

R5E2  
M4\1  
OFF

MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DU QUÉBEC

J. ÉVESQUE, MINISTRE

P.-E. AUGER, SOUS-MINISTRE

---

# LA PRÉCIPITATION et L'ENSEMENCEMENT

RAPPORT PRÉLIMINAIRE

par

R. Perrier, M.A. et R. Gagnon, M.Sc.,



QUÉBEC

1965





Bibliothèque Nationale du Québec

MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DU QUÉBEC

RENÉ LÉVESQUE, MINISTRE

P.-E. AUGER, SOUS-MINISTRE

SERVICE DE LA MÉTÉOROLOGIE

G.-O. VILLENEUVE, CHEF

---

# LA PRÉCIPITATION

et

# L'ENSEMENCEMENT

RAPPORT PRÉLIMINAIRE

par

R. Perrier, M.A. et R. Gagnon, M.Sc.,

QUÉBEC

1965

OFF

R5E2

M4/1

OFF

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION .....	1
L'eau dans l'atmosphère .....	1
LA PRECIPITATION NATURELLE .....	2
La formation des gouttelettes .....	3
Noyaux de condensation .....	4
Formation de la précipitation .....	5
La théorie de Bergeron - Findeisen .....	6
Entretien de la précipitation .....	7
MODIFICATION DE LA PRECIPITATION .....	9
Conditions nécessaires à l'ensemencement .....	9
Efficacité des générateurs au sol .....	11
Les vents en altitude .....	12
Autres substances glaçogènes .....	13
Dissipation de nuages et brumes .....	14
STATISTIQUES EN METEOROLOGIE .....	15
Probabilité .....	16
Utilité des statistiques .....	16
Evaluation de l'ensemencement .....	17
CONCLUSION .....	19
BIBLIOGRAPHIE .....	20

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION ..... 1

CHAPTER I ..... 10

CHAPTER II ..... 20

CHAPTER III ..... 30

CHAPTER IV ..... 40

CHAPTER V ..... 50

CHAPTER VI ..... 60

CHAPTER VII ..... 70

CHAPTER VIII ..... 80

CHAPTER IX ..... 90

CHAPTER X ..... 100

## PREFACE

Depuis quelques années, le grand public se pose des questions sur l'ensemencement des nuages et sur la "pluie artificielle". Dans le but de répondre à quelques-unes de ces questions, les auteurs de ce bulletin ont résumé les processus actuellement admis pour expliquer la formation naturelle de la pluie sous nos latitudes. Ils ont exposé les faits connus sur l'utilisation des générateurs d'iodure d'argent placés au sol. Ils présentent enfin les problèmes qui rendent extrêmement difficile l'évaluation des effets de l'ensemencement.

The first part of the book is devoted to a general  
survey of the history of the world, from the  
beginning of time to the present day. The author  
discusses the various stages of human civilization,  
from the primitive state of nature to the  
establishment of the first societies. He then  
examines the development of the different  
branches of human knowledge, and the progress  
of the various sciences and arts. The second  
part of the book is devoted to a detailed  
account of the history of the world, from the  
beginning of the Christian era to the present  
day. The author discusses the various events  
and circumstances which have shaped the  
history of the world, and the progress of  
human civilization. The third part of the  
book is devoted to a general survey of the  
present state of the world, and the prospects  
of the future. The author discusses the  
various problems which confront the world  
at the present time, and the measures which  
should be taken to solve them. The book is  
written in a clear and concise style, and is  
well adapted for the use of students and  
readers of general interest.

## INTRODUCTION

### L'EAU DANS L'ATMOSPHERE

Il y a trois phases possibles de l'eau dans l'atmosphère: la phase gazeuse, la phase liquide et la phase solide.

La phase gazeuse est l'état primaire de l'humidité dans l'atmosphère, i.e., que toute humidité entre dans l'atmosphère sous cette forme. L'eau sous forme de gaz est invisible. Elle peut cependant être mesurée à l'aide de l'hygromètre qui donne sa valeur en humidité relative.

La phase liquide est un état secondaire de l'humidité dans l'atmosphère, elle provient de la phase gazeuse par le processus de condensation. L'état liquide se manifeste sous la forme de gouttelettes d'eau formant les nuages. Ces gouttelettes d'eau sont présentes même à des températures inférieures au point de congélation, en fait jusqu'à des températures de  $-40^{\circ}\text{C}$ . Dans ce cas, ce sont des gouttelettes surfondues.

La phase solide se manifeste sous la forme de cristaux de glace. Elle est à la fois un état secondaire et tertiaire de l'humidité: état secondaire, si le cristal provient de la vapeur d'eau par sublimation, et tertiaire, si le cristal provient de la gouttelette par congélation. Ces cristaux de glace sont possibles à des températures inférieures au point de congélation seulement. Ils peuvent donc, à ce moment, avoisiner les gouttelettes d'eau surfondues dans les nuages. A des températures plus basses que  $-40^{\circ}\text{C}$ ., seule la phase solide est possible.

On peut donc avoir des nuages composés uniquement de gouttelettes d'eau, d'autres, composés à la fois de gouttelettes surfondues et de cristaux de glace et d'autres, enfin, constitués uniquement de cristaux de glace.

### PRECIPITATION NATURELLE

Examinons maintenant les causes qui forcent la vapeur d'eau à former des gouttelettes par le processus de condensation. Ces causes sont d'abord conditionnées par les propriétés physiques du mélange d'air et d'eau. Il existe, en effet, pour la vapeur d'eau dans l'air, des valeurs de concentration qui peuvent difficilement être excédées. Ces concentrations maximales sont directement reliées à la température de l'air et correspondent à des humidités relatives de 100%. On dit alors que l'air est saturé. Les figures 1 et 2 expriment la pression maximum de vapeur d'eau que l'air peut normalement contenir à une température donnée. Ces valeurs correspondent à des humidités relatives de 100% et si, à une température donnée, ces valeurs de pression de vapeur viennent à être excédées, on dit que l'air est sursaturé. Il y a alors déséquilibre entre la température de l'air et la pression de vapeur d'eau et il y aura une forte tendance de la vapeur d'eau à la condensation pour rétablir l'équilibre. Donc, et d'une façon générale, la condensation ne se produira que si l'atmosphère devient sursaturé, i.e., si l'atmosphère vient à avoir plus de vapeur d'eau qu'elle peut en contenir.

