,05 %	0,1 %
Sol sableux.	6,838 gr.	5,986 gr.	5,052 gr.	3,312 gr.
— calcaire.	16,565 —	16,092 —	14,017 —	0,703 —
— argileux.	15,259 —	13,730 —	14,786 —	11 269 —

J. König explique l'action différente de l'acide arsénique dans les divers sols par leur teneur inégale en humus (sol sablonneux 1,55 p. 100, sol argileux 3,02 p. 100, sol calcaire 3,42 p. 100); l'humus réduit l'acide arsénique en hydrogène arsénié qui se volatilise. L'action exceptionnellement toxique de l'acide arsénique dans le sol calcaire doit être attribuée, d'après König, au remplacement de l'acide carbonique par l'acide arsénique dans les carbonates et par formation d'arséniate de calcium dont l'action est plus prolongée.

M. J. Stoklasa (1), pour résoudre la question de l'action sur les cultures des superphosphates renfermant de l'arsenic, a expérimenté avec le Maïs dans un sol sablonneux. Le superphosphate était obtenu par l'action de l'acide sulfurique pur sur des phosphorites auxquelles on avait ajouté, soit de l'acide arsénique, soit de l'acide arsénieux en quantités telles que dans les 100 gr. de superphosphate obtenu se trouvait 0 gr. 46 d'arsenic, sous forme d'acide arsénique ou arsénieux. L'action nocive de la présence de l'arsenic est démontrée par les poids de la récolte :

	Poids de la matière sèche de la récolte
Sans arsenic	54,19 gr.
Acide arsénique	38,32 —
— arsénieux	11,87 —

Poussières renfermant du Sulfate de Zinc.

La nature du sol, comme nous l'avons vu à propos de l'arsenic, a une grande importance dans les changements que subissent les sels métalliques apportés avec les poussières industrielles. A. Baumann (2) a planté, dans un sol sablonneux et dans un sol calcaire, différentes Graminées et les a arrosées, soit avec de l'eau pure, soit avec des solutions de différentes quantités de sulfate de zinc. Dans le sol sablonneux, on pouvait observer d'abord un développement vigoureux des plantes, mais, plus tard,

(1) *Landw. Versuchsst.*, 1885, 31, 1, 33.
(2) *Zeitschr. f. landw. Versuchsst. Oesterreichs*, 1898, 1, 154.

l'action nuisible du sulfate de zinc se manifesta par une décoloration des feuilles. Dans un sol calcaire, au contraire, la végétation était favorisée par l'arrosage avec des solutions de sulfate de zinc. D'après cette expérience, l'auteur conclut que, dans un sol riche en humus et en carbonate de calcium, les sels solubles de zinc se transforment en humates et en carbonates insolubles et deviennent inoffensifs pour les plantes; tandis que dans un sol pauvre en humus et en carbonate de calcium, les sels solubles manifestent aussitôt une action toxique. En outre, les combinaisons de zinc avec la silice (zéolithes), grâce à leur plus grande solubilité, doivent avoir une action plus nocive.

Poussières renfermant du Sulfate de Cuivre.

M. J. Simon (1), dans ses recherches sur l'action sur la végétation des différentes concentrations de solutions de sulfate de cuivre, a démontré une fois de plus l'importance de la nature du sol dans le degré de nocivité des sels métalliques. Les expériences avec la Moutarde et l'Orge ont été effectuées dans des pots renfermant du sable, de l'argile ou de la terre de jardin. Le sable a reçu, préalablement, KCl, $Ca(NO^3)^2$, $MgSO^4$, KH^2PO^4, $Fe(PO^4)^2$ en quantités né-

(1) Ueber die Einwirkung eines verschiedenes Kupfergehaltes im Boden auf das Wachstum der Pflanze. *Landw. Versuchsst.*, 1909, Bd LXXI, S. 417-429.

cessaires. Les résultats de l'expérience sont résumés dans le tableau suivant :

		Sulfate de cuivre		*Poids de la substance sèche de la récolte*	
		P. 1000 gr. de terre	Par pot	Moutarde	Avoine
1	Sable (4.300 gr.)	0,1	0,43	0,102	0.819
2	—	0,5	2,15	—	0,141
3	—	1,0	4,30	—	0,106
4	—	2,5	10,75	—	0,081
5	—	5,0	21,50	—	0,078
6	Terre de jardin (3.100 gr.).	0,1	0,31	7,37	8,490
7	—	0,5	1,55	7,03	8,950
8	—	1,0	3,10	5,92	7,100
9	—	2,5	7,75	1,40	9,760
10	—	5,0	15,50	0,83	8,050
11	Argile (3.600 gr.).	0,1	0,36	1,96	6,650
12	—	0,5	1,80	1,85	4,390
13	—	1,0	3,60	1,55	2,190
14	—	2,5	9,00	—	0,410
15	—	5,0	18,00	—	0,060

Dans ces expériences, la Moutarde s'est montrée beaucoup plus sensible au sulfate de cuivre, ajouté au sol, que l'Avoine.

La différence d'action du sulfate de cuivre, suivant la nature du sol, autant pour la Moutarde que pour l'Avoine, réside dans le pouvoir d'absorption inégal de ces sols. Le pouvoir d'absorption de ces sols a été évalué en laissant digérer 100 grammes de terre pendant 48 heures avec une solution de sulfate de cuivre et en déterminant la teneur des filtrats en Cu :

100 gr. de terre de jardin.	ont absorbé	1,252 gr.	de sulfate de cuivre
— d'un mélange de terre de jardin et de sable.	—	0,378 —	—
— d'argile	—	0,111 —	—
— de sable.	—	0,000 —	—

Les plantes ont souffert d'autant plus que la faculté d'absorption de milieu était moindre. En cas de mêmes concentrations, les endommagements

étaient moins forts dans la terre de jardin et plus grands dans le sable pur.

Expériences de cultures en solutions aqueuses.

D'après ce que nous avons exposé jusqu'à présent, il est évident qu'il peut se présenter des cas où les combinaisons métalliques, arrivées dans le sol avec la poussière des fumées, peuvent passer en dissolution et exercer une action directe sur les racines des plantes. Les cultures aqueuses sont préconisées pour l'étude des influences de ces solutions sur les racines. De nombreuses expériences ont été effectuées à cet égard par un grand nombre d'auteurs. A. v. Humboldt a étudié, en 1796, l'action des solutions arsénicales sur la germination des graines. En 1864, G. v. Jäger (1) a repris ces études : il en résulte que l'arsenic (et à un degré encore plus fort, l'acide arsénique et l'hydrogène arsénié) est un poison violent pour les plantes, soit qu'il arrive dans le sol en solutions aqueuses, soit qu'on l'applique sur les feuilles. Les racines absorbent le poison dans le sol et le transmettent aux parties aériennes de la plante. L'hydrogène arsénié, mélangé à l'air atmosphérique, tue les plantes tellement vite qu'on n'arrive pas à suivre la marche de l'intoxication.

Fr. Nobbe (2) résume de la façon suivante ses recherches sur l'action de l'acide arsénique sur les plantes dans les cultures aqueuses :

---

(1) Stuttgart, 1869.

(2) *Landw. Versuchsst.*, 1884, 30, 382.

1° L'arsenic est un poison violent qui dérange la végétation même à la proportion de 1/1.000.000 ajoutée à la solution nutritive;

2° L'arsenic ne pénètre que très peu dans les plantes; il est impossible de trouver dans ces dernières des quantités plus ou moins appréciables d'arsenic;

3° L'action de l'arsenic se porte surtout sur la racine, dont il désorganise le protoplasme et empêche les fonctions osmotiques, et, finalement, la racine meurt sans s'accroître;

4° Les parties aériennes se fanent; finalement la plante meurt;

5° Par la diminution de la transpiration (en mettant la plante dans des endroits humides et sombres), on peut arriver à entretenir un certain temps la turgescence, mais on ne peut pas empêcher l'action du poison de se manifester plus tard;

6° Si on soumet les racines de la plante à l'action d'une solution d'arsenic pendant un temps assez court (10 minutes) et si on la remet après dans une solution nutritive normale, l'action du poison se manifeste par un retard de la végétation qui peut être suivi, dans certains cas, de la mort de la plante.

Plus tard, M. J. Stoklasa (1), dans ses recherches sur la signification de l'arsenic dans l'organisme des végétaux, arrive aux conclusions suivantes : « L'action toxique du trioxyde d'arsenic est très prononcée; 1/100.000 du poids moléculaire dans 1.000 cm^3 de

(1) *Zeitschr. f. landw. Versuchsst. in Oesterreich*, 1898, 1, 154.

la solution nutritive provoque un dérangement apparent de l'organisme du végétal. La toxicité du pentoxyde d'arsenic est moins forte; l'intoxication ne s'observe qu'avec 1/1.000 du poids moléculaire. L'action toxique du trioxyde et du pentoxyde d'arsenic se manifeste surtout, chez les Phanérogames, par le dérangement de la fonction chlorophyllienne. La destruction de la molécule vivante dans l'appareil chlorophyllien est beaucoup plus prompte que dans le protoplasme cellulaire ».

MM. Freytag (1), F. Storp (2), A. Baumann (3), R. Otto (4) et beaucoup d'autres expérimentateurs ont prouvé, par les cultures aqueuses, la nocivité pour les plantes des sulfates de zinc, de cuivre, de cobalt, de nickel, de fer, et des oxydes solubles de ces métaux, lorsqu'ils arrivent au contact des racines sous forme de solutions, même très faibles. Mais, dans la pratique, ce cas ne se présente que très rarement, car les combinaisons solubles de la poussière se transforment promptement dans le sol en combinaisons insolubles. Certaines poussières peuvent même trouver une application comme engrais dans l'agriculture.

---

(1) *Jahrb. f. Berg- u. Hüttenwesen im Königr. Sachsen a. d. Jahr 1873*, Abt. 26.

(2) *Landw. Jahrb.*, 1883, 12, 823.

(3) *Landw. Versuchsst.*, 1884, 31, 1.

(4) *Zeitschr. f. Pflanzenkrankheiten*, 1893, 3, 322.

Utilisation agricole de certaines poussières industrielles.

M. Colomb-Pradel (1) a étudié la possibilité d'utiliser comme engrais la poussière provenant de l'usine des Hauts Fourneaux et Fonderies de Pont-à-Mousson. La moyenne des nombreuses analyses effectuées dans le laboratoire de la station agronomique de Nancy donne la composition suivante de cette poussière :

Potasse soluble à l'eau	4,6	p. 100
Potasse insoluble	2,2	—
Chaux (en carbonate)	20,5	—
Acide phosphorique	1,2	—
Acide sulfocyanhydrique combiné	1,0	—
Magnésie, oxyde de fer, alumine, silice	7,0	—
Humidité	28,0	—

Le reste, soit 35,5 p. 100, représente l'acide carbonique, l'acide sulfurique, le chlore et des traces d'iode qui sont combinées aux bases chaux et potasse, plus une assez forte proportion de sulfures. Du reste, la proportion relative de l'acide carbonique domine de beaucoup celle des autres acides (30 p. 100 contre 2 et 3 p. 100 seulement d'acide sulfurique et de chlore). La présence des sulfocyanures (combinaisons dont l'action toxique pour les végétaux est bien connue) semblait proscrire l'emploi de cette poussière comme matière fertilisante. Les essais sur les transformations que subissent dans le sol les sulfocyanures ont montré l'élimination par le sol des ma-

(1) Utilisation agricole d'un résidu industriel. *Ann. de la Soc. agr. fr. et étrang.*, 1899, T. I, p. 287.

tières toxiques : dans une cloche renversée, munie d'une douille et d'un tube à double courbure, on a introduit quelques kilogrammes d'une terre arable quelconque, préalablement mélangée avec 1 p. 100 de poussières potassiques chargées de sulfocyanures. Le contenu de la cloche, arrosé chaque jour, laissait bientôt écouler par le tube, véritable tuyau de drainage, un liquide dans lequel on a retrouvé l'acide sulfocyanhydrique combiné à de la chaux, et une trace de potasse. L'auteur a conclu qu'il suffira d'épandre les poussières potassiques sur le sol un ou deux mois avant les semailles pour être certain que le principe toxique aura disparu, entraîné dans les profondeurs du sous-sol par les eaux de pluie; seuls, la potasse et les autres éléments utiles restent fixés par le sol. Les expériences, en grande culture, ont pleinement confirmé cette manière de voir de l'auteur.

C) *Action de la poussière déposée sur les parties aériennes des plantes.*

Lorsque la poussière des fumées se dépose directement sur les feuilles des plantes, son action nocive est à craindre, de même que dans le sol, mais c'est seulement dans les cas où elle renferme des combinaisons toxiques solubles.

Poussières charbonneuses : Suie.

La suie entre généralement en proportion très élevée dans la composition des poussières industrielles.

Mais la suie pure, c'est-à-dire les particules du charbon non brûlées, est complètement inoffensive pour la végétation. Les expériences de A. Stöckhardt (1) en donnent la preuve. A. Stöckhardt a opéré avec un Pin, âgé de 8 à 12 ans, placé dans une petite serre; en brûlant de la benzine pure, l'auteur a pu développer de grandes quantités de suie de façon que l'arbre prenait un aspect complètement noir. L'opération était répétée 86 fois, mais on ne pouvait remarquer aucun dérangement de la végétation, ni dans la même année, ni dans les années suivantes.

