RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

Office National des Forêts

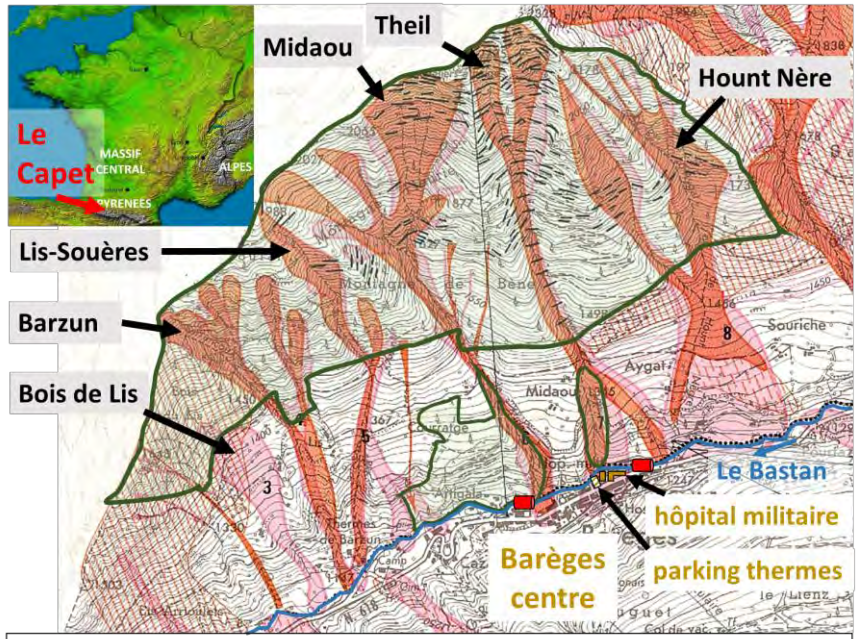
rtm

Reptation du manteau neigeux et dommages sur les ouvrages paravalanches

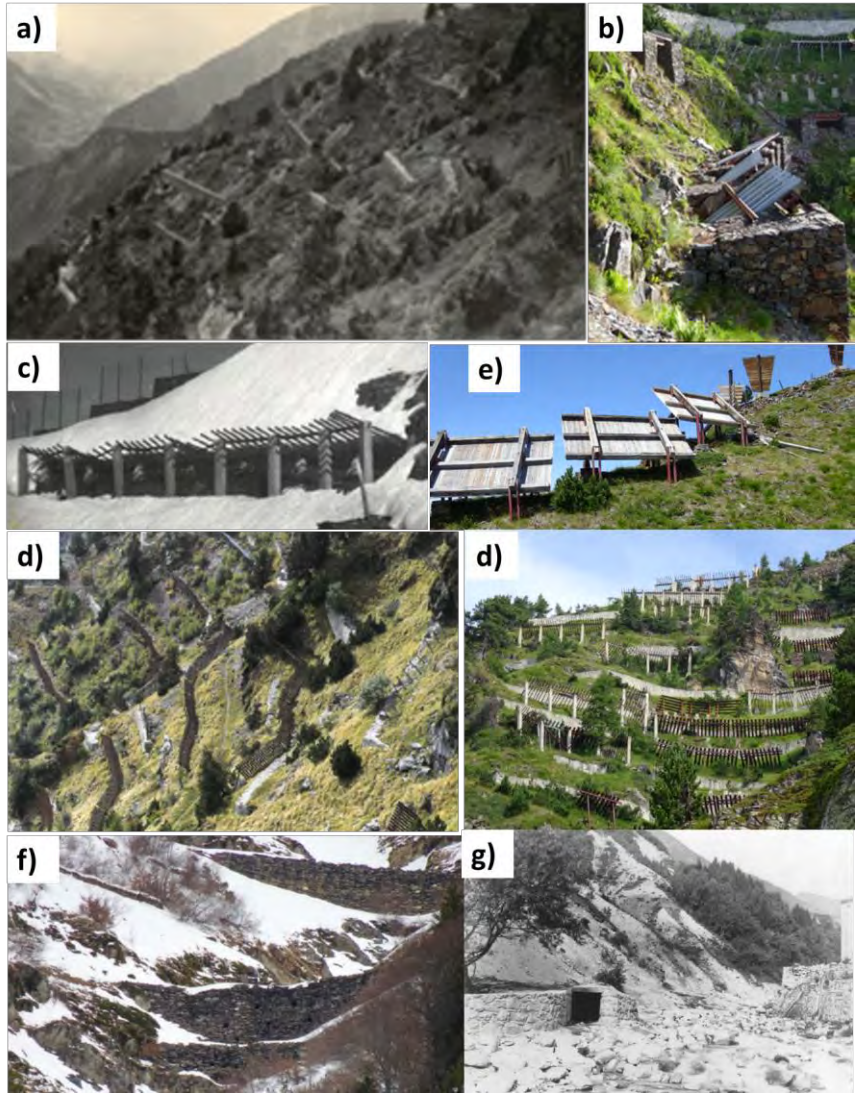
Sept-2024

Les évolutions historiques

Les observations RTM sur la FDRTM du Capet



LEGENDE	
simplifiée pour la CLPA	***autres***
délimitation par — **ouvrages**	XX **nom** de **couloir** avalanche
photo-interprétation et analyse terrain — **avalanche** : emprise connue	**forêt domaniale** RTM
recueil de témoignages — **zone présumée avalancheuse**	**torrent** principal
	exutoires du **canal** de dérivation
	enjeux principaux



