

COUVERT FORESTIER ET MANTEAU NEIGEUX

**Réflexions
sur quelques Expériences Etrangères
et Programme d'Etudes**

PAR

L. de CRECY

Ingénieur des Eaux et Forêts à Grenoble

COUVERT FORESTIER ET MANTEAU NEIGEUX

Réflexions sur quelques expériences étrangères et programme d'études

L'homme a construit des retenues artificielles pour satisfaire des besoins toujours croissants en eau et en énergie. Mais la nature connaît le secret d'une mise en réserve en altitude d'un stock hydraulique incomparablement supérieur à celui que peuvent retenir les barrages des ingénieurs : il lui suffit d'accumuler cette eau en hiver sous forme de neige ou de glace.

Il était tentant pour l'homme d'utiliser à son profit ces réservoirs naturels. La difficulté est que, à première vue, l'homme n'est maître ni de fixer la quantité d'eau ainsi retenue, ni de déclencher à sa guise sa mobilisation progressive par la fusion.

Il ne peut en effet agir ni sur le climat, ni sur le relief, ni sur l'exposition des pentes enneigées. Par contre, en dessous de la zone alpine, il peut avoir une action sur la couverture végétale qui n'est pas sans influence sur l'accumulation, et sur le rythme de fusion de la neige. D'où l'intérêt pour lui de mieux connaître les lois par lesquelles l'épaisseur et la durée du manteau neigeux sont régies par le couvert forestier.

Les questions qui peuvent se poser sont celles-ci :

1) Comment parvenir à un écoulement maximum à partir de la fusion de la neige ?

et en particulier :

a) peut-on maintenir un écoulement régulier tout au long de la période hivernale ?

b) comment aboutir en fin d'hiver à un stock nival maximum ?

2) Comment contrôler la mobilisation de ce stock par la fusion ?
et en particulier :

a) Comment retarder au maximum le début de la période de fusion puisque les besoins des plaines en aval vont croissants au fur et à mesure que la saison s'avance vers l'été ?

b) comment étaler cette période de fusion sur le plus grand laps de temps afin d'éviter les crues subites, génératrices d'inondations, ou les à-coups nuisibles et onéreux dans l'alimentation des barrages?

Ces questions ont depuis longtemps préoccupé les techniciens de l'aménagement des bassins versants et ont fait en particulier aux U.S.A. l'objet d'une abondante littérature depuis le début du siècle

PREMIÈRE PARTIE

Expériences étrangères et françaises

I. — DONNÉES ANCIENNES

Le retard à la fusion de la neige sous bois a été évoqué par HUFFEL dans son *Economie Forestière* (Tome I, page 112) où il affirme qu'il est de 15 jours ou même de 1 mois par rapport au terrain découvert.

P. HARLÉ semble être le premier en France à avoir rendu compte de mesures systématiques sur cette question (*Revue des Eaux et Forêts*, année 1933, p. 249-256). Il est dommage que ses expériences n'aient pas été reprises sur des bases plus rigoureuses et plus étendues dans notre pays, car ses conclusions, nuancées, sont fort intéressantes.

Elles se résument ainsi :

1) le sol forestier reçoit moins de neige que le terrain nu avoisinant en raison de la rétention de la neige par les houppiers. Le déficit serait de l'ordre de 20 % en forêt résineuse.

2) en milieu froid (exposition Nord, ou fond de vallée à l'abri du vent), la fusion n'est pas retardée par le couvert forestier, elle serait même accélérée à cause de l'écran qu'oppose le houppier au rayonnement de la surface du manteau neigeux.

3) en milieu chaud (exposition ensoleillée) ou venté, la forêt, en diminuant les possibilités d'échange thermique sous son couvert retarde, au contraire, assez nettement (8 jours sous résineux dans les Pyrénées) la date de fin de fusion.

4) les peuplements résineux agissent dans le même sens que les peuplements feuillus mais de manière beaucoup plus énergique, et ce d'autant plus que le couvert est plus dense.

Aux Etats-Unis, la question est étudiée également depuis fort longtemps. Nous emprunterons à Wilm (*Transaction American Geophysical Union* 1948) une rapide et très incomplète revue des Recherches Américaines dans ce domaine jusqu'à la dernière guerre mondiale.

CARPENTER (1901) trouve, sur photographies, plus de neige en forêt qu'en plein découvert.

CHITTENDEN (1909) affirme que la fusion est plus précoce en terrain découvert, mais plus brutale en forêt jusqu'à y donner lieu à des crues dangereuses.

Les expériences du Wagon Wheel Gap aux sources du Rio Grande au Colorado donnent les premiers résultats chiffrés; après le déboisement brutal d'un petit bassin, l'écoulement au cours de la période de fusion augmente de 20 %. Le commencement de la crue de printemps du vallon déboisé est avancé de 12 jours, mais la date de l'écoulement de pointe ne l'est que de 3 jours.

CHURCH estime que le peuplement idéal pour une rétention maximum de la neige est une forêt claire comme par exemple une futaie de montagne très clairsemée de *Tsuga heterophylla*.