Ainsi, les particules de charbon non brûlées sont sans action sur les plantes; l'action nocive de la suie, telle qu'elle se développe pendant la combustion de la houille, doit être attribuée surtout aux substances goudronneuses et aux traces des acides minéraux libres dont elle est chargée. La suie provenant de la combustion du charbon est formée essentiellement de carbone, de goudron et de matières minérales, avec un peu de soufre et de composés azotés. Elle possède le plus souvent un caractère acide; les analyses de suie montrent de grandes variations dans sa composition, et l'on ne doit pas s'en étonner, car le caractère de la suie doit varier nécessairement avec la nature du charbon et les conditions dans lesquelles le charbon brûle. La suie est le produit d'une combustion incomplète, et elle résulte autant d'un entraînement de poussières par le tirage des cheminées, que de la distillation du combustible; il en résulte

(1) *Thar. forstl. Jahrb.*, 1871, 21, 218.

que les cheminées à tirage puissant, comme celles des usines, donneront une suie renfermant une proportion élevée de cendres, et une proportion minime de matières goudronneuses. La composition de la suie n'est d'ailleurs pas la même à différentes hauteurs de la cheminée.

Dans le livre de MM. v. Schröder et Reuss (1), nous trouvons la composition suivante de la suie provenant de la combustion de la houille :

	London	Glasgow
Charbon	53,18 p. 100	35,7 p. 100
Goudron	18,00 —	15,0 —
Ammoniaque	1,75 —	2,8 —
Alcalis, calcium, magnésium, fer	2,08 —	2,1 —
Phosphate de calcium et argile	2,24 —	3,2 —
Acide sulfurique	7,60 —	7,9 —
Chlore	traces	0,4 —
Sulfocyanures	0,25 —	0,0 —
Acide carbonique	0,70 —	traces
Sable	14,40 —	25,7 —
Eau	2,80 —	7,2 —

MM. J.-B. Cahen, B. S. C., Ph. D., F. R. S., Arthur G. Ruston, etc. (2), donnent la composition comparative du charbon et de la suie des foyers domestiques et des foyers industriels.

	Composition du charbon	Foyer domestique	Foyer industriel Base de la cheminée	Foyer industriel A 21 m.	Foyer industriel A 33 m.
Carbone	69,30	40,50	16,66	21,80	27,00
Hydrogène	4,89	4,37	0,86	1,44	1,68
Azote	1,39	4,09	0,00	1,18	1,21
Cendres	8,48	18,16	75,04	66,04	61,80
Goudron	1,04	25,91	0,09	0,80	1,66
Soufre	1,74	2,99	2,07	2,58	2,84
Chlore	0,27	5,19	0,11	1,46	1,60
Acidité	0,00	0,37	1,33	0,58	0,56

(1) V. Schröder u. Reuss, 242.

(2) La suie et sa composition. *Society of chemical Industry*, 1911, p. 1360.

M. Scheurer-Kestner, dans son travail sur les combustibles, estime que la perte en carbone ne dépasse jamais 1 p. 100, et qu'elle est en moyenne de 1/2 à 3/4 p. 100 pour les foyers industriels.

Sir W. Roberts-Austen, dans les analyses de fumivorité entreprises pour l'Exposition de Londres de 1884, a trouvé comme moyenne de 40 essais de foyers domestiques que la perte ne dépassait pas 6 p. 100. Comme on évalue à 32 millions de tonnes la consommation de charbons domestiques en Grande-Bretagne, et 100 millions de tonnes celle des foyers industriels, la perte totale serait donc de 2.500.000 tonnes de charbon, par la suie, pendant une année.

La proportion de suie existant dans l'air de la ville de Leeds, durant les mois de mai et de juin 1897, paraît être de 0,5 milligrammes par mètre cube, et si l'on suppose une hauteur de 90 mètres et que l'air se trouve renouvelé 100 fois toutes les 24 heures, il en résulte que la quantité de suie mise en décharge pendant ce temps est de 200 kilogrammes par hectare.

En faisant des déterminations analytiques des quantités de suie entraînée, soit par une chute de neige, soit par une chute de pluie, les auteurs cités précédemment trouvent que le dépôt de suie sur la ville de Leeds correspond à 220 tonnes par mille carré, et par année. Selon les sections urbaines envisagées, l'intensité de ces dépôts peut varier de 1 à 24. Un pareil dépôt ne se contente pas de souiller et de noircir les feuilles des plantes, il les couvre d'une

sorte de vernis et provoque les lésions caractéristiques du goudron, dont nous avons parlé dans le chapitre consacré à l'action sur la végétation des vapeurs goudronneuses. En outre, la brume due à cette suie, la brume grasse, comme on dit en Angleterre, absorbe les rayons de soleil, et la diminution de lumière par rapport à la campagne environnante atteint jusqu'à 40 p. 100. Les recherches de M. Oliver (1) ont montré que l'action de ces brumes grasses provoque un ralentissement de la croissance et l'étiolement des plantes, par suite de l'éclairage insuffisant, et d'une intoxication directe des plantes due aux substances goudronneuses de la suie. Ajoutons encore que la suie contient toujours des traces d'acides minéraux libres, qui jouent aussi un grand rôle dans les corrosions des feuilles des végétaux.

Poussières contenant des sels métalliques.

L'action sur la végétation de certaines substances qu'on retrouve dans les poussières industrielles a été étudiée expérimentalement. A. Stöckhardt (2) a saupoudré un Pin âgé de 8-12 ans avec du carbonate de plomb. L'opération fut répétée 86 fois; la santé de l'arbre ne sembla pas être influencée; seulement les aiguilles ont pris une coloration un peu plus claire, et les nouvelles pousses ne se sont pas formées dans

(1) Oliver E. W. On the effects of urban fog upon cultivated plantes. I (*The Journ. of the Roy. Hortic. Soc. London*, 1891, 13, 139); II (*l. c.*, 1893, 16, 1).
(2) *Tharand forstl. Jahrb.*, 1871, 21, 218.

l'année de l'expérience. Dans l'année suivante, l'arbre a donné des pousses vigoureuses et a continué à végéter d'une façon normale.

M. Freytag (1) a saupoudré des plantes avec de l'oxyde de plomb et du sulfate de plomb, mais n'a pas pu constater une action nocive de ces sels de plomb sur la végétation. En outre, M. Freytag (2) a expérimenté de la même façon le blanc de zinc, sur toute une série de plantes, sans avoir constaté un dérangement de la végétation. Les expériences de Pappenheim (3) et de Petry (4) ont confirmé les résultats obtenus par M. Freytag. Ces résultats ne peuvent surprendre, si on se souvient de la très faible solubilité des substances expérimentées.

Il n'en est pas de même avec les substances solubles des poussières industrielles : les sulfates, les chlorures et l'acide arsénique.

M. Freytag (5) a saupoudré le Blé, l'Avoine, les Pois, le Trèfle, la Luzerne avec de l'acide arsénique. L'acide arsénique restait sans action sur les plantes sèches, tandis que, sur les plantes préalablement mouillées, il a provoqué, au bout de 24 heures, la formation de taches d'un jaune brun; plus tard, les feuilles se fanaient et desséchaient.

---

(1) *Jahrb. f. Berg- u. Hüttenwesen i. Königr. Sachsen a. d. Jahr 1875*, Abh. 3.

(2) *Jahrb. f. Berg- u. Hüttenwesen i. Königr. Sachsen a. d. Jahr. 1873*, Abh. 3.

(3) *Verh. d. Ver. z. Vörd. d. Gewerbefl. in Preussen*, 1865, 44, 67.

(4) *Notice sur les émanations des fours à zinc* (cité chez v. Schröder u. Reuss, 14).

(5) *Jahrb. f. Berg- u. Hüttenvesen i. Königreich. Sachsen a. d. Jahr 1875*, Abh. 3.

J. v. Schröder (1) a prouvé aussi l'action indifférente de l'acide arsénique sur les plantes sèches. Lorsque les feuilles ont été humectées, on pouvait observer des corrosions. Le degré des endommagements était plus fort lorsque les plantes étaient exposées à l'action directe des vapeurs solaires ou éclairées que lorsqu'elles étaient mises à l'ombre. Les expériences comparatives avec des jeunes Sapins, des Chênes et des Hêtres, ont montré une plus grande sensibilité du Chêne et du Hêtre pour l'acide arsénique; chez le Sapin, les jeunes pousses ont surtout souffert, les aiguilles âgées se sont montrées très résistantes. D'après v. Schröder, les arbres feuillus les plus sensibles sont les Frênes et les Marronniers, puis suivent le Bouleau, le Chêne, le Tilleul et l'Érable. Extérieurement, les feuilles, après l'action de l'acide arsénique, montrent des taches rouge brunâtre réparties irrégulièrement sur la surface foliaire; dans le cas d'un jeune Hêtre, les corrosions formaient une bande régulière sur les bords de la feuille. Chez les Pins et les Epiceas, les aiguilles portent des taches rouge brun irrégulièrement distribuées; chez le Pin, certaines aiguilles, quelquefois des pousses entières, se fanent et se dessèchent.

Pappenhein (2) a étudié l'action du sulfate de zinc; les solutions de 2 grammes et de 10 grammes de sulfate de zinc dans un litre d'eau n'ont provoqué aucun changement des feuilles de Blé; l'action du sulfate

---

(1) V. Schröder u. Reuss, 18.

(2) *Verh. d. Ver. z. Förder. d. Gewerbefl. in Preussen*, 1865, 44, 73.

de zinc calciné, c'est-à-dire anhydre, répandu sur les jeunes plantes d'Orge, préalablement mouillées, s'est manifestée par le fanage des feuilles, tandis qu'il n'y a eu aucune action pour les plantes sèches. M. Freytag (1) ne put pas observer de dérangement de la végétation sous l'influence du sulfate de zinc et du sulfate de cuivre calcinés; seules, les feuilles de Trèfle, exposées à l'action des rayons solaires, présentaient des taches jaunes brunâtres. Les expériences de J. v. Schröder ont confirmé ces résultats.

Expériences avec les poussières provenant des différentes industries.

E. Haselhoff (2) a eu l'occasion d'expérimenter un très grand nombre de poussières provenant de différentes industries. Ces poussières provenaient en partie de la combustion de la houille dans des machines à vapeur d'une briquetterie, d'une fabrique de produits chimiques, de hauts fourneaux, et en partie de la combustion des lignites dans une usine de potasse, dans une fabrique de produits chimiques et dans une fabrique de briquettes de lignite.

L'analyse chimique a prouvé la présence, dans certains échantillons, d'une proportion assez élevée de chlorures, de sulfures et de sulfates. Pour ses expériences M. Haselhoff s'est servi de parcelles d'une

---

(1) V. Schröder u. Reuss, 20.

(2) Versuche über die Einwirkung von Flugstaub auf Boden und Pflanzen. *Landw. Versuchsst.*, XLVII, S. 157, 1907.

surface de 1 sur 0,6 mètre. L'épandage de ces poussières sur l'Orge et le Haricot a commencé 8 à 14 jours après la levée des plantes. Pendant l'expérience de la première année, les plantes ont été, d'une part, aspergées avec de l'eau, avant l'épandage de la poussière; d'autre part, la poussière fut répandue à sec.

Dans ces expériences, les dégâts se sont manifestés d'une façon beaucoup plus prononcée sur les parcelles qui avaient été préalablement humectées, ce qui s'explique par le fait que, la poussière adhérant mieux aux parties végétales humides, les substances minérales se dissolvent et corrodent les feuilles. Les dégâts ont été moins grands sur l'Orge que sur les Haricots, ce qui doit être attribué au développement plus grand de la surface foliaire chez les Haricots. La plus grande part de la poussière sur les parcelles occupées par l'Orge est tombée sur le sol, et a servi d'une façon directe à favoriser la végétation. Il résulte de ces expériences que les plantes à grande surface foliaire souffrent plus de l'action corrodante des poussières, surtout si cette poussière tombe sur les feuilles humides.

Les expériences ont été reprises l'année suivante avec les seize échantillons de poussières qui avaient agi d'une façon toxique dans les expériences de l'année précédente; en outre, on a expérimenté le sulfure de sodium, le sulfate de sodium et le sulfure de calcium en sels purs, car ce sont les sels qu'on rencontre le plus souvent dans les poussières examinées par E. Haselhoff. Les plantes choisies ont été : les Haricots, le Seigle et les Graminées des prairies.

Ces expériences ont pleinement confirmé les résultats des expériences de l'année précédente et ont prouvé la nocivité de Na^2S, de CaS et de Na^2SO^4. Les plantes, sous l'action de Na^2SO^4, de la CaS et surtout de Na^2S, et de la poussière d'une fabrique de potasse employant des lignites, ont montré une décoloration des feuilles allant du jaune jusqu'au rouge brun; en même temps, on pouvait observer des corrosions, mais qui n'ont eu rien de caractéristique pour les différents sels et poussières.

La récolte a donné les chiffres suivants :

	HARICOT ÉPANDAGE FAIT		Seigle	Herbe
	tôt	tard		
1 0	420,0	357,5	1575,0	1878,0
2 Machine à vapeur d'un haut fourneau. Combustion de la houille.	539,5	483,5	1725,0	1680,0
3 Haut fourneau. Combustion de la houille. .	511,0	465,5	1655,0	1515,5
4 Usine de potasse. Combustion de lignite . .	475,0	402,0	1655,0	1433,5
5 — — — . .	205,5	330,0	1620,0	1397,0
6 Fabrique de produits chimiques	431,5	417,5	1620,0	1460,5
7 — — —	485,0	470,5	1550,0	1462,0
8 Sulfure de calcium	387,0	402,0	1695,0	1545,0
9 Sulfure de sodium	106,0	139,5	1495,0	1506,0
10 Sulfate de sodium	462,0	467,0	1515,0	1440,0

E. Haselhoff attire l'attention sur la manière dont se comportent les Graminées des prairies vis-à-vis des poussières. L'action nocive des poussières se manifeste moins fortement pendant le premier fauchage que pendant le deuxième et le troisième, ce

qui fait penser que l'abaissement de la récolte doit être attribué non seulement à l'action directe des poussières sur les parties aériennes des plantes, mais aussi à l'action sur le sol, en provoquant l'appauvrissement en certains éléments nutritifs.

