

Solutions fondées sur la nature appliquées aux risques gravitaires

Possibilités, limites, enjeux

Focus sur les forêts à fonction de protection



Carine PEISSER



Pôle Alpin Risques Naturels

Séminaire de transmission du Life ARTISAN

10/07/2025

Montrieux-le-Hameau



Le PARN



Une structure d'**interface** Science-Décision-Action pour **accompagner les territoires alpins** dans la gestion intégrée des risques naturels :

- Depuis 1988, **30 ans de mobilisation** des scientifiques au service des collectivités – application locale des connaissances
- 9 membres historiques = ressource et pilotage



Grenoble INP



- Un réseau d'acteurs scientifiques, opérationnels et décisionnaires
- un CST mobilisé pour répondre à des questions émanant du réseau : 18 membres, personnes physiques
- Un cadre d'intervention multi-échelle : local, régional, **interrégional Massif des Alpes**, national, européen SUERA

Animation du réseau des TAGIRN

Territoires Alpins de Gestion Intégrée
des Risques Naturels

Animation du Réseau SDA

Science-Décision-Action pour la
prévention des RN dans les Alpes

- ✓ Montage et accompagnement de
projets de Recherche-action
- ✓ Rencontres multi-acteurs

Plateforme Alpes-Climat- Risques

Coopération territoriale

- ✓ Appui aux politiques publiques
- ✓ Interreg
- ✓ SUERA

Contexte





Solutions Fondées sur la Nature appliquées aux risques gravitaires

Possibilités, limites, enjeux

**Mardi 19 novembre 2024
9h30-16h30**

**St Bonnet en
Champsaur
Salle polyvalente**

**Prolongé par une
visite technique
mercredi 20/11**



Evenement organisé dans le cadre de la
dynamique partenariale **RESAlpes**

Accueil et visite technique : **CLEDA**





Mise en réseau et animation interrégionale
pour accompagner les acteurs du massif alpin
dans l'amélioration de la gestion intégrée des
risques naturels

➔ Présentation réalisée avec des supports de :

A.Evette (INRAE)
G. Bourgeois (CD73)
M.P. Michaud (ONF-RTM)
LeBidan (RipRap),
F. Berger, B.Duquesnois, S. Dupire (INRAE)
M. Vuaridel (BFH)

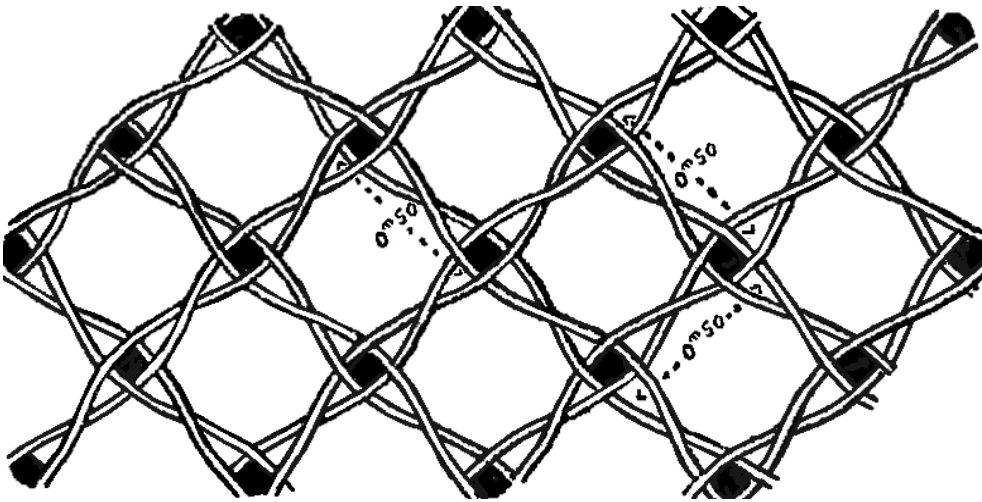
Stabilisation des pentes

- Historiquement génie végétal très développé


Moustier 1905



- Clayonnage



Montages en
croisillons

Barlatier de Mas 1899





E. de Gayffier.

Canton des Ubacs . Ouvriers écrêtant des berges et réalisant des fascinages vivants.

n° 2577 - Année 1877.

INRAE

Andre.evette@inrae.fr

Stabilisation des pentes

- Historiquement génie végétal très développé
- Oubli et passage au génie civil dans les 30 glorieuses (avec des poches de résistance dont ONF/RTM)



geotechniquehse.com

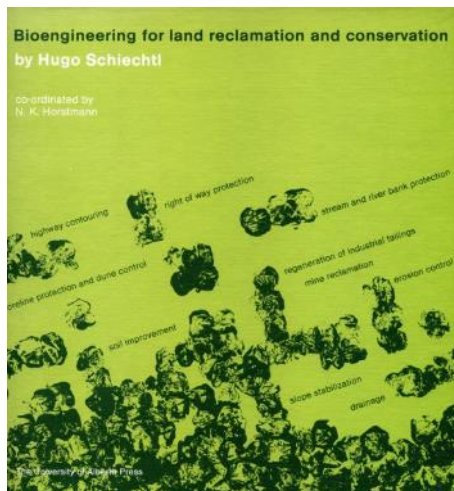
INRAE

Andre.evette@inrae.fr

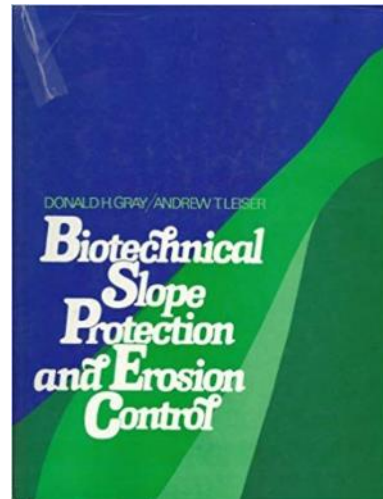
Stabilisation des pentes

- Historiquement génie végétal très développé
- Oubli et passage au génie civil dans les 30 glorieuses (avec des poches de résistance dont ONF/RTM)
- Redécouvertes dans les années 80-90
- En France ?

