



Note technique RTM

2019

Document interne

Les normes d'équipement de protection
contre les avalanches :

NF P 95-303, NF P 95-304 et NF P 95-305

Aide à la lecture

Note technique produite dans le cadre du réseau technique RTM de l'ONF

Cet ouvrage a été élaboré par l'ONF pour répondre à ses propres activités dans le domaine de la RTM. Il s'agit donc d'un ouvrage conçu pour une diffusion exclusivement interne.

Thématique : Génie civil et travaux

Sous-thème : Ouvrages paravalanche

Historique de la diffusion

Version	Date	Commentaires
V0	27/03/2019	Transmission Thierry Faug et Philippe Berthet Rambaud pour relecture
V1	26/04/2019	Transmission DFRN, Thierry Faug et Philippe Berthet Rambaud pour relecture
V2	06/08/2019	Transmission DFRN pour dernière relecture et transmission

Rédacteur(s) et validation

Rédacteur principal du rapport	Transmission
Nom - Prénom : Rémy MARTIN Fonction : Adjoint Technique au Directeur d'agence RTM Alpes du Nord Date : 06/08/2019	Nom - Prénom : Olivier MARCO Fonction : Chef du Département Risques Naturels (ONF/DFRN/DRN) Date : 24/10/2019

Relecteur(s) :

Philippe BERTHET RAMBAUD (Engineerisk)

Simon CARLADOUS (ONF/DFRN/DRN)

Thierry FAUG (IRSTEA)

Mots clés : écran paravalanche, norme, filet paravalanche, claie, râtelier

Diffusion interne ONF-RTM

Photo en couverture : Dispositif de protection du Capet (65)

Résumé

Historiquement, l'ONF-RTM a occupé une place centrale avec l'IRSTEA dans le développement des solutions de protection contre les avalanches en France.

Le cadre normatif français dans ce domaine est apparu en 1992 au travers d'une série de normes sur les écrans paravalanches (NF P 95-303, NF P 95-304 et NF P 95-305), un essai d'ancrage en 1994 (NF P 95-301) et abondé en 1996 sur le déclenchement des avalanches (NF P 95-310, NF P 95-311 et NF P 95-313). Depuis, ce corpus de normes est resté en attente. Pourtant, les moyens de mise en œuvre ont fortement évolué, des désordres parfois récurrents sont apparus, et les attentes, notamment vis-à-vis du domaine réglementaire, se sont précisées (constructibilité à l'aval des ouvrages, définition de l'aléa résiduel, définition des actions type Eurocodes, etc.).

Le Groupe de Travail n°1 de la Commission de Normalisation Equipements de Protection Paravalanches et Pare-Blocs au sein du Bureau de Normalisation des Transports, des Routes et de leurs Aménagements (BNTRA CN PAB GT1) a entrepris un premier travail de révision de la NF P 95-303 et de la NF P 95-304. Il a volontairement conservé la philosophie initiale résumée en ces mots : « une simplification des hypothèses de calcul pour permettre le développement de produits standards ». Ces normes, révisées sur la base de l'état des connaissances formalisées dans un guide suisse notamment, permettent de répondre à un cadre courant (implantation courante de projet et enjeu de type route ou réseau) ou à des situations d'urgence (par ex., habitat existant qu'il faut protéger). Si d'autres objectifs de protection sont donnés, il est cependant possible de définir des situations de projet plus contraignantes en effectuant un retour aux hypothèses de base et en refaisant les calculs à l'aide d'un outil disponible auprès de l'Irstea ou de l'ONF-RTM.

Ce document est adressé aux agents de l'ONF-RTM et, sur demande, aux autres spécialistes français du génie paravalanche. Au travers d'un rappel du contexte d'évolution de la norme, il leur donne la possibilité de vérifier que leur projet respecte le domaine de validité des normes et aboutit à des recommandations si ce n'est pas le cas.

Sommaire

I.	CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	7
II.	FONDEMENTS THÉORIQUES	9
III.	ANCIENNES NORMES	13
III.1	PRINCIPES COMMUNS	13
III.2	NF P 95-303 ET NF P 95-304 (VERSION 1992).....	14
III.3	NF P 95-305 (VERSION 1992)	15
IV.	DESCRIPTIF SYNTHÉTIQUE DES DOMMAGES OBSERVÉS	17
IV.1	DOMMAGES AUX ECRANS RIGIDES	17
IV.2	DOMMAGES AUX ECRANS SOUPLES.....	17
IV.3	CORRECTION DES DOMMAGES LIES A L'IMPLANTATION DES OUVRAGES	18
V.	RÉVISIONS APPORTÉES.....	19
V.1	BESOINS ASSOCIES A LA REVISION	19
V.2	BASES THEORIQUES DE LA DEFINITION ET DU CALCUL DES ACTIONS.....	19
V.3	ACTIONS ET PONDERATIONS	21
V.4	DES THEMES TRAITES PARTIELLEMENT	22
V.4.1	Implantation des ouvrages.....	22
V.4.2	Action de la poussée de la neige sur la console	22
V.4.3	Normes ouvrages et normes produits.....	23
V.4.4	Ancrages.....	23
V.4.5	Types d'actions.....	23
V.4.6	Actions du vent.....	23
VI.	CONSÉQUENCES DU CHOIX D'UN PRODUIT PAR RAPPORT À UN OUVRAGE SUR-MESURE.....	25
VI.1	INFLUENCE DE LA DENSITE DE LA NEIGE	25
VI.2	INFLUENCE DE LA PENTE	25
VI.3	SPECIFICITES DES ECRANS SOUPLES	26
VI.4	FACTEURS OUBLIES	26

VII. RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS	27
RÉFÉRENCES	29

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS

En France, le génie paravalanche dans les zones de départ potentiel des avalanches a connu un essor important dans les années 1970-1990. Les écrans de stabilisation du manteau neigeux et les ouvrages à vent ont alors fait l'objet de nombreuses évolutions. Pour les premiers, les dispositifs d'écrans souples (filets paravalanches), réalisés dans les années 1970-1980, sont venus compléter les dispositifs d'écrans rigides plus anciens (claires et râteliers). De nombreux développements ont eu lieu et les produits ont évolué en s'enrichissant des retours d'expérience.

En 1992, les premières normes sur les spécifications de conception des « équipements de protections contre les avalanches » sont parues : la NF P 95-303 « Claire, râtelier », la NF P 95-304 « Filets paravalanches » et la NF P 95-305 « Barrière à neige ». Elles se focalisent sur le dimensionnement de la structure (géométrie, matériaux, composants, efforts) et ne traitent pas des dispositifs de fondation ou des règles d'implantation sur le terrain (disposition entre lignes, etc.), sauf pour les barrières à neige (NF P 95-305, Annexe C). A compter de cette date, ces ouvrages ont fait l'objet d'évolutions et de recherches d'optimisation pour répondre aux spécificités des normes au moindre coût.

Par exemple, les dernières innovations sont les produits dits « mono ancrages ». Il s'agissait d'abord de structures avec un timon supportant un treillis et donc assimilées à des écrans souples. Plus récemment, des produits écrans rigides ont été développés sur le même principe, mais ils ne disposent plus de timon amont.

Les modes de fondation ont eux aussi très sensiblement progressé. En France, l'ancrage dit à « scellement continu » est venu remplacer les types de fondation plus anciens (plots béton, barres enfouies, pieux explosés). Bien dimensionné et réalisé, il permet des capacités de reprise d'effort par le terrain très importantes, en conservant une certaine facilité de mise en œuvre.