E. Haselhoff a aussi expérimenté ces poussières par rapport à leur action sur le sol. Les expériences effectuées dans des pots avec l'Orge, les Haricots et la Moutarde ont montré que les poussières suivant leur provenance, c'est-à-dire leur composition, peuvent agir d'une façon favorable ou nocive. L'action nocive se manifeste par le dérangement de la germination et par la gêne de la croissance. Ce sont surtout les poussières provenant des industries utilisant la combustion des lignites qui sont le plus nocives; d'après les analyses chimiques, ces poussières renferment des proportions plus ou moins grandes de NaCl, de CaS, de Na^2S et de Na^2SO^4. L'action nocive de certaines concentrations de NaCl a été prouvée par de nombreuses expériences et ne peut pas être mise en doute.

L'action de CaS, NaS et de Na^2SO^4 est moins connue, mais les expériences de Haselhoff (1) mettent en évidence les propriétés toxiques de CaS et de Na^2S. L'action nocive de Na^2SO^4 dans les expériences de Haselhoff n'a pas pu être prouvée d'une façon certaine.

L'action des sulfures est d'autant plus forte que les conditions du sol sont moins favorables, c'est-à-dire

(1) Versuche über die Einwirkung von Flugstaub auf Boden und Pflanzen. *Landw. Versuchsst.*, LXVIII, 1908, S. 189.

lorsqu'il existe des conditions qui facilitent leur décomposition, suivie de la formation d'hydrogène sulfuré :

$$2CaS + 2H_2O = Ca(HS)_2 + Ca(OH)_2$$
$$Ca(HS)_2 + Ca(OH)_2 + 2CO_2 = 2CaCO_3 + 2H_2S$$

Conclusions du chapitre.

M. E Haselhoff résume de la façon suivante la question de l'action des poussières industrielles sur la végétation :

1° La composition des poussières de différentes provenances varie beaucoup, même dans le cas où il s'agit de la même matière combustible et de la même production; c'est pourquoi, dans tous les cas, la détermination de la poussière est nécessaire;

2° L'action nocive de la poussière peut se manifester par un empêchement de la germination et plus tard par un dérangement de la croissance des plantes;

3° Parmi les substances nocives, il faut citer en première ligne les chlorures (NaCl), les sulfures (Na^2S et CaS) et les sulfates ($NaSO^4$);

4° Dans l'action nocive d'une poussière, il faut distinguer le cas où la poussière arrive dans le sol et agit sur la plante par l'intermédiaire des racines, et le cas où la poussière tombe directement sur les parties aériennes de la plante.

a) Dans le premier cas, c'est surtout le sulfure de sodium qui se montre le plus nocif, puis le sulfure

de calcium. Il faut admettre que l'action nuisible est d'autant plus grande que les conditions du sol sont plus favorables à la décomposition des sulfures et à la formation de H^2S. La grande nocivité de H^2S pour les plantes est bien connue. Le sulfate de sodium en grandes quantités est aussi nuisible pour les plantes, au moins dans certains cas.

La composition des plantes semble être influencée par les poussières : les substances prépondérantes de la poussière, ainsi que l'acide silicique, se retrouvent dans une proportion plus élevée dans les plantes.

b) L'épandage des poussières sur les plantes (de même que de sels purs expérimentés) provoque, suivant la composition de la poussière, la destruction plus ou moins forte de la substance des feuilles et supprime leurs fonctions. Le sulfure de sodium se montre comme le plus nocif, puis vient le sulfate de sodium et enfin le sulfure de calcium.

Les données analytiques montrent que les substances prépondérantes des poussières se retrouvent dans une proportion plus élevée dans les plantes; si une augmentation correspondante de ces substances ne peut pas être découverte dans certains cas, il faut en chercher la cause dans la période de la végétation pendant laquelle l'épandage de la poussière a eu lieu; l'absorption de certaines substances par les plantes dépend de leur état de développement.

Les recherches microscopiques sur les feuilles laissent nettement distinguer l'action destructive de certaines poussières, ainsi que des sels purs expérimentés; mais le microscope ne donne pas de caractères

anatomiques typiques permettant la distinction d'une poussière déterminée.

5° D'après ces recherches, seule l'analyse chimique peut fournir des renseignements sur la nature des facteurs nocifs.

D) *Vapeurs mercurielles.*

A côté des poussières industrielles entraînées avec les fumées, il faut mentionner certaines substances qui s'échappent directement de l'établissement industriel et qui peuvent nuire à la végétation avoisinante. Parmi ces substances, il faut citer les vapeurs de mercure et la soude.

L'influence toxique des vapeurs mercurielles sur les végétaux a été découverte par des savants hollandais vers la fin du XVIIIe siècle (1). Boussingault a repris plus tard ces observations en cherchant à déterminer expérimentalement le mécanisme par lequel la vapeur mercurielle atteignait la vie végétale et la détruisait. Il en concluait que l'effet de la vapeur métallique paraissait se manifester surtout sur le principe, ou, si l'on veut, sur l'organe qui détermine la décomposition du gaz acide carbonique par les parties vertes des végétaux (2).

Des recherches plus récentes ont été faites par J. v. Schröder et C. Reuss (3). Ces savants ont expérimenté avec un Chêne de 33 centimètres de hau-

---

(1) G. Lunge. *Handbuch der Sodaindustrie*, 1893, I, 270.
(2) *Ann. de Chimie*, 4e série, T. XIII, p. 357.
(3) J. v. Schröder u. Reuss, S. 22.

teur portant 22 feuilles, qui a végété dans un pot. L'expérience a duré 3 jours sous une cloche de 25,5 litres; à côté du pot, sous la cloche, se trouvait un verre de montre rempli de mercure et un récipient avec de l'acide sulfurique destiné à absorber la vapeur d'eau. Après trois jours, lorsqu'on a sorti la plante de dessous la cloche, on remarquait l'apparition de taches sombres sur les feuilles; huit jours plus tard, ces taches étaient devenues plus grandes et avaient pris une teinte jaune brunâtre un peu plus foncée sur la périphérie. Ces expériences ont été répétées avec des Pois et de l'Avoine. Après 24 heures d'action des vapeurs mercurielles sur les plantes, on pouvait observer l'apparition des taches jaunâtres sur les bords et les extrémités des feuilles; 12 heures plus tard, les feuilles s'enroulaient sur les bords; 24 heures plus tard, les feuilles de Pois étaient devenues complètement sèches, et celles de l'Avoine tout à fait décolorées.

M. V. Jodin (1), en faisant des expériences de physiologie végétale qui exigeaient des manipulations avec le mercure, a été amené à faire des observations sur ce sujet. D'après cet auteur, une feuille conservée pendant quelque temps dans une atmosphère en contact avec le mercure, est bientôt « mercurialisée », c'est-à-dire qu'elle périt en présentant certaines altérations fonctionnelles caractéristiques qui, si elles ne sont pas exclusivement propres à l'intoxi-

(1) Jodin V. Action des vapeurs mercurielles sur les feuilles. *Annales agronom.*, T. XXII, 1886, p. 563.

cation mercurielle, du moins ne se retrouvent pas nécessairement dans toutes les conditions où une feuille perd son activité physiologique. L'une de ces altérations fonctionnelles est, comme l'a montré M. Boussingault, l'affaissement rapide suivi de l'abolition complète de la fonction chlorophyllienne. En même temps, et peut-être auparavant, deux autres fonctions, la respiration et la transpiration, sont également troublées. La première passe immédiatement dans une phase de plus grande activité; la feuille atteinte respire plus d'oxygène et produit plus d'acide carbonique que la feuille normale. Cette suractivité se maintient un certain temps, puis diminue et tombe au-dessous du taux normal propre à la feuille. Quant à la fonction de transpiration, le trouble qu'elle éprouve paraît consister dans l'abolition plus ou moins complète de l'affinité des tissus de la feuille pour son eau de constitution. On sait que, dans l'état physiologique, une feuille retient son eau de constitution avec une certaine énergie, et qu'elle résiste à l'action desséchante de l'atmosphère beaucoup mieux qu'une surface poreuse de même étendue ou même qu'une membrane organique privée de vie. Pour la feuille mercurialisée, il n'en est pas ainsi; bien que son intégrité anatomique paraisse intacte, elle ne résiste pas plus à l'action desséchante de l'atmosphère qu'une étoffe mouillée ou un morceau de papier buvard. Evidemment, les propriétés de certains éléments primordiaux des tissus : cellules, protoplasme, etc., ont été profondément modifiés par la vapeur mer-

curielle. La tension de la vapeur mercurielle à 0 degré est de 0 mm., 020, et devient 0 mm., 053 à 30 degrés. Il est donc naturellement indiqué que, toutes choses égales d'ailleurs, une feuille plongée dans une atmosphère mercurielle donnera d'autant plus vite les indices de la mercurialisation que la température sera plus élevée. Ainsi une feuille d'*Aucuba japonica* a pu rester exposée aux vapeurs mercurielles 72 heures à la température de 8 degrés sans présenter le moindre symptôme de mercurialisation; il fallut prolonger l'exposition 288 heures pour les faire apparaître nettement; tandis qu'à 25 degrés, il ne faut pas plus de 24 heures. Un litre d'air atmosphérique saturé de vapeur mercurielle à la température de 20 degrés contient tout au plus 0 gr. 00071, mais cette quantité suffit pour produire en quelques heures la mercurialisation complète de 30 grammes au moins de feuilles fraîches. La nature du gaz qui compose l'atmosphère limitée dans laquelle les feuilles sont exposées aux vapeurs mercurielles paraît avoir une grande influence sur la rapidité et la forme de l'intoxication.

En dehors de la température et de la nature du gaz qui compose l'atmosphère, la nature spécifique des feuilles a aussi une très grande influence. Généralement, les feuilles persistantes de consistance coriace résistent mieux que les feuilles annuelles. Et plus généralement encore, les feuilles qui, à l'état normal résistent le plus à la dessiccation atmosphérique, celles, en un mot, qui paraissent avoir la plus grande affinité pour leur eau de constitution,

sont aussi celles qui ressentent le moins les effets du mercure. D'après M. Jodin, « dans la feuille mercurialisée, les cellules, ou en général les organes de ses tissus, sont devenus indifférents à l'eau, aussi impuissants à retenir celle qu'ils ont qu'à emprunter celle des organes voisins restés sains. La circulation est interrompue par défaut de conduction, et l'eau amenée par la tige s'arrête aux cellules mercurialisées devenues incapables de s'en emparer et de la transmettre ».

F. W. Dafert (1) a aussi constaté la très grande sensibilité des plantes vertes pour les quantités minimes des vapeurs mercurielles. La Moutarde et l'Orge doivent être mentionnées parmi les plantes les plus sensibles. D'après le même auteur, les racines ne jouent aucun rôle dans l'intoxication par le mercure : la présence dans le sol, même de quantités élevées de mercure métallique, est supportée par les plantes sans dommage, à la condition que les parties aériennes des plantes reçoivent de l'air exempt de vapeurs mercurielles.

Dans la pratique, les vapeurs de mercure peuvent se former, soit pendant la sublimation du cinabre (HgS), soit pendant le grillage de la blende (2). Dans le voisinage des fabriques de miroirs, il faut aussi tenir compte du dégagement des vapeurs de mercure. Mais, grâce à son poids spécifique élevé, la vapeur de mercure se répand dans un cercle très

---

(1) *Zeitschr. f. Landw. Versuchsw. Oesterreichs*, 1901, 4, 1.
(2) G. Lunge. *Handbuch der Sodaindustrie*, 1893, 1, 270.

restreint et son action nocive pour la végétation se borne au voisinage immédiat de l'usine.

MM. Hilger et v. Raumer (1) ont trouvé dans des salles non aérées d'une fabrique de miroirs 0,60 milligrammes et dans des salles ventilées 0,28 milligrammes de mercure par mètre cube. Ces chiffres montrent que les vapeurs de mercure peuvent être entraînées en dehors et exercer leur action sur la végétation.

E) *Soude.*

L'action de la soude sur la végétation a été étudiée pour la première fois par M. Ebermayer (2). C'est surtout dans le voisinage des fabriques de cellulose qu'on rencontre les endommagements de la végétation par la soude. Dans la fabrication de la cellulose, on emploie la lessive de soude qui agit sous pression sur le bois finement coupé. Pour pouvoir récupérer, au moins en partie, la soude une fois employée, on évapore la lessive et on brûle le résidu qui renferme la lignine, les résines, etc. Les vapeurs qui se dégagent pendant l'évaporation entraînent avec elles des particules de soude en telle quantité que les vapeurs ont une réaction alcaline; après le refroidissement, le carbonate de soude se dépose, sur le sol et sur les plantes, sous forme d'une poudre blanche (3). L'action répétée de la soude est nocive

---

(1) G. Lunge. *Handbuch der Sodaindustrie*, 1893, 1, 270.
(2) *Landw. Versuchsst.*, 1877, 20, 392.
(3) *Arbeiten d. Deutsch. Landw. Ges.*, 1896, Heft 14, S. 29.

pour les plantes : les feuilles deviennent rouge brun, même noir, et meurent quelque temps après.

