

Etude en soufflerie climatique (Cryospheric Environment Simulator) de l'influence du type de grain de neige et du régime d'écoulement sur la formation d'une congère

Study in a climatic wind tunnel (Cryospheric Environment Simulator) of the influence of the type of grain of snow and of the flow on the formation of a snow-drift

Michaux J.L.* , Naaim-Bouvet F.* , Kosugi K.** , Sato A.** , Sato T.**

* Division ETNA, Cemagref, 2 rue de la papeterie, BP 76, 38402 Saint-Martin d'Hères, France

** Shinjo Branch of Snow and Ice Studies, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japon

The transport of snow by the wind presents many problems in terms of winter viability and risk of avalanche. Until now, the numerical modeling of this phenomenon, considered only a regular wind, and one type of particle. In order to improve this modeling, we sought to know the influence of the type of grain of snow and the mode of flow during an episode of transport of snow by the wind. To this end, we carried out experiments with the climatic wind tunnel of Shinjo Branch of Snow and Ice Studies in Japan. We studied the effect of the mode of flow and the type of grain of snow on the speed of formation and the shape of a snow-drift around a model of snow barrier, like on the density of the deposit.

These experiments highlight that the process of formation of the deposit is closely related to the type of transported particles. The type of grain of snow transported can vary in a significant way the speed of formation of the deposit, the volume of snow deposited like its density.

Of more, these studies made it possible to determine the influence of the mode of flow in the process of formation of a snow-drift : this one is formed more quickly by regular wind than by gusts, but with saturation the generated deposits are identical. It thus appears that the nature of the flow, in gust or by regular wind does not intervene on the form of the deposit with saturation, but on the speed of formation of the deposit.

I ■ INTRODUCTION

Le transport de la neige par le vent pose de nombreux problèmes en termes de viabilité hivernale et de risque d'avalanche. Jusqu'à présent, la modélisation numérique du transport de la neige par le vent ne tenait compte ni du type de neige transportée, ni du régime de vent (stationnaire ou soufflant en rafales). Or (Naaim-Bouvet, 1997) a mis en évidence que le flux de neige qui se dépose dépend de paramètres qui sont liés à la fois au type de particule (concentration, vitesse de chute, vitesse de frottement seuil), et au régime du vent (concentration en particules, vitesse de frottement) :

$$\phi_d = -\bar{C} U_F \frac{(u_i^* - u^*)^2}{u_i^{*2}} \quad (\text{Équation 1})$$

Avec

ϕ_d le flux de dépôt,

\bar{C} la concentration moyenne en particules,

U_F la vitesse de chute des particules,

u^* la vitesse de frottement,

u_i^* la vitesse de frottement seuil.

Cependant, les gammes de valeurs que peuvent avoir ces paramètres intrinsèques au type de grain de neige ou à l'écoulement sont mal connues. Nous avons donc cherché à quantifier l'influence du type de grain de neige sur la formation d'un dépôt ainsi que celle de la nature de l'écoulement, en termes de vitesse de formation, de volume de neige déposé, et de densité du dépôt.

Dans ce but, nous avons réalisé des expériences à la soufflerie climatique du Shinjo Branch of Snow and Ice Studies au Japon. Nous avons étudié l'effet du régime d'écoulement et du type de grain de neige sur la vitesse de formation et sur la forme d'une congère autour d'une maquette de barrière à neige, ainsi que sur la densité du dépôt.

Après une présentation de la soufflerie climatique utilisée, nous décrirons les expériences réalisées et nos résultats.

II ■ PRÉSENTATION DU CRYOSPHERIC ENVIRONMENT SIMULATOR

● II.1 La soufflerie climatique du CES

Le Shinjo Branch of Snow and Ice Studies est une division du National Institute for Earth Science and Disaster Prevention au Japon. Ce laboratoire possède un Cryospheric Environment Simulator qui est une grande chambre froide munie d'une soufflerie et d'une table expérimentale permettant de réaliser des expériences sur les différents phénomènes liés aux problèmes de neige et de glace, en particulier le transport de la neige par le vent (D. Font, 1999).