GRIFFIN (1918, JEWIK et FOERSTER (1925) trouvent plus de neige en fin d'hiver sur terrain nu, mais également une fusion plus rapide.

CONNAUGHTON (1935) chiffre comme suit la valeur en eau du stock de neige de fin d'hiver: pour 100 en terrain nu, il y a:

sous broussailles	100,9 %
sous régénération de <i>Pinus Contorta</i>	94,6 %
sous futaie de « Virgin pine » :	
sans régénération	75,5 %
avec régénération:	70,2 %

Le retard de la date de fin de fusion par rapport au terrain découvert est dans chaque type de boisement respectivement de 0,8, 3,5 et 8 jours.

NAULE (1934) trouve le plus grand stock neigeux de fin d'hiver en terrain nu, puis, dans l'ordre des valeurs en eau décroissantes dans différents peuplements de feuillus à feuilles caduques, dans des forêts de *Tsuga Canadensis*, de Pin Weymouth, de *Pinus resinosa* et enfin de *Picea excelsa*.

Pour la première fois MAULE note l'effet de *lisière* par lequel les peuplements résineux lui semblent favoriser l'accumulation de la neige dans les terrains nus ou les peuplements feuillus immédiatement voisins. Il recommande donc, en vue d'un stock maximum de neige au printemps, l'alternance dans les plantations d'une ligne ou d'une bande feuillue avec une ligne ou une bande résineuse.

FORSLING (1941) récapitule ainsi les connaissances acquises:

« En forêt résineuse dense, le stock est moindre, le gel du sol « modéré, la fusion de la neige lente. Sous peuplement feuillu et « en forêt résineuse clairière la neige est plus épaisse et le sol

« ne gèle pas ou gèle au minimum, la vitesse de fusion est modérée. Pour les zones découvertes, l'épaisseur de la neige est intermédiaire, le gel du sol est maximum, la fusion de la neige est rapide ».

On disposait donc aux U.S.A. avant la seconde guerre mondiale d'un certain nombre de résultats intéressants mais disparates et pas toujours concordants.

C'est à l'équipe de chercheurs américains dont les résultats ont été publiés par WILM que l'on doit la première série complète d'expériences systématiques sur la question.

II. — EXPÉRIENCES DE WILM

A. — *Effet du couvert forestier*

L'auteur opère dans une forêt de haute altitude (2 700 à 3 300 mètres) dans le Colorado. C'est une forêt encore non exploitée de *Pinus Contorta* avec, comme essences subordonnées *Picea Engelmannii* et *Abies Lasiocarpa*. Le peuplement a de 20 à 22 mètres de hauteur et semble assez lâche, puisqu'il ne compte que 150 m³ de bois marchand à l'ha (plus de 25 cm de diamètre à hauteur d'homme).

A partir du 1^{er} mars des années 1938 et 1939, on mesure chaque semaine à la perche et à la sonde la hauteur et la valeur en eau de la neige à l'emplacement de 500 perches réparties à raison de 25 par placette dans 20 placettes de 2 ha chacune, sous des pentes et des expositions variées (sauf l'exposition Sud).

L'auteur étudie les variations :

a) d'une part de la valeur en eau maximum atteinte par la neige à l'emplacement de chaque perche.

b) d'autre part d'une quantité qu'il appelle « storage duration index » ou « indice de durée du stock » et qui est la somme des valeurs en eau du stock neigeux mesuré chaque semaine à chaque perche depuis le début de la période de fonte jusqu'à la date de la fin de la fusion.

Il constate :

a) un accroissement régulier du stock de fin d'hiver depuis le pied des arbres jusqu'à environ 18 mètres à l'extérieur de la projection de la couronne des arbres, accroissement qui valait en moyenne 5,66 mm d'eau par mètre.

b) un accroissement également régulier de « l'indice de durée de stock » dans les mêmes conditions à raison de 20,86 mm d'eau par mètre.

c) une accumulation de neige de l'ordre de 25 à 30 % seulement plus forte aux expositions N-E qu'aux expositions S-E (la différence en terrain découvert étant bien supérieure).

d) une influence nulle ou non significative de la pente du terrain et de la différence d'altitude entre la perche et la crête qui la domine, ce qui tend à prouver que l'influence du vent (effet de corniche) serait négligeable en forêt.

A partir de 1940 on exploite 16 des 20 placettes d'expériences : dans 4 d'entre elles on coupe tout le bois marchand de plus de 25 cm de diamètre à hauteur d'homme. Dans 4 autres on laisse sur pied 25 m³ de bois marchand à l'hectare, dans 4 autres on laisse 50 m³ et dans 4 autres 75 m³. Quatre parcelles témoins restent inexploitées.