Le Groupe de Travail n°1 de la Commission de Normalisation des équipements de protection paravalanches et pare-blocs au sein du Bureau de Normalisation des Transports, des Routes et de leurs Aménagements (BNTRA CN PAB GT1) a entrepris la révision des deux normes sur les écrans. Le travail a abouti en septembre 2016 à une nouvelle version de la NF P 95-304 « Equipement de protection contre les avalanches – Ecrans paravalanches souples – Spécifications de conception », et en 2019 à une nouvelle version de la NF P 95-303 « Equipement de protection contre les avalanches – Claire, râtelier – Spécifications de conception ». La commission a décidé de ne pas réviser la NF P 95-305.

Cette note a pour objectif d'accompagner les agents des services de Restauration des Terrains en Montagne de l'Office National des Forêts (ONF-RTM) et autres spécialistes français du génie paravalanche à la compréhension de l'évolution de ces normes. Elle se concentre principalement sur celles relatives aux écrans (NF P 95-303 et NF P 95-304). Elle rappelle les spécificités des anciennes versions puis précise le cadre d'application des nouvelles versions.

Elle complète plusieurs documents techniques dans le domaine du génie paravalanches, disponibles sur demande auprès des services de l'ONF-RTM :

- IRSTEA et ONF-RTM (2014), « Guide ouvrages à vent paravalanches », Ministère de l'Ecologie
- ONF-RTM (2014), « Diagnostic et maintenance des filets de protection contre les avalanches »
- ONF-RTM (2019), « Ancrages passifs à scellement continu en terrain meuble pour les ouvrages paravalanches - Aide à l'exécution - Directive technique pour les ouvrages du Ministère de l'Agriculture »

II. FONDEMENTS THEORIQUES

Tous les éléments de calcul sont issus de l'expérience Suisse. Nous faisons ici référence au document le plus récent qui est le chapitre 6 du « *The technical Avalanche Protection Handbook* » édité par Florian Rudolf-Miklau, Siegfried Sauermoser, Arthur I. Mears, en décembre 2014. Dans ce chapitre intitulé « *Structural avalanche defense : design and construction* », S. Margreth (entre autres) reprend les éléments du document de référence que nous nommerons « *le guide suisse* »¹.

Chaque écran paravalanche se compose d'un tablier qui constitue la surface d'appui qui reprend les efforts dus à la pression de la neige (reptation et glissement) et d'une console qui transmet les sollicitations du tablier aux fondations.

Les paramètres nécessaires au calcul des actions sur un écran paravalanche (rigide ou souple) sont :

- la hauteur verticale de neige (H , en mètres) à l'emplacement de l'ouvrage : selon le guide suisse (§ 3.5), elle correspond à la hauteur extrême de neige probable à l'endroit de l'ouvrage, calculée à partir des paramètres suivant :
 - o la moyenne des hauteurs extrêmes de neige établie au travers d'une approche régionalisée : elle dépend de l'altitude et de 4 zones géographiques (spécifiques à la Suisse) ;
 - o la hauteur maximale de neige mesurée, si possible pendant plusieurs hivers, par sondages ou jalons placés dans le périmètre à aménager ;
 - o la moyenne des hauteurs maximales de neige mesurées dans le voisinage du périmètre à aménager (pas observation sur plusieurs années) ;
- la hauteur verticale d'ouvrage (H_k , en mètres) avec, normalement, $H_k \geq H$ (Figure 2 et Figure 3) ;
- la déclivité de la pente (ψ en degrés) ;
- l'épaisseur de neige (D , en mètres), mesurée perpendiculairement au sol, qui dépend de la hauteur verticale de neige (H) et de la déclivité (ψ) : elle est notée D_k si on considère H_k (Figure 2) ;
- la masse volumique (ou densité) du manteau neigeux (ρ , en tonne/m³) qui dépend de :
 - o la densité moyenne d'un manteau neige (valeur de base) ;
 - o de l'altitude, à travers le facteur d'altitude (f_a) qui représente l'augmentation de la masse volumique avec l'altitude ;
 - o de l'exposition ;
 - o des conditions météorologiques annuelles ;
- le coefficient (a) qui dépend de la qualité de la neige, compris entre 0,2 et 0,5 ;
- le facteur de reptation (K) qui dépend de la déclivité (ψ) et de la masse volumique (ρ) ;
- le facteur de glissement (N) qui dépend de la classe de sols (définie selon la couverture du sol et sa rugosité) et de l'insolation (définie par l'exposition) (Figure 1) ;
- le facteur marginal (f_R) qui dépend de l'espacement entre les ouvrages (en mètre) et du facteur de glissement (N) ;
- l'angle de dévers (δ , en degrés) entre le tablier et la normale à la pente (Figure 2) : il est préconisé un dévers de $\delta=15^\circ$ à l'aval de la perpendiculaire à la pente pour les écrans rigides et un angle de $\delta=30^\circ$ par rapport au plan reliant le pied du filet aux points d'attache supérieurs pour les écrans souples.

¹ Office fédéral de l'environnement OFEV, WSL Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches ENA (2007), « Construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement – Aide à l'exécution : directive technique »

Classe de sols	Facteur de glissement N	
	 Exposition WNW-N-ENE	 Exposition ENE-S-WNW
Classe 1		
<ul style="list-style-type: none"> • éboulis de gros blocs ($d^* \geq 30$ cm) • terrain hérissé de blocs plus ou moins gros 	1,2	1,3
Classe 2		
<ul style="list-style-type: none"> • broussailles de vernes ou de pins, hautes de 1 m au moins • gros mamelons (plus de 50 cm de haut) couverts de gazon ou d'arbrisseaux • sillons (traces de vaches) profondément creusés • éboulis grossiers (d^* 10 à 30 cm) 	1,6	1,8
Classe 3		
<ul style="list-style-type: none"> • gazon court coupé d'arbrisseaux (bruyère, rhododendrons, myrtilles, vernes en buissons et pins, hauts de moins de 1 m) • fin pierrier ($d^* \leq 10$ cm) mélangé de gazon et de buissons • petits mamelons, jusqu'à 50 cm de hauteur, couverts de gazon ou de buissons, éventuellement disséminés sur un gazon lisse • gazon coupé de sillons peu profonds 	2,0	2,4
Classe 4		
<ul style="list-style-type: none"> • chaume lisse et uniforme • dalles lisses à stratification parallèle à la pente • pierrier uni, mélangé de terre • vallonements marécageux 	2,6	3,2
<small>d^* est la grosseur moyenne des blocs, caractéristique de la rugosité du sol.</small>		

Figure 1 : Choix du facteur de glissement selon la classe de sols et l'exposition (extrait du guide Suisse)

Selon le guide suisse, le calcul des actions s'exerçant sur le tablier puis la console se base sur les éléments suivant :

- le calcul des deux composantes de la pression de la neige sur le tablier (en kN/m^2) : parallèle (S'_N) et perpendiculaire (S'_Q) à la pente (Figure 2), avec pour les filets, une diminution de la composante parallèle à la pente de la pression de la neige, due à la souplesse de la surface d'appui, par un facteur de réduction de 0,8 ;
- en cas d'ouvrage déversé (tablier non perpendiculaire à la pente), le calcul des deux composantes du poids de prisme de neige (en kN/m') compris entre le tablier et le plan normal à la pente (G'_N et G'_Q) : elles s'ajoutent à S'_N et S'_Q (Figure 2) ;
- pour les ouvrages d'extrémité ou les ouvrages isolés, le calcul des forces marginales (ou action de rive) (S'_R , en kN/m') : cette surcharge considérée comme parallèle à la pente s'ajoute à S'_N et G'_N ;
- le calcul de la grandeur (en kN/m') et de la direction de la résultante (R') de la pression de la neige par calcul de R'_N (somme de S'_N , G'_N et S'_R) et R'_Q (somme de S'_Q et G'_Q) ;
- la définition du point d'application de la résultante (R') selon le choix d'un des deux modèles de charge : le premier considère l'enneigement complet de l'ouvrage avec la hauteur de neige H_k ; le second dérive du premier par tassement ($h=0,77.H_k$) et augmentation de la pression spécifique de la neige (Figure 3) ;
- le calcul de l'effort latéral (S_s , en kN), parallèle à la ligne de niveau et agissant des deux côtés ;
- le calcul des forces ascensionnelles du vent s'exerçant en amont selon des directives définies par ailleurs (la même logique existe en Autriche).