L'intérêt d'un outil tel que cette soufflerie climatique est multiple.

Par rapport aux expériences sur le terrain tout d'abord, ces souffleries permettent de réaliser un grand nombre d'expériences dans un laps de temps relativement court, et en contrôlant les paramètres tels que le vent ou la température, ce qui n'est pas possible sur le terrain. De plus grâce à ces outils, les expériences ne se limitent plus à la saison hivernale mais peuvent être réalisées toute l'année.

Par rapport à une soufflerie « chaude » telle que celle du Cemagref, l'intérêt des souffleries climatiques est de pouvoir travailler avec de la vraie neige. Ceci est très important car la neige possède des propriétés cohésives et évolutives au cours du temps qui ne sont pas reproductibles avec de la poudre.

Les principaux équipements du C.E.S sont les suivants (Figure 1) :

- Soufflerie avec des vents de 0 à 20 m.s^{-1} , réguliers ou en rafales de dimension ($1 \times 1 \times 14 \text{ m}$);
- Fabrication de neige artificielle dendritique jusqu'à 1 mm.h^{-1} ;
- Production de pluie (goutte de diamètre jusqu'à 0.5 mm);

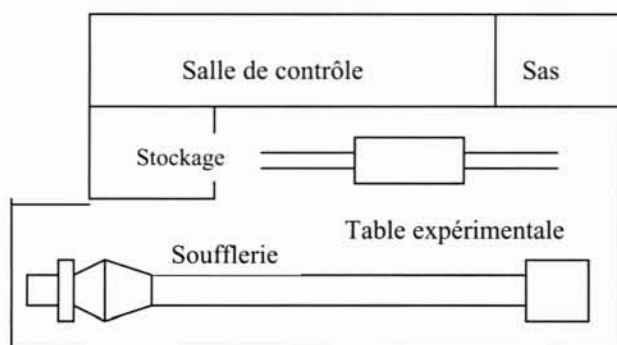


Figure 1 : Schéma de la soufflerie et des principaux équipements du C.E.S.

- Table d'expériences inclinable de dimension ($3 \times 5 \text{ m}$);
- Simulateur solaire de 150 à 1000 kW.m^{-2} .

Tous ces équipements sont situés dans une grande salle climatisée dont la température peut varier de -25°C à $+30^\circ\text{C}$, et l'humidité de 30 à 80%.

Les expériences que nous avons réalisées se sont déroulées dans cette salle, par température froide (-15°C), en utilisant la soufflerie, et en prenant comme matériau d'étude deux types de neige :

- Une neige de référence, appelée vieille neige, assimilable à des grains fins. Sa taille moyenne est de l'ordre de 0.3 mm ;
- Une neige dite type A, dendritique et produite artificiellement.

● II.2 Instrumentation utilisée

Snow Particle Counter

Afin de réaliser des profils de concentration, nous avons utilisé un S.P.C. (Snow Particle Counter). Ce capteur détermine le diamètre des particules et leur nombre à partir de leur ombre sur des semi-conducteurs photosensibles (Schmidt, 1977). Le flux de masse est déterminé à partir du diamètre moyen des particules et de leur nombre. ($\text{g.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

Diode laser

Les mesures de hauteur de dépôt sont réalisées à partir d'une diode laser qui évalue la distance entre elle-même et la surface de réflexion.

Boîte à érosion

Dans cette soufflerie, l'érosion peut être simulée de la manière suivante :

Une boîte de dimensions $0.7 \times 0.3 \times 1 \text{ m}$ est remplie de neige préalablement tamisée. La vieille neige est auparavant morcelée à l'aide d'une fraise à neige. La boîte est située sous la soufflerie, en entrée de veine. Elle possède un système hydraulique qui permet de la faire monter à la vitesse désirée. La neige est donc soulevée jusqu'à ce qu'elle arrive au niveau du fond de la soufflerie. Là, une tige horizontale découpe la neige sortant de la boîte afin de lui permettre de s'éroder. La vitesse de montée de la boîte est étalonnée pour que le flux de neige soit à saturation pour le type de neige de référence (vieille neige).