J. König, M. Bömer et E. Haselhoff (1) ont eu l'occasion d'étudier l'action sur la végétation de la soude provenant d'une fabrique de soude calcinée. La soude, sous forme d'une fine poussière, était entraînée hors de la fabrique par la ventilation, et compromettait gravement la végétation avoisinante, surtout les arbres fruitiers. Les arbres souffraient d'autant plus qu'ils étaient plus proches de la fabrique, et surtout du côté exposé à l'action directe de la soude.

Parmi les cultures des champs, le Seigle, surtout, avait souffert : la paille était jaune et cassante, les épis très courts et en grande partie vide; les grains petits, ridés, les pointes des grains sortant de l'épi noircies.

L'analyse chimique a montré une plus forte teneur des plantes malades en soude que celles des plantes normales. Dans les feuilles et les branches des arbres malades, on observe une augmentation de la quantité des acides minéraux en même temps que de la soude. On peut donc conclure que, sous l'action de la soude, la substance végétale éprouve des changements profonds. Le Seigle malade montre, au contraire, une diminution de la teneur totale en cendres, et surtout en acide silicique, avec une augmentation de la teneur en soude; il paraît que l'action nocive de la soude chez le Seigle se manifeste

(1) *Landw. Jahrb.*, 1892, 21, 407.

par une solubilisation de la silice, ce qui rend les chaumes cassants.

Les analyses du sol montrent que les modifications de la composition de la substance végétale ne peuvent pas trouver leur explication dans les changements de la composition du sol, comme on le voit d'après les chiffres suivants :

Dans la substance sèche privée des matières humiques.

	SOL SAIN		SOL ENDOMMAGÉ	
	Sol p. 100	Sous-sol p. 100	Sol p. 100	Sous-sol p. 100
Calcaire	0,85	9,59	0,96	7,45
Magnésie	0,51	1,82	0,62	1,36
Potasse	0,32	0,19	0,26	0,20
Sodium	0,05	0,03	0,03	0,09
Chlore	0,01	0,01	0,01	0,01
Acide sulfurique .	0,03	0,02	0,02	0,02

M. Ebermayer (1) a étudié l'action nocive de la soude en plongeant les feuilles vertes des arbres fruitiers dans une solution de soude d'un poids spécifique de 1.01. Le feuilles ont séjourné dans la solution un ou plusieurs jours. En sortant de la solution, les feuilles avaient une réaction alcaline fortement prononcée, mais cette alcalinité disparaissait quand les feuilles étaient desséchées à l'air; le long des nervures, le papier de curcuma brunissait faiblement. M. Ebermayer a conclu que la soude pénètre dans la feuille et se combine non seulement aux acides organiques présents, mais aussi à l'acide humique qui se forme par la destruction de sa substance végétale sous l'action de l'oxygène; ce sont

(1) *Landw. Versuchsst.*, 1877, 20, 392.

ces combinaisons qui occasionnent la coloration brune des feuilles endommagées par la soude.

Les recherches effectuées à la station expérimentale de Münster (1) montrent que, sous l'action de la soude calcinée, les feuilles des Céréales présentent des taches sur la surface, et des bords de couleur rouille; les feuilles de Trèfle, de Pomme de terre et des arbres feuillus — des taches brun noirâtre; les aiguilles de Sapin — des taches rouge jaunâtre. La paille et les épis des Céréales acquièrent une coloration jaune d'or; la paille devient plus cassante et les plantes malades se couchent sous l'action du vent, plus facilement que les plantes normales.

La Pomme de terre et le Trèfle se sont montrées comme étant les plus sensibles à l'action de la soude; puis suivent, dans l'ordre de résistance, le Blé, l'Avoine, le Seigle et l'Orge. Les arbres fruitiers se sont montrés très sensibles, surtout au printemps lorsque les feuilles sont encore jeunes.

D'après les analyses chimiques, les produits récoltés présentaient une augmentation de la teneur en soude. Contrairement aux conclusions de MM. J. König, M. Bömer et E. Haselhoff, les expérimentateurs de la station de Münster croient à la possibilité de l'absorption de la soude par les racines, qui s'ajoute ainsi à la soude ayant pénétré dans la plante directement par les feuilles. Les corrosions qu'on observe sur les feuilles des plantes endommagées

(1) *Landw. Jahrb.*, 1892, 21, 407.

présentent une preuve irréfutable de ce mode de pénétration de la soude dans les plantes.

Les expériences de la station de Münster ont montré aussi que l'augmentation de la teneur des plantes en soude est accompagnée d'une augmentation de leur teneur en acides, tandis que les quantités des autres bases restent sensiblement les mêmes; ce sont surtout l'acide sulfurique, l'acide silicique et quelquefois l'acide phosphorique et le chlore, dont la teneur dans les plantes augmente en même temps que celle de la soude. Font exception les épis de Seigle et de Blé dont la teneur en acide silicique diminue; en même temps la quantité de sodium des épis n'augmente que faiblement, et la quantité totale des cendres subit une diminution; les auteurs concluent que l'acide silicique combiné au sodium passe pendant la maturation dans les graines et dans la paille. Le même phénomène, mais à un degré moins prononcé, s'observe dans l'Avoine et l'Orge, mais, par contre, on trouve dans ces plantes une augmentation de la teneur en acides sulfurique et phosphorique. Cette différence chez les Céréales d'été et les Céréales d'hiver peut être, dans une certaine mesure, expliquée par la croissance et la maturation plus hâtive des premières qui ne permettent pas l'émigration aussi complète des substances minérales des épis dans les grains et la paille, que dans le cas des Céréales d'hiver d'une croissance plus lente.

On voit que ces endommagements de la végétation par la soude, provoqués artificiellement, présentent les mêmes caractères que les endommagements dans

la pratique observés au voisinage des installations industrielles et décrits par MM. Ebermayer, König, Bömer et Haselhoff.

F) *Conclusions pratiques.*

Comme nous l'avons vu au cours de cet exposé, les endommagements de la végétation par les poussières industrielles ne sont que rarement à craindre, d'autant plus que la technique actuelle est arrivée à retenir ces poussières et utiliser tous les produits que jadis on laissait se perdre.

On a commencé par tirer parti de la chaleur produite par les gaz du gueulard, en brûlant ceux-ci dans des récupérateurs ou cowpers, qui réchauffent l'air insufflé dans les tuyères; on a tiré parti des laitiers, silicates de chaux, d'alumine, de magnésie, plus ou moins ferreux, qui fournissent un ciment extrêmement apprécié (1).

On a enfin constaté que le pouvoir calorifique du gaz était suffisant pour permettre d'en faire un meilleur emploi que de le brûler complètement dans les cowpers, et, qu'une fois dépensé le volume de gaz nécessaire au chauffage du vent, il en restait assez pour chauffer des chaudières ou alimenter des moteurs à gaz pauvre spécialement construits en vue de leur utilisation. Mais, quand on a voulu brûler les gaz des hauts fourneaux dans les cylindres de moteurs, on s'est heurté à une grande diffi-

(1) Les poussières des hauts fourneaux. *Revue scientifique*, n° 20, 1912.

culté : la présence dans le gaz de poussières entraînées qui gênaient la combustion, obstruaient les tuyauteries et surtout encrassaient très vite les soupapes. Les poussières entraînées atteignent normalement plusieurs grammes par mètre cube. Or, un haut fourneau, produisant 250 tonnes de fonte par jour, donne naissance à 30.000 mètres cubes de gaz utilisable dans les moteurs; en admettant une teneur en poussières de 10 grammes par mètre cube, on voit qu'un tel fourneau produit 300 kilogrammes de poussières par jour. On doit se rendre compte que dans ces conditions l'encrassement doit être rapide. En effet, on a constaté que pour assurer un bon fonctionnement des moteurs, il faut que le poids des poussières ne dépasse pas deux centigrammes par mètre cube. Il a donc été nécessaire d'épurer le gaz. On y est parvenu au moyen de lavages, de passages à travers des tamis, d'entraînement dans une atmosphère humide. Les gaz passent, généralement, successivement à travers un laveur à pluie qui les refroidit, en provoquant la condensation de la vapeur d'eau qu'ils contiennent, et la précipitation d'une partie des poussières; les laveurs rotatifs produisent un véritable barbotage de gaz dans l'eau; des ventilateurs humides lancent les poussières contre des parois en tôle où elle se déposent.

La suppression à peu près totale des poussières dans les gaz des hauts fourneaux n'a pas seulement l'avantage de permettre d'utiliser ceux-ci dans les moteurs, elle a aussi ceux d'améliorer le rendement des cowpers et de rendre plus faciles et moins onéreux

le nettoyage et l'entretien. Tout est donc en faveur de l'épuration.

Mais que faire des résidus? Il faut évacuer ces 300 kilogrammes de poussières produites par jour et par fourneau. M. Franke estime que pour l'Allemagne seule, les poussières entraînées annuellement par les gaz de hauts fourneaux atteignent un poids de 1.500.000 tonnes. Ces résidus ne peuvent être perdus; ils contiennent en moyenne 35 p. 100 de fer, de 8 à 25 p. 100 de coke; ils peuvent donc parfaitement être réintroduits dans le haut fourneau. C'est ce qu'on a fait, mais après avoir moulé les poussières en briquettes résistantes, pour éviter qu'elles empêchent le passage des gaz et gênent le tirage. Il existe actuellement nombre d'installations où on briquette les poussières de hauts fourneaux. On emploie pour cela un agglutinant (la chaux, les chlorures de calcium ou de magnésium, poix de cellulose, etc.). Enfin, il existe un procédé, le procédé Roncey, qui dispense de tout agglomérant, mais qui exige des pressions de plusieurs milliers d'atmosphères. Les briquettes reviennent, selon ce procédé, à des prix compris entre 1 fr. 50 et 2 fr. 50 la tonne, soit beaucoup moins cher que le minerai et le coke qui les constituent. En comptant sur un prix moyen de 15 francs (minerai et coke), c'est une économie de dix-huit millions de francs que représente, pour l'Allemagne seule, l'utilisation des poussières de hauts fourneaux.

Il est intéressant de remarquer que, si ces poussières n'avaient pas été gênantes, on n'aurait sans doute

jamais songé à les récupérer, et que c'est, ici encore, en s'efforçant de tirer le meilleur parti possible d'une nécessité inéluctable, qu'on est arrivé à une amélioration appréciable du rendement des hauts fourneaux, et à une économie sensible en préservant en même temps la végétation avoisinante des endommagements possibles.

CHAPITRE VII

Principes généraux de l'expertise des dommages causés par les fumées et les poussières industrielles.

Les méthodes d'investigation à employer seront les suivantes :

1° *Examen botanique.* — L'examen portera sur les lésions apparentes des différents organes des plantes. Il pourra avoir une valeur très grande dans les cas de lésions aiguës ou très accentuées, sans toutefois pouvoir faire préjuger de la nature de l'agent nocif.

L'examen microscopique des cellules, les modifications du contenu cellulaire, et en particulier, l'accumulation et les modifications de l'amidon, donneront aussi des renseignements intéressants.

2° *Analyse de l'atmosphère.* — Cette analyse devra toujours se faire. Nous renvoyons le lecteur au chapitre II traitant de cette question. Les indications fournies par cette analyse sont d'autant plus importantes que des traces très faibles d'acide sulfureux dans l'air pourraient être considérées comme inoffensives alors que, au contraire, à la longue, elles changent la nature du sol et, partant, nuisent à la végétation.

3° *Analyse du sol.* — Cette analyse présente ainsi une grande importance puisque, indirectement, sous l'action répétée de faibles doses toxiques, le sol change sa composition et devient impropre à la vie des plantes.

Les symptômes les plus apparents seront l'apparition dans le sol d'acide humique libre, et le changement de sa flore bactérienne et de sa flore herbacée.

4° *Analyse chimique des plantes.* — Cette analyse, quelle que soit la méthode employée, fournira toujours des indications précises, en raison de l'accumulation dans les tissus végétaux de l'agent toxique.

Les auteurs recommandent plusieurs méthodes particulières d'analyse. En voici les principales :

I. *Méthode d'incinération.* — Cette méthode consiste dans la détermination quantitative de l'acide sulfurique, du chlore, etc., dans les cendres des organes foliaires des plantes atteintes par les fumées. L'opération d'incinération des parties végétales présente certaines difficultés; pour obtenir une incinération complète, on est obligé de calciner la masse végétale avec de la mousse de platine, du nitrate d'ammoniaque ou d'autres substances accumulant l'oxygène; ou bien on humecte les particules de charbon non brûlées avec une solution de 3 p. 100 d'eau oxygénée, et on les calcine à nouveau après les avoir desséchées dans un bain de sable. L'emploi des températures élevées pour la calcination présente un danger de volatilisation d'une certaine partie du soufre, de chlore, etc.; pour diminuer ces pertes, on humecte la matière à analyser avec une solution

de soude (50 grammes de soude par litre d'eau), à raison de 50 centimètres cubes de cette solution par 10 grammes de matière.

Lorsqu'il s'agit d'analyser les plantes atteintes par l'acide sulfureux ou sulfurique, il est recommandé de n'employer pour la calcination que l'alcool pur, le gaz d'éclairage renfermant toujours des proportions notables de composés sulfureux qui peuvent arriver jusque dans la matière à analyser.

La masse calcinée est lessivée avec de l'eau et versée sur un filtre ne renfermant pas de cendres. Le filtre est brûlé avec le reste des particules charbonneuses retenues; les cendres obtenues sont reprises par un solution d'acide azotique et filtrées. Les deux filtrats sont réunis et peuvent servir à l'analyse.

Le chlore est déterminé par la méthode générale à l'azotate d'argent.