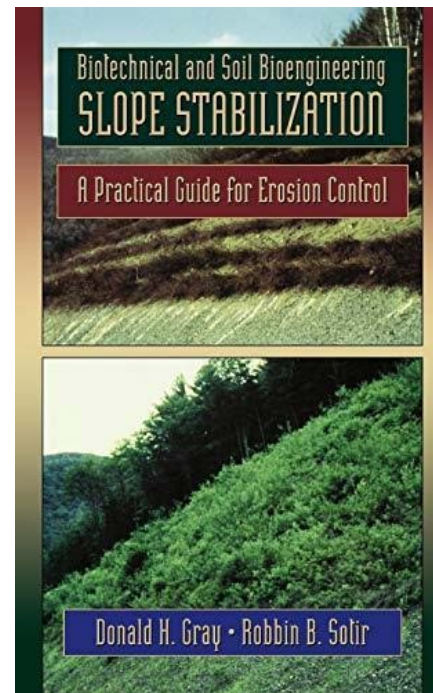
Schiechtl 1980



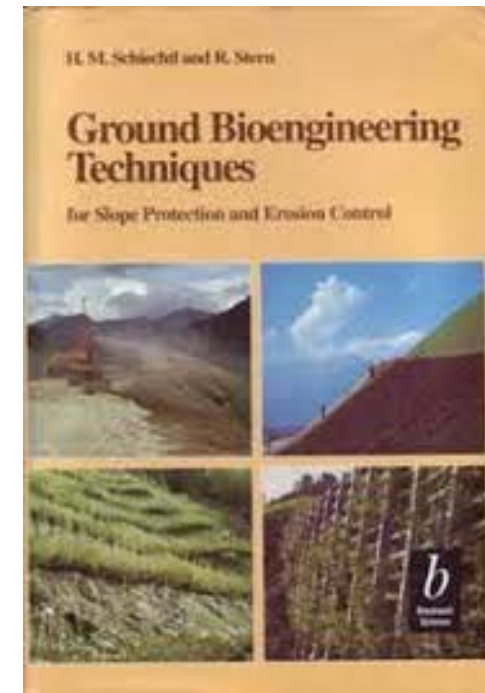
Gray 1982



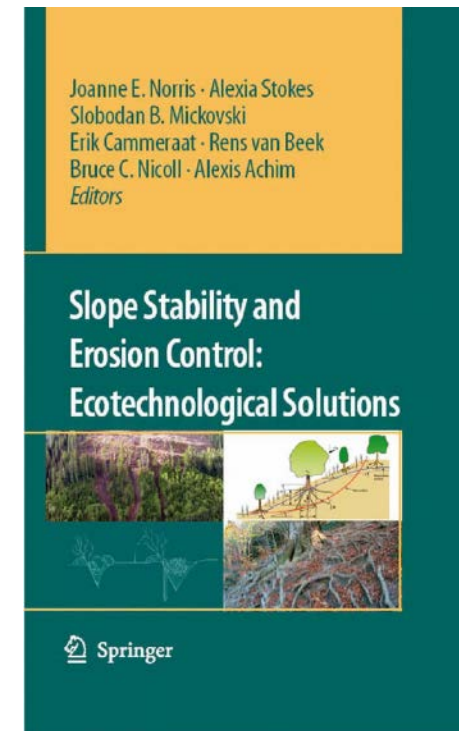
Gray & Sotir 1996



Schiechtl 1996

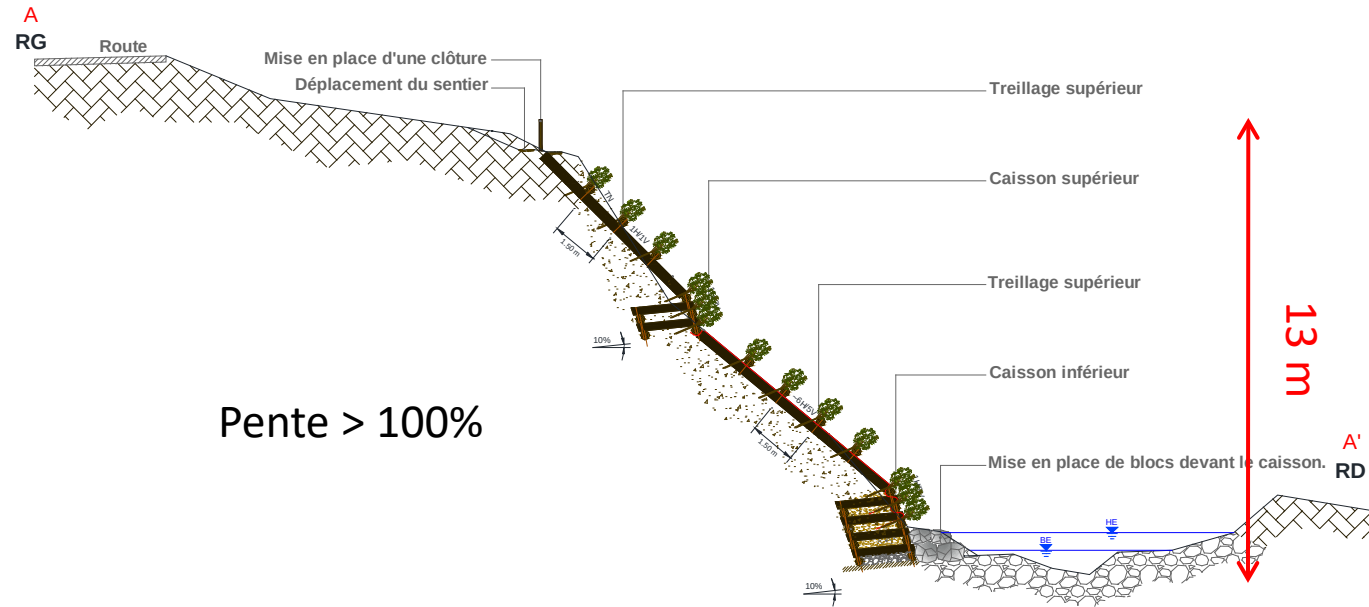


Norris et al 2008



CHANTIER DE L'AVANÇON À LA BENJAMINE (Commune de Bex, canton de Vaud, CH)

Hepia

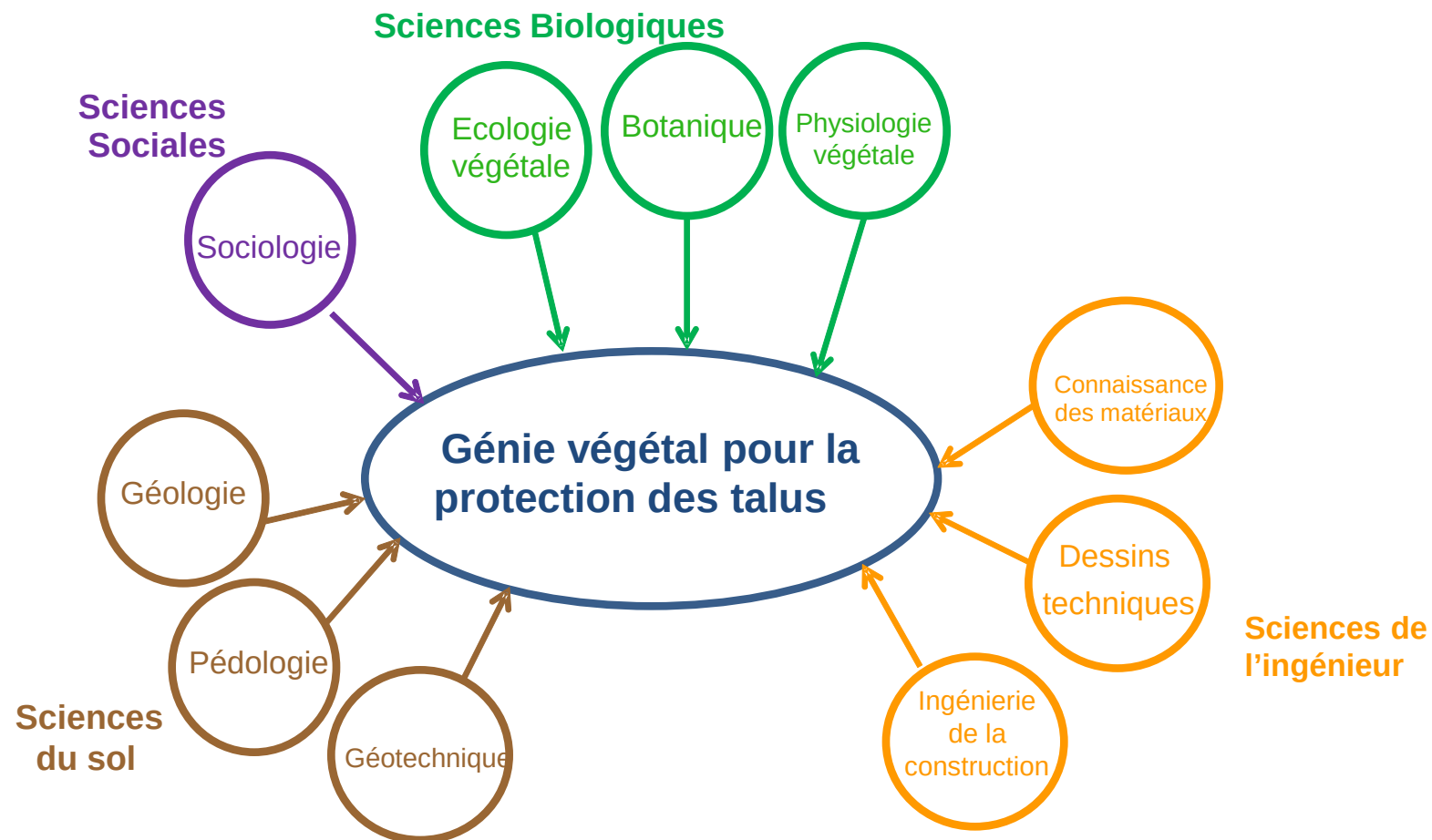


Définition du génie végétal

- Copier les modèles naturels: « L'art alors se bornera à imiter la nature, à s'emparer de ses procédés, et à opposer habilement les forces de la vie organique à celles de la matière brute » (Surell 1841)
- Notions d'ouvrage et de végétation sont centrales, on s'appuie sur les lois physiques de l'ingénierie mais aussi les lois biologiques, en utilisant des plantes vivantes comme matériaux de construction (Kruedener 1951, Schiechtl et Stern 1996)