Les mêmes mesures de hauteur de neige sont poursuivies dans toutes les parcelles. L'auteur donne les résultats inclus dans le tableau suivant, complétés par l'indication des précipitations liquides recueillies au niveau du sol pendant la période de fusion qui s'ajoutent donc à l'eau mis à la disposition de l'écoulement :

Réserves sur pied du peuplement en bois marchand (m ³ /ha)	150 m ³ (non coupé)	75 m ³	50 m ³	25 m ³	0 m ³
Valeur en eau (mm) du stock de neige maximum en fin d'hiver	193,0	213,6	218,7	230,9	243,6
Précipitations liquides (en mm) pendant la période de fusion	145,5	172,7	178,0	175,8	192,0
Total de l'eau mobilisée pendant la période de fusion (mm)	338,5	386,3	396,7	406,7	435,6

L'auteur conclut à une différence de 97,1 mm d'eau en faveur de la coupe brutale par rapport au peuplement forestier primitif.

Il ajoute que la date de fin de fusion fut la même dans tous les modes de traitement.

Nous aurons l'occasion de regretter que les mesures d'enneigement n'aient commencé que le 1^{er} mars de chaque année. Cela revient à admettre implicitement qu'il n'y a pas d'écoulement liquide appréciable au sol pendant la période hivernale. Nous verrons que la chose peut être discutable. Au surplus, des placettes expérimentalement déboisées sur 2 ha seulement au milieu d'une forêt restent soumises aux influences forestières et peuvent être considérées comme des clairières.

B. — *Effet de lisière et de clairière*

Dans une autre série d'expériences un peu plus récentes, Wilm étudie l'influence sur l'accumulation de la neige des trouées et des clairières.

Dans un peuplement jeune et homogène de *Pinus Contorta* de 5 à 7 mètres de haut, il pratique des trouées circulaires de diamètre variable et mesure le stock neigeux de fin d'hiver au centre de la trouée.

En portant en ordonnée la valeur en eau de la neige en fin d'hiver au centre de la trouée et en abscisse le diamètre de celle-ci, mesuré depuis le pied des arbres de lisière, il obtint une courbe d'abord régulièrement croissante qui passe par un maximum pour un diamètre de la trouée sensiblement égal à la hauteur totale des arbres puis redescend lentement pour tendre, asymptotiquement, vers la valeur du stock neigeux de fin d'hiver en terrain découvert.

Nous pouvons donc déjà tirer de ces conclusions une règle pour l'espacement de bandes résineuses supposées plantées en vue d'une accumulation maximum de neige : Cet espacement doit être égal ou supérieur (de 2 à 3 fois) à la hauteur totale des arbres composant la bande boisée.

C. — *Effet des types de boisement*

Dans une dernière série d'expériences, Wilm compare les stocks neigeux accumulés en fin d'hiver sous différents types de boisement, soit :

- a) un terrain nu de 1,89 ha lisières exclues ;
- b) un jeune peuplement de tremble de 2,34 ha ;
- c) un jeune peuplement résineux de *Pinus contorta* de 3,05 ha.

Les résultats sont :

- a) une accumulation équivalente sous tremble et en terrain découvert, de 20 à 25 % inférieure sous régénération résineuse ;
- b) une date de début de fusion équivalente dans les 3 parcelles ;
- c) une date de fin de fusion nettement décalée : 9-10 mai en terrain nu, 13-14 mai sous tremble, 17 mai sous *Pinus contorta*.

Nous retiendrons des expériences de Wilm les principaux résultats suivants :

- 1) le stock neigeux maximum de fin d'hiver est accumulé en terrain nu, ou sous forêt feuillue, il est moindre sous forêt résineuse et d'autant plus faible que la forêt est plus dense.

2) la rapidité de fusion est maximum en terrain nu et diminue si l'on passe en forêt feuillue, puis en forêt résineuse claire et enfin en forêt résineuse dense.

3) les clairières et les lisières des peuplements résineux favorisent des accumulations neigeuses supérieures à celles des terrains nus ou des bois à feuilles caduques sur l'ensemble des points situés à l'extérieur de la lisière et à une distance de celle-ci allant de la moitié au double de la hauteur du peuplement abri.

On voit qu'on rejoint à peu de choses près les règles énoncées par FORSLING.

III. — EXPÉRIENCES FINLANDAISES

Un ensemble d'expériences finlandaises relatées par M. SEPPANEN (colloque de Münden, 8-14 sept. 1959, Tome I, vol. 1), a précisé les règles de l'accumulation neigeuse sous forêt résineuse dense de plaine dans les régions scandinaves.

Les expériences sont menées dans différents peuplements de plaine à base de Pins sylvestres. Une importante fraction de chutes de neige de l'automne est retenue par les houppiers. On constate qu'à partir de février cette neige a disparu, par fusion, par sublimation et surtout par simple chute sur le sol. C'est donc après février qu'on mesure l'accumulation maximum de neige au sol. On constate que, jusqu'à une densité de 400 tiges à l'hectare, l'accumulation diminue quand la densité croît, en raison des pertes qui se produisent au niveau des houppiers. Par contre au delà de 400 tiges à l'hectare, l'augmentation du couvert, qui protège la neige au sol contre les agents atmosphériques provoque une augmentation plus faible mais sensible du stock neigeux.

On peut donc être tenté de compléter la première règle que nous avons tirée des expériences de Wilm en remarquant que l'augmentation de la densité du couvert des peuplements résineux ne fait diminuer le stock neigeux de fin d'hiver que jusqu'à un certain minimum, correspondant au couvert de 400 Pins sylvestres à l'hectare, au delà de quoi l'accumulation neigeuse remonte faiblement, tout au moins sous le pin sylvestre en forêt de plaine.