² L'unité kN/m' signifie kilonewtons par mètre de longueur de tablier

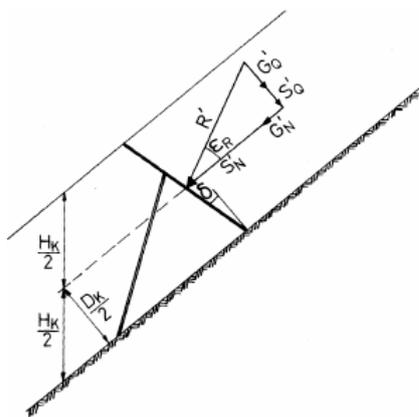


Figure 2 : Action de la pression de la neige (guide suisse)

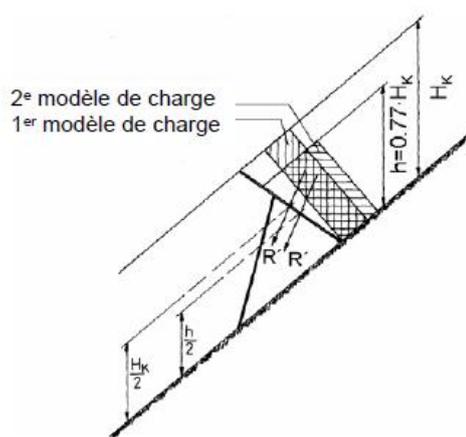


Figure 3 : Modèles de charge sur un écran paravalanche (guide suisse)

III. ANCIENNES NORMES

III.1 Principes communs

Les anciennes normes étaient rédigées comme des normes ouvrages et aboutissaient cependant à des spécifications pour des produits : des écrans développés et fournis pour être adaptés au site. L'objectif était d'arriver à des produits « standards » mais suffisamment modulaires et réglables pour être posés sur des sites de configurations diverses. Par conséquent, de nombreux paramètres du dimensionnement étaient fixés.

L'approche de dimensionnement des écrans selon le guide suisse peut conduire à des calculs d'actions spécifiques à chaque site, en fonction des conditions d'enneigement (densité, hauteur de neige), d'exposition, de pente et de nature du sol, mais aussi en fonction du type d'ouvrage (déversement du tablier).

En comparaison, les normes françaises s'appuient sur une approche simplifiée :

- limitation à deux données d'entrée : la hauteur de neige de référence (H_n , équivalente à H de l'approche suisse) et le facteur de glissement (N) de 2 ou 2,6 selon la rugosité des sols et l'exposition ;
- les autres nombreux paramètres du calcul ont été fixés ;
- ni la pente ni le dévers du tablier n'entrent en jeu : les actions sont alors données en référence au plan du tablier et non plus en deux composantes, parallèle et perpendiculaire à la pente (Figure 2). Sur le tablier, la projection de la poussée de la neige se décompose alors selon trois composantes : normale, latérale et tangentielle (Figure 4).

Ce choix peut s'expliquer par le fait que plusieurs paramètres de l'approche du guide suisse, comme le facteur de reptation (K), le facteur de glissement (N), le facteur d'altitude (f_c) ou le facteur marginal (f_R), traduisent des processus physiques que l'on ne sait pas bien décrire et modéliser précisément aujourd'hui.

Dans la Figure 4 et la Figure 5, les termes suivants sont utilisés pour la compréhension :

- H_n : hauteur de neige de référence ;
- H_a : hauteur d'appui, définie comme H_n ramenée dans le plan du tablier et maximisée pour tenir compte de la pente de terrain la plus défavorable (à savoir la moins pentue dans la fourchette considérée) ;
- L_a : longueur d'appui, définie comme la longueur d'ouvrage pour le calcul des efforts.

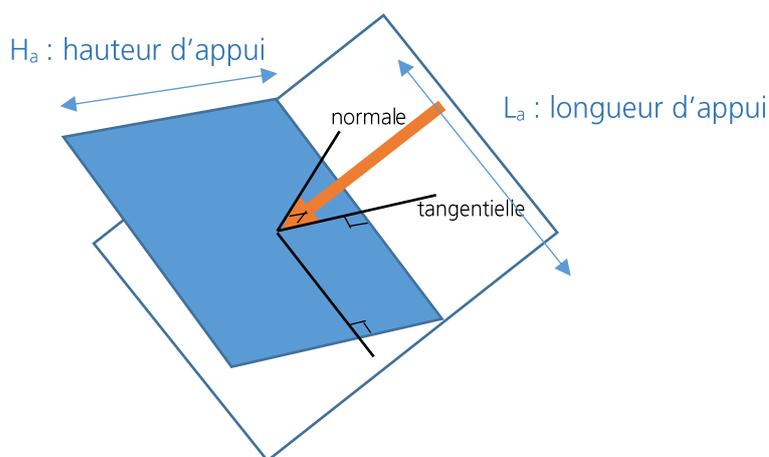


Figure 4 : Décomposition de la poussée de la neige en référence au plan du tablier, pour le dimensionnement d'un écran selon NF P 95-303 et 304

III.2 NF P 95-303 et NF P 95-304 (version 1992)

Les écrans étaient dimensionnés sur la base :

- d'une justification pour une longueur d'appui L_a (Figure 4) différente selon le type d'écran :
 - o pour les écrans rigides, L_a correspond à la longueur du tablier avec des majorations si on considère des effets de rive (ouvrage d'extrémité et ouvrage isolé) ;
 - o pour les filets, L_a correspond à 20 fois la largeur en pied du filet d'un module ;
- de deux situations de projet durables :
 - o la première, dite à charge totale (Figure 5a), correspondait à un remplissage complet sur la hauteur de référence H_n : la masse volumique moyenne de la neige était considérée à 330 kg/m^3 ;
 - o la deuxième, dite à charge partielle (Figure 5b), correspondait à un remplissage sur les $\frac{3}{4}$ de la hauteur de référence ($\frac{3H_n}{4}$) : la masse volumique moyenne de la neige était considérée à 400 kg/m^3 (écrans rigides) ou 430 kg/m^3 (écrans souples).
- d'une surcharge de pied égale à 25% de la composante normale de la pression de la neige, appliquée jusqu'au quart de la hauteur d'appui H_a (Figure 5) :
 - o pour les écrans rigides, hors des largeurs d'application des surcharges marginales ;
 - o pour les filets, sur toute la longueur ;
- d'une action due au vent F_v (en kN/m) :
 - o pour les écrans rigides, considérée en situation accidentelle et dépendant de la hauteur d'appui : $F_v = 2,08 * H_a$;
 - o pour les filets, elle était négligée.