Le génie végétal sur les pentes, une approche interdisciplinaire à la croisée des sciences biologiques, de l'ingénieur, du sol



Un changement de paradigme

Redéfinir performances, acceptation et partage des risques, humilité et audace

Génie civil : paradigme dominant du
« prédire et contrôler »,



Génie végétal : « paradigme adaptatif », basé sur
l'expérimentation et le raffinement itératif



De la performance à la robustesse (Hamant 2022)

LANDSLIDE EVOLUTION



Génie végétal sur les pentes : assez peu de réalisations en France



Solutions de génie végétal pour le traitement des coulées de neige et des glissements de terrain superficiels

Quelques exemples

- Reboisement paravalanche
- Rondins anti-reptation
- Lits de plançons
- Fascines
- Gratta viva
- Autres exemples, chantiers expérimentaux

Stabilisation du manteau neigeux par reboisement paravalanches



Stabilisation du manteau neigeux
en zone de départ.



RD218b – accès Notre
Dame de Bellecombe



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisation du manteau neigeux par reboisement paravalanches

Trépied « à la française »



Trépied « à l'italienne »



Après quelques années

Stabilisation du manteau neigeux par grumes anti-reptation



RD90 – accès Méribel

Contre les reptations du manteau neigeux (départ au sol).
Pas d'effet sur les coulées qui partent sur couches fragiles intermédiaires.



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisations par lit de plançons



Pour stabiliser les glissements de terrain superficiels.



RD80 – accès aux Albiez



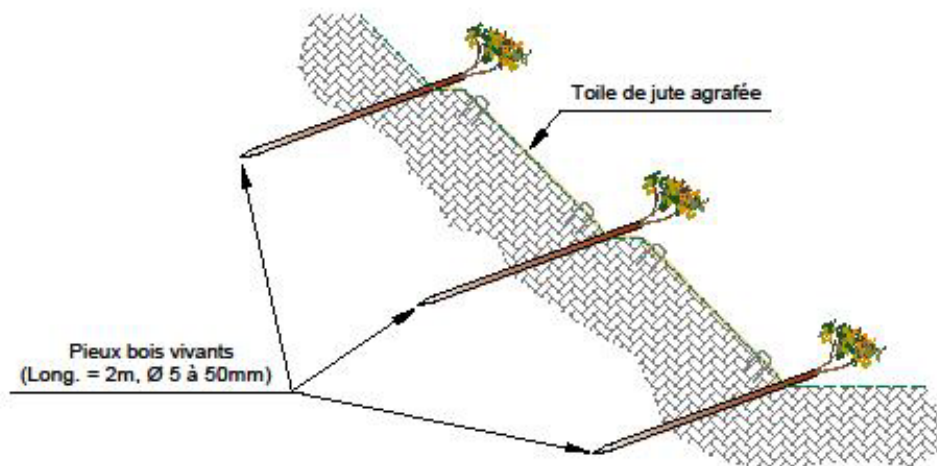
LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisations par lit de plançons



Principe du lit de plançons



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisations par lit de plançons

Butée de pied



Montage des lits de plançons



Travaux terminés



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisations par fascines

Pour stabiliser les glissements de terrain superficiels.