Mais comment l'air peut-il devenir sursaturé?

Pour comprendre ce processus, pensons à un verre d'eau glacée déposé sur une table par une journée d'été chaude et humide; disons qu'il fait 80°F. et que l'humidité relative est de 80%. L'air qui vient en contact avec le verre se refroidit rapidement puisque la température du verre est près de 32°F. Dû au refroidissement, l'humidité relative de l'air augmente près du verre, même si on n'ajoute pas

de vapeur d'eau dans l'air. Vient un moment où l'humidité relative atteint 100% dans le voisinage immédiat du verre. On voit alors apparaître sur les parois du verre. une buée, puis, de fines gouttelettes d'eau de condensation.

C'est donc un abaissement de température qui cause un surplus d'eau dans l'atmosphère et qui donne les gouttelettes. Cet abaissement de température est possible de différentes façons mais la cause la plus commune dans la formation des nuages est l'ascension de l'air. Une parcelle d'air soumise à un mouvement ascendant subit une diminution de pression qui se traduit par une augmentation de volume et une diminution de température amenant la sursaturation.

#### LA FORMATION DES GOUTTELETTES

Examinons maintenant de plus près les conditions nécessaires à la formation des gouttelettes d'eau. Supposons une parcelle d'air proche de la saturation et libre de toute impureté et de tout corpuscule étranger; dans ces conditions, il faudrait, pour produire des gouttelettes, une augmentation de volume supérieure ou égale à 135%. En supposant au départ une température de 20°C., cette expansion abaisserait la température de l'air à -12°C. et amènerait l'humidité relative à 800%. Ceci correspondrait durant l'été à une ascension d'environ 15,000 pieds de la parcelle d'air.

Ces chiffres sont pour le moins surprenants et on n'a jamais observé des humidités relatives de 800%. Si on considère que, même en été, les nuages sont possibles à des altitudes inférieures à 1,000 pieds, et à des températures beaucoup plus chaudes que -12°C., il doit exister dans l'atmosphère quelque chose qui permet à la con-

densation de se produire à des températures beaucoup plus élevées. Ce quelque chose, ce sont les noyaux de condensation.

#### NOYAUX DE CONDENSATION

L'air est loin d'être parfaitement net. Il contient une foule de corps étrangers à l'état microscopique. On y trouve des poussières en suspension, des cristaux de sel marin, des gaz ou des fumées industrielles, etc. La plupart de ces corpuscules présents dans l'atmosphère agissent comme noyaux de condensation. Ils rendent possible la condensation dès que la sursaturation apparaît. Il faut cependant que l'air demeure sursaturé si on veut que ces noyaux de condensation agissent et que les gouttelettes ainsi formées persistent. Ceci exige donc que le mouvement ascensionnel de l'air soit continu.

Certains corpuscules favorisent le passage direct de la vapeur d'eau à la forme solide; on les appelle noyaux de glaciation. Ces corpuscules ne sont actifs qu'à des températures inférieures au point de congélation. Des comptages de noyaux de condensation et de glaciation effectués au moyen du compteur d'Aitken ont donné les résultats qui figurent au tableau I.

Ces chiffres donnent la concentration en noyaux par centimètre cube et fournissent une idée approximative des concentrations des gouttelettes dans le nuage.

TABLEAU I

Noyaux contenus dans l'atmosphère pour différents types de région (d'après Landsberg 1938). Concentrations exprimées en noyaux par  $\text{cm}^3$ .

Type de région	Nombre d'observations	Concentration moyenne	Maximum moyen	Minimum moyen
Grande ville	2,500	147,000	379,000	49,100
Petite ville	4,700	34,300	114,000	5,900
Région intérieure	3,500	9,500	66,500	1,050
Région côtière	2,700	9,500	33,400	1,560
Montagne				
1,500 - 3,000 pieds	870	6,000	36,000	1,390
Océan	600	940	4,860	840

FORMATION DE LA PRECIPITATION

Tous les processus décrits plus haut contribuent à former de fines gouttelettes ou de petits cristaux de rayons moyens de 7 microns. Il faut une bonne humidité dans l'atmosphère, un mouvement ascensionnel continu contribuant à abaisser la température et à maintenir la sursaturation et finalement des noyaux de condensation.

Si les gouttelettes se maintiennent à cette grosseur, elles demeureront en suspension indéfiniment dans l'atmosphère. Pour avoir de la pluie, il faut que les gouttelettes puissent s'accroître jusqu'au stade de gouttes assez lourdes pour vaincre les forces qu'exercent sur elles les mouvements ascendants de l'atmosphère. On pourrait penser que le processus de condensation déjà mis en bran-

le dans la formation des gouttelettes va se continuer jusqu'à ce que les gouttes deviennent assez grosses pour tomber jusqu'au sol. Il n'en est rien car un tel processus devrait se faire sur toutes les gouttelettes à la fois et la condensation de toute la vapeur d'eau présente dans le nuage ne réussirait qu'à doubler le rayon des gouttelettes ayant au départ un rayon moyen de 7 microns.

(Jean Bricard, Physique des Nuages, 1953). Avec les courants verticaux normaux présents dans l'atmosphère, ces gouttelettes de 14 microns de rayon ne réussiraient même pas à acquérir une vitesse de chute. Dans le cas de courants verticaux faibles, les gouttelettes s'évaporeront dans l'atmosphère sous le nuage avant de parvenir au sol. Or, les plus petites gouttes d'eau atteignant le sol sont de l'ordre de 200 microns de diamètre. Il faut donc que certaines gouttelettes du nuage croissent au détriment des autres. Comment cela peut-il se faire?