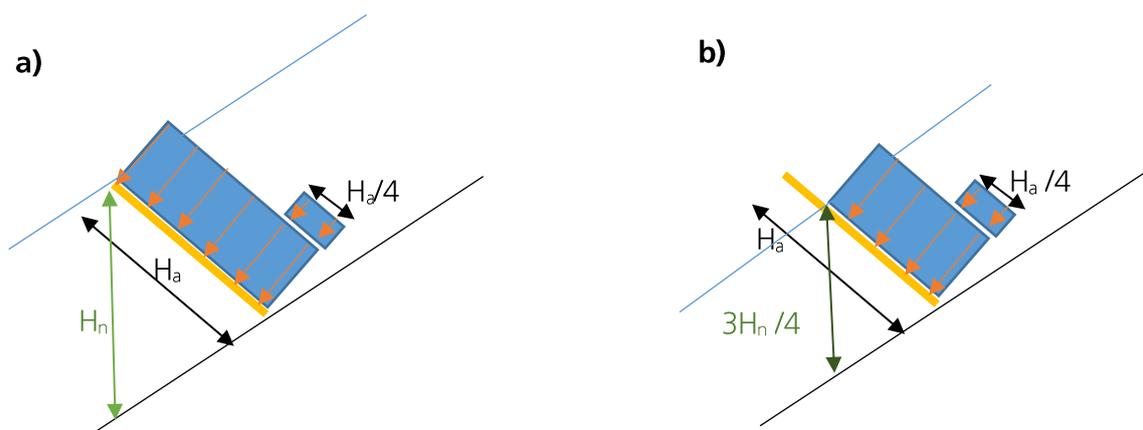


Figure 5 : Les situations de projet durable des anciennes versions de la NF P 95-303 et NF P 95-304 : a- charge totale et surcharge de pied ; b- charge partielle et surcharge de pied

Les coefficients de sécurité retenus pour les valeurs caractéristiques étaient donnés pour certains composants :

- pour la justification des pièces en acier (pilier, platine, etc.) : 1,33 ;
- pour la justification des pièces de liaison tablier-console : 2 ;
- pour les filets :
 - o 2,5 sur les tensions dans le câble de maille et le câble de pourtour du filet ;
 - o 2 sur la tension du câble de hauban.

Plusieurs différences existaient dans les principes de dimensionnement de chaque type d'écran (souple ou rigide) :

- prise en compte des effets de rive :
 - o pour les écrans rigides, les effets de rive étaient pris en considération spécifiquement par module, avec une définition des valeurs de surcharge marginale sur une largeur d'application donnée ;
 - o pour les écrans souples, un seul tableau de valeurs d'action était donné sans considérer de surcharge marginale, mais les effets de rive étaient indirectement pris en compte par le calcul sur une longueur d'appui L_a plus importante³;
- la composante normale sur les filets, qui selon le guide suisse doit correspondre à 0,8 fois celle de l'écran rigide, était légèrement supérieure (0,87 fois pour N=2 et 0,84 pour N=2,6) ;
- les composantes latérales et tangentielles étaient prises en compte pour les écrans rigides et négligées pour les filets.

Les ouvrages étaient classés selon une hauteur de neige de référence (H_n) et la valeur du facteur de glissement (N). Pour un filet, F40 correspondait à $H_n=4$ m et N=2 ; F46 correspondait à $H_n=4$ m et N=2,6. Pour les claies et râteliers, le F était remplacé par C ou R.

III.3 NF P 95-305 (version 1992)

Sur le principe des normes sur les écrans rigides et souples, les barrières à neige sont classées selon la valeur de la vitesse du vent (projection du vecteur vent sur la normale au tablier à 2 m du sol), avec 3 valeurs : 30 m/s (B30), 40 m/s (B40) et 50 m/s (B50). La géométrie du tablier est bornée pour sa porosité (en %), sa garde au sol (en m), son inclinaison (en degré) et son ouverture (en cm).

L'action à prendre en considération par ml d'ouvrage est calculée selon l'équation :

$$F_n = 0,5 \cdot C_x \cdot d \cdot H \cdot V^2$$

avec :

C_x : coefficient sans dimension correspondant à l'effet du vent sur la barrière, issu d'essais en soufflerie ou à défaut égal à 2

d : masse volumique de l'air fixé à $1,3 \text{ kg/m}^3$

H : hauteur "totale" (la garde au sol n'est pas déduite) de la barrière

V : vitesse du vent

Selon cette formule et par comparaison à celle retenue pour les claies râteliers (voir III.2 : $F_v = 2,08 \cdot H_a$), on peut en déduire que la vitesse du vent de référence retenue pour les claies et râteliers était seulement de l'ordre de 1,26 m/s. A noter que l'annexe française de la NF EN 1991-1-4 « Actions du vent », pour les régions de montagne en France métropolitaine, en dehors des effets orographiques et de la rugosité de terrain, donne une valeur de base de la vitesse de référence comprise entre 22 et 26 m/s.

³ Cela impliquait donc que, si les effets de rive étaient attendus, les ouvrages devaient avoir une longueur au moins égale à la longueur d'appui L_a .

IV. DESCRIPTIF SYNTHETIQUE DES DOMMAGES OBSERVES

Les écrans paravalanches sont souvent comparés aux filets pare-pierre. Ils sont cependant sollicités plus régulièrement (chaque hiver). Les fragilités des produits apparaissent souvent assez rapidement et des mesures correctives sont alors possibles.

IV.1 *Dommages aux écrans rigides*

Les écrans rigides, dans leur conception traditionnelle (console composée, à l'aval, de deux piliers reposant sur des platines), présentent des pathologies. Le mémoire d'étude de l'ENGEES « Pathologie des ouvrages de défenses active contre le avalanches » de Yann Quefféléan en 1996 donne un aperçu des dommages. Il a notamment été constaté :

- des ruptures en fondation du pilier aval (poinçonnement du sol) ;
- des glissements de structures mais suite à des ruptures de fondation ;
- des cas de soulèvement par le vent ;
- des dégradations fortes de traverses bois (pourrissement) : la durée de vie de cet élément ne semble pas pouvoir dépasser les 10-15 ans dans ces conditions d'alternance entre milieu humide l'hiver et milieu sec l'été⁴.

Les ouvrages « mono ancrage » développés et implantés ces dernières années ont présenté les pathologies suivantes :

- des soucis de géométrie avec basculement de console par défaut de contreventement ;
- des soucis de tenue au vent ;
- des ruptures de timon amont sous l'action de la neige ;
- des ruptures d'ancrage.

IV.2 *Dommages aux écrans souples*

L'historique des dommages observés en France depuis les années 1970 concerne principalement les filets. En effet, les écrans rigides, utilisés depuis bien plus longtemps, avaient déjà fait l'objet de mesures correctives par retour d'expérience. De plus, les filets ont souvent été utilisés dans des contextes délicats en complément d'anciens écrans rigides (topographie complexe, exposition aux chutes de blocs, etc.). En complément du mémoire d'étude cité en IV.1, le document ONF-RTM « Diagnostic et maintenance des filets de protection contre les avalanches » (2014) illustre l'ensemble des pathologies pour les filets.

⁴ Au même titre que pour tous les ouvrages bois également utilisés dans d'autres contextes, la durée de vie pouvant être espérée (NF P 20-651) dépend i) de la classe de risque à laquelle l'ouvrage est exposé (NF EN 335) selon l'environnement d'implantation et ii) de la classe de durabilité selon l'essence du bois (NF EN 350). Des retours d'expériences selon ces paramètres sont nécessaires pour permettre d'aider à mieux estimer la durabilité des éléments en bois dans le domaine du génie paravalanche.

Nous retenons :

- des erreurs de montage : même si ce point ne concerne pas directement la conception, il reste une tâche importante du fournisseur qui doit préciser en détails toutes les règles de montage (haubanage du poteau essentiellement et flèche de certains éléments) ;
- des dommages importants en extrémité de lignes avec des corrections du type doublage des ancrages. Cette technique délicate est basée sur un principe de triangulation des ancrages qui n'est pas toujours respectée correctement. Pour que cela fonctionne, il est nécessaire d'avoir une très bonne mobilité, difficile à garantir avec des produits acier et des boucles souvent prises dans le manteau neigeux à la base, le plus satisfaisant semblant être la boucle de câble ;
- énormément de désordres au niveau des ancrages ;
- des questionnements sur le doublement par un grillage pour réduire la porosité du filet pour les neiges sans cohésion (neige sèche issue de précipitations récentes). Il semblerait que le grillage limite la souplesse du filet et puisse être à l'origine d'une pression apparente de la neige plus forte.