IV. — ETUDES SOVIÉTIQUES

Les études soviétiques sur le même sujet confirment en général les résultats précédents et notamment la supériorité des forêts feuillues en ce qui concerne l'accumulation neigeuse. Elles montrent en période de fusion une disparition journalière moyenne de 14 mm d'eau en terrain nu, de 9,5 mm en forêt claire, de 5 mm en forêt dense de pins, de 3 mm en forêt de sapins. Elles montrent égale-

ment une évaporation faible dans les clairières de faible dimension (0,25 à 1 ha), ce qui confirme ce que nous savons sur l'accumulation maximum dans les trouées.

Mais d'autres résultats statistiques russes paraissent plus surprenants.

Une communication de V.V. RAKHMANOV à l'assemblée générale de Toronto de l'U.G.G.I. en 1957, expose en effet les résultats de mesures de stocks neigeux dans 90 stations dans la partie européenne de l'U.R.S.S. et dans l'Ouest Sibérien. Ces statistiques font apparaître un stock nival en fin d'hiver qui, loin d'être moindre en forêt qu'en terrain nu, est dans l'ensemble supérieur de 18 % dans les régions boisées, par rapport aux plaines nues, cette supériorité étant de seulement 7 ou 8 % pour les forêts résineuses, mais montant à 25 ou 27 % pour les forêts à feuilles caduques ou les forêts mixtes.

L'avantage considérable de la forêt serait accentué par des conditions atmosphériques largement perturbées au cours de l'hiver, il serait au contraire moindre en cas de chutes de neige par temps calme, et persistance hivernale de longues périodes froides.

Par contre, au moment de la fusion, un temps très perturbé ferait fondre toutes les neiges à peu près en même temps, la forêt n'ayant un retard que de 2 à 3 jours sur le terrain nu, alors que par période de beau temps, la fusion en forêt pourrait n'intervenir que plusieurs semaines après la fonte des neiges en terrain découvert.

Ces constatations sur l'influence des conditions atmosphériques sur la fusion en et hors forêt dans la plaine russe sont du plus haut intérêt, mais nous nous arrêterons surtout aux résultats qui donnent un avantage aussi net à l'accumulation en forêt sur celle des terrains nus, battant en brèche le dogme américain de stock maximum en plein découvert.

En fait, ce phénomène a déjà été constaté en forêt de plaine, au Canada par exemple, où Ch. P. PEGUY l'explique par l'importance du givrage direct sur les branches des arbres, facteur de précipitations occultes très considérables.

Le givre joue certainement aussi un rôle dans les forêts russes de plaine. Mais l'état hygrométrique en général peu élevé de ces régions n'est pas tel qu'il justifie seul un tel excédent d'accumulation avec les forêts de montagne du Colorado.

Nous serions plus tenté d'expliquer cette différence par deux ordres de faits :

a) le premier est que dans la plaine russe, le vent a une importance beaucoup plus grande que dans les districts compartimentés du Colorado. Or, le vent est un facteur permanent d'ablation de la neige non seulement par entraînement mécanique, mais en-

core parce qu'il favorise les échanges de chaleur et par conséquent l'évaporation et la sublimation. L'écran forestier, obstacle au vent, protège efficacement le manteau neigeux contre cette ablation d'origine éolienne, et son action est d'autant plus sensible que le phénomène qu'il neutralise a plus d'importance en terrain découvert.

b) le second ordre de fait concerne les conditions expérimentales de V.V. RAKHMANOV. Les 89 stations hydro-météorologiques qu'il utilise n'ont pas été créées et équipées uniquement pour ses études d'enneigement en forêt. L'auteur a éliminé quelques-unes d'entre elles trop mal placées (lisière de forêt ou couloirs à tempêtes de neige). Mais il est possible et même probable que la plupart des stations réputées « en forêt » n'étaient pas directement sous le couvert forestier, mais dans des clairières plus ou moins étendues. Nous avons vu que cette circonstance est suffisante pour que l'accumulation y soit plus forte non seulement que sous les arbres, mais encore qu'en terrain nu ouvert.

DEUXIÈME PARTIE

Programme d'Expériences

PROGRAMME D'EXPERIENCES

Au terme de cette revue de quelques expériences étrangères, avons-nous répondu aux questions que nous posions au commencement de cet exposé?

Nous avons des éléments de réponse sérieux pour trois d'entre elles. Nous savons en effet que la forêt feuillue, ou, mieux, la forêt mixte ou encore la forêt résineuse très clairsemée ou par bandes aboutissent :

- a) à un stock maximum de fin d'hiver ;
- b) à une date de début de fusion plus ou moins retardée par rapport au terrain nu ;
- c) à une fusion progressive nettement mieux étalée dans le temps.