Scénarios de référence

Chronologie d'évènements- ravin du Theil

Stratégies de protection

Nombreuses avalanches « de poudreuses » tragiques

Fin du petit âge glaciaire

Avalanches de « poudreuses » et de neige mixte

Avalanches humides entrainant l'obstruction du lit du Bastan: dégâts torrentiels

Avalanches humides majoritaires dont certaines causent des dégâts torrentiels

Quelques avalanches de neige mixte, poudreuses inexistantes

1644 « **poudreuse** »
1760 « **poudreuse** »
1839 « **poudreuse** »
1842 « **poudreuse** »
1860 **neige humide**
1868 **neige humide, débordement du Bastan**
1879 « **poudreuse** »/ **mixte**
1882 **neige humide, débordement du Bastan**
1887 **neige humide**
1889 « **poudreuse** »
1891 **neige humide Débordement du Bastan**
1906 **neige humide Débordement du Bastan**
1907 Avalanche **mixte**
1908 « **poudreuse** »
1909 **neige humide**
1910 **neige humide**
1915 « **petite poudreuse** »
1920 « **petite poudreuse** »
1939 **neige humide**
1959 **neige humide débordement du Bastan**
1967 **neige humide, débordement du Bastan**
1968 **neige humide, débordement du Bastan**
1971 **neige humide**
1973 **neige humide**
1979 **neige humide**
1982 **neige humide débordement du Bastan**
2013 **Avalanche mixte**
2013 **neige humide**
2014 **neige humide**
2015 **neige humide**
2019 **neige humide**

1860

***Début** de la **protection active : banquettes** et **barrages reboisement** des ravins*

1892

Abandon** des **banquettes** et **barrages** jugés **inefficaces

*Mise en place d'une logique forestière : **intensification** du **boisement***

1950

*Stratégie des **écrans rigides** mis en œuvre **en priorité***

Fin** du **reboisement exclusif

2019: Etude de bassin versant Quelle stratégie adopter?

Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

De 1892 à 1940-1950 : des murets / des banquettes / les premiers ouvrages et du **reboisement**

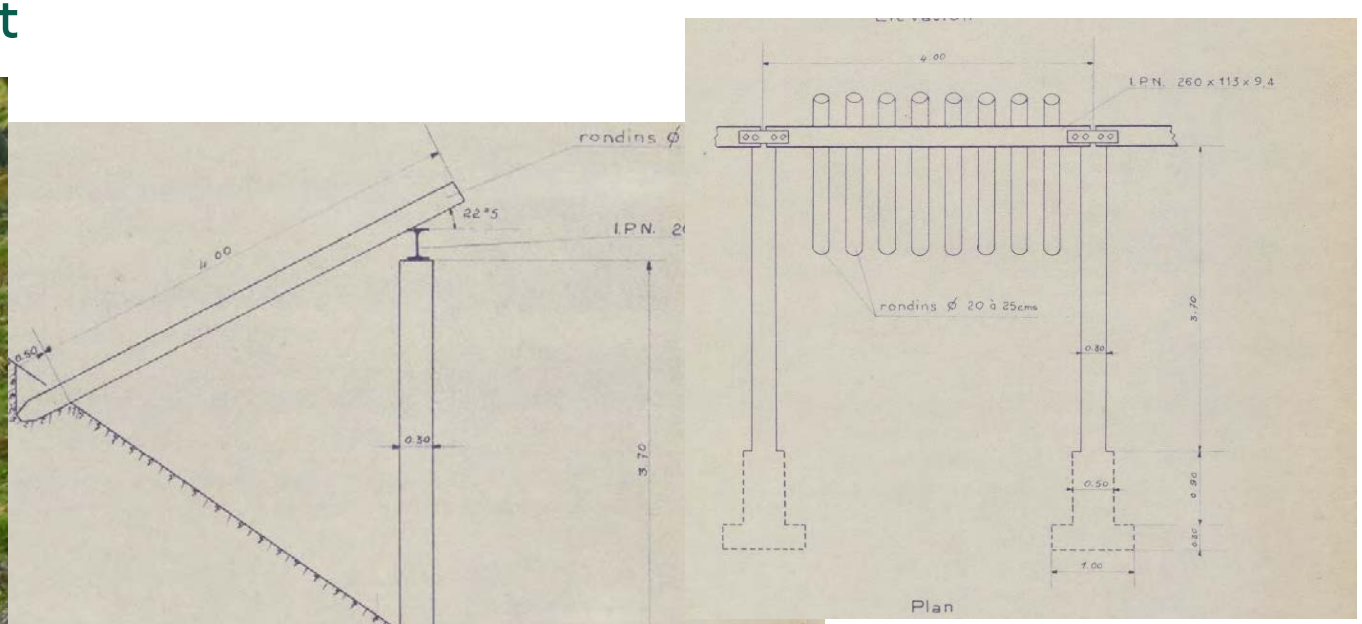
Actualisation 2024 : inefficace pour les « grands événements », effet certain sur les glissements de neige (avalanche de fond) par l'effet de rugosité

Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

De 1940-1950 à 1960-1975 environ : du génie civil / des ouvrages béton / apparition de structures métalliques et **toujours du reboisement**



Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

Travaux mettant en œuvre beaucoup de terrassement, empierrements et structures légères en bois (illustrations : FDRTM Cellier)

Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

De 1970 à 1992 : explosion du génie paravalanche moderne (or blanc) aboutissant aux besoins de normalisation et **encore du reboisement**

Logique d'ouvrages modulaires
Gamme de produits qui se diversifie
Travaux plus légers : héliportage, ancrages, pieux explosés

Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

A partir de 1992 : développement d'un cadre normatif

- NF P 95-301 : « Ancrages passifs ponctuels en sol meuble - Méthode d'essais d'arrachement» (1994)
- NF P 95-303 : « Equipements de protection contre les avalanches – Claie, râtelier » (1992)
- NF P 95-304 : « Equipements de protection contre les avalanches – Filets paravalanches » (1992)
- NF P 95-305 : « Equipements de protection contre les avalanches – Barrière à neige » (1992)
- NF P 95-310 : « Equipements de protection contre les avalanches – Déclenchement artificiel – Principes techniques généraux » (1996)
- NF P 95-311 : « Equipements de protection contre les avalanches – Déclenchement artificiel – Câble transporteur d'explosif » (1996)
- NF P 95-313 : « Equipements de protection contre les avalanches – Déclenchement artificiel – Lanceur pneumatique » (1996)

  - *Un cadre permettant des calculs de structure dans une logique produit modulaire !*
  - *Pas de norme pour le dimensionnement fonctionnel !*

Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

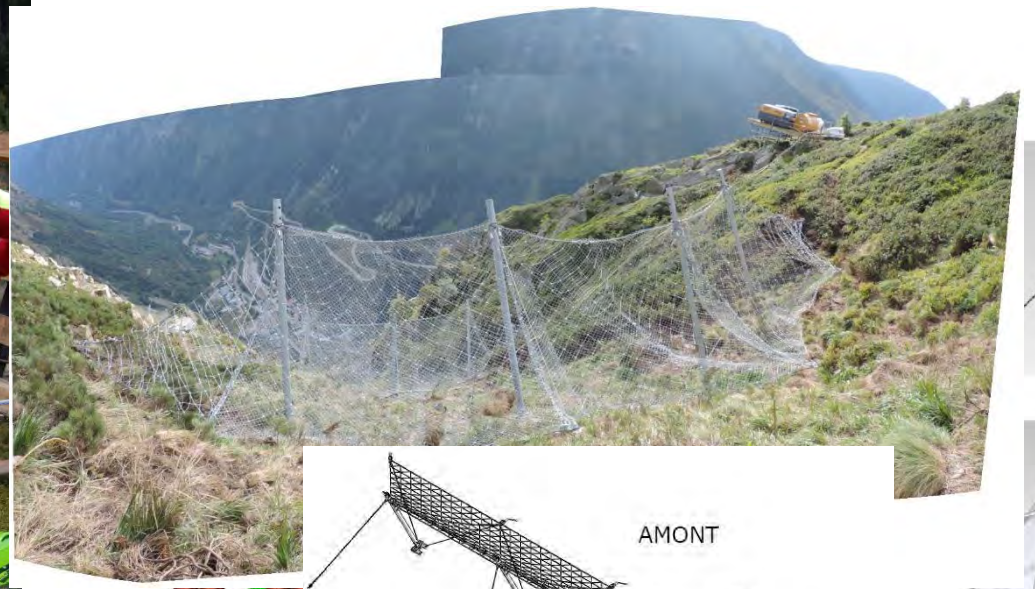
A partir de 1992 : développement de l'héliportage

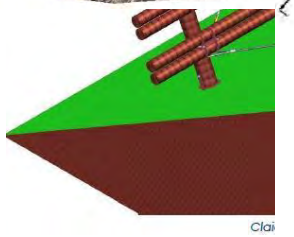
Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

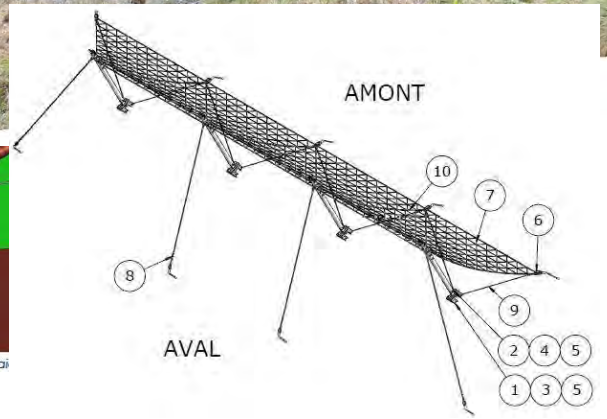
A partir de 1992 : développement d'un mode de fondation par ancrages

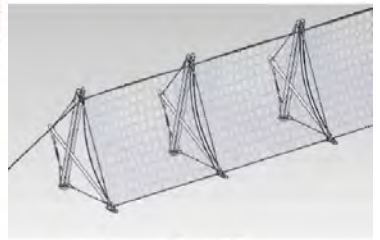
Bref historique du génie paravalanche au travers des FDRTM

A partir de 1992 : un déploiement de produit « nouveau », un DEE, …. (Ecran Elite, MENTA, Xcross, VEILA, Avenir protection, mono ancrage ….)









Ouvrages et dommages

C’est quoi un ouvrage de protection dans le domaine des risques naturels ?