Pour les produits nouveaux dits « mono ancrage », des ruptures du timon (mal dimensionné à la flexion) et de la console ou tablier ont été observées, comme pour les écrans rigides.

IV.3 *Correction des dommages liés à l'implantation des ouvrages*

Certains choix d'implantation peuvent aussi être à l'origine de désordres.

Le choix d'un produit standard nécessite de prendre certaines précautions lorsque la configuration du terrain impose de positionner l'ouvrage dans sa limite de fonctionnement. Il s'agira essentiellement de :

- garantir l'orientation du tablier comme perpendiculaire à la pression de la neige attendue ;
- minorer l'espacement entre ouvrages dans les zones sensibles (accumulation par le vent, dalles rocheuses lisses, etc.) ;
- éviter les zones exposées aux chutes de blocs (à gérer par d'autres ouvrages) et aux chutes de corniches et congères (à gérer par des ouvrages à vent) ;
- au niveau de certains cols, prévoir des actions du vent exceptionnelles.

V. REVISIONS APPOORTEES

V.1 *Besoins associés à la révision*

Initialement, le besoin de révision concernait essentiellement la norme sur les écrans souples (NF P 95-304). Les limites géométriques imposées par la version précédente excluaient les dernières innovations (optimisation de l'inclinaison du tablier, structure du tablier, etc.). Il s'agissait aussi du produit le plus usité, les écrans rigides ayant été un peu délaissés pour des questions de coûts.

La révision intéressait aussi les maîtres d'ouvrage (conseils départementaux, stations de ski, ONF-RTM pour le MAA) au regard des nombreux dommages observés.

Le fait de revoir les actions sur les ouvrages souples et la présence de maîtres d'ouvrages également intéressés par les écrans rigides expliquent le fait que le besoin de révision s'est ensuite élargi à la norme sur les écrans rigides (NF P 95-303).

En complément, le besoin de présenter les actions sous une forme plus proche de celle des Eurocodes se faisait sentir.

Concernant les ouvrages à vent (NF P 95-305), le besoin d'une révision n'est pas exprimé. S'agissant d'ouvrages très particuliers nécessitant un suivi important pour leur réglage, il est admis que c'est au niveau de la conception que les choix de dimensionnement doivent être adaptés. Si la NF P 95-305 peut être encore utilisée, il importe que la conception tienne compte des retours d'expérience, notamment des éléments du Guide ouvrages à vent paravalanches (2014 – Ministère de l'Ecologie, IRSTEA, ONF/RTM).

Une contrainte importante a été établie dès le début du processus de révision : la logique de révision ne doit pas remettre en cause de manière profonde les ouvrages réalisés conformément à la version précédente.

V.2 *Bases théoriques de la définition et du calcul des actions*

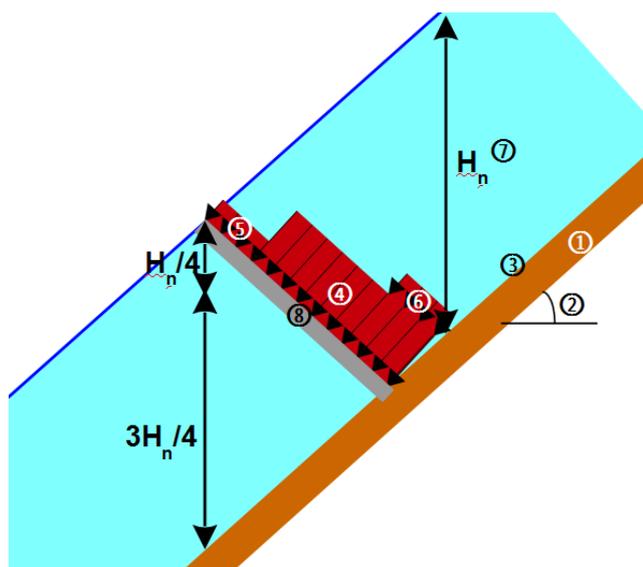
L'IRSTEA a fourni la feuille de calcul complète sous Excel® qui a servi à la révision des calculs des actions, sur la base des connaissances scientifiques actuelles. Cette feuille est disponible sur demande auprès de l'IRSTEA ou de l'ONF-RTM.

Les hypothèses de calcul sont différentes et plus transparentes que sur les anciennes versions, en étant clairement définies en Annexe B des nouvelles versions, et font directement référence au guide suisse :

- une seule valeur de pente du terrain de $\varphi = 45^\circ$;
- masse volumique de la neige à l'altitude de référence 1 500 m de (Figure 6 et Figure 7) :
 - o 360 kg/m³ pour la hauteur correspondant à l'action 4, dite action de référence permanente ;
 - o 300 kg/m³ pour la hauteur correspondant à l'action 5, dite action de référence variable ;
- un facteur de glissement $N = 2,5$;
- un facteur d'altitude $f_c = 1,1$ pour un positionnement de l'ouvrage à 2 000 m ;
- une inclinaison relative du tablier $\delta = 30^\circ$ pour les écrans souples et $\delta = 15^\circ$ pour les écrans rigides ;
- un facteur de réduction de la poussée de la neige sur un écran souple de 0,8 ;
- un facteur de rampement (K) variable en fonction de la masse volumique, soit 0,82 pour l'action permanente et 0,78 pour l'action variable.

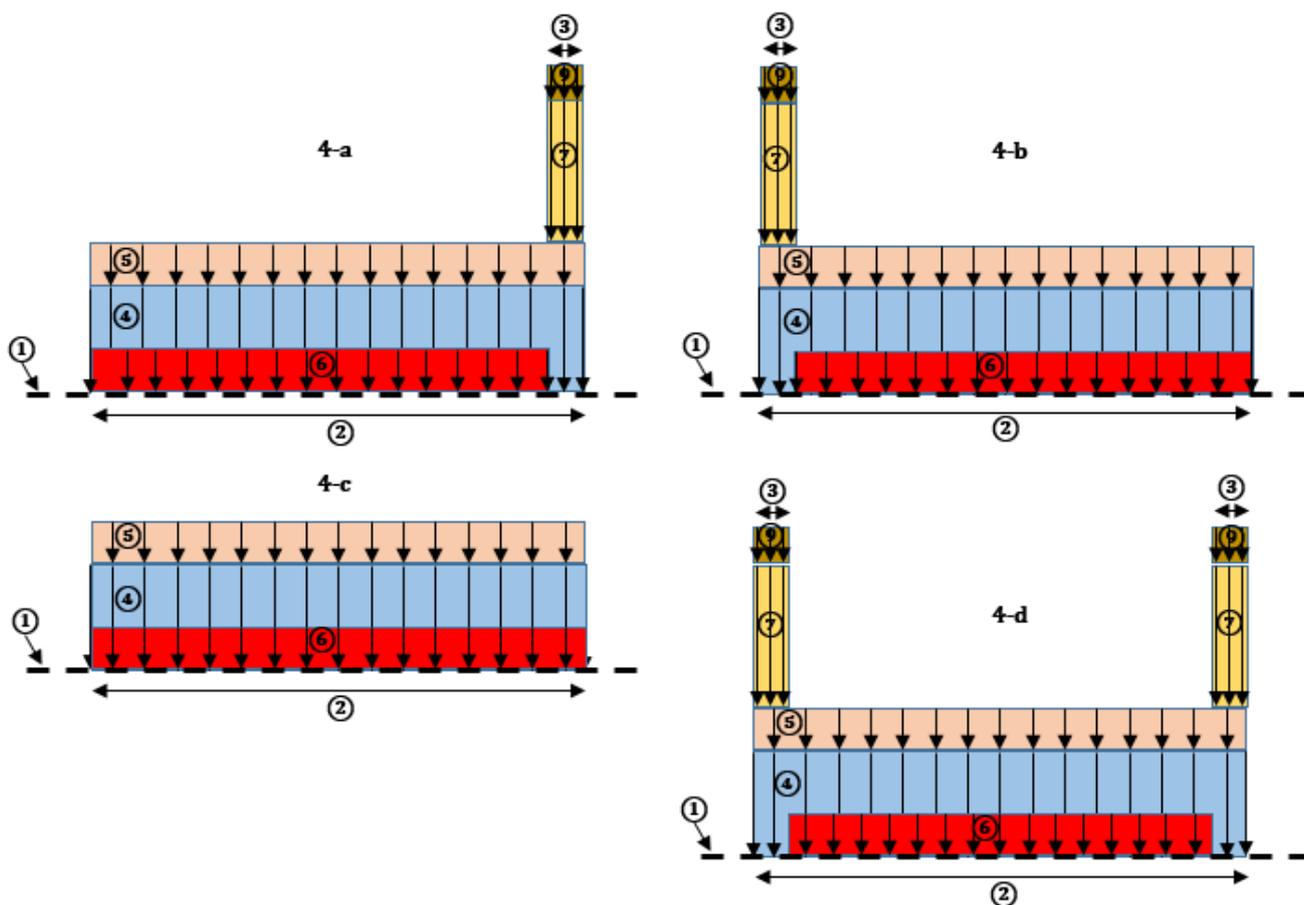
Sur cette base, les calculs des actions (hors pondération), schématisées sur la Figure 6 et Figure 7 pour l'exemple des écrans rigides (NF P 95-303), sont menés selon l'approche détaillée du guide suisse⁵.