Pour la détermination de l'acide sulfurique, il faut d'abord transformer en sulfates les sulfures de sodium qui se forment en quantités variables pendant la calcination de la masse végétale avec la soude : on ajoute à la solution primitive du permanganate de potasse pour que la solution reste colorée, et on chauffe le tout; puis on y ajoute de l'acide chlorhydrique, on évapore dans un bain-marie, on reprend le résidu par une solution d'acide chlorhydrique, on filtre et on détermine, dans ce filtrat, l'acide sulfurique, d'après la méthode connue au chlorure de baryum.

II. *Méthode des extraits aqueux.* — Certains auteurs, notamment M. Freytag, sont d'avis que les

acides absorbés par les feuilles des plantes s'accumulent dans les cellules sous une forme soluble. Aussi M. Freytag a proposé, pour la détermination de la teneur des plantes en soufre ou en chlore, d'avoir recours aux extraits aqueux des organes foliaires. M. Wieler a vérifié les expériences de M. Freytag et a comparé les résultats obtenus par la méthode des extraits aqueux et la méthode d'incinération :

		Acide sulfurique dans 100 parties de la substance sèche	
		Par la méthode d'incinération avec de la soude	Par la méthode des extraits aqueux
1. Picea	malade.....	0,695	0,664
	sain.....	0,501	0,282
2. Poirier	malade.....	0,404	0,389
	sain.....	0,300	0,449
3. Prunier	malade.....	0,523	0,507
	sain.....	0,420	0,223

Ces expériences montrent une teneur élevée des feuilles malades en acide sulfurique. Les deux méthodes donnent à peu près la même teneur des plantes malades en acide sulfurique, mais avec les plantes saines la méthode des extraits aqueux donne environ la moitié de l'acide sulfurique obtenu par la méthode d'incinération. Ce phénomène reste pour le moment sans explication suffisante; probablement que l'absorption des acides de l'atmosphère contribue à la transformation en sulfates solubles des combinaisons qui sont insolubles dans les feuilles saines.

La seule conclusion qu'on puisse tirer de ces expériences est qu'il est préférable de s'adresser à la méthode d'incinération lorsqu'on veut obtenir des résultats comparables entre eux.

III. *Méthode de distillation.* — Les recherches de M. Wieler ont montré que les organes foliaires des plantes peuvent absorber l'acide sulfureux de l'atmosphère et l'accumuler dans leurs tissus. Ainsi, M. Wieler a proposé de remplacer la méthode de la détermination de la teneur des feuilles ou des aiguilles des plantes malades en acide sulfurique, par celle de l'acide sulfureux. Cette dernière méthode, dont nous avons parlé à propos de l'action de l'acide sulfureux sur les parties aériennes des plantes, consiste à faire distiller la matière à analyser finement coupée avec de l'eau à laquelle on ajoute un peu d'acide phosphorique, qui a pour but de détruire les combinaisons sulfureuses, et met en liberté l'acide sulfureux. La distillation se fait dans un courant d'acide carbonique et l'acide sulfureux entraîné est retenu dans une solution iodée où il s'oxyde en acide sulfurique. La détermination quantitative de l'acide sulfurique se fait sous forme de sulfate de baryum, d'où on obtient par calcul la quantité d'acide sulfureux. Cette méthode a pour avantage de donner la preuve évidente que l'acide sulfureux des organes aériens des plantes provient de l'atmosphère.

La conclusion naturelle de ce travail est la suivante : Sur quelles indications se basera un expert pour apprécier les dommages causés à l'agriculture par une usine quelconque? Devra-t-il accorder la

préférence à telle ou telle méthode à l'exclusion de toute autre, ou devra-t-il, au contraire, accorder à chaque symptôme un coefficient devant entrer en ligne de compte dans le résultat général?

Nous pensons que c'est à ce dernier parti que l'expert doit s'arrêter. Il accordera sans doute une valeur prépondérante à l'analyse chimique des produits attaqués par les fumées, mais il ne devra pas négliger les autres facteurs (sol, atmosphère, examen botanique et micrographique), qui seront une preuve de plus de l'action nocive de ces fumées.

En résumé :

1° Nous avons donné, dans notre travail, un exposé synthétique de la question de l'influence des fumées et poussières industrielles sur la végétation, en réunissant les données bibliographiques aussi complètes que possible.

2° En ce qui concerne les questions qui ont fait l'objet de nos recherches personnelles, elles ont établi nettement l'influence des fumées sulfureuses sur le pollen. Nous avons, en outre, fixé la dose critique qui compromet la réussite de la fécondation.

3° D'un autre côté, nos recherches établissent l'influence des vapeurs sulfureuses sur le rendement en grains des Céréales, et cette conclusion, basée sur

l'expérimentation, est susceptible de fixer le dommage au point de vue agricole.

On trouvera dans chaque chapitre les conclusions générales.

Ce travail a été entrepris sur les indications de M. le Professeur Edmond Gain et sous sa direction. Je suis heureux de lui témoigner ici toute ma reconnaissance pour son bienveillant accueil et pour les excellents conseils qu'il n'a cessé de me donner.

J'adresse aussi mes bien vifs remerciements à M. Brocq-Rousseu, pour son précieux concours et l'aide obligeante qu'il m'a prêtée avec tant d'amabilité.

Proposition de la Faculté :

LES ENZYMES DU LAIT

Vu et approuvé :

Nancy, le 10 février 1913.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

G. FLOQUET.

Vu et permis d'imprimer :

Nancy, le 11 février 1913.

Le Recteur de l'Académie de Nancy,

Ch. ADAM,

Correspondant de l'Institut.

CHAPITRE VIII

Bibliographie

1. Aderholdt. — Karbolineum als Baumschutzmittel. *Deutsche Obstbaumzeitung*. Stuttgardt, 1906.

2. Albert (R.). — Weiche Erfahrungen liegen jetszt über den Einfluss künstlicher Düngung und Bodenbearbeitung im forstlichen Grossbetriebe vor ? In velcher Weise und nach welcher Richtung hin sind Versuche hierüber fernehin anzustellen ? *Zeitschr. f. Forst. und Jagdwesen*, XXXVII, März 1905.

3. Alten (H.) u. Jannicke (W.). — Eine Schädigung von Rosenblättern durch Asphaltdämpfe. *Botan. Zeitung*, 1891, 49, 195; Nachtr. 649.

4. Baltz. — Rauchschaden an Walde. *Deutsche Forstzeitung*, 15 Bd, 1900, S. 150.

5. Barillé (A.). — Effets du goudronnage des routes sur l'homme et sur la végétation. *Horticulture nouvelle*, 1911.

5 *bis*. Barsali (E.). — Sull' effetto dell' incatramatura delle vie a Livorno. *Rivista di Patologia Vegetale*, 5e a., nos 21, 22, p. 321, Pavia, 1912 ; *Bull. Institut international d'agriculture*, Roma, févr. 1913, p. 323.

6. Bömer (M.), Haselhoff (E.), König (J.). — Ueber die Schädlichkeit von Sodastaub u. Ammoniakgaz auf die Vegetation. *Landwirtschaftl. Jahrb.*, 1892, 21, 407.

7. Böhm (J.). — Einwirkung des Leuchtgases auf die Pflanzen. *Sitzungsber. d. Wiener Ak. d. Wiss.*, 16 Okt. 1873.

8. Becker. — Ueber die Erkennung guter und schlechter Karbolineummarke. *Erfurter Führer im Obstgartenbau*, 1907.

9. Betten. — *Neuste Versuche und Erfahrungen mit dem Carbolineum*, etc. Erfurt, 1905.

10. Bokorny et Loew. — Albumine active et tanin dans les cellules végétales. *Flora*, vol. II, n° 1, 20 janvier.

11. Braconnot (H.) u. Simonin (F.). — Ueber die Ausdünstungen der chemischen Fabriken. *Dinglers Polytechn. Journal*, Bd. 108; Abdruck aus *Journal de Chimie médicale*.

12. Borggreve (B.). — Ueber Waldschäden in der Umgebung industrieller Anlagen. *Forstl. Blätter*, 1877, N. F. 6, 49.

13. — Waldschäden im Oberschlesischen Industriebezirk nach ihrer Entstehung durch Hüttenrauch, Insektenfrass, etc. Frankfurt a. M., 1895.

14. — Entgegnung an Herrn Prof. Dr. Ramann. *Zeitschr. f. Forst. u. Jagdwesen*, 1896, 28, 679.

15. — Ueber das Robert Hartigsche Kennzeichen der Rauchschädigung an Fichten. *Zeitschr. f. Forst. u. Jagdwesen*, 1897, 29, 158.

16. — Ueber die Einwirkung der Sturmes auf die Baumvegetation. *Abhandl. d. Naturwiss. Vereins. zu Bremen*, III, 1872.

17. Brown and Morris. — A contribution to the chemistry and physiology of foliage leaves. *Journ. of the chem. Society*, Bd. 63, 1883 transact.

18. Cameron. — The influence of chemical exhalations on Agriculture. *Garden Chron.*, 1874, 2 sér., 1, 274.

19. Cazeneuve (P.). — Ueber die Anwesenheit nitroser Dämpfe in den Verbrennungs produkten der Briquettes für die Heizung öffentlicher Fuhrwerke. *Journ. Pharm. Chim.*, 5e série, 29, 363; *Chem. Centralbl.*, 1894, 1, 1008.

20. Colomb-Pradel. — Sur l'utilisation agricole d'un résidu industriel (poussières des hauts fourneaux). *Ann. de la Science agr. fr. et étrang.*, 1899, p. 287.

21. Coupin (H.). — De l'influence de diverses substances volatiles sur les végétaux supérieurs. *C. R. Ac. Sc. Paris*, n° 23, 1910.

22. — Germination tératologique des grains de pollen. *Rev. génér. Bot.*, 1907, p. 226.

23. Cramer (E.). — Sind Ringofengase schädlich für die umliegende Vegetation? *Chem. Ztg.*, 1899, 23, 211, 249, 320.

24. Crocker (W.), Knight (L. I.). — Effet du gaz d'éclairage et de l'éthylène sur les œillets en fleurs. *Bot. Gaz.*, 46, 1908, n° 4, p. 259-276.

25. Crowther und Ruston. — Influence des impuretés de l'atmosphère des villes sur la végétation (Rapports du Congrès de Sheffield de l'Association britannique pour l'avancement des sciences; résumé). *Revue gén. des Sciences*, n° 22, nov. 1910.

26. Damseaux. — Influence des dégagements d'anhydride sulfureux sur les terres et sur les productions agricoles. *Ann. de la Soc. agr. française et étrang.*, 1896, T. I, série 2, p. 121.

27. Danckelmann. — *Gutachten in Sachsen des Rechtsstreites des Eschweiler Bergwerksvereins gegen die chemische Fabrik Rhenania wegen Beschädigung des Probsteywaldes durch Rauch.* Eberswalde, 6 januar 1883.

28. Danger (L.). — Ueber die Einwirkung des Rauches auf die Vegetation. *Hannov. Land- u. Forstwirtsch. Ztg.*, 1887, n° 22.

29. Dennstedt. — Versuche mit Leuchtgaz. *Zeitschr. f. angew. Chemie*, 1894, 8, 337.

30. Dennstedt u. Hassler. — Einiges über Russ und Rauchplage. *Chemiker Zeitung*, 31 (1907), n° 43, S. 550-551.

31. Detmer (W.). — Ueber die Einwirkung verschiedener Gaze, insbesondere der Stiekstoffoxyduls auf Pflanzenzellen. *Landwirt. Jahrb.*, 1882, 11, 213.

32. — *Manuel technique de Physiologie végétale :* (p. 98) Action des poisons sur les plantes ; (p. 263) Expériences sur la germination des grains de pollen.

33. Drelle (W.). — Fortschritte auf dem Gebiete der Glasindustrie *Chem. Zeitschr.*, 1902, 1, 436.

34. Dubois (R.). — Influence des vapeurs anesthésiques sur les tissus vivants. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 1886, 102, 1300.

35. Ebaugh. — Recherches sur les éléments pernicieux de la fumée des usines. *The Journ. of the American Chemical Society*, 23 (1907), n° 7, 951-970.

36. Ebermayer. Ueber den nachteiligen Einfluss von Cellulosefabriken auf Obstbäume. *Die landwirtsch. Versuchsst.*, 1877, 20, 392.

37. — Ein Beitrag zur Pathologie der Obstbäume. *Biedermanns Centralbl.*, 1877, II, S. 318.

38. Engelmann (W.). — *Untersuchungen über die mechanischen Ursachen der Zellstreckung, angehend von der Einwirkung von Salzlösungen auf den Turgor wachsender Pflanzenzellen.* Leipzig, 1877.

39. Ewart. — On assimilatory inhibition in plants. *The Journal of the Linnean Society Botany*, vol. XXXI, 1896, 411.

40. Fassbender (G.) u. Grevillius (A. J.). — Ueber die Einwirkung von Essigsäure dämpfen und verdünnten Essiglösungen auf Pflanzen. *Die landwirsch. Versuchsst.*, 1899, 52, 195.

41. Fischer (H.). — Verunreinigung der Atmosphäre durch Fabriken und Gewerbe. *Dinglers polytechn. Journ.*, 1876, 220, 87.

42. Frank (A. B.) — *Die Krankheiten der Pflanzen*, 2 Auflage, Bd. I, S. 201, 1895.

43. Frazer. — Causes des dommages à la végétation dans le voisinage d'un grand établissement industriel. *Bi.-Mo. Bul. Amer. Inst. Min. Engin.*

44. Fricke. — Maladies causées chez les plantes des jardins et des champs par les gaz des usines. *Ann. Agron.*, T. 14, p. 332, 1888; *Die Landwirtsch. Versuchsst.*, 34, 277, 1887.

45. Farnsteiner. — Ueber organischgebundene schweflige Säure in Nahrungsmitteln. *Schweiz. Woch. Chem. Pharm.*, 3 Jahrg., 1902, S. 1127.