#### LA THEORIE DE BERGERON - FINDEISEN

La théorie de formation de la pluie la plus généralement admise pour nos latitudes est celle de Bergeron - Findeisen. Cette théorie suppose que tous les nuages donnant de la précipitation doivent d'abord passer par le stade de nuage mixte, i.e., que les nuages seront composés à la fois d'eau surfondue et de cristaux de glace. Il faudra donc qu'une partie du nuage donnant de la précipitation soit à des températures inférieures à 0°C. Si on considère que les nuages donnant de la précipitation sont à des hauteurs moyennes de 8,000 à 12,000 pieds, cette hypothèse est généralement réalisée à nos latitudes, été comme hiver.

Selon la théorie de Bergeron - Findeisen, les cristaux de glace du nuage mixte s'accroissent au détriment des gouttelettes d'eau surfondue. On voit, en effet, sur le graphique annexé en figure 2, que la sursaturation par rapport à la glace est plus grande que la sursaturation par rapport à l'eau surfondue. Cette plus grande sursaturation permet donc aux cristaux de glace de s'accroître plus rapidement, au détriment des gouttelettes d'eau.

Cette croissance des cristaux de glace leur confère une plus grande masse que les gouttelettes et quoiqu'ils soient entraînés vers le haut par les courants ascendants, il y a chute relative des cristaux de glace par rapport aux gouttelettes et un processus d'agglomération des gouttelettes au cristal est alors possible. C'est le phénomène de coalescence qui entre en jeu permettant au cristal de s'accroître davantage en volume et d'acquiesrir une vitesse de chute vers le sol. Tant qu'il y a chute, relative ou vraie, le processus de coalescence est possible.

Ce cristal doit fondre avant de parvenir au sol si l'on veut obtenir de la pluie. La fonte du cristal est possible du fait que les collisions avec les gouttelettes contribuent à élever sa température et que les quelque 5,000 pieds d'air le séparant de la terre à sa sortie du nuage offrent en été des températures suffisamment élevées pour s'en charger.

#### ENTRETIEN DE LA PRECIPITATION

Il faut cependant entretenir la formation des gouttes de pluie pour obtenir d'un nuage des précipitations de longue durée. Si toute la masse d'un nuage de 12,000 pieds d'épais-

seur précipitait, on ne recueillerait au sol que des pluies de l'ordre de deux centièmes de pouce. Si on considère que certains nuages précipitent sur des périodes de 24 à 48 heures donnant jusqu'à un demi pouce de pluie sans se dissiper, et sans paraître altérés, il faut par conséquent que le nuage se reforme de façon continue à mesure qu'une partie de son humidité disparaît sous forme de pluie: il y a donc un apport d'humidité de l'extérieur. Cet apport d'humidité n'est possible que si les mouvements ascendants se maintiennent et que l'air, donnant le nuage, se renouvelle constamment.

### MODIFICATION DE LA PRECIPITATION

Nous avons vu dans ce qui précède que, suivant la théorie de Bergeron - Findeisen, la formation de la précipitation nécessite la présence de cristaux de glace dans le nuage. Si on veut influencer la formation de la précipitation, il faudra soit augmenter la concentration de ces cristaux, soit encore les créer s'ils sont inexistant. La meilleure façon de répondre à l'alternative posée plus haut est d'introduire dans le nuage des noyaux de glaciation, i.e., des noyaux qui permettront le passage direct de la vapeur d'eau à la glace donnant ainsi des cristaux. L'iodure d'argent remplit ces conditions de noyaux glaçogènes et peut donc être utilisé dans le but de modifier la formation de la précipitation.

L'addition de l'iodure d'argent doit se faire cependant dans un nuage déjà assez avancé dans son évolution vers la précipitation. On ajoutera de l'iodure d'argent soit dans un nuage mixte où les cristaux de glace sont déjà présents ou encore dans un nuage surfondu où la congélation des gouttelettes est toujours possible. Donc, l'addition de l'iodure d'argent ne crée pas la précipitation. Elle avance le début d'une pluie très probable en créant les cristaux de glace ou encore elle augmente le nombre de gouttes de pluie.

### CONDITIONS NECESSAIRES A L'ENSEMENCEMENT

Il est donc possible d'agir dans le nuage avec de l'iodure d'argent. Cette action de l'iodure d'argent est cependant limitée par plusieurs conditions.

- 1- L'action de l'iodure d'argent comme noyau glaçogène n'est possible qu'à des températures inférieures à  $-5^{\circ}\text{C}$ . Le processus de sublimation sur l'iodure d'argent est impossible à des températures plus élevées.
- 2- La concentration de l'iodure d'argent dans l'atmosphère ne doit pas excéder ni être inférieure à des valeurs critiques. Si elle est trop forte, la croissance des cristaux sera limitée parce que l'eau disponible se répartira également sur chaque particule d'iodure d'argent donnant des cristaux de dimensions trop réduites pour mettre en action le processus de coalescence. Si elle est trop faible, il n'y aura production que de quelques gouttes de pluie. On considère comme valeur minimale de concentration 100 noyaux glaçogènes par mètre cube d'air alors qu'une concentration de 1,000 noyaux par mètre cube semble la valeur maximale atteinte. Ces concentrations sont valables indépendamment de la provenance des noyaux glaçogènes, que ce soient des noyaux naturels ou artificiels.
- 3- Les rayons ultraviolets sont néfastes à l'iodure d'argent et détruisent ses propriétés glaçogènes. Ainsi dans l'air sec une exposition de moins de 20 minutes aux rayons solaires suffit à détruire tout cristal d'iodure d'argent. Cependant, dans de l'air humide, cette désactivation des cristaux d'iodure d'argent est plus lente, car une couche moléculaire d'eau les protège.
- 4- L'iodure d'argent doit parvenir dans le nuage et, plus précisément, à la partie du nuage où se trouvent des températures inférieures à  $-5^{\circ}\text{C}$ . Cette condition est facilement remplie si l'iodure d'argent est porté dans le nuage au moyen de fusées,

d'avions ou de ballons mais il n'en est pas de même si les générateurs d'iodure d'argent sont au sol.