III ■ Influence du type de grain de neige sur la formation du dépôt

● III.1 Protocole expérimental

Pour étudier l'influence du type de grain de neige sur la formation d'un dépôt, nous avons comparé la formation d'une congère autour d'une barrière à neige, pour la même vitesse de vent (vent régulier à 6 m.s^{-1}), et en utilisant deux types de neige très différents : la vieille neige, et la neige type A. La mesure de la hauteur de neige au sol a été effectuée suivant un profil passant par le milieu de la congère, de part et d'autre de la barrière, perpendiculairement à celle-ci. En fonction du type de neige, nous avons étudié le temps mis pour atteindre la saturation, comparé le volume du dépôt

à différents instants ainsi qu'à saturation, et étudié la densité de la congère. Remarquons cependant que lorsque dans cette partie nous parlons de saturation, il s'agit de saturation de la hauteur de la congère, et non pas de son volume. Car comme l'indique (Naaim-Bouvet, 1997), la hauteur de neige d'un dépôt n'est pas un critère suffisant pour conclure sur la saturation ou non du volume de la congère.

III.2 Influence du type de neige sur la vitesse de formation du dépôt

Ces expériences mettent en évidence que le temps nécessaire pour obtenir la saturation d'un dépôt dépend fortement du type de neige. En effet, dans le cas de la neige type A, la saturation de la hauteur du dépôt a été atteinte au bout de 1h30 (Figure 2), alors que ce délai passe à 2h30 pour la vieille neige (Figure 3). Cette différence de vitesse de saturation peut s'expliquer à la fois par une différence en terme de concentration moyenne de neige transportée à une vitesse de vent donnée (Figure 4), ainsi que par les différences de vitesse de chute et de frottement seuil de dépôt entre ces deux types de neige (Equation 1).

En fait, le flux transporté est plus faible dans le cas de la neige type A que pour la vieille neige. Nous avons, en effet, été contraints de réduire la vitesse de montée de la boîte d'éjection dans le cas de la neige type A par rapport à la vieille neige, car sinon des dépôts de neige non transportée se formaient devant la boîte.

III.3 Influence du type de neige sur le volume du dépôt

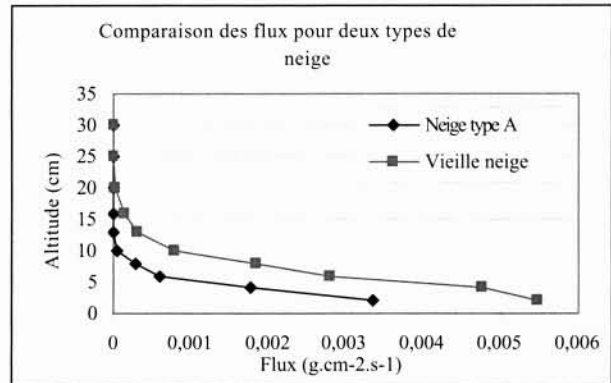


Figure 4 : flux de particules transportées pour les deux types de neige.

Un autre facteur important dans cette étude est le volume de neige susceptible de se déposer à saturation. Là encore, ces expériences mettent en évidence les grandes différences que l'on peut obtenir en fonction du type de neige. Ainsi, pour la vieille neige le dépôt est beaucoup plus conséquent que pour la neige, type A (Figure 5 et Figure 6). Pour une même vitesse de vent et deux types de neige, le flux de neige transportée peut être différent, et par conséquent les dépôts formés ne seront pas les mêmes.