Des notions plus ou moins clarifiés dans un dossier d’ouvrages :

- Durée d’utilisation du projet (10 ans, 50 ans, 100 ans)
- Scénario de projet (situation de projet, combinaison d’action, …) : expression au niveau de l’ouvrage du phénomène de référence en actions et valeurs d’actions : dimensionnement fonctionnel
- Plan d’exécution : calcul de stabilité des ouvrages (interne et externe) : dimensionnement structural
- Les opérations de maintenance
- Les pathologies
    - Pathologies induites par impact environnemental (corrosion, cycle gel-degel, foudre, autres phénomènes …)
    - Pathologies induites par des sollicitations fonctionnelles
        - « Prévues » (dans les situations de projet)
            - L’apparition de dommage traduit une défaillance « erreur » de conception
            - L’apparition de dommages traduit un défaut de maintenance
        - « Non prévues » (un phénomène non prévu)

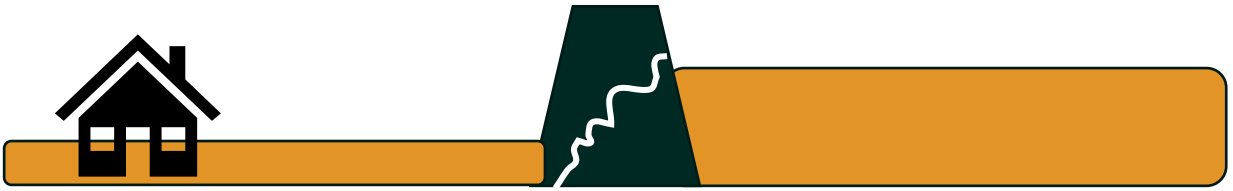
Dire qu’un dommage est du à la reptation (une mauvaise appréciation de la reptation) implique de connaitre ces éléments !

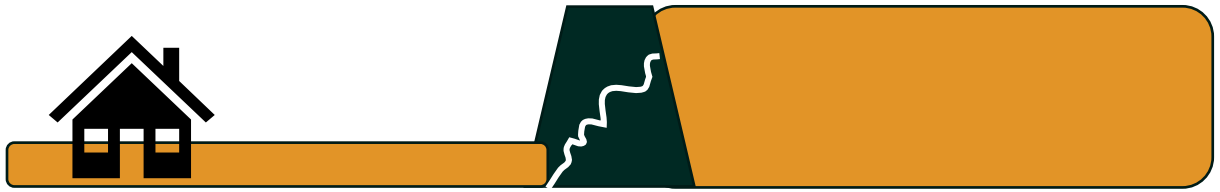
Maintenance : théorie et pratique

Lien entre une quantification d'ouvrage et une qualification d'expert

<u>La théorie :</u> le MOe traduit le dimensionnement fonctionnel en situation de projet permettant le dimensionnement structurel

Cas simple : Ouvrage réalisé pour stocker V pour un phénomène de période de retour T





Cas 1 :

Ouvrage : capacité V pas totalement mobilisée dépassement de V_2 et dommages

Questionnement de défaillance

Expert : phénomène « courant » « exceptionnel » « grande ampleur » « rare » - Était-ce le scénario de projet ?

??????????????????

Cas 2 :

Ouvrage : capacité V atteinte dépassement et dommages

Questionnement d'aléa résiduel

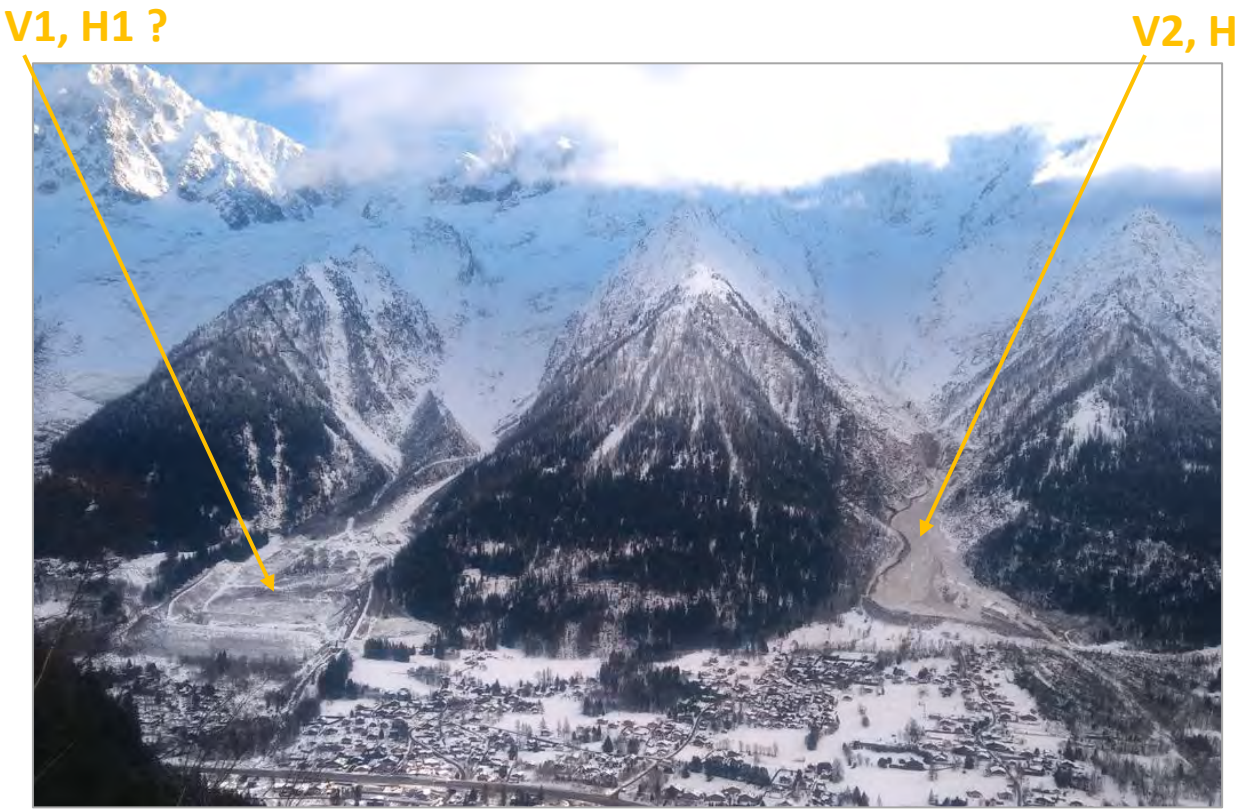
Expert : phénomène « courant »; « exceptionnel » « grande ampleur « rare »