RD119 – accès aux Arcs

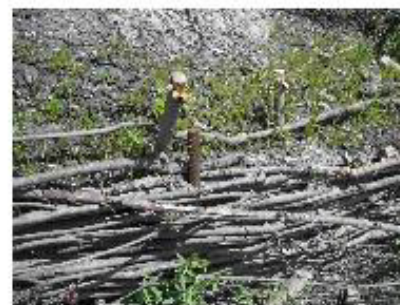
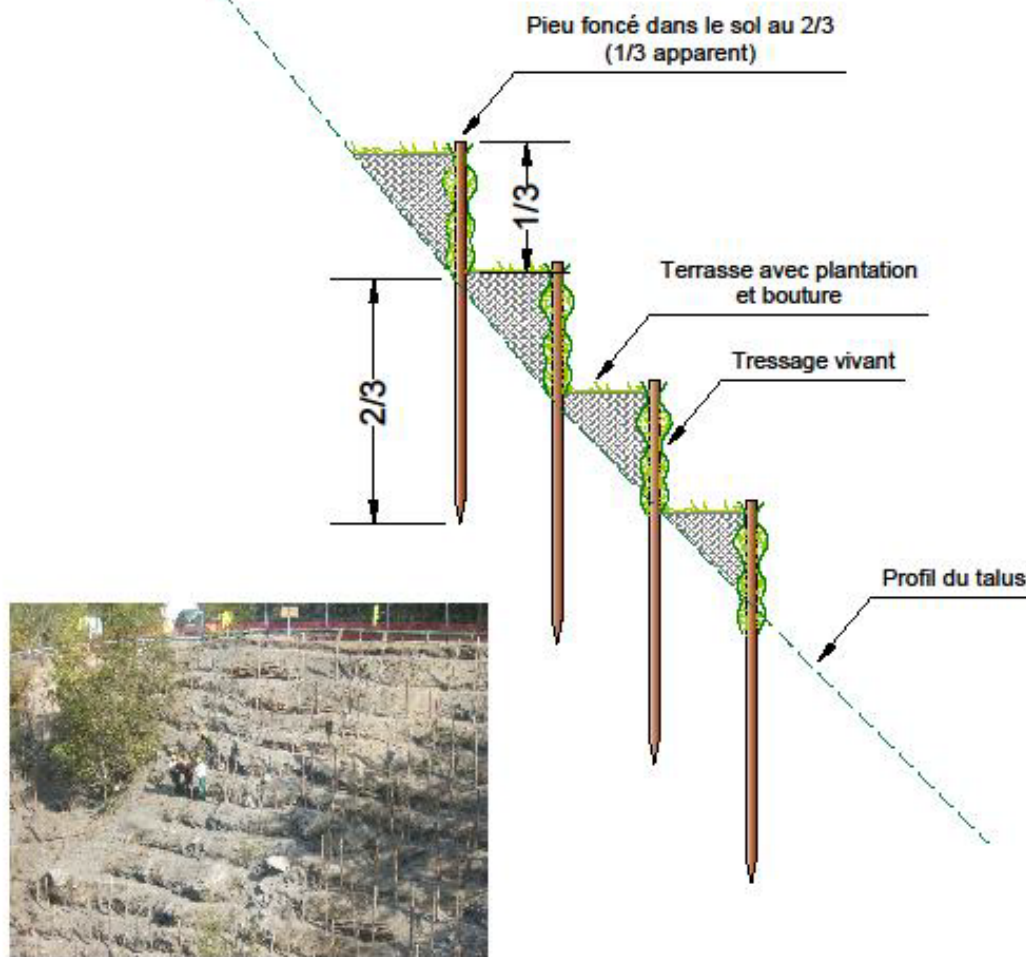


LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisations par fascines

Principe des fascines



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisations par fascines



Banquettes et pieux



Fascines



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisations par fascines



Végétalisation et reprise progressive naturelle



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisations par fascines



Stabilisations par fascines

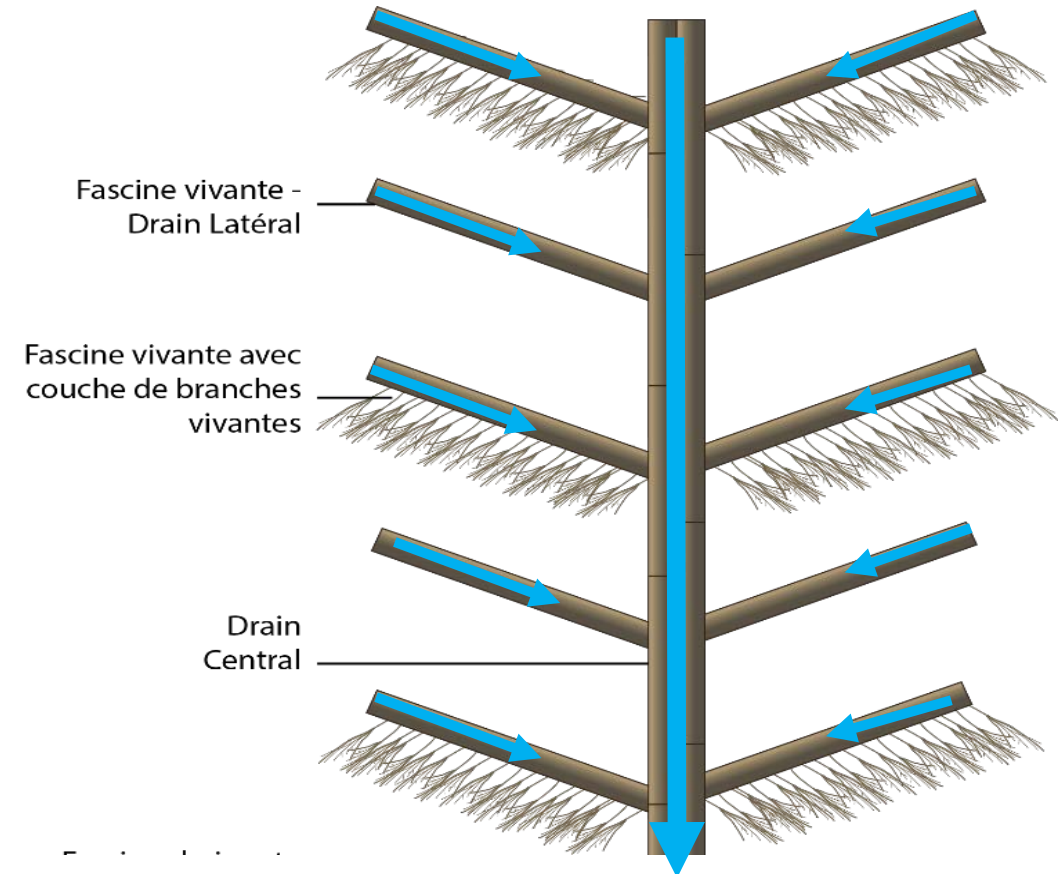


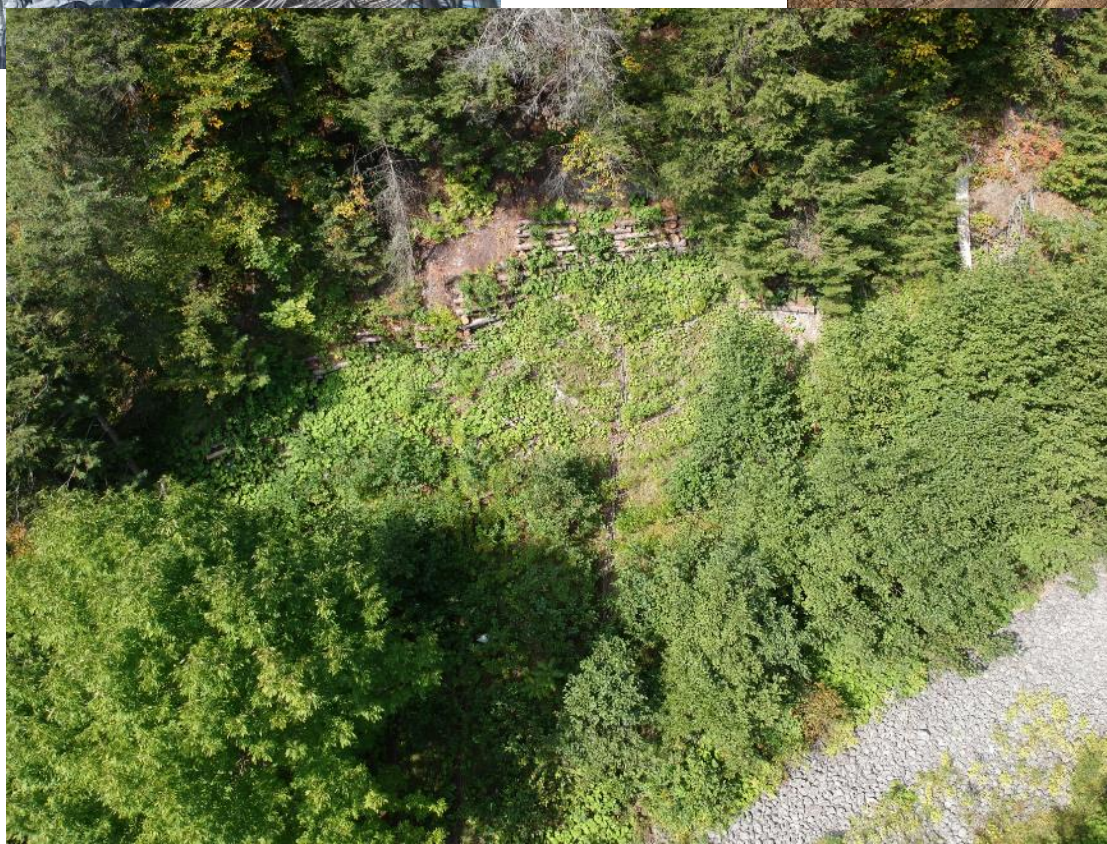
Wattental (CH)



Stabilisations par fascines

Ex. Fascines drainantes





Stabilisation par Gratta Viva



RD87a – accès à Tignes

Pour stabiliser les glissements de terrain superficiels.



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisation par Gratta Viva



Butée de pied



Montage Gratta Viva



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Stabilisation par Gratta Viva



Remplissage terre végétale



Mise en place toile coco



Plantation arbustes et hydroseeding



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

Autres exemples



Autres exemples

Expérimentation sur le site pilote d'Artouste (64) : réalisations



Projet PHUSICOS

- Vise à démontrer que les solutions fondées sur la nature pour réduire le risque de phénomènes induits par des événements météorologiques sont techniquement viables, rentables et applicables à l'échelle régionale, tout en augmentant la résilience écologique, sociale et économique des communautés locales.

➤ Le génie végétal un compromis entre fonctions

Protection durable des enjeux humains :



Restauration des fonctions écologiques et récréatives :

Génie végétal pour les risques gravitaires : L'entretien



- A ne surtout pas loucher les premières années
- Relevage des plants, traitement contre l'abroutissement, regarnis, arrosage...
- Dans la plupart des solutions, l'entretien diminue avec le temps, contrairement aux solutions de génie civil.