46. Feist (K.). — Les endommagements de Pin par les gaz industriels. *Ann. d. Pharm.*, 1911, T. 249, pp. 7-10.

47. Freytag (M.). — Ueber die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Vegetation. *Mitteil. d. Königl. landw. Akad. Pappelsdorf*, 1869, 2, 34.

48. — *Wissenschaftliches Gutachten über den Einfluss, welchen die Hüttenwerke der Mausfelder Kupferschiefer bauenden Gewerkschaft in dem Wipperthal zwischen Mausfeld und Hettstedt auf die Vegetation der benachbarten Grundstücke und indirekt auf Menschen und Tiere ausüben.* Eisleben, 1870.

49. — *Wissenschaftliches Gutachten über den Einfluss, welchen die Hüttenwerke der Mausfelder Kupferschiefer bauenden Gewerkschaft in dem Wipperthal zwischen Mausfeld und Heltstedt während des Jahres 1870 auf die Vegetation der benachbarten Grundstücke und indireckt auf Menschen und Tiere ansüben.* Eisleben, 1871.

50. — Wissenschaftliches Gutachten über den Einfluss dess Hüttenrauches bei den fiskalischen Hüttenwerken zu Freiberg auf die Vegetation der benachbarten Grundstücke und ganz besonders auf die Gesundheit der Haustiere, namentlich des Rindviehs. *Jahrb. f. d. Berg u. Hüttenwesen im Königr. Sachsen auf das Jahr 1873*, Abh. 3.

51. — Zweites Gutachten über den Einfluss des Hüttenrauches bei den fiskalischen Hüttenwecken zu Freiberg, etc. *L. c.*, 1875, Abh. 3.

52. — Ueber den Einfluss des Hüttenrauches auf die Vegetation der benachbarten Grundstücke. *Dinglers polytechn. Journ.*, 1877, 208, 235.

53. — Die Schädlichen Bestandteile des Hüttenrauches der Kupfer-Blei- und Zinkhütten und ihre Beseitigung. *Landw. Jahrb.*, 1882, 11, 315.

54. Gain (Edmond) et Brocq-Rousseu. — *Traité des Foins.* J.-B. Baillière, éditeur, Paris, 1912, p. 371 à 378. Influence des fumées industrielles sur les foins. Foins souillés par des produits chimiques.

55. Gatin (C. L.). — Reproduction expérimentale des effets du goudronnage des routes sur la végétation avoisinante. *C. R.*, n° 15, T. 153, 1911.

56. — Influence du goudronnage des routes sur les arbres du Bois de Boulogne. *C. R.*, T. 153, 17 juillet 1911.

57. Gatin (C.-L.) et Futeaux. — Modifications anatomiques produites chez certains végétaux par la poussière des routes goudronnées. *C. R.*, T. 154, 23 novembre, n° 21, 1911.

58. Gerlach (C.). — *Beiträge zur Ermittelung des Holz massenverlustes infolge von Rauchschäden.* Berlin, 1910.

59. — *Die Ermittelung des Säuregehaltes der Luft in der Umgebung von Rauchquellen und der Nachweis seines Ursprunges.* Berlin, 1909.

60. Girardin. — Einfluss von Leuchtgas auf die Promenaden- u. Strassenbäume. *Jahresber. f. Agriculturchem.*, 1864, 7, 109.

61. Graef-Wolfstein. — Ueber Carbolineum. Versuche im Jahre 1906. *Practische Blätter für Pflanzenbau u. Pflanzenschutz*, 1907, p. 27.

62. Grafe u. v. Partheim. — Orientierende Untersuchungen über die Einwirkung von gazförmigen Formaldehyd auf die grüne Pflanze. *Oester. botan. Zeitschr.*, 1909; *Bot. Centralblatt*, S. 184, n° 34, 1909.

63. Griffon (Ed.). — Influence du goudronnage des routes sur la végétation avoisinante. *C. R. d. l'Ac. des Sc.*, p. 1070, n° 23, 5 décembre 1910.

64. Græbner. — Versuche mit Carbolineum. *Gartenflora*, S. 106, 1906.

65. Grohmann (Th.). — Atmungs- und Aetzschäden. *Vortrag Gehalten in Dresden und Tharand*, Dezember 1906, über « Das Wesen der Rauchschäden und deren Bedeutung für die Forstwirtschaft ».

66. — *Erfahrungen und Anschauungen über Rauchschäden im Walde und deren Bekämpfung*. Berlin, 1910.

67. Gruner (H.). — Die arsenhaltigen Böden von Reichenstein in Schl. *Landw. Jahrbücher*, 1911, Bd. XL, S. 517.

68. Guignard. — Influence de l'anesthésie et du gel sur le dédoublement de certains glucosides chez les plantes. *C. R. Ac. Sc.*, 12 juillet 1909.

69. Hagen. — Flurbeschädigung durch Rauchgase. *Zeitschrift. f. angew. Chemie*, 1895, 279.

70. Hart et Peterson. — La teneur en soufre des plantes et les besoins du sol. *Journal of the Amer. chem. Soc.*, T. XXXIII, p. 549.

71. Hartig (R.). — Ueber die Einwirkung schwefliger Säure auf die Gesundheit der Fichte (Vorl. Mitteil.). *Forstlichnaturwiss. Zeitschr.*, 1896, 5, 65.

72. — Ueber die Einwirkung des Hütten und Steinkohlenrauches auf die Gesundheit der Nadelbäume. *Forstlich. naturwiss. Zeitschr.*, 1896, 5, 245.

73. — Berichtigung, die Untersuchungen von Rauchbeschädigungen betreffend. *Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen*, 1896, 28, 680

74. Haywood (I. K.). — Dommages causés à la végétation et à la vie animale par la fumée des usines. *The Journal of the American chemical Society*, 1907, 29, n° 7, p. 998.

75. Haselhoff (E.) u. Lindau (G.). — Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. *Handbuch zur Erkennung u. Beurteilung von Rauchschäden*, Leipzig, 1903.

76. Haselhoff (E.). — Versuche über die Einwirkung schwefliger Säure auf den Boden (Mitteilung der landwirtschaft. Versuchsstation Marburg). *Zeitschr. für Pflanzenkr. Intern. phytopath. Dienst. I*, Stück 3, S. 73, 1908.

77. — Versuche über die Einwirkung schwefliger Säure auf Kupferhaltigen Boden (Mitt. der Landwirtsch. Versuchsst. Marburg). *Zeitschr. f. Pflanzenkr. Intern. phytopath. Dienst. I*, Stück 3, S. 80, 1908.

78. — Versuche über die Einwirkung von Flugstaub auf Boden und Pflanzen. *Landw. Versuchsst.*, XLVII, S. 157, 1907; *Bot. Centralbl.*, 1909, S. 93, n° 30.

79. — Versuche über die Einwirkung von Flugstaub auf Gras. *Landw. Versuchsst.*, B. LXIX, 1908, S. 477.

80. — Einwirkung von Flugstaub auf Pflanzen. *Fuhlings Landw. Ztg.*, 57 (1908), n° 18, SS. 609-615.

81. — Untersuchungen über die bei der Zersetzung des Kalkstickstoffs entstehenden gasförmigen Verbidungen und ihre Einwirkung auf das Pflanzenwachstum. *Landw. Versuchsstat.*, LXVIII, S. 183, 1908; *Bot. Centralbl.*, B. III, n° 7, 1909, S. 175.

82. Hasenclever (R.). — Ueber die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. *Die chem. Industrie*, 1879, 2, 225, 275.

83. — Ueber die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. *Die chem. Industrie*, 1895, 18, 496.

84. Haubner. — Die durch Hüttenrauch veranlassten Krankheiten des Rindviehes im Hüttenrauchbezirke der Freiberger Hütten. *Arch. f. wiss. u. prakt. Tierheilk.*, 1878, 4, 97, 241.

85. Heckel. — Influence des anesthésiques et du gel sur les plantes à coumarine. *C. R.*, 15 novembre 1909.

86. Held. — Dient Karbolineum zur Bekämpfung der auf Obsthölzen vegetierenden Mehltaupilze? *Deutsche Obstbau*, Stuttgart, 1906, S. 119.

87. Hering (C. A.). — *Die Verdichtung des Hüttenrauches*. Stuttgart, 2, Aufl., 1888.

88. Hess. — Ueber die Einwirkung des Steinkohlenrauches auf das Wachstum der Waldbäume. *Forstliche Blätter*, 1874, N. F. 3, 31.

89. Hörig. — « Rauch. Russ. geräusch u. ähnliche Einwirkungen », im § 906 des *Bürgerlichen Gesetzbuches u. die Zivilrechtlichen Ansprüche gegen sie*. Leipsig, 1906, Beit u. Co.

90. Hiltner. — Ueber die Verwendung des Karbolineums in Obst und Weinbau und Landwirtschaft. *Praktiche Blätter für Pflanzenbau u. Pflanzenschutz*, 1908.

91. Hocheder F. et Wilistatter (R.). — L'effet des acides et des alcalis sur la chlorophylle. *Liebigs., Ann. Chem.*, 354 (1907), n° 2, p. 205.

92. Hansens. — Experimentelle Untersuchungen über die Beschädigung der Blätter durch Wind. *Flora*, 93 Bd., 1903.

93. Huppner (O.). — Sind Ringofengase schädlich für die umliegende Vegetation? *Chem. Zeitg.*, 1900, 24, 36.

94. Husson (C.). — Action de la fumée des fours à chaux sur les vignes. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 1876, 82, 1218.

95. Isaachsen (J.). — Ueber das Verhalten der Schornsteingase nach dem Verlassen des Schornsteins. *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleiszes*, 81, 169, Berlin, 1902.

96. Jacobi. — Ueber den Einfluss verschiedener Substanzen auf die Atmung und Assimilation submerser Pflanzen. *Flora*, 1899.

97. Jaeger (G. v.). — *Ueber die Wirkung des Arseniks auf Pflanzen*. Stuttgart, 1864.

98. Jatschevski (A.). — *Applications du carbolineum pour le traitement des arbres fruitiers contre les maladies cryptogamiques*. Saint-Pétersbourg, 1908.

99. Jodin (V.). — Action des vapeurs mercurielles sur les feuilles. *Ann. agronom.*, t. XXII, 1886, p. 563.

100. Jost. — Ueber die Abhängigkeit des Laubblattes von seiner Assimilationstätigkeit. *Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot.*, Bd. XXVII, 1895.

101. Jurisch (K. W.). — *Das Luftrecht in der deutschen Gewerbeordnung.* Berlin, 1905.

102. — *Zwei Denkschriften über Luftrecht.* Berlin, 1910.

103. Just (L.). — *Schädliche Gase u. Flussigkeiten* (I Ber. üb. die Thät. der Grossherzogl. Bad. Pflanzenphys. Versuchsst. zu Karlsruhe im Jahre 1884). Karlsruhe, 1885.

104. — *Die Beschädigung der Vegetation durch schweflige Säure* (III Ber. üb. die Thätigkeit d. Versuchsst.). Karlsruhe, 1887, SS. 50-52.

105. Just (L.) u. Heine (H.). — Zur Beurteilung von Vegetationschäden durch saure Gase. *Die landwirtsch. Versuchsst.*, 1889, 36, 135.

106. Klemm (P.). — Desorganisationserscheinungen der Zelle. *Pringsh. Jahrb.*, 1895, 28, 627.

107. — Beitrag zur Erforschung der Aggregationsvorgenge in lebenden Pflanzenzellen. *Flora*, 1892, H. 3.

108. — Ueber die Aggregationsvorgänge in Crassulaceen Zellen. *Ber. d. deutsch. bot. Ges.*, 1892, Bd. X.

109. — Aggregationsstudien. *Bot. Centralbl.*, Bd. LVII, 1894.

110. Kny. — Einfluss der Leuchtgases auf die Baumvegetation. *Bot. Ztg.*, 1871, 29, 852-868; *Sitzungsber. d. Ges. naturf. Freunde zu Berlin*, 20 Juni 1871; *Der Naturforscher*, 1872, 89.

111. König (J.). — Einfluss von säurehaltigen Rauchgasen auf die Vegetation. *Landw. Ztg. f. Westf. u. Lippe*, 1884, 101; 1885, 10.

112. — Ueber die Bechädigungen von Waldungen durch schweflige Säure. *Landw. Ztg. f. Westf. u. Lippe*, 1877, n° 47; 1879, 5.

113. — *Die Verunreinigung der Gevässer.* Berlin, 1899.

114. König (J.) u. Haselhoff (L.). — Die Schädlichkeit der Stickstoffsäuren auf Pflanzen. *Landwirtsch. Jahrb.*, 1894, 23, 1031.

115. König (J.), Steffeck u. Heine. — Der Schutz gegen Flurbeschädigungen durch gewerbliche Einwirkungen. *Arb. der D. Landw. Ges.*, 1896, H. 14.

116. Kraus (G.). — *Grundlinien zu einer Physiologie des Gerbstoffes.* Leipzig, 1889.

117. Kühl (H.). — Ueber die Einwirkung von Arsen auf die Keimung des Roggens. *Pharmazeutische Zeitung*, 1903, Bd. 48, S. 351.

118. Küster (E.). — Ueber Veränderungen der Plasmaoberfläche bei der Plasmolyse. *Zeitsch. für Botanik*, II, SS. 689-717, 1910; *Bot. Centralbl.*, n° 31, 1911.

119. — Ueber inhalts Verlagerungen in plasmolysierten Zellen. *Bot. Centralbl.*, n° 28, S. 22, 1910.

120. — *Pathologische Pflanzenanatomie.* Iéna, 1903.