⁵ en notant que les situations de projet sont différentes et que certains paramètres sont fixes dans le cas des calculs pour les normes françaises.



- ① : Sol ;
- ② : Angle du plan moyen du sol avec l'horizontal
- ③ : Ligne de pente du plan moyen du sol
- ④ : Action de référence permanente
- ⑤ : Action de référence variable
- ⑥ : Action de référence permanente de pied
- ⑦ : Hauteur de neige de référence
- ⑧ : Tablier

Figure 6 : Décomposition des actions de référence, normales, hors actions de rive (extrait NF P 95-303, version 2019)



- ① : Ligne de niveau du plan moyen du sol
- ② : longueur du tablier
- ③ : Longueur d'application d'une sur-action de rive
- ④ : Action de référence permanente
- ⑤ : Action de référence variable
- ⑥ : Action de référence permanente de pied
- ⑦ : Sur-action de rive permanente
- ⑧ : Sur-action de rive variable

Figure 7 : Décomposition des actions selon les différentes configurations possibles d'un module (extrait NF P 95-303, version 2019) - **4-a & 4-b : modules d'extrémité ; 4-c : module médian ; 4-d : module isolé**

V.3 Actions et pondérations

Les actions sont pondérées conformément aux Eurocodes : 1,35 pour les actions permanentes et 1,5 pour les actions variables. Dans la logique des anciennes versions, les nouvelles versions des NF P 95-303 et 304 donnent les valeurs des différentes actions 4, 5 et 6 selon la Figure 7 en fonction de la hauteur du manteau de référence H_n .

Pour la NF P 95-304 sur les écrans souples, le changement fondamental apporté par la révision est la prise en considération explicite de l'effet de rive. Ainsi, par rapport à l'ancienne version :

- sur un module courant, les actions pondérées sont similaires (à 3% près environ) ;
- pour les extrémités et les modules isolés, les actions pondérées sont très remarquablement majorées (jusqu'à plus de 50% selon les configurations).

Ce nouveau calcul a permis de corriger les pondérations d'action pour les écrans souples. Mais les valeurs retenues pour les écrans rigides dans la NF P 95-303 ont été un peu réduites : une pondération d'un facteur de 0,97 pour les actions de pression de la neige et de 0,95 pour les actions de rive a été nécessaire. Le retour d'expérience montrant moins de dommages que pour les filets, le besoin d'une majoration sensible des actions n'était pas aussi justifié. Le souhait de ne pas pénaliser ce type d'écran impliquait donc d'ajuster les actions issues de la nouvelle approche calculatoire. Ainsi, globalement, les actions à reprendre dans les nouvelles versions sont proches de celles des anciennes normes (majoration de 2 à 8 %).

Concernant les valeurs des coefficients de sécurité à appliquer à chaque composant, le sujet est resté délicat à arbitrer en l'absence de référence existante par ailleurs pour certains produits (Tableau 1). Un protocole d'essai de caractérisation des mailles de filet est cependant proposé en annexe A de la NF P 95-304.

Élément concerné	Coefficient de sécurité
Câbles hors filet	1,35
Maille de filet calculée	1,75
Maille de filet avec test	1,35
Câbles de pourtour du filet	1,75
Pièces de liaison (ex : axes, broches, manilles)	1,25

Tableau 1 : Valeur des coefficients partiels de sécurité pour certains éléments des ouvrages (extrait NF P 95-304, version 2019)

Pour le bois (qui ne concerne que la NF P 95-303), les normes NF EN 335, 350, 460, 351-1 et 599-1+A1 s'appliquent et donnent les valeurs caractéristiques de résistances et les coefficients de sécurité à leur appliquer.

Au final, comme la valeur des actions pondérées augmente mais que la pondération des valeurs caractéristiques des éléments diminue (Tableau 2), les dimensionnements des anciens produits restent valables, ce qui répond à la contrainte fixée dès le départ. Au final, le progrès essentiel repose dans la mise à niveau de la conception des ouvrages souples avec une identification des actions de rive.

	Anciennes versions	Nouvelles versions	Observations
Actions	1,33	1,35 et 1,5	Pas de recherche d'amélioration des connaissances. Des suspicions fortes de surcharges préjudiciables dues à la densité de la neige et au glissement (recherche en cours)
Maille de filet	2,5	1,75 ou 1,35	Peu de rupture de ces mailles sur les anciens ouvrages liés aux actions (corrosion souvent en cause)
Câbles de pourtour	2,5	1,75	Peu de rupture et souvent liée à des rayons de courbure trop pénalisants (ou aux effets de rive)
Pièces de liaison	2	1,25	De nombreuses ruptures sur les manilles, les chapes de liaison, les dispositifs en tête d'ancrage câble
Câble hors filet	2	1,35	Peu de rupture

Tableau 2 : Comparaison des coefficients partiels de sécurité pour les actions et certains éléments des écrans, entre ancienne et nouvelle version des normes

V.4 Des thèmes traités partiellement

V.4.1 Implantation des ouvrages

C'est au travers d'une implantation adaptée que l'expert va s'assurer de rester dans le domaine de validité des choix des normes en termes de paramètre de calcul. L'espacement des lignes dans la pente doit suivre les recommandations du guide de l'ONF-RTM « Diagnostic et maintenance des filets de protection contre les avalanches ». L'implantation des lignes hautes doit se faire en tenant compte des cassures observées, des accumulations potentielles par le vent (ce qui inclut les corniches dont l'effondrement menacera les ouvrages). L'ONF-RTM, dans le cadre d'un travail débuté en 2019 de recueil de l'état de l'art, réalisera dans les années à venir des recommandations pour cette implantation. En attendant le guide suisse est un support complet.