#### EFFICACITE DES GENERATEURS AU SOL

Est-ce que l'ensemencement à partir de générateurs au sol est efficace? Là est tout le problème et le problème est réellement complexe.

La réponse est "non", s'il pleut à l'endroit où fonctionne le générateur: la pluie qui tombe nettoie complètement l'atmosphère et entraîne avec elle tous les cristaux d'iodure d'argent que le générateur émet.

La réponse est "non", pour certaines masses d'air où la présence d'inversion coupe toute pénétration possible dans les couches supérieures.

La réponse est "oui", si la topographie se prête à l'ensemencement, i.e., si la formation des nuages se fait au flanc de hautes montagnes (8,000 à 10,000 pieds) et que l'air est forcé par cette montagne à grimper à des altitudes convenables. L'iodure d'argent se trouvant dans l'air est ainsi entraîné avec l'air ambiant vers des températures assez basses où il pourra agir.

La réponse est "peut-être", dans les autres cas. En effet, en terrain relativement peu accidenté, l'iodure d'argent est soumis à plusieurs facteurs qui rendent difficile toute réponse positive. C'est ce dernier cas qui s'applique dans le Québec.

Si l'ascension de l'iodure d'argent a lieu, elle sera soumise aux différents courants de l'atmosphère et se fera généralement en pente, exactement comme se fait l'ascension de la fu-

mée sortant d'une cheminée. Cette ascension en pente vers les couches de l'atmosphère où il agira, détermine une distance entre le générateur et la zone où l'iodure d'argent donnera de la précipitation. Cette distance est soumise à la fois aux vents horizontaux présents dans l'atmosphère et à la vitesse d'ascension de l'iodure d'argent. La zone où l'iodure d'argent peut donner de la précipitation est appelée zone cible et cette zone est bien distincte de l'emplacement du générateur.

Nous avons schématisé en figure 3, ce que sera, dans des conditions idéales, le trajet des noyaux d'iodure d'argent, à partir du générateur jusqu'au nuage. La distance approximative entre le générateur et l'endroit où les noyaux émis agissent se situe entre 50 et 100 milles. La figure 4 nous montre un générateur d'iodure d'argent du type utilisé par la Compagnie Weather Engineering.

#### LES VENTS EN ALTITUDE

L'observation au sol des phénomènes atmosphériques porte à penser que le vent est un élément météorologique des plus capricieux. En effet, au cours de la même journée, la direction du vent de surface peut changer trois ou quatre fois. La vitesse du vent de surface est également très variable; on observe couramment du temps calme le matin suivi de vents atteignant les 25 milles à l'heure dans l'après-midi.

En altitude, où le vent est mesuré régulièrement à l'aide de ballons-sondes, on n'observe rien de tel. Plus on s'élève dans l'atmosphère, plus les vents deviennent constants en vitesse et en direction. La raison de cette constance est que les

effets de la friction de l'air sur le sol diminuent rapidement avec l'altitude. A 10,000 pieds par exemple, le vent se maintient dans la même direction, au-dessus de vastes régions, durant des jours et des jours. La direction des vents est sensiblement la même à 5,000, à 10,000 et à 20,000 pieds.

Ce sont les vents en altitude qui gouvernent les mouvements des systèmes dépressionnaires et des masses nuageuses qui leur sont associées. C'est sur la constance de ces vents que se basent les météorologistes responsables de l'ensemencement pour décider quels générateurs mettre en marche et pour diriger les fumées d'iodure d'argent vers la cible visée. L'évolution des conditions météorologiques est l'objet d'une surveillance constante et les possibilités d'erreurs sont alors réduites au minimum.

#### AUTRES SUBSTANCES GLACOGÈNES

Il existe des substances autres que l'iodure d'argent capables d'agir dans les nuages en y provoquant la formation de cristaux de glace. Ce sont l'iodure de plomb, l'iodure de cobalt et plusieurs autres composés cristallins qui agissent de la même façon que l'iodure d'argent en accaparant la vapeur d'eau par sublimation. Leur action est basée sur la similitude cristalline que ces substances présentent avec le cristal de glace. Leur emploi comme noyaux glaçogènes est régi par les mêmes conditions qui s'appliquent dans le cas de l'iodure d'argent.

De la glace et de la neige carbonique concassées et refroidies à  $-78^{\circ}\text{C}$ . sont également utilisées pour ensemercer les nuages. Leur mode d'action diffère sensiblement de celui de l'io-

dure d'argent. A l'aide d'un avion, on laisse tomber ces substances au sommet du nuage. En traversant ce dernier, elles provoquent le refroidissement de l'air ambiant et causent le gel spontané des gouttelettes surfondues le long de leur trajectoire. On obtient ainsi les cristaux de glace nécessaires à la formation de la pluie. Aux altitudes où on l'utilise, la neige carbonique atteint environ  $-100^{\circ}\text{C}$ . Cet abaissement de température est dû à la sublimation. Le morceau de neige carbonique cause donc un refroidissement considérable en même temps qu'il s'évapore. Cette évaporation de la neige carbonique est essentielle si on veut éviter que de grosses particules atteignent le sol et causent ainsi un danger.

#### DISSIPATION DES NUAGES ET BRUMES

La neige carbonique, en plus d'être employée pour influencer la formation de la précipitation, peut également être employée pour dissiper les nuages.

Dans le cas de nuages du type "stratus", où le développement vertical se limite à deux ou trois milles pieds, le refroidissement obtenu est tel que toute la masse du nuage est convertie en cristaux de glace. Il ne reste plus de gouttelettes d'eau aux dépens desquelles les cristaux pourraient grossir. La partieensemencée du nuage se dissipe, alors que les cristaux formés tombent lentement, laissant une éclaircie dans le ciel. Ce mode d'ensemencement ne se pratique que sur de petites superficies soit quelques milles carrés.