Mais nous n'avons toujours pas répondu à une question qui devrait pourtant intéresser fortement les hydroélectriciens et les techniciens du « water supply » pour connaître vraiment l'influence globale de la forêt sur l'écoulement de l'eau de fusion nivale. On peut en effet se demander :

Y a-t-il un écoulement liquide dans le sol au cours de la saison d'hiver? Cet écoulement est-il influencé par le couvert forestier? Quel est le type de forêt qui aboutit à un écoulement hivernal maximum.

I. — *Le laboratoire du Col de Porte*

C'est en partie pour tenter de donner un commencement de réponse à ces questions que fut créé en 1959 le laboratoire d'étude de la fusion de la neige au Col de Porte près de Grenoble, laboratoire que gère, en collaboration avec la Météorologie Nationale et E.D.F., la 7^e Section de Recherches forestières françaises. M. l'Ingénieur des Eaux et Forêts GARAVEL a tenu en effet à inclure dans les installations de base de ce laboratoire le dispositif suivant :

Deux bacs de fusion en ciment d'environ 2 m² de surface et 70 cm de profondeur sont enterrés dans le sol et remplis de graviers et de sable. En surface, le terrain initial a été reconstitué. Les rebords des bacs dépassent légèrement le niveau du sol extérieur pour éviter des ruissellements au sol vers l'intérieur du bac.

L'un de ces bacs est placé sous couvert forestier, l'autre en plein découvert, des canalisations recueillant au fond du bac l'eau percolée et l'envoient à un jaugeur à augets basculeurs situé dans le sous-sol du laboratoire; des contacts électriques et un appareillage électromécanique permettent de mesurer et d'enregistrer la quantité d'eau écoulée par chaque bac tout au long de l'hiver.

On peut faire à cette installation le reproche que les deux bacs en question sont trop près de la lisière entre terrain nu et forêt. Le bac forestier est en effet au pied de 4 épicéas fort rapprochés, dont deux forment la bordure du peuplement. Quant au bac de terrain découvert, il n'est qu'à 25 mètres environ de la forêt, c'est-à-dire à une distance voisine de la hauteur des arbres, il se trouve donc dans la zone d'accumulation maxima.

Mais ces critiques auront peu de portée si l'on remarque que notre dessein n'est pas tellement de comparer les stocks nivaux ici et là que les écoulements en cours d'hiver.

Le laboratoire a fonctionné pour la première fois au cours de l'hiver 1960-61 qui doit être considérée comme une saison de rodage et de mise au point, les premiers résultats réellement valables devant être ceux de l'hiver 1961-62.

Mais avant même que les dépouillements des enregistrements 1960-61 soient terminés, on peut noter le fait suivant qui semble fort intéressant :

Le bac hors forêt n'a à peu près rien débité pendant une assez longue période au cours de l'hiver, tandis que le bac établi en forêt *n'a pratiquement pas cessé de couler, faiblement mais régulièrement tout au cours des hivers 1960-61 et 1961-62.*

Il faut bien entendu attendre les résultats définitifs de plusieurs saisons de fonctionnement pour tirer une conclusion certaine de ces expériences. Mais si ceux-ci devaient confirmer les premières constatations qui précèdent, ils seraient d'un extrême intérêt pour la connaissance des processus de l'approvisionnement hivernal de retenues hydrauliques dont les bassins d'alimentation sont pour une certaine part en dessous de la zone alpine et susceptibles de boisements.

Tout en poursuivant l'expérience commencée au Col de Porte, nous pensons qu'il est donc judicieux de tenter dès maintenant de formuler quelques hypothèses expliquant cet écoulement hivernal régulier sous forêt afin d'imaginer dès maintenant et si possible de mettre en œuvre un programme d'expériences complémentaires susceptibles de vérifier les hypothèses avancées.

II. — *Hypothèses et suggestions pour un programme de recherches*

Du point de vue accumulation au moment de la chute de neige, la particularité essentielle est évidemment la rétention par le houp-

pier d'une fraction assez considérable de chaque précipitation. Ce fait bien connu a été étudié par de nombreux expérimentateurs, mais le pourcentage de neige retenue est variable avec l'importance de la chute considérée comme avec la nature cristallographique de la neige tombée. La multiplication des données expérimentales à différentes altitudes et sous différents climats serait fort utile.

Quel est le sort de cette neige retenue sur les houppiers? Son épaisseur dépasse rarement 15 cm, aussi est-elle perméable au rayonnement solaire qui est absorbé par la surface sombre des feuillages. La fonte est donc rapide, à la fois en surface et surtout au niveau de rameaux porteurs. Ce début de fusion provoque un écoulement goutte à goutte sur le sol puis, au moindre souffle de vent, un basculement de la masse de neige supportée par la branche.

Nous avons vu qu'en Finlande les arbres sont totalement déchargés avant le mois de février. Il est probable que sous des latitudes plus méridionales où le rayonnement est moins oblique, ce phénomène est beaucoup plus précoce en saison.

C'est donc une masse de neige en cours de fusion lourde et mouillée qui tombe au sol.

L'eau qui en provient percole tout le manteau neigeux qui se trouve rapidement entièrement imbibé d'eau.