Questionnement de choix de scénario

Cas théoriques et paravalanches?????

Maintenance : théorie et pratique

Lien entre une quantification d'ouvrage et une qualification d'expert



Pathologies induites par sollicitations fonctionnelles :

- Erreur de conception au niveau des situations de projet (action de la neige à prendre en compte) ?
- Erreur de conception au niveau des calculs structures (défaut de ferraillage) ?
- Défaut de maintenance (présence d'obstacle) ?
- Situations Normales (avalanche plus importante que l'avalanche de projet) ?

Attention à la lecture des dommages !

Très forte évolution des conditions environnementales des ouvrages

Un cadre normatif « incomplet » :

- faisabilité de calcul d'action « partagée », c'est le point qui permet d'identifier les dommages dus à la reptation en comparant le modèle physique retenu/la réalité des valeurs de paramètres du modèle/ la réalité des actions mesurée

- pas de définition des actions fonctionnelles « partagée » (comment interroger les choix de l'expert des situations de projet ?)

Une évolution des produits/ouvrages/technique très importante

Un choix peu ou pas tracé entre « choix d'un ouvrage très cher et robuste pour le moins de maintenance possible » / « choix d'un ouvrage leger adaptable peu couteux mais avec une maintenance « forte » »

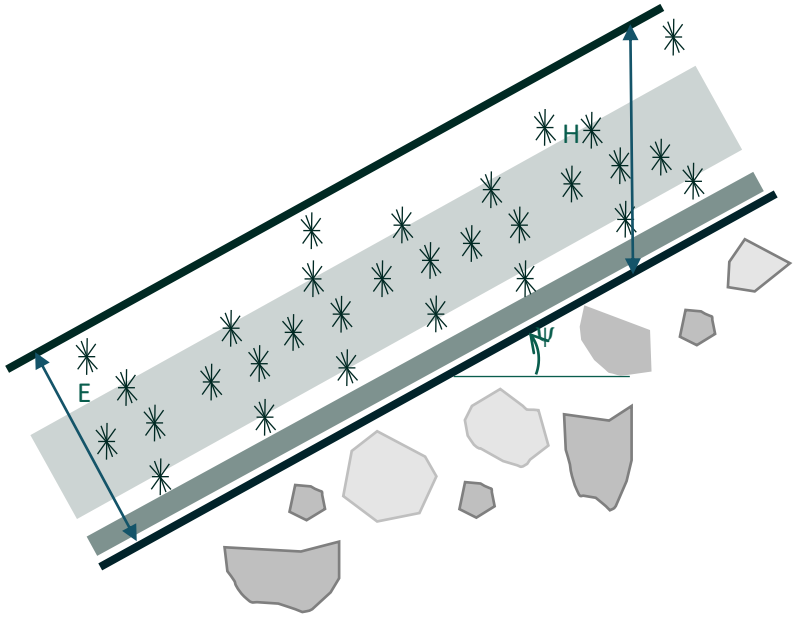
- Durée d'utilisation du projet
- Scénario de projet (situation de projet, combinaison d'action, …)
- Les opérations de maintenance

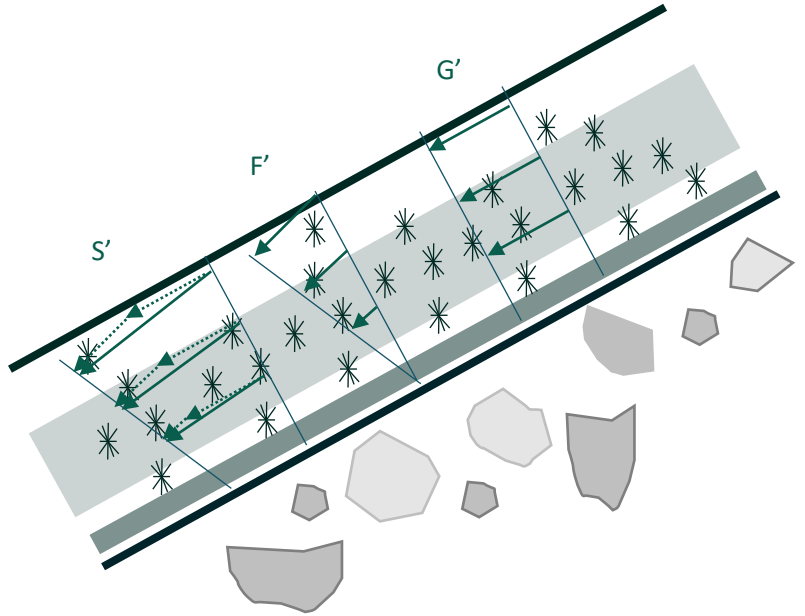
- Pathologies induites par impact environnemental
- Pathologies induites par des sollicitations fonctionnelles
    - « Prévues »
        - Avec attente de non-dommage, l'apparition de dommage traduit une défaillance « erreur » de conception
        - Avec attente de dommage que la maintenance doit corriger
    - « non prévues »