Du point de vue des opérations aériennes, il est extrêmement intéressant de pouvoir dissiper les nuages et les brumes au-dessus des aéroports, pour faciliter le mouvement des avions. C'est donc à peu près exclusivement pour de telles fins qu'on fait de l'ensemencement par avion à l'aide de neige carbonique. On peut voir en figure 5 les résultats qu'on obtient.

### STATISTIQUES EN METEOROLOGIE

Des données météorologiques sont disponibles pour de longues périodes à plusieurs stations. L'étude de ces données révèle les faits suivants:

- 1- Il est très rare que deux observations soient identiques; elles diffèrent l'une de l'autre par des écarts plus ou moins grands.
- 2- Les valeurs observées ont tendance à se grouper autour d'une valeur centrale. Ceci devient évident si on groupe les observations en intervalles égaux, par ordre de croissance. On constatera qu'il y a plus d'observations dans les intervalles du centre que dans les intervalles approchant les extrêmes.
- 3- En général, la valeur centrale est la moyenne algébrique des valeurs observées.
- 4- En général, 50% des valeurs sont inférieures à la moyenne et 50% lui sont supérieures.
- 5- La dispersion autour de la moyenne est plus ou moins grande, dépendant de la station et du phénomène observé. Elle est faible, dans le cas de la température et forte, dans le cas de la précipitation.
- 6- La période d'observation nécessaire au calcul d'une moyenne représentative sera plus ou moins longue selon la grandeur de la dispersion. Ainsi une période de dix ans est nécessaire pour le calcul d'une moyenne thermométrique convenable alors que cette période est étendue à 30 ans pour le cas d'une moyenne pluviométrique. Des périodes plus courtes donneront des moyennes où l'erreur sera appréciable. C'est pour éliminer ces erreurs que l'Organisa-

tion Météorologique Mondiale a décidé de définir la "normale" comme étant une moyenne calculée sur 30 années consécutives de données.

### PROBABILITES

Cette tendance qu'ont les observations à se grouper autour de la valeur centrale et la dispersion autour de cette même valeur sont mesurées d'une façon simple au moyen de la probabilité. On trouve cette probabilité en divisant le nombre d'observations dans chaque intervalle par le nombre total d'observations. La probabilité est donc plus forte aux intervalles près de la moyenne et elle diminue au fur et à mesure que les intervalles s'éloignent de la moyenne. Dans le cas de forte dispersion un plus grand nombre d'intervalles centraux afficheront des probabilités fortes, alors que ce nombre diminuera dans le cas de faible dispersion.

### UTILITE DES STATISTIQUES

A quoi sert cette étude statistique des données? La connaissance des moyennes et des distributions est essentielle pour une foule d'applications. Elle permettra de déterminer les propriétés physiques des matériaux de construction et les facteurs de sécurité pour avoir une construction qui va durer. Elle permettra aussi la détermination des zones sèches et des zones humides. Dans les zones sèches où le besoin en eau est supérieur à la moyenne, elle déterminera les dimensions des barrages nécessaires à l'emmagasinement de l'eau; dans les zones humides, elle permettra la construction d'un système d'égout et de drainage adéquat. Elle permettra aux cultivateurs de déterminer les cultures rentables dans une région donnée, etc.

Cependant, la connaissance statistique d'un seul phénomène ne permettra pas de faire des prédictions. On ne doit pas s'attendre à avoir la normale tous les ans. Il y a une fluctuation autour de la normale et cette fluctuation se fait entre deux extrêmes, qui sont bien souvent le double, le triple de la valeur moyenne et même davantage, pour la valeur haute, la moitié le tiers ou même moins, pour la valeur basse. Et encore ces extrêmes sont susceptibles d'être dépassés chaque jour et chaque année car l'établissement de nouveaux records est chose courante. Bien entendu les chances d'avoir un faible écart à la moyenne sont plus grandes que celles d'avoir une grande différence. Mais le fait qu'un événement se produise une fois par cent ans, n'implique pas que, si l'événement s'est produit une année, il se produira seulement dans cent ans. Il peut aussi bien se produire l'année suivante, dans dix ans ou en n'importe quelle année et la probabilité de un sur cent sera encore vraie.

Il ressort de ceci que la normale est quelque chose qui ne se produit à peu près jamais, qu'il y a une plus grande probabilité d'avoir une valeur près de la normale mais qu'il est toujours possible d'avoir des valeurs très éloignées.

#### EVALUATION DE L'ENSEMENCEMENT

Dans nos régions, on observe une grande variabilité dans les hauteurs de précipitation.

Dans le cas de l'ensemencement à l'iodure d'argent, l'accroissement de la précipitation vient s'ajouter aux variations naturelles. Si cet accroissement était plus fort ou du même ordre

de grandeur que les variations naturelles, il serait facile à déceler.

Dans les régions montagneuses (très hautes montagnes) où la dispersion des hauteurs de précipitation autour de la moyenne est faible et où le processus d'ensemencement se trouve dans des conditions très favorables, il est possible de déceler une augmentation. Elle est de l'ordre de 10% à 15% d'après les rapports de l'"Advisory Committee on Weather Control" des U.S.A. Dans nos régions à faible contraste orographique où la fluctuation des hauteurs de précipitation par rapport à la moyenne est grande, il est impossible de séparer les fluctuations naturelles et les fluctuations artificielles. Cependant on a des raisons de penser que cette augmentation est inférieure en moyenne à 10%, puisque dans nos régions les conditions d'ensemencement sont beaucoup moins favorables que dans les régions montagneuses.

## CONCLUSIONS

Nous avons expliqué, à l'aide de la théorie de Bergeron - Findeisen, la formation naturelle de la pluie sous nos latitudes. Nous avons fait ressortir les conditions nécessaires à l'emploi de l'iodure d'argent comme agent d'action sur les précipitations. Enfin, nous avons montré les difficultés que présente l'évaluation de la fraction des pluies attribuables à l'iodure d'argent dans les cas d'ensemencement.