Somme toute, l'interception par les branches ne représente pour le manteau neigeux au sol qu'une perte momentanée puisque la majeure partie du matériel retenu lui fait retour sous forme de neige lourde ou d'eau d'imbibation.

Que se passe-t-il alors au niveau du sol? Les particularités du microclimat forestier font qu'il ne s'y produit que peu d'échanges thermiques entre la neige et l'air ambiant parce que celui-ci est peu renouvelé faute de vent. L'énergie rayonnante n'y pénètre pas et la neige elle-même lourde et mate ne rayonne que faiblement la nuit. La température à la surface de la neige est donc beaucoup plus constante qu'en terrain découvert et reste voisine de celle de la neige en fusion au moins sous nos latitudes.

La métamorphose classique de neige est stoppée faute d'abord d'un gradient de température suffisant, faute ensuite d'échanges gazeux, les canaux capillaires de la neige étant gorgés d'eau liquide. Il y a donc bien et rapidement destruction de la structure des cristaux de neige par fusion des pointes des étoiles cristallines, mais ce phénomène n'est pas toujours suivi comme en terrain nu d'une métamorphose constructive par formation de cristaux en gobelets puisque ce mécanisme de cette reconstruction est à base d'échanges gazeux rendus difficile ou impossible dans une neige trop mouillée.

Des mesures de tassement du manteau en forêt, des battages de neige, des mesures de températures à différents niveaux, des mesures de densité et des examens cristallographiques permettraient de vérifier des hypothèses.

On pourrait en particulier vérifier que la formation, assez fréquente en terrain découvert, d'un niveau de glace par fusion superficielle suivi d'une nouvelle chute de neige est beaucoup plus rare en forêt.

Le sol des forêts, en général très humifère et poreux semble devoir d'autre part se refroidir et geler moins facilement que celui des prairies et autres terrains découverts surtout si un humus actif favorable à la vie des microorganismes et des organes végétaux y entretient l'hiver sous la protection du manteau neigeux des processus biologiques faiblement exothermiques.

Il en résulte que les communications entre l'ensemble du manteau neigeux et le sol ne sont jamais coupées en forêt. Rien d'étonnant à ce que cette neige lourde et humide percole régulièrement une certaine quantité d'eau qui s'infiltré dans le sol.

On comprend dès lors qu'un écoulement régulier d'eau liquide dans le bac forestier puisse se produire tout au long de l'hiver.

C'est pourquoi nous regrettons que les expériences américaines citées ci-dessus ne rendent compte que des stocks de fin d'hiver et non de l'écoulement hivernal total. De telles mesures seraient en effet peut-être de nature à aboutir à un bilan un peu moins défavorable à la forêt, plus proche de résultats statistiques russes.

C'est pourquoi nous attendons avec curiosité les premiers résultats du dispositif du Col de Porte pour la comparaison des écoulements hivernaux totaux des deux bacs. D'avance pourtant, nous pensons que ces résultats pourront être un peu trop favorables au bac de terrain nu qui bénéficie de l'« effet de lisière ». L'expérience serait à reprendre avec un bac situé à plus de 100 mètres de tout couvert forestier.

On peut en effet raisonnablement imaginer que les pertes indiscutables dues à la rétention des houppiers sont au moins partiellement compensées par l'action des deux phénomènes suivants que nous avons déjà évoqués en rapportant les résultats de V.V. РАКН-МАНОВ :

1) l'évaporation ou la sublimation au sol joue un rôle très important en terrain nu en raison de l'action du vent et des échanges de chaleur et d'énergie rayonnante beaucoup plus actifs qu'en forêt. La comparaison des précipitations solides, autant qu'on sache les mesurer avec précision et des stocks de neige constatés au sol permettraient d'estimer cette perte dont on méconnaît souvent l'importance. On mesurerait par là même l'avantage de la forêt où ce genre de perte est très réduit.

2) le givrage direct sur les branches des arbres peut être un facteur de précipitations occultes considérables. Les rameaux et les aiguilles des résineux offrent une surface énorme par rapport à celle du terrain pour le jeu des condensations. Or, les deux milieux que

cet écran forestier sépare sont à peu près toujours à des températures différentes, plus chaud sous forêt pendant l'hiver ou la nuit, plus chaud au-dessus au printemps ou pendant certaines après-midi calmes en hiver. Dans les deux cas, les houppiers jouent donc le rôle de paroi froide pour l'un ou l'autre des deux milieux. Il se produit donc à leur niveau des condensations liquides ou solides (givre) qui retombent goutte à goutte et contribuent à nourrir en eau liquide le manteau neigeux forestier.

Le givre peut donc aussi bien récupérer une partie de l'humidité de l'air en forêts, qu'en prélever dans l'atmosphère supérieure sous forme de précipitations occultes qui peuvent avoir une importance considérable mais évidemment très difficile à mettre en évidence.

*
**

Mais que devient en hiver l'eau liquide cédée par la neige au sol en forêt? Est-elle insuffisante pour saturer la grande capacité de rétention de l'humus et du sol forestier? Dans ce cas, elle ne serait restituée au réseau hydrographique qu'en même temps que la fusion générale de la neige du printemps. Ou, au contraire, nourrit-elle un écoulement régulier bien que faible tout au cours de l'hiver?