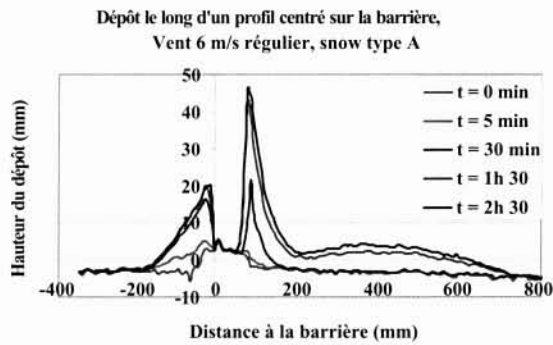


Figure 2 : Dépôt autour d'une barrière à neige. Cas de la neige type A.

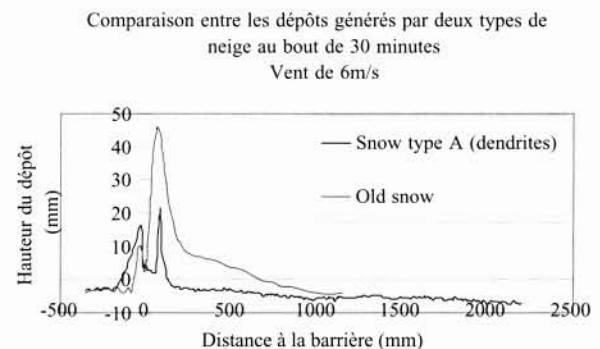


Figure 5 : Dépôts au bout de 30 minutes. Comparaison entre deux types de neige.

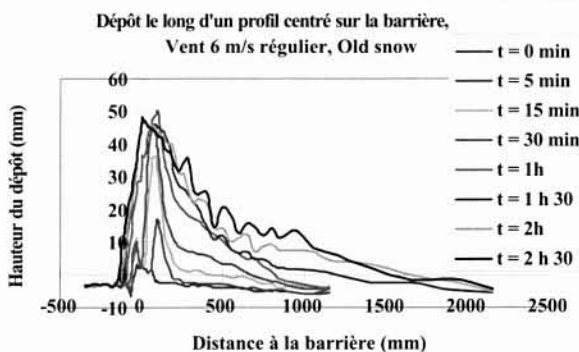


Figure 3 : Dépôts autour d'une barrière à neige. Cas de la vieille neige.

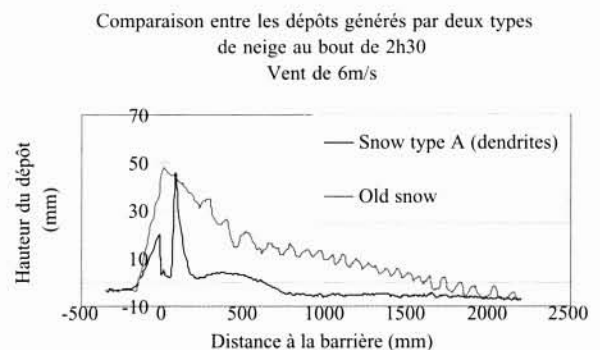


Figure 6 : Dépôts au bout de 2h30. Comparaison entre deux types de neige.

● III.4 Influence du type de neige sur la densité du dépôt

Des mesures de densité dans la congère autour de la barrière à neige font également apparaître de fortes différences entre la congère formée par la neige type A (150 kg.m^{-3}) et celle formée par la vieille neige (484 kg.m^{-3}). Là encore, cette différence implique que les conséquences d'un épisode de transport en terme de risque d'avalanche dépendent du type de neige. Dans un cas, nous avons affaire à une plaque légère de neige fraîche, tandis que dans l'autre cas nous obtenons une plaque dense de vieille neige. Les efforts exercés par cette plaque sur le manteau neigeux situé dessous, et l'ancrage de cette plaque seront donc différents dans les deux cas. Remarquons cependant que dans cette expérience nous n'avons pas tenu compte du fait que lors d'un épisode de transport, si les particules sont transportées sur une longue distance, elles vont avoir tendance à s'arrondir en perdant leur dendrite. La différence au niveau du dépôt sera donc moins prononcée que dans nos expériences où la distance de transport est très courte (quelques mètres).