Nous avons supposé que le cristal d'iodure d'argent agit dans le nuage de façon semblable aux noyaux glaçogènes naturels. Ceci a été vérifié en laboratoire mais n'a jamais été contrôlé dans l'atmosphère. Cette lacune d'expérimentation n'a pas échappé aux premiers chercheurs. De 1952 à 1954, l'"Advisory Group on Artificial Cloud Nucleation" a effectué quelques remarquables expériences sur le sujet. Les auteurs ont conclu simplement "que 16 g. d'iodure d'argent sont moins efficaces que 4 livres de neige carbonique par mille". Le nombre d'ailleurs restreint d'expériences porte à penser que le projet devrait être repris.

Nous croyons donc, comme la majorité des météorologistes, qu'une meilleure connaissance des processus naturels de formation de la pluie est d'abord nécessaire si on veut trouver les moyens d'agir efficacement sur les phénomènes atmosphériques. Il se fait actuellement beaucoup de recherches sur l'évaluation des précipitations dues à l'ensemencement et on espère qu'un contrôle sérieux des résultats sera possible d'ici quelques années.

BIBLIOGRAPHIE

- Bricard, Jean "Physique des nuages".  
Paris, 1953. Les Presses Universitaires de  
France. pp. 343.
- Berry, F.A. and Als. "Final Report of the Advisory Committee on  
Weather Control".  
Vol. I et Vol. II, Washington 1958. U.S. Geo.  
Printing Office.
- Cachera, P. "Réflexions sur la pluie provoquée et analyse  
d'une nouvelle voie de recherche".  
Bulletin du Centre de recherches et d'essais  
de Chatou. 1963. pp. 28.
- Mason, B.J. "The Physics of Clouds".  
Oxford 1957. Clarendon Press. pp. 481.
- Ruby, Général F. "La grêle. La pluie artificielle".  
Paris, 1962. Eyrolles, éditeur. pp. 183.
- Water Resources Activities in the U.S.A. "Weather Modification".  
Washington, janvier 1960. U.S. Gov. Printing  
Office.