Pour le savoir, il serait souhaitable de pouvoir reprendre dans les Alpes françaises, les classiques expériences suisses et américaines de comparaison du comportement hydrologique de deux petits bassins versants, l'un forestier, l'autre déboisé, en insistant sur la précision des jaugeages hivernaux des émissaires.

Nous ne nous dissimulons pas les difficultés matérielles énormes d'une telle installation expérimentale, mais celle-ci pourrait par ailleurs servir à bien d'autres mesures et essais de techniques de correction torrentielle, d'aménagement de bassins versants ou de reboisement.

BIBLIOGRAPHIE

- J. CORBEL. — « Neiges et glaciers ». Collection Armand Colin, Paris, 1962.
- HARLE. — « Forêts et Neiges ». Revue des Eaux et Forêts, 1934, p. 249-256.
- HUFFEL. — Economie forestière, Tome I, p. 112. Paris, 1910.
- Ch. PEGUY. — « La neige ». Collection « Que sais-je? ». Presse universitaire de France, 1952.
- A. POGGI. — Le laboratoire pour l'étude de la neige. Col de Porte (Isère, 1 350 mètres).
Communication à la Société Hydrotechnique de France, section glaciologie, séance du 24 février 1961.
- V.V. RAKHMANOV. — Forest cover effects on snowpact Accumulation and snow melting in relation Meteorological Conditions.
Association Internationale d'hydrologie scientifique, Assemblée générale de Toronto, 3-14 septembre 1957, Tome IV, Publication n° 46, pages 210-221.

- M. SEPPANEN. — On a new method of measuring snow cover in forest in Finland. Association internationale d'hydrologie scientifique. Colloque de Hannoversch Munden, 8-14 septembre 1959, Tome I, volume 1, Publication n° 48, pages 248-252.
- WILM H.G. et COLLET M.H. — The influence of a Codynpoles pine forest on storage and melting of snow. Transactions American Geophysical Union, 1940, pages 505-508.
- WILM H.G. — The influence of forest cover on snow melt. Transactions American Geophysical Union, Volume 29, n° 4, 1^{er} article, Washington W. C., août 1938.
-

RÉSUMÉ

Les lois qui régissent l'accumulation, la structure physique et la fusion de la neige sont différentes en terrain nu et sous couvert forestier.

Peut-on les préciser en vue de déterminer le type de couverture végétale qui aboutit à une meilleure économie de l'eau en retardant et en étalant la période de fusion sans diminuer ou même en augmentant l'écoulement total dû à la neige?

Des constatations anciennes, françaises et américaines entre autres, montrent que le stock neigeux en fin d'hiver est moindre en forêt mais que la fusion y est plus progressive et légèrement retardée.

Les expériences américaines du Colorado relatées par Wilm confirment ces résultats: dans une forêt naturelle de *Pinus contorta*, plus l'exploitation est brutale, plus les stocks d'eau accumulés sous forme de neige sont grands. La même équipe de chercheurs américains notent l'effet de lisière ou de clairière qui augmente le stock neigeux à l'extérieur et en bordure de la forêt jusqu'à une distance de 2 à 3 fois la hauteur des arbres. Il est confirmé enfin que l'action de la forêt est d'autant plus sensible que son couvert hivernal est plus dense.

Des expériences finlandaises montrent que le stock neigeux ne diminue pourtant avec l'augmentation du couvert que jusqu'à un certain minimum correspondant à la densité de 400 pins sylvestres à l'hectare.

Une statistique due au V.V. RAKHMANOV note par contre une augmentation de la quantité de neige restant en fin d'hiver dans les régions boisées de l'ordre de 7 à 8 % en forêt résineuse et de 25 à 27 % en forêt feuillue ou mixte. Ce résultat a priori surprenant donne matière à discussion.

Au laboratoire du Col de Porte près de Grenoble, une expérience comparative de mesure des écoulements issus de deux bacs, l'un en forêt, l'autre en terrain nu est entreprise. Avant d'en connaître les résultats on a déjà constaté que l'écoulement en forêt, globalement

inférieur, persiste cependant régulièrement tout l'hiver alors que le bac en prairie s'arrête totalement de débiter pendant de longues périodes froides.

Diverses hypothèses sont avancées pour expliquer ce phénomène. La structure de la neige en forêt, plus mate, plus lourde, plus humide, moins évoluée, sans niveau de glace sous-jacent ou intermédiaire, rendrait compte de cette percolation continue. Par ailleurs, les pertes dues à la rétention de la neige par les houppiers pourraient être partiellement compensées d'une part par la diminution en forêt de l'ablation par évaporation à la suite de rayonnement ou d'échanges thermiques, d'autre part par les précipitations occultes dues au givre.

En conclusion, un programme d'expérience est suggéré pour étudier l'accumulation, la structure physique, le bilan thermique et hydraulique de la neige en forêt.

SUMMARY

The laws governing snow accumulation, physics and melt are not the same on bare land and under forest cover.