LE DÉPARTEMENT

gaelle.bourgeois@savoie.fr

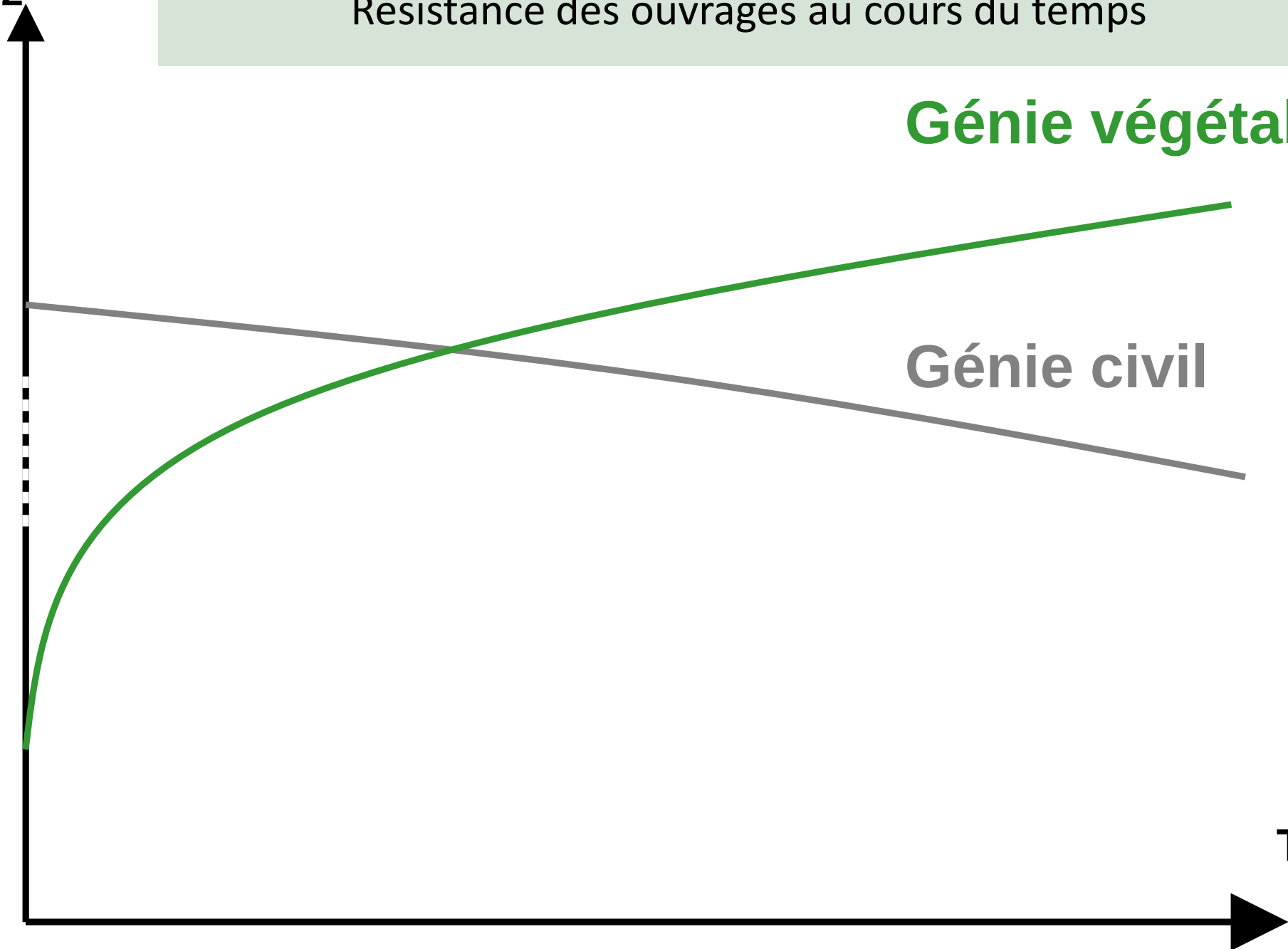
τ en N/m²

Résistance des ouvrages au cours du temps

Génie végétal

Génie civil

Temps



Génie végétal /Génie civil : Pas tout ou rien, mais un gradient

Là aussi il faut
de la nuance

Part du minéral

Part du végétal



Biodiversité
Fonctions écologiques
Santé humaine
Paysage
Evolution de la résistance

Coût carbone
Coût € en général

Génie végétal - Messages à retenir

- Rajouter de la végétation est bon pour l'homme pas seulement pour la biodiversité
- Le génie végétal peut durablement stabiliser les glissements superficiels
- Il existe des techniques variées dont certaines peu utilisées
- INRAE lance des recherches appliquées pour le développement de ces techniques, des partenaires intéressés ? Dont LivingLab VIVALP

Génie Végétal - messages à retenir

- Bien évaluer si la solution est appropriée. Favoriser les espèces locales.
- Dans les comparaisons de solutions par rapport à des solutions génie civil : valoriser la durée de vie de l'ouvrage, la diminution de l'entretien avec le temps, le bilan carbone. Le coût d'investissement est généralement plutôt supérieur à des solutions génie civil.
- Ne pas louper l'entretien sur les premières années
- Effectuer un suivi régulier, particulièrement en cas d'évènements extrêmes (sécheresse...)
- Communiquer sur ces solutions : les retours des élus et usagers sont en général très positifs.

Forêts à fonction de protection



**Solutions fondées sur la
forêt et
risques gravitaires**



**Baptiste Desbuquois
Fred Berger**



Forêts à fonction de protection

Loi de reforestation (28 Juillet 1860) et ré-engazonnement (8 Juin 1864)

La loi du 4 avril 1882 : restauration et conservation des terrains en montagne (RTM)



Forêts à fonction de protection



Chaudun, Col de Chabanottes, Billecard, 1896



Chaudun, Col de Chabanotte, Pic Melette, Métaillé, 1991

Crolles (38)