Reptation « le modèle physique pour les ouvrages »

En France

La reptation



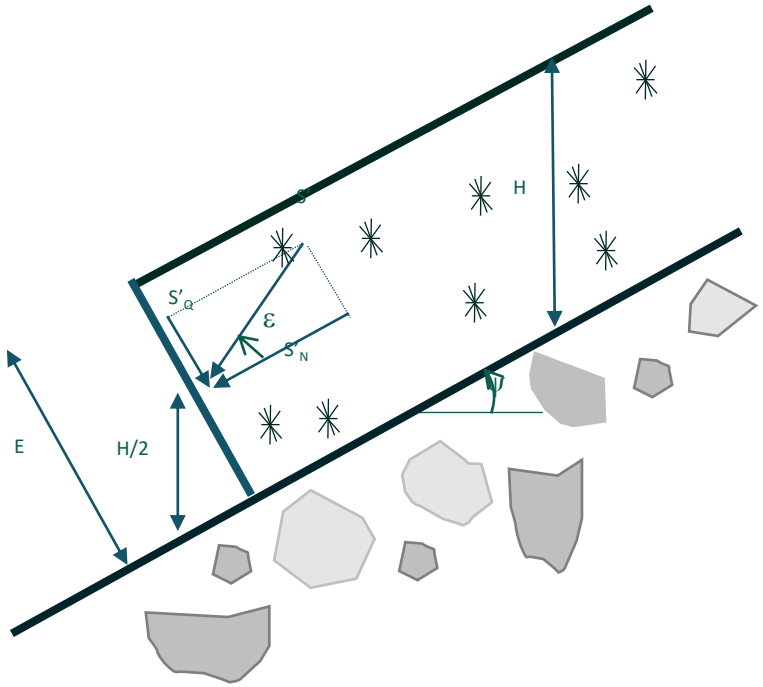


La reptation (S') comprend les déplacements dus au fluage du manteau neigeux (F') et au glissement se produisant au sein du manteau neigeux et sur le sol (G')

Les modèles de reptation

Des travaux anciens de Salm (1977) et complétés dans le document de référence Margreth S. (2007). Il existe d'autres modèles : Haefeli (1951), Bucher (1948), McClung (1982), Larsen (1996) – voir travaux en cours action ReGliss (T. Faug INRAe)

L'action due à la reptation est calculée théoriquement sur une surface perpendiculaire à la ligne de pente et illimitée le long d'une ligne de niveau. Elle est uniformément répartie sur la hauteur et peut s'exprimer en kN/ml (force/longueur)



$$S'_N = \rho \cdot g \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \qquad (1)$$

$$S'_Q = S'_N \frac{a}{N \cdot \tan\psi} \qquad (2)$$

$$\frac{a}{N \cdot \tan\psi} = \tan\varepsilon = \frac{S'_Q}{S'_N} \qquad (3)$$

Le modèle physique utilisé : ses corrections

$$S'_N = \rho \cdot g \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \qquad (1)$$

$$S'_Q = S'_N \frac{a}{N \cdot \tan\psi} \qquad (2)$$

$$\frac{a}{N \cdot \tan\psi} = \tan\varepsilon = \frac{S'_Q}{S'_N} \qquad (3)$$

- deux facteurs clefs:
  - K, facteur de reptation, fonction de la densité et de la pente;
  - N, facteur de glissement, fonction de la rugosité du sol et de l'exposition
- un facteur (a) fonction de la qualité de la neige
- deux paramètres à préciser et fonction de l'enneigement, la hauteur et la densité du manteau neigeux
- des hypothèses sur l'homogénéité du manteau neigeux
- Des corrections à introduire pour les écrans (souples, rigides)
- Le poids du prisme de neige pour tablier déversé
- Des efforts latéraux
- Des efforts marginaux (ou effet de rive)

Le modèle physique utilisé : choix français

Une seule porte d'entrée par la hauteur de référence du manteau neigeux.
Certains paramètres dont la densité de la neige, K et N fixes
Des situations de projet spécifiques

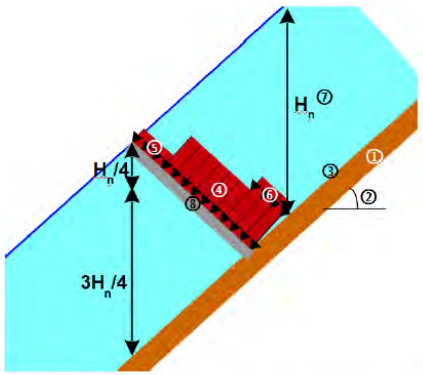


Figure 3 : Coupe schématique de la décomposition des actions de référence, normales, hors sur-actions de rive