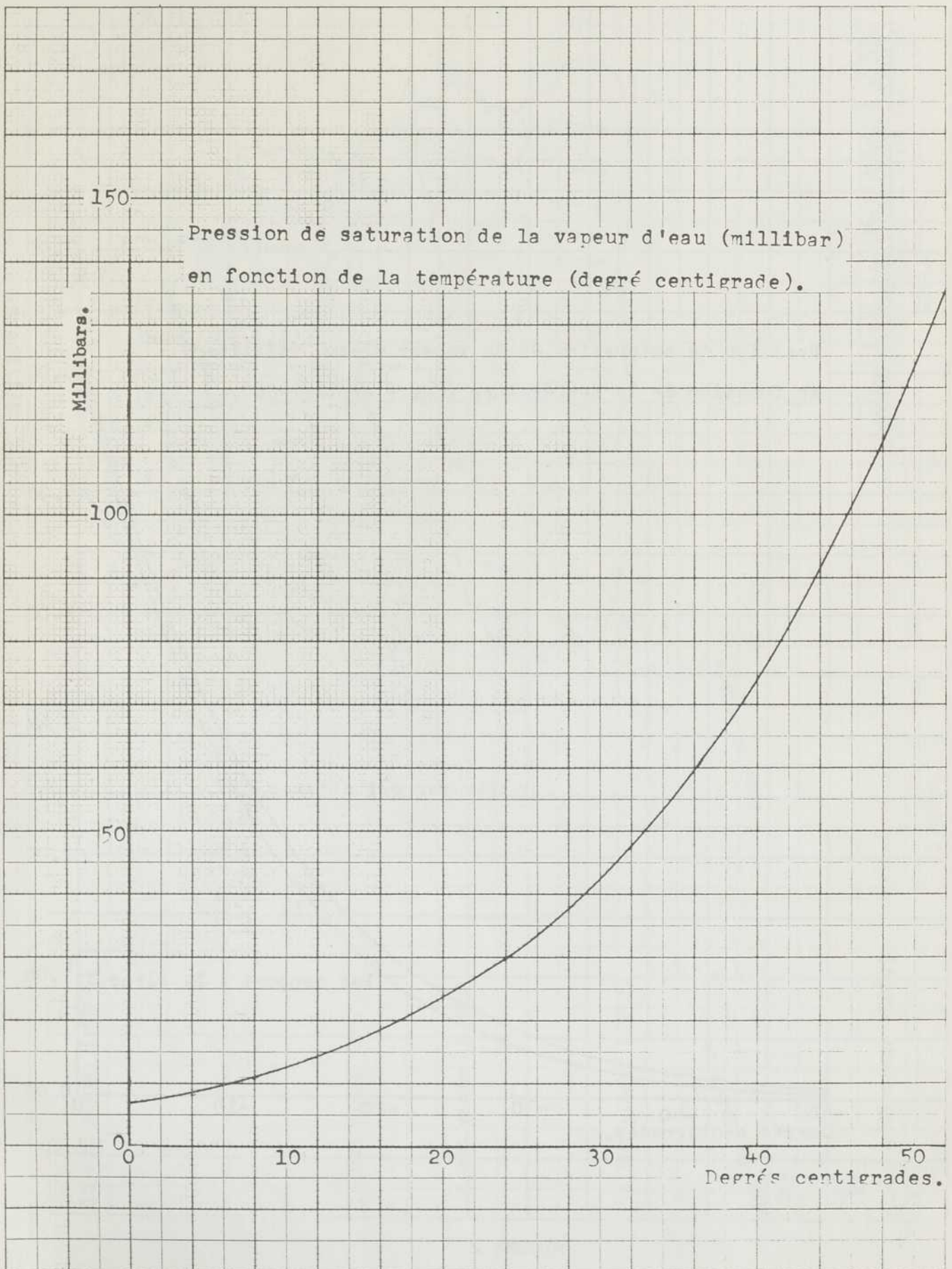


FIGURE 1

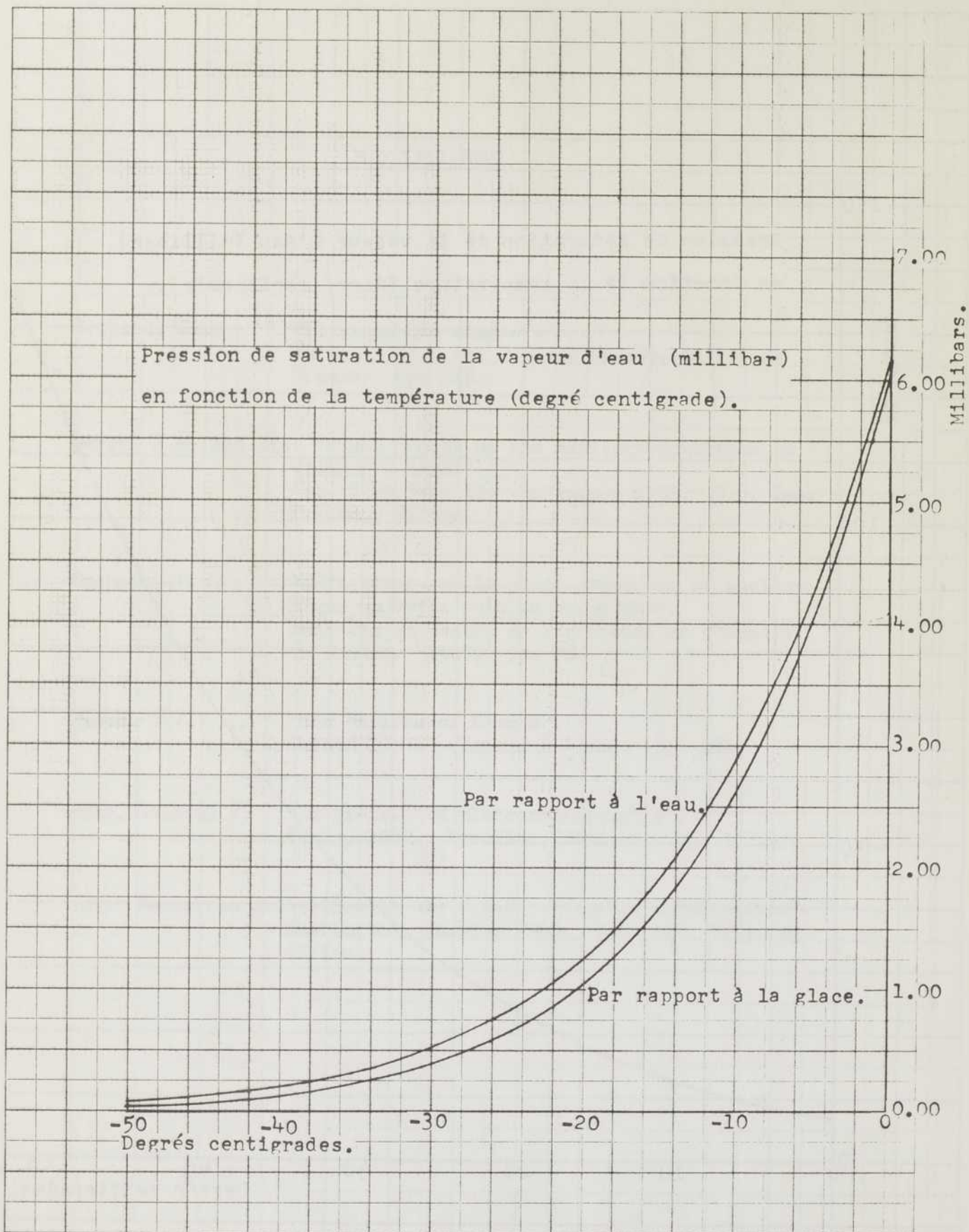


FIGURE 2

FIGURE 3

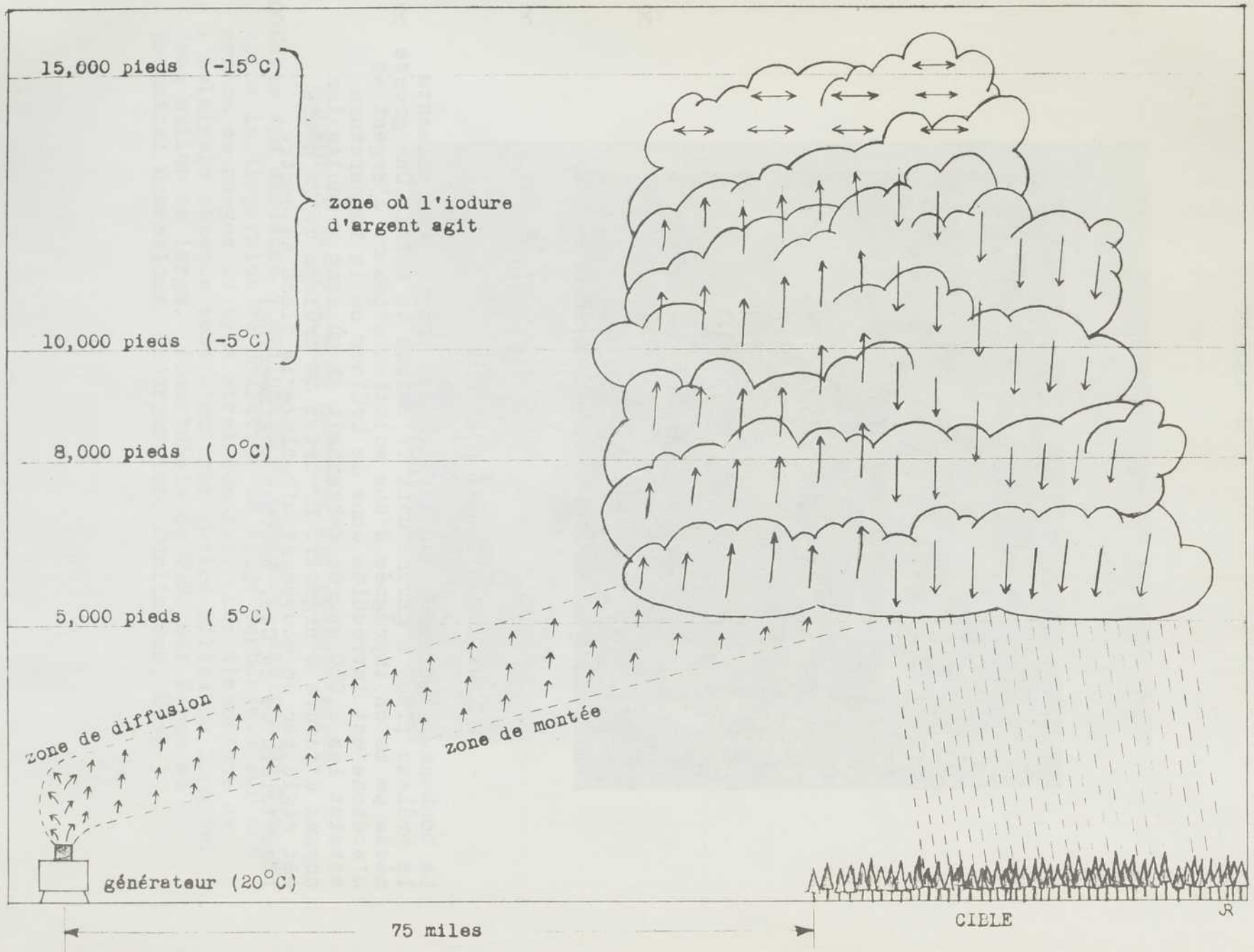


FIGURE 4



#### GENERATEUR D'IODURE D'ARGENT

La bonbonne, à droite, contient le gaz propane qui alimente le brûleur placé à gauche dans la caisse de métal. Une grosse mèche de coton imprégnée d'une solution d'iodure d'argent et d'acétone est introduite dans le brûleur où la température atteint les 2,000 degrés Fahrenheit et où sont produits les noyaux d'iodure d'argent.. Le débit de brûlage de la mèche est réglé par un mouvement d'horlogerie placé au centre. (Courtoisie de la Cie. Weather Engineering)

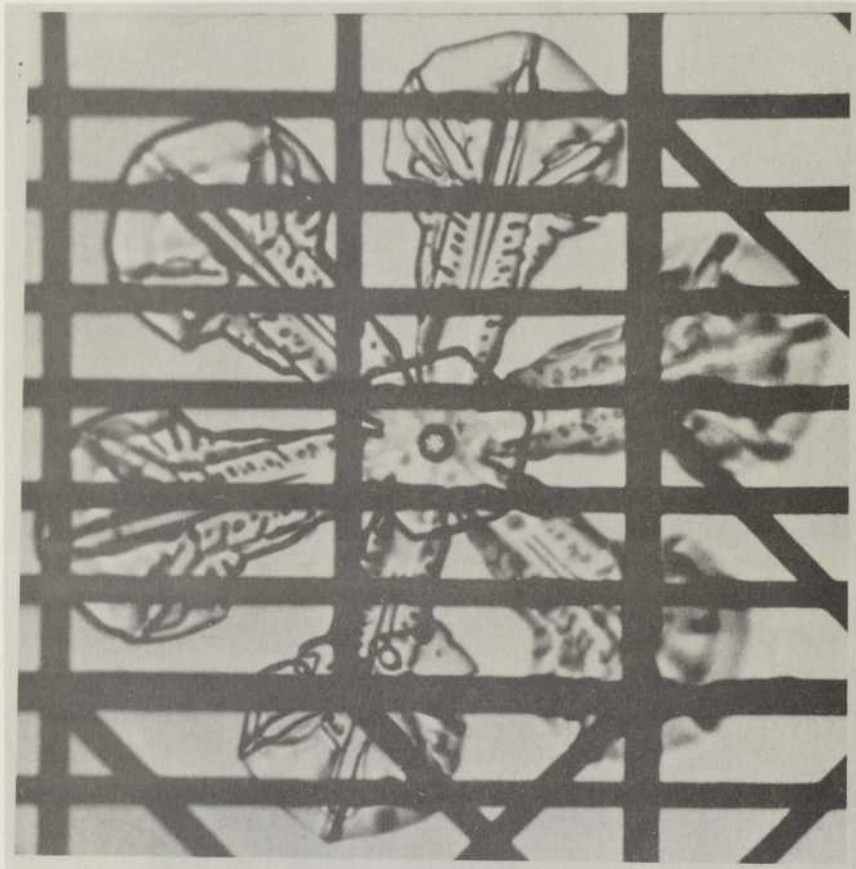
FIGURE 5



**ECLAIRCIE ARTIFICIELLE PRODUITE PAR ENSEMENCEMENT**

Cette vue aérienne a été prise au Labrador, environ 25 minutes après la dispersion de boulettes de neige carbonique sur une couche de nuages du type stratocumulus. Les dimensions de l'éclaircie obtenue sont d'environ quatre milles de long par deux milles de large. (Courtoisie de U.S. Air Force et Technical Operations, Incorporated, Burlington, Mass.)

FIGURE 6



Cette photographie nous fait voir un cristal en forme d'étoile produit artificiellement par ensemencement d'un stratus à l'aide de neige carbonique. L'échantillon a été pris au Groënland et provenait d'un nuage dont la température était de  $-10^{\circ}\text{C}$ . Le cristal de neige précipitait 40 minutes environ après l'ensemencement. (Photomicrographie optique de Motoi Kamai. Publiée avec la permission de l'auteur et de U.S.A. - C.R.R.E.L. 1962).



BNQ



000 472 729