Certaines situations sont sensibles : des accumulations très importantes de neige par le vent sans possibilité d'ouvrage à vent, des terrains très lisses avec un facteur de glissement supérieur à 2,5, etc. Pour répondre aux sollicitations importantes attendues dans de telles situations, une première approche est de resserrer les lignes. Dans les cas extrêmes, il est aussi possible de réaliser des ouvrages sur mesure : par exemple, choix d'un tablier de 3 m de hauteur mais avec un dimensionnement pour les valeurs d'action de la norme correspondant à une hauteur de référence de 4 m.

V.4.2 Action de la poussée de la neige sur la console

Les observations de rupture d'éléments de la console situés en amont du tablier ou d'éléments isolés interrogent sur la réalité des actions sur des ouvrages élancés de type câble, timon ou poteau. Le guide suisse utilise un facteur d'influence (η) pour les poteaux (varie de 1 à 5) et pour les câbles et tubes isolés (gamme de valeur de 1 à 50). Il ne fixe cependant pas de valeur définie. Ce facteur a pour effet d'augmenter la composante parallèle à la pente de l'action sur l'élément isolé.

Afin de permettre le développement des nouveaux produits, avec timon amont notamment, la nouvelle version des normes impose les valeurs des actions et les valeurs de pondération correspondantes. Elles sont données selon leur composante parallèle à la pente et perpendiculaire à la pente, de manière à laisser l'innovation juger en fonction de l'inclinaison du timon.

V.4.3 Normes ouvrages et normes produits

Mixer dans une norme des principes de définition d'actions avec des principes de conception de produits reste complexe.

Pour l'instant, la norme a conservé le principe de valeurs d'actions projetées par rapport au tablier (composantes normale, latérale et tangentielle). Les concepteurs n'ont pas encore l'opportunité d'optimiser l'inclinaison relative du tablier. Cependant, les tolérances autour de l'inclinaison du tablier ont été élargies pour permettre l'intégration des produits mono ancrage notamment.

V.4.4 Ancrages

Alors que l'évolution technique des dernières années a rendu ce point particulièrement crucial, la norme ne l'aborde toujours pas.

Un guide technique ONF-RTM vient ainsi proposer des règles de l'art pour le Ministère de l'Alimentation et de l'Agriculture (MAA) et les agents de l'ONF-RTM, « Ancrages passifs à scellement continu en terrain meuble pour les ouvrages paravalanches – Aide à l'exécution – Directive technique pour les ouvrages du Ministère de l'Agriculture » (2019).

V.4.5 Types d'actions

Le principe d'une action permanente est que sa variation dans le temps est négligeable. Or, dans le cas des écrans paravalanches, l'action qui est définie comme permanente varie à l'échelle d'une année de la valeur 0 à une valeur maximale, mais aussi à l'échelle d'une journée avec des variations régulières. Cela la rapproche donc plus de la définition d'une action variable pour laquelle la variation dans le temps est fréquente et importante. Ainsi, une pondération à 1,5 de toutes les valeurs d'action de la pression de la neige pourrait paraître logique.

Par ailleurs, pour l'instant, le principe de dimensionnement ne propose pas d'actions accidentelles, du type chute de pierre ou coulée de neige ou hauteur de neige supérieure à la hauteur de référence. Cependant, en cas de besoin, il n'apparaît pas impossible de voir des produits proposer une conception répondant à cette attente. La plus grande prudence est alors conseillée sur la vérification du principe de dimensionnement.

V.4.6 Actions du vent

La NF P 95-303 fait désormais référence à la NF EN 1991-1-4/A1 « Actions sur les structures – Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent » et fixe une vitesse de référence de 40 m/s.

Pour les zones d'implantation des écrans paravalanches, la valeur de base de la vitesse de référence du vent est de l'ordre de 22 à 26 m/s. Elle est à corriger d'un effet de rugosité et d'un effet orographique qui augmentent localement cette valeur du vent. La valeur fixée à 40 m/s répond ainsi au besoin d'une norme pour un ouvrage standard. Une attention devra donc être portée à des situations spécifiques, qui peuvent apparaître au voisinage d'un col notamment.

VI. CONSEQUENCES DU CHOIX D'UN PRODUIT PAR RAPPORT A UN OUVRAGE SUR-MESURE

VI.1 Influence de la densité de la neige

Nous présentons l'influence du choix de la masse volumique de la neige sur la valeur de l'action permanente (4), calculée selon la version révisée de la norme (Tableau 3). Nous rappelons que, au final, les résultats issus des calculs entre l'ancienne norme et la nouvelle norme ont peu évolué.

Masse volumique de la neige	Impact en pourcentage sur la valeur de l'action de référence permanente (4) selon NFP 95-304, pour une masse volumique de 300kg/m ³
360 kg/m ³ = 120 % de la valeur 300 kg/m ³	127 % de la valeur de l'action (4)
400 kg/m ³ = 133 % de la valeur 300 kg/m ³	147 % de la valeur de l'action (4)
500 kg/m ³ = 166 % de la valeur 300 kg/m ³	200 % de la valeur de l'action (4)

Tableau 3 : Impact de la densité de la neige sur le calcul de l'action permanente selon NF P 95-304 (version 2019). Exemple sur la base d'une masse volumique de 300kg/m³

La valeur de la masse volumique de la neige est un facteur dimensionnant et parfois oublié. Ce constat est connu au travers de l'expérience ONF-RTM dans les Pyrénées. Les densités de neige y sont communément bien plus fortes que dans les Alpes. Par exemple, dans la forêt domaniale de l'Hospitalet-près-l'Andorre, pour certains ouvrages en fond de couloir, les densités de neige sont telles que, même si les ouvrages ne sont pas submergés, ils rompent. La hauteur de neige de référence a été majorée pour résister à la pression de la neige au travers d'ouvrages « surdimensionnés ».

Il importe dès la conception des dispositifs de préciser les conditions d'enneigement en hauteur de neige mais aussi en masse volumique. En effet, les dispositifs de moyenne altitude peuvent être les plus sensibles car localisés dans les zones d'évolution de la limite pluie-neige. Cette influence marquée du choix de la masse volumique de neige est alors une limite importante de l'approche standard par produit.

VI.2 Influence de la pente

Les produits standards ont une hauteur d'appui réelle qui dépend de la pente. Pour un tablier d'inclinaison $\delta = 15^\circ$ et une hauteur de neige de référence $H_n = 4$ m, la hauteur du tablier nécessaire en fonction de la pente est définie dans le Tableau 4 suivant :

pente (°)	35°	40°	45°
hauteur de tablier minimum nécessaire (m - arrondi supérieur)	3,3 m	3,1 m	2,9 m

Tableau 4 : Hauteur du tablier nécessaire en fonction de la pente, pour $\delta = 15^\circ$ et $H_n = 4$ m

Si un même produit doit pouvoir se poser dans toutes les gammes de pente, ce sera paradoxalement la limite inférieure de la gamme de pente qui sera utilisée pour définir la hauteur du tablier. Par conséquent, la capacité d'interception réelle de l'écran va dépendre de sa pente d'implantation : sur les faibles pentes, la capacité d'interception sera égale à la hauteur de référence du produit (si la hauteur réelle est supérieure le produit est totalement enseveli) ; et plus la pente sera forte, plus la capacité d'interception réelle augmentera par rapport à la hauteur de neige de référence (le produit ne sera pas forcément complètement enseveli si la hauteur de neige est supérieure à la hauteur de référence). Par exemple, pour une hauteur de tablier de 3,3 m retenue pour intercepter une hauteur de neige de 4 m sur une pente à 35° (Tableau 4), la hauteur de neige interceptée possible sur une pente de 45° est de l'ordre de 4,8 m. Si une action accidentelle, du type ouvrage enseveli, devait être définie pour ces ouvrages sur la pente de 35°, l'ouvrage subira uniquement le poids de la neige accumulée au-dessus. Par contre, sur la pente de 45°, on ajoutera au poids la reptation de la neige interceptée par la « sur-hauteur » due au choix d'un produit standard.