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

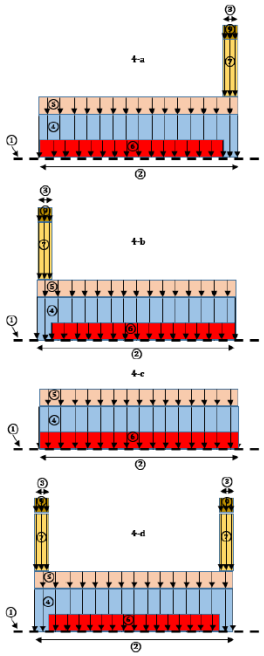
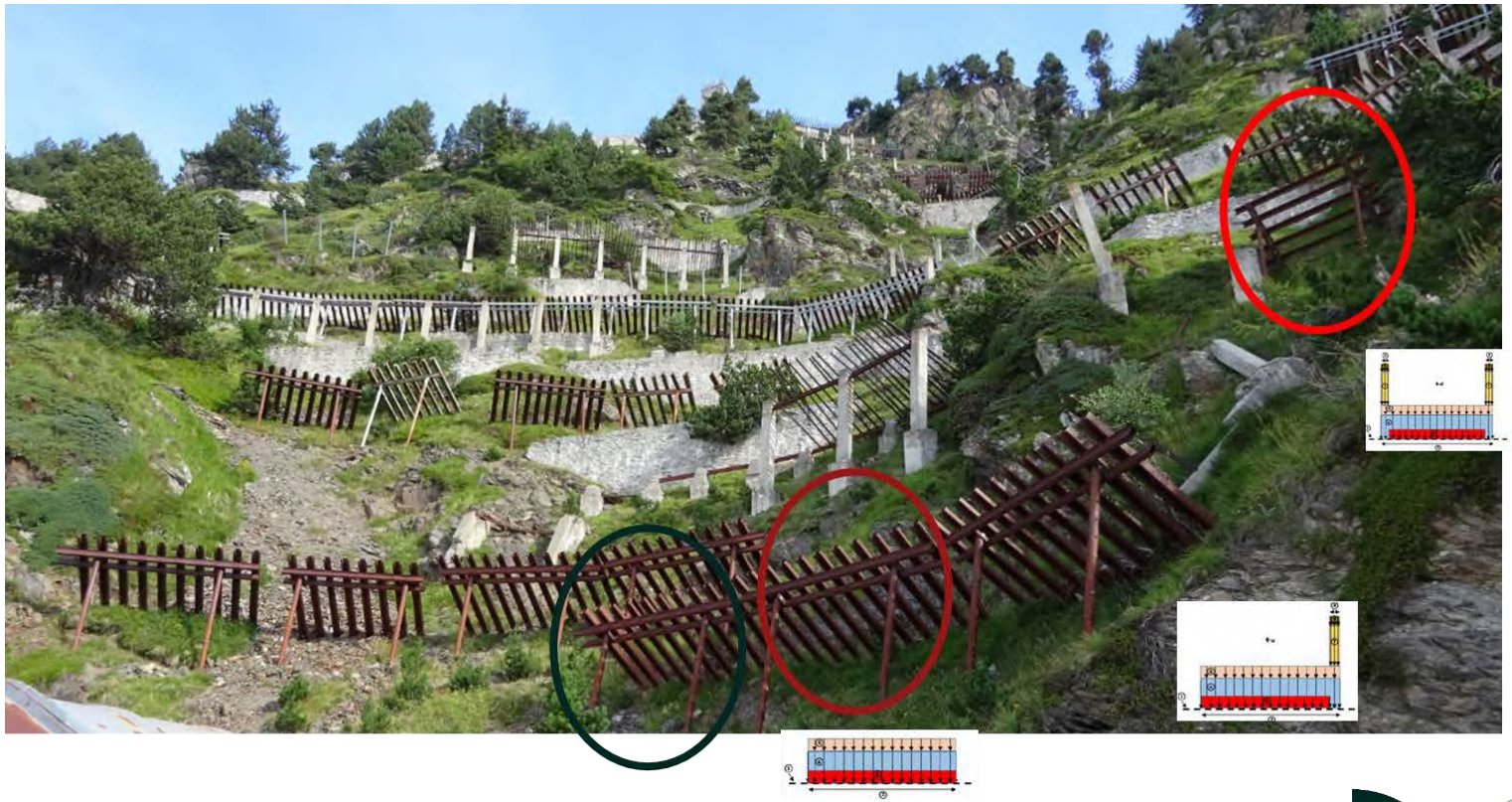


Figure 4a à 4d : Cumul des actions de référence et de rive ; Vue schématique en plan