121. Lackner (G.). — Gärtherische Plaudereien. *Monatsschr. d. Ver. z. Beförd. d. Gartenbaues in den Kgl. Preuss. Staaten*, 1873, 16.

122. Laubert. — Eine Beobachtung über den Einfluss von Laternen auf Bäume. *Die Gartenwelt*, XII, S. 172, 1908.

123. Lepeschkin (W. W.). — Ueber die Einwirkung anästhesierender Stoffe auf die osmotischen Eingenschaften der Plasmamembran. *Ber. deustch. Bot. Ges.*, XXIX, SS. 349-355, 1911.

124. Lewicki. — *Bericht über rauchfreie Dampfkesselanlagen in Sachsen.* Leipzig, 1896.

125. Leymann (H.). — *Die Verunreinigung der Luft durch gewerbliche Betriebe.* Abdruck aus *Weyls Handbuch der Hygiene*, Iéna, Q. Fischer zusammengestellt.

126. Loew u. Bokorny. — *Die chemische Kraftquelle im lebenden Protoplasma.* München, 1882.

127. Lüty (F.). — Die Beschädigung der Vegetation durch Hüttenrauch. *Zeitschr. f. angew. Chemie*, 1891, 163.

128. Lunge (G.). — *Handbuch der Sodaindustrie und ihrer Nebenzweige*, 2 Aufl. Braunschweig, 1893-96.

129. Mach (E.). — Ueber den Schwefelsäure Gehalt von schwefliger Säure geschädigter Gewächse. *Die landw. Versuchsst.*, 1888, 35, 53.

130. Malz (E.). — Untersuchungen über die Wirkung des Karbolineums als Pflanzenschutzmittel. *Cbl. Bakt.*, 2, XXX, SS. 181-232, 1911.

131. Maquenne et Demoussy. — Le noircissement post-mortal des feuilles. *Revue générale des Sc. pures et appl.*, 15 mars 1910.

132. Mayrhofer (L.). — Ueber Pflanzenbeschädigung, veranlasst durch den Betrieb einer Superphosphatfabrik. *Freie Vereinigung der bayr. Vertreter f. angew. Chemie*, 1892, 10, 27.

133. Merbach (K.). — Die Anlagen zur Unschädlichkeitmachung des Rauches auf den fiskalischen Hüttenwerken bei Freiberg. *Jahrbuch für das Berg- u. Hüttenwesen im Königr. Sachsen a. d. Jahr 1881*, Abh. 42.

134. Michno. — Betrachtungen über Carbolineum. *Prustkauer Obstbauzeitung*, 1906.

135. Mirande (M.). — De l'action des vapeurs sur les plantes. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 21 novembre 1910, n° 21, T. 151.

136. — Les effets du goudronnage des routes sur la végétation. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 16 août 1910, n° 7, T. 151.

137. — Influence exercée par certaines vapeurs sur la cyanogénèse végétale. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 12 juillet 1909, p. 140.

138. — Action sur les plantes vertes de quelques substances extraites de goudron de houilles et employées en agriculture. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 23 janvier 1911.

139. Molisch (H.). — Die Pflanze und die Tabakrauche. *Anzeiger der K. Akad. der Wiss. in Wien*, T. XLVIII, n° 11, S. 20, 1911; *Die Umschau*, 1911, S. 259-264.

140. Mokrzecki. — Du Carbolineum et de son application en agriculture. *Bull. de la Soc. impériale d'arboriculture de Simféropol*, n° 1, 1907.

141. Morren (Ed.). — *Recherches expérimentales pour déterminer l'influence de certains gaz industriels*, etc. London, 1866.

142. Muer (H.). — La détermination du soufre dans les charbons à l'aide du turbidimètre de Jackson. *The Journal of industrial and Engineering chemistry*, vol. III, n° 7.

143. Müller (H. E.). — Recherches sur la valeur fertilisante de l'eau goudronneuse des fabriques de coke. *Ber. über die Tätigkeit der Agricultur chemischen Kontrolstation*, Halle a. S., 1908, S. 71.

144. — *Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden*. Berlin, 1887.

145. Netopil (J.), Fulmek (L.), Wahl (B.), Zimmermann. — Le carbolineum comme préservatif des plantes. *Zeitschr. landw. Versuchsw. Oester*, XII, n° 6, 1909.

146. Nierenstein. — Beitrag zur Kenntniss der Gerbstoffe. *Ber. deutsch. chem. Gesellsch.*, XLII, S. 353-354, 1909.

147. Oliver (E. W.). — On the effects of urban fog upon cultivated plants. *The Journ. of the Roy. hortic. Soc. London*, 1891, 13, 139; *l. c.*, 1893, 16, 1.

148. Orthey. — Mine Versuche mit Karbolineum zur Bekämpfung von Obstbauschädlingen parasitärer Natur. *Der Tropenpflanzer*, 1906, Heft. 3.

149. Ost (H.). — Untersuchung von Rauchschäden. *Chem. Ztg.*, 1896, 20, 165.

150. — Schwefelsäuregehalt der Rauchgase. *Zeitschr. f. angew. Chem.*, 1897, 10, 230.

151. — Die Verbreitung der Schwefelsäure in der Atmosphäre. *Die chem. Industrie*, 1900, 23, 292.

152. Ost (H.), Wehmer (C.). — Zur Beurteilung von Rauchschäden. *Die chem. Industrie*, 1899, 22, 233.

153. Oster. — *Excursion in den Stadtwald von Eschweiler zur Besichtigung der Hüttenrauchbeschädigungen am 5 September 1887*. XVI. Versammlung Deutscher Forstmänner zu Aachen von 4 bis 8 September 1887.

154. Pappenheim. — Bericht über die Zinkhütten in Borbeck und Eppinghoven. *Verhandl. des Vereins zur Beförd. des Gewerbfleisses in Preussen*, 1865, 44, 65.

155. Pfutzner. — Schädliche Einwirkung des Steinkohlen- und Hüttenrauches auf die Holzvegetation. *Jahrb. des Schles. Forstvereins f. 1881*. Breslau, 1882, 33.

156. Partele (K.). — Ueber die Beschädigung von Fichtenwaldbeständen durch Schweflige Säure. *Oesterr. Landwirtsch. Centralbl. Gaz.*, 1891, 1, 27.

157. Prevost (C.). — Beiträge zur Kenntnis der Beschädigung der Pflanzen und Bäume durch Hüttenrauch. *Die Landw. Versuchsst.*, 1888, 35, 25.

158. Ramann (E.). — Ueber Rauchbeschädigungen. *Zeitschr. f. Forst. u. Jagdwesen*, 1896, 28, 551.

159. — Bemerkungen zu den vorstehenden Artikeln. *Zeitschr. f. Forst. u. Jagdwesen*, 1896, 28, 687.

160. Reich (E.). — Ueber die bei aussersächsischen Hüttenwerken beobachteten Wirkungen des Hüttenraucher und die dagegen ergriffenen Massregeln. *Jahrb. f. d. Berg.- u. Hüttenwesen a. d. Jahr 1867*, 129.

161. Rettstand. — Ueber die Einwirkung des Rauches der Silberhütten im Oberharze auf die Waldbäume und den Forstbetrieb. *Allgem. forst. und Jagd. Ztg.*, 1845. 132.

162. Reuss (C.). — Hüttenrauchschäden in dem Waldungen des Oberharzes. *Dinglers polytechn. Journ.*, 1881, 241, 124, 239, 285; *Zeitschr. f. Forst. u. Jagdwesen*, 1881, 13, 65.

163. — *Gutachten über Rauchbeschädigungen in dem von Tiele-Winklerschen Forstreviere Miechowitz-Rokittnitz*, Goslar, 1893.

164. — *Rauchbeschädigungen in dem von Tiele-Winklerschen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz*. Goslar, 1893.

165. Rhode (A.). — Schädigung von Roggenfeldern. durch die einer Superphosphatfabrik entströmenden Gase. *Zeitschr. f. Pflanzenkrankh.*, 1895, 5, 135.

166. Riehl. — Ueber die Klagen zur Abwehr der Belästigung durch Rauch, etc. Sonder abdr. aus : *Beiträge zur Erläuterung des Deutschen Rechts*. Berlin, 1907. Verlag von F. Bahlen.

167. Rösler. — Ein Beitrag zu den Beobachtungen über die schädlichen Einflüsse des Hüttenrauches auf Pflanzen u. Thiere. *Mitteil. d. landwirtsch. Inst. d. Univ.*, Halle, 1865, 179.

168. Rost u. Franz. — *Vergleichende Untersuchungen der pharmokologischen Wirkungen der organisch gebundenen schwefligen Säuren und des neutralen schwefligsauren Natriums.*

169. — *Die schweflige Säuren und ihre Verbindungen mit Aldehyden und Ketonen* (Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte), Bd. XXI, Heft. 2, 1904.

170. Ruolz (M.). — Question des houilles en France et en Angleterre. Paris, MDCCCLXXIII.

171. Rusnow (P. V.). — *Ueber die Feststellungen von Rauchschäden im Nadelwald*. Wien, 1910.

172. Sabachnikoff (V.). — Action de l'acide sulfureux sur les pollens. *C. R. Soc. Biologie de Paris*, janvier 1912.

173. — Action des vapeurs de goudron sur la végétation. *Maladies des plantes*, n°s 1-2, 1911, Saint-Pétersbourg.

174. — Action des fumées de la houille sur la végétation avoisinante. *Maladies des plantes*, n°s 3-4, 1911, Saint-Pétersbourg.

175. Sachs (J.). — Beiträge zur Physiologie des Chlorophylls, *Flora*, 1863, 46, 193, 214.

176. Sandsten (E. P.). — Quelques conditions qui influencent la germination et la fertilité des pollens. *Univers. Wisconsin. Agric. Experim. Station. Research.* Bulletin n° 4, juin 1909.

177. Schröder (J.). — *Gutachten über Rauchschäden im Umkreise der Zinkhütte bei Dortmund.* Hückeswagen F. Welke.

178. — Untersuchungen über Mineralbestandteile des Regenwassers. *Tharander forstl. Jahrb.*, 1877, 27, 68.

179. — Die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen. *Tharander forstl. Jahrb.*, 1872, 22, 185; *l. c.*, 1873, 23, 217.

180. — Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen. *Die landw. Versuchsst.*, 1872, 15, 321; *l. c.*, 1873, 16, 447.

181. — Ueber die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase. *Die landw. Versuchsst.*, 1880, 26, 392.

182. — *Ueber die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase, eine Beleuchtung des Borggreveschen Theorien und Anschauungen über Rauchschäden.* Freiberg i. S., 1895.

183. Schröder (J.) u. Reuss (C.). — *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden.* Berlin, 1883.

184. Schröder (J.) u. Schertel (A.). — Die Rauchschäden in den Wäldern der Umgebung der fiskalischen Hüttenwerke bei Freiberg. *Jahresber. f. d. Berg- u. Hüttenwesen im Königr. Sachsen auf d. Jahr. 1889*, Abh. 93.

185. Schröder (J.) u. Schmitz-Dumont (W.). — Neue Beiträge zur Rauchfrage. *Tharander forstl. Jahrb.*, 1896, 46, 1.

186. Schmitz-Dumont (W.). — Versuch über die Einwirkung von Fluorwasserstoff in der Atmosphäre auf Pflanzen. *Tharander forstl. Jahrb.*, 1896, 46, 50.

187. Schunk (E.) und Brebner (G.). — On the action of aniline on green leaves and other parts of plants. *Ann. of Botany*, 1892, 6, 167.

188. Simon (J.). — Ueber die Einwirkung eines verschiedenen Kupfergehaltes im Boden auf das Wachstum der Pflanzen. *Die landwirt. Versuchsst.*, 1909, B. LXXXI, S. 417-429.

189. Sonnenschein. — Ueber den Einfluss chemischer Fabriken auf die benachbarte Vegetation. *Jahresber. f. Agrikulturchemie*, 1870-72, 13-15, II, 228.

190. Swain (R. E.) et Harkins (W. D.). — Arsenic dans les végétaux exposés à la fumée des usines. *Journal Amer. Chem. Soc.*, Bd. (1908), n° 6, pp. 915-928.

191. Schweinbez. — Von Karbolineum. *Gartenflora*, 1906, S. 22.

192. Storhschein. — Ueber Carbolineum, ein neues Mittel zur Bekämpfung von Pflanzkrankheiten parasitärer Nature. *Der Tropenpflanzer*, 1906, Heft. 3.

193. Sorauer (P.). — Einfluss von Ammoniakgas. *Landw. Jahrb.*, 1877, 6, Suppl.-Heft. II, 213.

194. — *Handbuch der Pflanzenkrankeiten*, 3 Aufl., Bd. I. Berlin, 1909.

195. — Die Beschädigung der Vegetation durch Asphaltdämpfe. *Zeitschr. f. Pflanzenkrankeiten*, 1897, 7, 10, 84.

196. — Durch Asphaltdämpfe geschädigten Rosen. *Zeitschr. f. Pflanzenkrankh.*, 1898, 8, 223.

197. — Ueber die Rotfärbung der Spaltöffnungen bei Picea. *Notizbl. d. Königl. bot. Gart. u. Mus. zu Berlin*, 1898, Nr. 16, 239.

198. — Beitrag zur Analyse rauchbeschädigen Pflanzen. *Landw. Jahrb.*, 1908, SS. 673-711.

199. Sorel. — *La Grande Industrie chimique minérale*, p. 233-250.

200. Sorauer u. Ramann. — Sogenannte unsichtbare Rauchbeschädigungen. *Botan. Centralbl.*, 1899, 80, 50, 106, 156, 205, 251.