Pour des questionnements de sur aléa résiduel, les ouvrages standards présentent ce biais qu'on ne peut pas les considérer comme transparent dans les fortes pentes une fois la hauteur de neige de référence atteinte. Il existe une fragilité de ces ouvrages au dépassement de la hauteur de référence car les actions subies pourront être importantes. Les filets permettent de palier à cela par leur réglage ; pour les claies et râteliers les traverses sont à modifier.

VI.3 Spécificités des écrans souples

Dans l'ancienne version de la norme NF P 95-304 pour les filets, le calcul tenait compte de la souplesse de la structure et de l'équilibrage des actions sur un ouvrage équivalent plutôt long (20 fois la longueur horizontale d'un module). La conséquence immédiate est que le produit standard est optimisé pour une longueur de pose et surtout un contexte de pose qui favorise l'équilibrage des actions. Dans la réalité, les lignes peuvent être plus courtes et plus « rigides » pour des raisons de site, notamment sur des fermetures de talweg.

Les composantes tangentielles et latérales sont négligées pour les filets, ce qui implique que leur implantation devrait être strictement orthogonale par rapport à la direction de la poussée de la neige. Or, bien souvent, les filets sont venus compléter des dispositifs existants d'écrans rigides et sont posés dans des contextes spécifiques et complexes qui ne permettent pas de respecter cette règle d'implantation.

Dans les observations ONF-RTM, les ruptures de bout de ligne ont conduit à une pratique du doublement des ancrages d'extrémité. Cette pratique, qui s'apparente à de la réparation, repose sur la capacité de trianguler deux points d'ancrage. Cette opération est délicate et, souvent, un seul des deux ancrages est sollicité. Réaliser un unique ancrage bien dimensionné reste à privilégier.

Le diagnostic des dispositifs de filets réalisés en application de la version 1992 de la NF P 95-304 doit identifier clairement les situations où les hypothèses de la norme de 1992 n'ont pu être vérifiées pour des raisons de site. Notamment, les effets de rive ne sont pris en compte qu'à partir d'une longueur d'ouvrage suffisante. Dans certaines situations, ce constat est sans impact (en cas de surdimensionnement de la hauteur de référence), dans d'autres il peut expliquer des dommages récurrents.

VI.4 Facteurs oubliés

Le facteur de glissement (N) est fixé à 2,5 dans les normes révisées. Les anciennes versions proposaient deux valeurs : 2 et 2,6. Face à la difficulté d'appréciation de ce facteur, l'usage a été de poser des ouvrages pour la valeur la plus pessimiste (2,6). Il ne faut cependant pas oublier que, selon le guide suisse, ce facteur peut atteindre des valeurs de 3,2 (Figure 1).

Comme la densité de la neige, certains facteurs d'enneigement ou certaines conditions d'enneigement (par ex. à l'aval d'une barrière à neige) éloignent la situation vécue par l'ouvrage du contexte hypothétique des normes. Il importe, dès la conception des dispositifs, de préciser les conditions d'enneigement.

VII. RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS

La nouvelle version des normes NF P 95-303 et 304 est construite sur un principe de retour d'expérience et de mise à niveau par rapport à l'état des connaissances traduites notamment dans le guide suisse, sans aller changer fondamentalement les valeurs des actions. Nous pouvons considérer que ce travail n'est pas achevé. Il est prévu d'évoluer vers une norme de définition des actions, permettant au spécialiste de traduire le dimensionnement fonctionnel en actions pour le dimensionnement structural. Ce dernier pourra alors se faire par adaptation de produits standard ou par dimensionnement d'un produit spécifique.

Dans tous les cas, en préalable à ce dimensionnement structural, nous recommandons aux spécialistes de clarifier leur pratique de dimensionnement fonctionnel.

Le retour d'expérience a permis d'affiner les règles de l'art et les principes de dimensionnement qui sont à respecter le plus scrupuleusement possible (tablier, console, dispositif de liaison, rayon de courbure de câble, etc.).

Cependant, ce même retour d'expérience a mis en évidence des situations où les hypothèses de la norme ne sont pas respectées comme, par exemple, les situations de densité de neige forte. Vouloir augmenter la densité de la neige pour le calcul des actions est possible mais cela peut fragiliser fortement le principe d'un ouvrage standard qui va devenir très coûteux en cherchant à répondre à tous les cas particuliers.

A ce jour, il appartient au spécialiste de maîtriser le principe de ces normes pour :

- 1- faire attention à ce que les pondérations désormais appliquées par la norme sur les actions ne soient pas elles-mêmes déjà intégrées au moment de définir les hauteurs de neige de référence ;
- 2- identifier les situations où les prescriptions des normes pourraient ne pas suffire ;
- 3- proposer des solutions alternatives de dimensionnement en revenant aux principes initiaux du guide suisse.

S'il est choisi de faire référence aux normes NF P 95-303 et 304, le spécialiste doit valider les paramètres fixés et décrire les situations de projet : l'action de référence permanente correspond au $\frac{3}{4}$ de la hauteur de neige de référence.

Pour répondre à des situations spécifiques, le spécialiste peut proposer les adaptations suivantes sur la base des produits développés en conformité avec les normes :

- réduire l'espacement entre les lignes (ce qui va permettre de limiter les efforts sur les lignes) ;
- mixer les types d'ouvrages (ce qui va permettre de mieux s'adapter au micro relief) ;
- réduire la longueur des lignes (aujourd'hui compte tenu de la prise en compte de l'effet de rive sur les filets quelle que soit la longueur, cette opportunité va réduire l'impact des dommages à une ligne courte).

Le spécialiste peut revenir aux principes de dimensionnement du guide suisse ou à la feuille de calcul des normes pour répondre à des situations particulières. Dans ce cadre, une attention doit être conservée pour les ouvrages isolés. En effet, cette thématique de l'action des neiges lourdes sur les ouvrages isolés doit encore faire l'objet de recherches.

Un projet de révision plus général est lancé. Une norme unique viendra définir, pour tous les types d'écrans, le calcul des actions et les règles de l'art de conception.

REFERENCES

- Rudolf-Miklau F., Sauermoser S., Mears A. I. (2014), « The technical Avalanche Protection Handbook »
- Margreth S., Suda J., Mölk M., Hofmann R., Gauer P., Schilcher W., Skolaut C., Mears A. et Sauermoser S. (2014), Chapitre 6 : « Structural avalanche defense : design and construction »
- Office fédéral de l'environnement OFEV, WSL Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches ENA (2007), « Construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement – Aide à l'exécution : directive technique »
- IRSTEA et ONF-RTM (2014), « Guide ouvrages à vent paravalanches », Ministère de l'Ecologie
- ONF-RTM (2014), « Diagnostic et maintenance des filets de protection contre les avalanches »
- ONF-RTM (2019), « Ancrages passifs à scellement continu en terrain meuble pour les ouvrages paravalanches - Aide à l'exécution - Directive technique pour les ouvrages du Ministère de l'Agriculture »
- Quefféléan Y. (1996), « Pathologie des ouvrages de défense active contre les avalanches »
- Cemagref (2004), « Ancrages passifs en montagne : conception, réalisation, contrôle »
- Cerema (à venir). « Protection contre les instabilités rocheuses : dimensionnement et exécution des boulons »
- Projet national clouterre (1991), « Recommandations Clouterre 1991 – Pour la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des soutènements réalisés par clouage des sols »

ONF / Direction Forêt et Risques Naturels
Département Risques Naturels
Pôle RTM
9 Quai Créqui - CS 20028
38026 GRENOBLE cedex 1