4-a & 4-b : module d'extrémité
4-c : module médian
4-d : module isolé

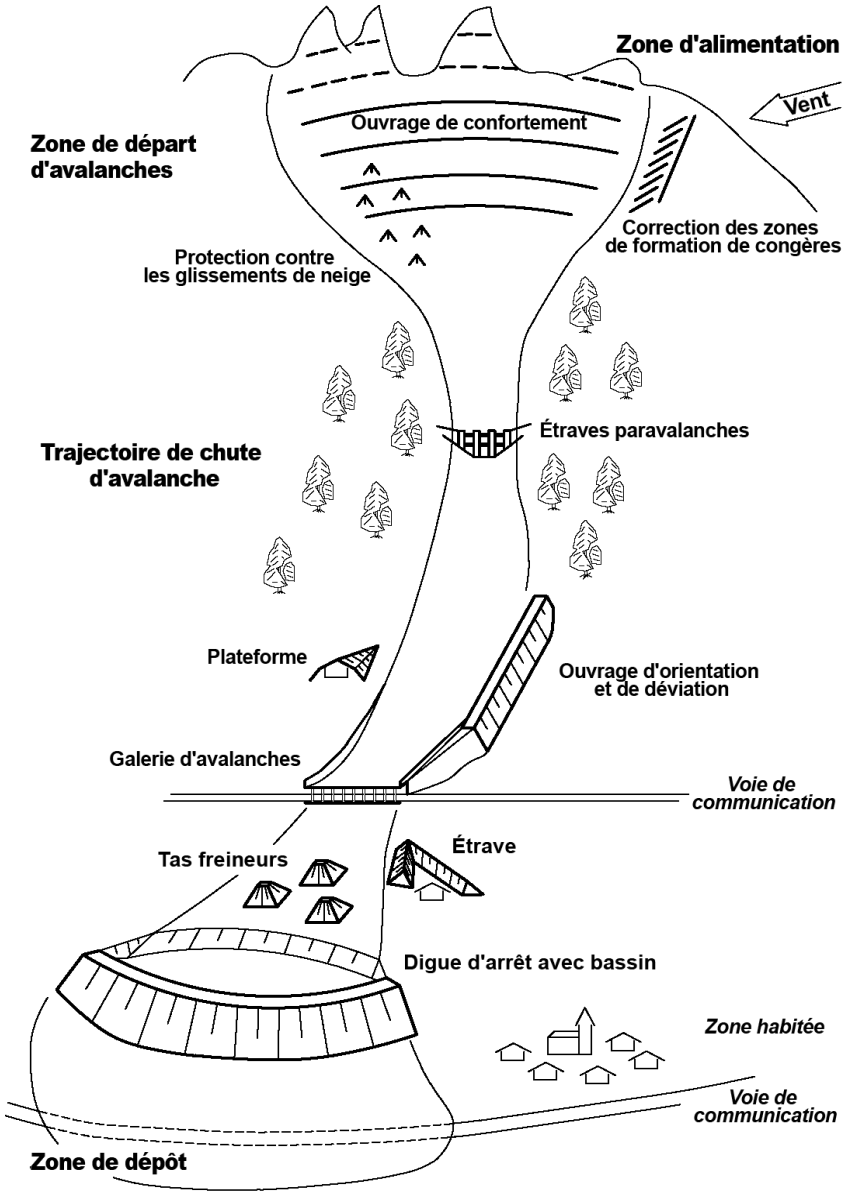
① : Ligne de niveau du plan moyen du sol
② : longueur du tablier
③ : Longueur d'application d'une sur-action de rive
④ : Action de référence permanente
⑤ : Action de référence variable
⑥ : Sur-action de pied
⑦ : Sur-action de rive permanente
⑨ : Sur-action de rive variable



Les ouvrages soumis à la reptation

Dommages observés

De quels ouvrages parlons-nous ?



Les arbres

Implantation

Dommages aux structures métalliques : surchages ?

Impacts de coulées de neige ?
Impacts de blocs ?
Surcharges dues aux manteaux neigeux ?

Dommages aux structures métalliques : surchages ?

Impacts de coulées de neige ?
Impacts de blocs ?
Surcharges dues aux manteaux neigeux ?

Dommages aux fondations : surchages ?

Impacts de coulées de neige ?
Surcharges dues aux manteaux neigeux ?

Dommages : conception

Les ouvrages de lutte contre le glissement

Les ouvrages ont pour objectif de réduire localement le glissement de la neige. Ils créent une rugosité locale.

Ils subissent également les actions du manteaux neigeux mais sur une épaisseur moindre

Les ouvrages de lutte contre le glissement

Un bilan

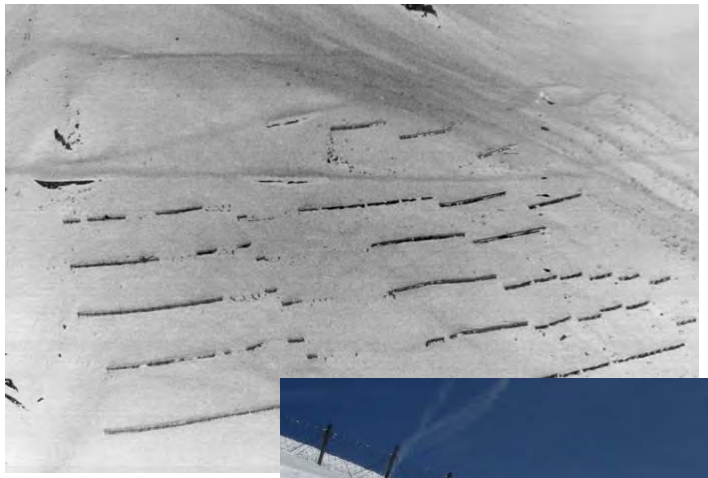
L'essentiel des dommages aujourd'hui se concentre sur les ancrages

L'origine des dommages :

- Vieillissement
- Défaut de dimensionnement des ancrages
- Défaut d'implantation
- Enneigements non conformes aux hypothèses
  - Plus de neige que prévu
  - Densité de la neige très forte
  - Coulées de neige dans les ouvrages
  - Actions de la neige dominées par le glissement
  - Evénement plus conséquent que prévu

Faut-il remettre en cause le modèle physique choisi ?

Un bilan



rtm

Office National des Forêts

Merci pour votre attention.

Planche de pictos

version - blanc

Planche de pictos

version – vert foncé