201. Spæth u. Meyer. — Beobachtungen über den Einfluss des Leuchtgases auf die Vegetation von Bäumen. *Die landwirtsch. Versuchsst.*, 1873, 16, 336.

202. Stöckhardt (A.). — Ueber die Einwirkung des Rauches der Silberhütten auf die benachbarte Vegetation. *Polytechn. Centralbl.*, 1850, 257.

203. — Untersuchungen junger Fichten und Kiefern welche durch den Rauch der Antonshütte krankgeworden. *Tharander forstl. Jahrb.*, 1853, 9, 169.

204. — Untersuchungen über die schädliche Einwirkung des Hütten- u. Steinkohlenrauches auf das Wachstum der Pflanzen insbesondere der Fichte und Tanne. *Tharander forstl. Jahrb.*, 1871, 21, 218.

205. — Ueber die schädliche Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauches auf das Pflanzenwachstum. *Chem. Ackersmann*, 1872, 24, 111; *Jahresb. f. Agrikulturchemie*, 1870-1872, 13-15, II, 229.

206. Seelænder. — Untersuchungen über die Wirkung des Kohlenoxydes auf Pflanzen. *Bot. Centralbl.*, 1909, S. 468, n° 41.

207. Sendtner. — Schweflige Säure und Schwefelsäure im Schnee. *Bayer. Industrie u. Gewerbeblatt*, 1887.

208. Schmidt. — *Ueber das Vorkommen der Schwefligen Säure im Dörrobst und einigen anderen Lebensmitteln.* Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte 1904, Bd. XXI, Heft. 2.

209. Schröter (E.). — *Die Rauchquellen im Königreiche Sachsen und ihr Einfluss auf die Forstwirtschaft.* Berlin, 1908.

210. Treboux. — Einige stoffliche Einflüsse auf die Kohlensäure Assimilation bei submersen Pflanzen. *Flora*, Bd. 92, S. 69, 1903.

211. Vater. — Der Nachweis von Rauchbeschädigungen durch die chemische Analyse. *Tharander forstl. Jahrb.*, 1897, 47, 254.

212. Verschaffelt (E.). — Sur le degré de résistance spécifique aux poisons. *Ann. du Jard. bot. de Buitenzorg*, 3 suppl. II, p. 531-536.

213. Virchow (R.). — Einfluss von Leuchtgas auf Pflanzen. *Centralbl. f. Agriculturchem.*, 1872, 2, 173; *Jahresber. f. Agriculturchemie*, 1870-1872, 13-15, II, 237.

214. Vehmer (C.). — Ueber einen Fall intensiver Schädigung einer Allee durch ausströmendes Leuchtgas. *Zeitschr. f. Pflanzenkr.*, 1900, 10, 267.

215. Wehmer (C.). — Ueber Färbungen und Flecken der Rosenblätter. *Gartenflora*, 1900, 49, 225, 262.

216. — Wityn (J.). — Les quantités de Cl et de SO^3 entraînées dans le sol avec les précipitations atmosphériques. *Journal d'Agriculture expérimentale*, 1911, v. I, p. 20, Saint-Pétersbourg.

217. Wieler (A.). — Ueber Unsichtbare Rauchschäden bei Nadelbäume. *Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen*, 1897, 29, 513.

218. — Ueber Unsichtbare Rauchschäden und insbesondere über die Einwirkung der Salzsäure auf die Laubbäume. *Zeitschr. f. angewan. Chemie*, 1910, 1035.

219. — Wenig beachtete Rauchbeschädigungen. *Jahresbericht der Vereinigung der Vertreter der angew. Botanik*, 1903.

220. — *Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen.* Berlin, 1905.

221. Wieler u. Hartlieb. — Ueber Einwirkung der Salzsäure auf die Assimilation der Pflanzen. *Ber. d. Deutsch. Bot. Ges.*, 1900, 18, 348.

222. Winkler (Cl.). — Mitteilung über die Versuche zur Beseitigung des Hüttenrauches bei der Schneeberger Ultramarinfabrik zu Schindlerswerk bei Bockau in Sachsen. *Jahrb. f. d. Berg- u. Hüttenwesen im K. Sachsen auf d. T.*, 1880, Abh. 50.

223. — Ueber den Einfluss des Wasserdampfgehaltes saurer Gase auf deren Vegetationsschädlichkeit. *Zeitschr. f. angew. Chemie*, 1896, 370.

224. — *Wirkt die in Unserem Zeitalter stattfindende Massenverbrennung von Steinkohle verändernd auf die Beschaffenheit der Atmosphäre?* Vortrag b. 2. allg. Deutschen Bergmannstag, 1883, in Dresden.

225. Wislicenus (H.). — Resistenz der Fichte gegen saure Rauchgase bei ruhender und bei thätiger Assimilation. *Tharander forstl. Jahrb.*, 1898, 48, 152.

226. — Nachweis der Schwefligen Säure in der Waldluft des tharander Waldes. *Tharander forstl. Jahrb.*, 1898, 48, 173.

227. — Zur Beurteilung und Abwehr von Rauchschäden. *Zeitschr. f. angew. Chemie*, 1901, 689; *l. c.*, 1901, 707.

228. — *Bericht über die 46 Versammlung des Sächsischen Forstvereins zu Eibenstock*, 1901. Freiberg.

229. — *Gutachten für das königl. Sächsische Landgericht Zwikau über Rauchschäden in Wildenfelser Walde* (Als Manuskript gedruckt).

230. — *Ueber die Grundlagen technischer und gesetzlicher Massnahmen gegen Rauchschäden.* Berlin, 1908.

231. Witz (G.). — Sur la présence de l'acide sulfureux dans l'atmosphère des villes. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 1885, 100, 1385.

232. Wolff (E.). — *Die chemischen Forschungen auf dem Gebiete der Agricultur und Pflanzenphysiologie.* Leipzig, 1877, S. 475.

233. Zschokke. — Vom Karbolineum. *Schweizerische Zeitschrift f. Obst- und Weinbau.* Frauenfeld, 1906, S. 177.

Imprimeries Réunies de Nancy.

LES FUMÉES

1927 Le Nouvelliste

Chaque jour, dans l'atmosphère de nos villes, se répandent en abondance des flots de fumées noires contenant de la suie, c'est-à-dire des poussières de charbon et ensuite quantité de gaz nocifs.

Aussi cette question préoccupe beaucoup les économistes et les hygiénistes et on cherche partout le moyen de nous débarrasser de ces causes de nuisance.

L'Angleterre est particulièrement touchée par ce fléau dans toutes ses grandes villes. Aussi y a-t-il eu une réaction et il s'est d'abord formé une ligue dite pour le « smoke-abattement », c'est-à-dire pour la suppression des fumées. Puis le Parlement s'est ému et il a légiféré.

En France, de timides essais ont été ébauchés pour combattre ce fléau et Paris s'est ému à son tour. Mais si le conseil municipal fait appel aux inventeurs pour trouver des appareils qui brûlent complètement le charbon et suppriment ces déversements dans l'atmosphère, jusqu'ici tout s'est borné à l'affichage, sur les murs de la capitale, d'un arrêté préfectoral, qui n'a à peu près rien changé à la situation.

Enfin, la Chambre française s'est occupée aussi de la question et elle voudrait bien faire quelque chose d'utile, mais bien grand est son embarras pour trouver des prescriptions qui soient pratiques.

Heureusement, les industriels sont aussi intéressés que les hygiénistes et l'Etat, car il y a là un gaspillage important et le problème économique est ici heureusement d'accord avec le problème hygiénique.

Mais ceux qui ne réfléchissent pas et qui n'ont pas cherché à évaluer le degré de pollution de l'air, ne manqueront pas de nous objecter que ces fumées répandues dans l'atmosphère ne sont que relativement minimes et que la perte de combustible n'est pas assez importante pour nous inquiéter.

C'est une erreur, et l'observation comme l'expérimentation nous montrent l'étendue du problème économique, et nous voulons y insister pour que l'on ne vienne pas nous opposer les dépenses qu'il faudrait faire pour arriver à supprimer ces fumées qui nuisent à notre santé.

***

Il paraît que c'est la ville de Pittsburg, en Amérique, qui détient le record et il y tombe, chaque année, 1.031 tonnes de suie par mille carré, ce qui correspond à peu près à un demi-kilo par mètre carré.

En Angleterre, la quantité est un peu moindre, bien que encore très respectable, elle atteint 539 tonnes à Leeds et 820 à Glascow.

Le récent rapport de la commission du charbon en Angleterre estime à 3 millions de tonnes le poids de la suie déversée chaque année sur le pays, et il calcule que ce gaspillage, ce charbon perdu correspond au rendement de trois journées de toutes les mines de houille de l'Angleterre.

Un million d'hommes travaillent ainsi, chaque année, pendant trois jours pour arriver à répandre de la suie sur le pays et à nuire à la santé publique.

Il est évident que la quantité de fumée produite varie avec la qualité du charbon et c'est le charbon gras qui donne le plus de suie.

Les industriels ont étudié la question, mais la solution n'est pas trouvée. On a cru qu'il y avait intérêt à brûler du charbon pulvérisé, on arrive ainsi à supprimer les fumées, mais ce mode de chauffage donne de 20 à 30 % de cendres et une partie importante des plus ténues de ces poussières sont entraînées dans l'atmosphère, et les inconvénients, pour être moins tangibles, ne sont pas moindres.

Ainsi, Bordas nous affirme que certaines cheminées d'usine rejettent jusque 1.500 kilos de cendres à l'heure et, dans la banlieue de Paris, il a observé une usine qui rejette dans l'air et répand sur les terrains situés à proximité jusqu'à 1 kilo 50 de poussières par mètre carré et par mois, c'est-à-dire près de 20 kilos par an.

Puis le gaspillage ne consiste pas uniquement à répandre de la suie dans l'air, comme les dangers pour la santé ne sont pas seulement occasionnés par les poussières. Il y a encore les gaz nocifs produits par la combustion de la houille et qui, récupérés, auraient une très grande valeur.

***

Gautier avait estimé à 3 millions de tonnes le charbon que la ville de Paris consomme chaque année ; il est probable que ce chiffre devrait être aujourd'hui bien augmenté, presque doublé, car les usines se sont multipliées de façon surprenante dans la banlieue de Paris.

Mais, en conservant ces chiffres pour ne rien exagérer, Bordas nous dit que Paris répand, chaque année, dans l'atmosphère :

13.000 tonnes de benzol ;
27.000 tonnes d'huiles lourdes ;
44.000 tonnes de brai.

Pour la France entière, les chiffres deviennent :

55.000 tonnes de benzol ;
110.000 tonnes d'huiles lourdes ;
176.000 tonnes de brai.

On pourrait encore y ajouter des dérivés du soufre, comme l'acide sulfurique qui est particulièrement nocif et qui n'est pas sans valeur.

La commission anglaise du charbon estime que nous n'utilisons guère que 10 % de la valeur énergétique du charbon brut, et nous en gaspillons 90 %, alors qu'il serait possible de récupérer 25 % de cette perte. Mais le problème des fumées qui polluent l'atmosphère est infiniment compliqué et beaucoup de gens, en lisant ce qui précède, seront tentés de dire : c'est la faute des usines et il faudrait leur imposer des appareils spéciaux.

C'est encore une erreur, et s'il n'y avait que cela on pourrait espérer une solution assez rapide.

Sans doute, quand, à certaines heures, une haute cheminée d'usine vomit des fumées noires, on est tenté de dire qu'il faudrait supprimer cela, car c'est bien désagréable.

Mais on ne réfléchit pas et on oublie qu'à côté de cette unique cheminée d'usine il y a des milliers de petites cheminées d'appartement, qui répandent, toute la journée, leurs fumées, sans jamais s'arrêter.

On dira que c'est peu de chose, mais ici encore on fera une erreur, car on oubliera que ce sont toujours les petits ruisseaux qui font les grandes rivières.

Métivier a calculé qu'avant-guerre on utilisait, pour les usages domestiques, en France, 12 millions de tonnes de charbon par an, soit 18,5 % de la quantité totale.

C'est donc là un cinquième de la consommation totale dont les usages industriels utilisent quatre cinquièmes, mais, comme les particuliers ne se servent que de procédés très primitifs de combustion, ce sont eux surtout qui empoisonnent et enfument l'air des villes.

La Ligue pour le « smoke-abattement » a fait des recherches très précises et elle a démontré que la souillure de l'air était de 1 pour les usines contre 5 pour les usages domestiques. Quand, chaque année, les usines versent sur l'Angleterre 500.000 tonnes de suie, les foyers domestiques en déversent 2.500.000.

Le problème n'est cependant pas complètement insoluble et, si on ne peut pas supprimer complètement les fumées, on peut tout au moins les diminuer, comme le démontre le tableau suivant, donné dans un rapport récent de John Kersaw, cité par de Boissezou :

CHUTE DE POUSSIÈRES ET DE SUIE EN TONNES MÉTRIQUES PAR 100 KILOM. CARRÉS

VILLES	ANNÉE 1921-22	ANNÉE 1922-23
Londres	13,865	11,736
Glascow	9,950	9,930
Kingston upon Hull	16,008	15,444
Newcastle	21,343	16,746
Liverpool	20,912	24,981
Rochedale	20,419	29,692
Rhotamsted	7,213	3,438
Saint-Helens	15,117	15,134
Southport	7,308	5,637

On voit que, dans certaines villes, la souillure augmente, tandis que, dans d'autres, elle a beaucoup diminué.

Supprimer les fumées, ce serait donc déjà une grande économie, surtout au prix où est actuellement le charbon et ce serait un avantage pour la santé publique, nous le montrerons dans un prochain article.

Docteur G. LUMIÈRE.