Is it possible to define them more accurately so as to determine the type of ground cover ensuring a better water economy by delaying and prolonging melt period without reduction of the total snowmelt run-off?

Earlier findings, including French and American ones, show that in late winter snowpack is less deep in the forest whereas snowmelt is more gradual and slightly delayed.

The American experiments in Colorado reported by Wilm confirm these results: in a natural Lodgepole Pine forest, the heavier the logging, the larger the amount of water which accumulates as snow. The same group of American investigators notes the effect of forest outskirts and opening leading to an increase in snow cover thickness at the edge of and outside the forest, to a distance two or three times as large as tree height. Finally, there is some evidence that the deeper the forest winter snow cover, the greater the forest influence.

Some Finnish experiments show that snow cover decreases as canopy grows denser, but, however, down to a limit corresponding to the density of 400 Scots Pines per ha.

On the other hand, a statistical study by V.V. Rahkmanov shows an increase in the amount of snow remaining in woodlands in late winter of about 7 to 8 % in softwood, and 25 to 27 % in hardwood or mixed forests. This result, surprising at first sight, provides material for discussion.

In the Col de Porte Laboratory near Grenoble, a comparative experiment to measure the outflow from two tanks, one in the forest and the other on bare land, has been undertaken. Before the final results become known, it has already been noticed that overall outflow, though lower in the forest, lasts however throughout the winter, whereas in the grassland tank water release ceases entirely during long cold periods.

Several assumptions are suggested to explain this phenomenon. In the forest snow structure being heavier, denser, with a higher moisture content and lower state of development, without underlying or intermediary ice layer, might account for this unceasing percolation. Besides, losses due to snow retention by tree crowns might be partly counterbalanced by a reduction of ablation through evaporation in the forest owing to radiation or thermic exchanges on the one hand, and unperceivable precipitations due to hoar frost on the other hand.

As a conclusion, a program of experiment is suggested to study snow accumulation, physics, thermic and hydraulic balance in the forest.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Gesetze, die die Anhäufung, die physische Struktur und die Verschmelzung des Schnees verwalten, sind in freiem Boden und im Walde verschieden.

Ist es möglich, diese Gesetze mit Genauigkeit zu bezeichnen, um die beste Pflanzendecke fest zu setzen, die am besten das Wasser sparrt indem sie die Verschmelzungsperiode des Schnees verspätet und verlängert, ohne die Verfließung zu vermindern, oder, in Gegenteil, mit deren Vergrößerung?

Ehemalige französische oder amerikanische Bestätigungen zeigen dass, am Ende des Winters, die Schneemasse im Walde geringer ist, aber auch dass die Verschmelzung langsamer und leicht verspätet ist.

Durch die amerikanische Versuchen in Colorado, nach Wilm, sind diese Ergebnisse bestätigt: in einem Urwald von *Pinus contorta*, je mehr ist der Holzschlag heftig, desto mehr sind die Wasservorräte (als Schnee) wichtig. Dieselbe amerikanische Sucher haben auch gemerkt, dass die Waldsäume und die Waldblösse aussen und am Rand des Waldes die Schneemasse, bis 2 oder 3 mal der Höhe der Bäumen vergrössen. Es ist auch festgestellt dass die Waldtat um so mehr wichtig ist als dichter, seine Winterdecke ist.

Versuchen im Finnland zeigen dass die Schneemasse jedoch mit Verdichtung der Decke abnimmt, nur bis einem Minimum, das einer Dichtigkeit von 400 Fichten pro Ha. entspricht.

Eine Statistik von V. V. RAHKMANOV daneben einträgt eine Erhöhung der Schneemasse am Ende des Winters in den Gegenden, die mit 7 bis 8 % Nadelhölzer und 25 bis 27 % Laubhölzer oder Gemischt bedeckt sind. Auf erstem Blick sind diese Ergebnisse erstaunend und Streitfähig.

In dem Laboratorium des Col de Porte, nahe von Grenoble, in Fr. Alpen, ist ein Vergleichversuch geführt, um die Verfließung von zwei Schneebehältern, einer im Walde, der andere im Freie, zu messen. Dessen Versuches sind die Ergebnisse noch nicht gekannt. Trotzdem hat man gemerkt, dass die Waldverfließung, auf jede

Weise geringer, dem Winterlang regelmässiger dauert, da hingegen während lange Kaltperioden war der in den Wiesen liegende Behälter vollständig aufgehört.

Verschiedene Voraussetzungen sind aufgestellt, um dieses Phänomen zu erklären. Die Struktur des Waldschnees, schwerer, feuchter, roher, ohne Eisschicht unten oder in der Mitte, wäre die Ursache dieser Ununterbrochener Verfließung. Andererseits wären die Verluste durch Verhaltung des Schnees auf den Ästen erstens durch Verminderung der Verdunstung nach dem Strahlen oder den Thermischen Anstauschungen zweitens durch den unsichtbaren Raureiffällungen teilweise ausgleicht.

Schliesslich ist ein Versuchsprogramm einflösst, um die Anhäufung, die physische Struktur, die thermische und hydraulische Bilanz des Schnees zu studieren.

Le Gérant: G. THOMAS.