IV ■ Influence du régime d'écoulement sur la formation du dépôt

● IV.1 Protocole expérimental

Pour quantifier la différence entre le transport de neige par le vent avec et sans rafales, nous avons comparé en soufflerie l'évolution temporelle et spatiale des dépôts de neige autour d'une barrière à neige, dans le cas d'un transport par vent régulier de 10 m.s^{-1} et dans le cas d'un vent soufflant en rafales de $10 \text{ m.s}^{-1} \pm 4 \text{ m.s}^{-1}$. Les expériences ont été réalisées avec une barrière pleine avec garde au sol, et de la vieille neige.

Notons que nous avons été contraints d'arrêter la soufflerie toutes les 8 minutes pour remettre de la neige dans la boîte qui alimente la soufflerie en neige. En effet la vitesse de montée de la boîte à neige était réglée pour que l'on soit à saturation de neige transportée à 10 m.s^{-1} et la boîte se vidait en 8 minutes.

● IV.2 Influence du régime d'écoulement sur la vitesse de formation du dépôt

Pour chacune des expériences, à la fois avec un vent constant et avec un vent en rafales, nous avons relevé le profil de dépôt autour de la barrière à neige à différents instants. Nous avons constaté que la saturation de la congère était atteinte plus rapidement par vent régulier (au bout de 30 minutes environ dans notre expérience (Figure 7) que dans le cas d'un vent soufflant en rafales (saturation atteinte au bout de 1 h (Figure 8). Or, la quantité de neige transportée moyenne est a priori identique dans les deux expériences (avec et sans rafale), puisque dans les deux cas la boîte éjecte le même débit de neige dans la soufflerie. C'est donc que le flux de neige qui peut se déposer derrière la barrière à neige dans le cas d'un vent soufflant en rafale est plus faible que dans le cas d'un vent régulier, pour une même vitesse moyenne du vent. Si l'on reprend l'équation 1, cette variation se traduit en particulier à travers l'influence de la vitesse de frottement sur le flux de dépôt.

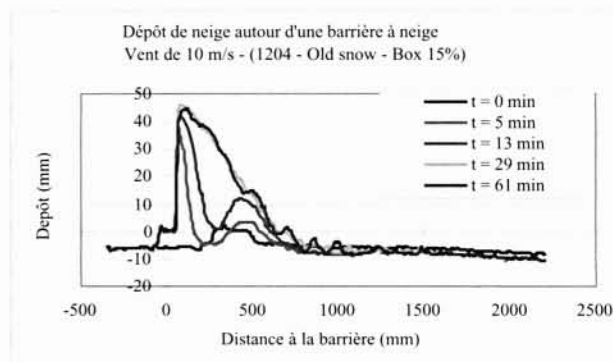


Figure 7 : évolution du dépôt autour d'une barrière à neige. Cas d'un vent constant de 10 m.s^{-1} . La saturation du dépôt est atteinte au bout de 30 minutes.

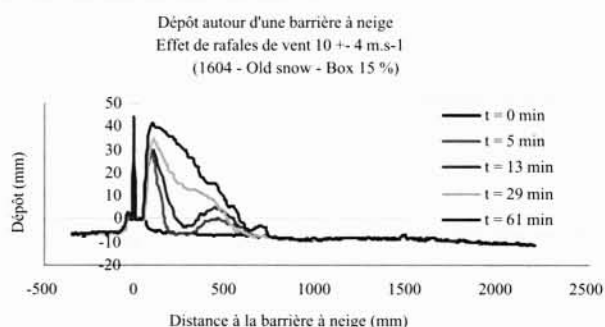


Figure 8 : évolution du dépôt autour d'une barrière à neige. Cas d'un vent en rafales de $10 +4 \text{ m.s}^{-1}$. La saturation est atteinte au bout de 1 h.

● IV.3 Influence du régime d'écoulement sur le volume du dépôt

D'autre part, cette étude montre que la congère formée à saturation est la même dans les deux expériences (Figure 9). Il semble donc que la nature de l'écoulement, stationnaire ou en rafales, n'intervient pas sur la forme de la congère à saturation, mais seulement sur la vitesse de formation du dépôt.

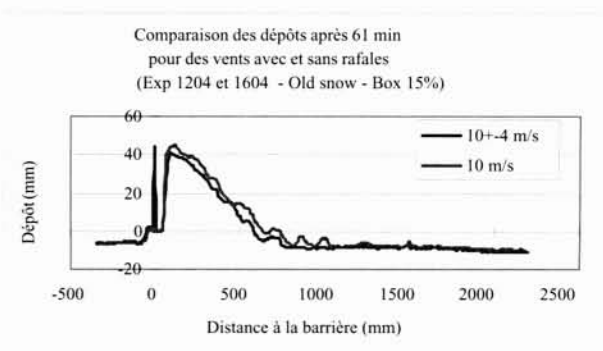


Figure 9 : Evolution du dépôt autour d'une barrière à neige. Comparaison entre vent avec et sans rafale au bout de 61 minutes.

● IV.4 Problème de la validité des résultats

Le principal problème concernant la comparaison de ces deux expériences avec et sans rafales est de savoir si le flux de neige transportée est à saturation ou pas durant les rafales. En effet, la boîte à neige éjecte de la neige à une certaine vitesse réglée pour qu'à 10 m.s^{-1} l'on soit proche de la saturation du flux. Mais nous conservons cette vitesse d'éjection dans le cas des rafales où le flux de neige transportée est différent : lors de périodes de vent inférieur à 10 m.s^{-1} , il y a formation de dépôt devant la boîte car le flux de neige éjectée est supérieur au flux de neige transportable. Lorsque la vitesse est supérieure à 10 m.s^{-1} , la quantité de neige éjectée par la boîte est inférieure au flux transportable. Une partie de la neige déposée devant la boîte lors des périodes de vent plus faible est alors érodée pour compenser ce déficit. Mais on peut se demander si cela suffit à combler le déficit par rapport au flux à saturation. Pour s'affranchir de ce problème, il serait nécessaire de reproduire ce type d'expérience mais avec une couche de neige au sol devant la barrière, au lieu d'utiliser la boîte pour alimenter la soufflerie en neige.

V ■ CONCLUSION

Ces expériences mettent donc en évidence que le processus de formation du dépôt est étroitement lié au type de particules transportées, tant pour la vitesse de formation du dépôt, que pour le volume de neige déposé ou sa densité.

De plus, ces études ont permis de déterminer l'influence du régime d'écoulement dans le processus de formation

d'une congère : celle-ci se forme plus rapidement par vent régulier que par rafales, mais à saturation les dépôts générés sont identiques. Il apparaît donc que la nature de l'écoulement, en rafales ou par vent régulier n'intervient pas sur la forme du dépôt à saturation, mais sur la vitesse de formation du dépôt.

Remerciements

Cette étude a été financée par le National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) au Japon. Elle a pu être réalisée grâce au soutien scientifique et technique et à l'accueil chaleureux de toute l'équipe du Shinjo Branch of Snow and Ice Studies.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Font i Coveney, D. (1999). — « Drifting snow : processes and effects on the snow cover », Thèse de Doctorat, Département de Géodynamique et de Géophysique, Université de Barcelone, 211 p.
- [2] F. NAAIM-BOUVET (1997). — « Contribution à la modélisation physique et numérique du transport de la neige par le vent », Thèse de Doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, 339 p.
- [3] R.A. SCHMIDT (1977). — « A system that measures blowing snow », U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Research Paper RM-194, 80 p.