1911



2017

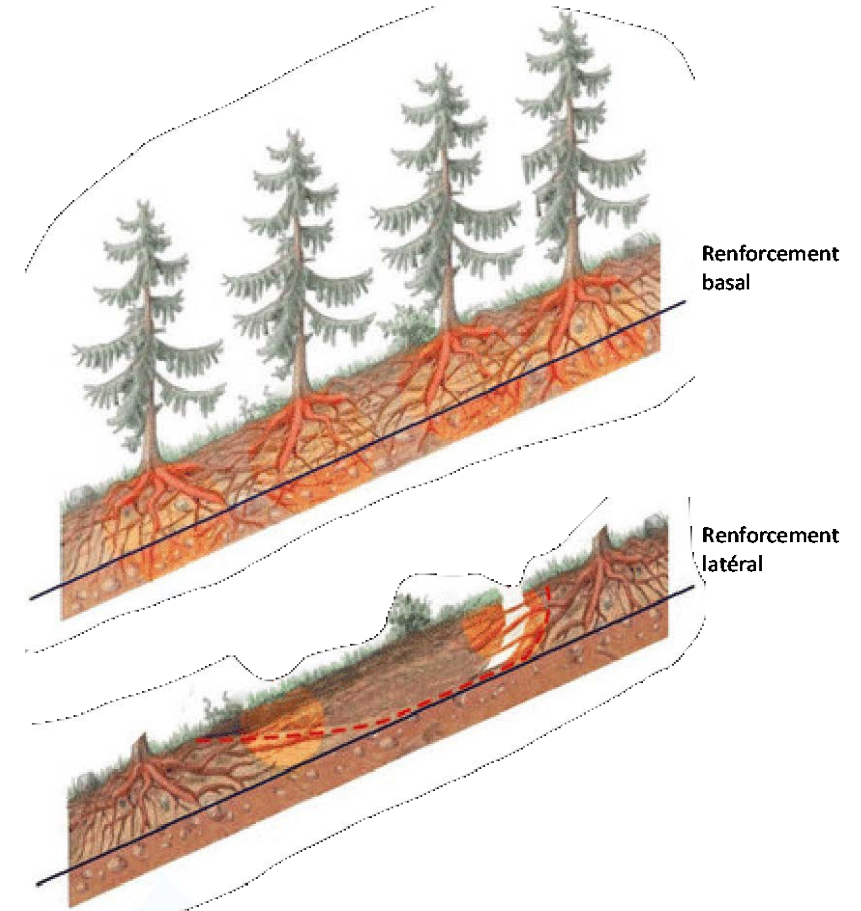
Le rôle protecteur des forêts

Contre :

- Glissements de terrain
- Érosion des berges
- Avalanches
- Chutes de blocs
- ...

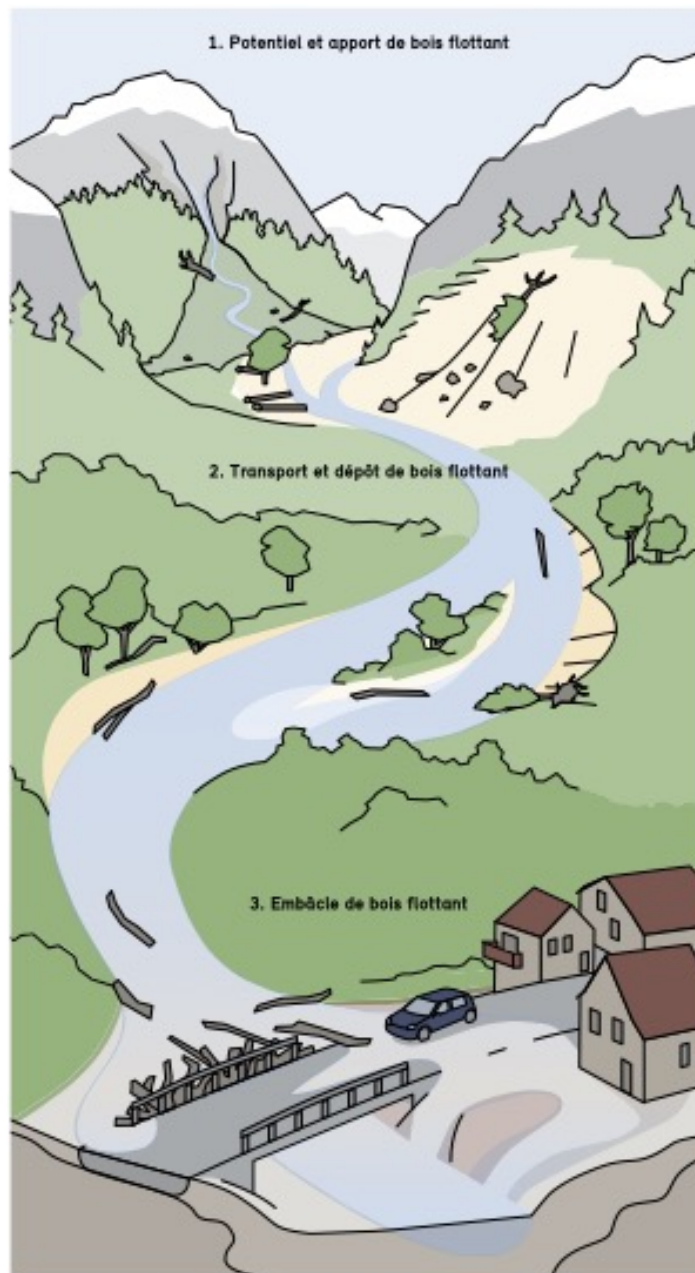


- Stabilisation des sols
- Effet de barrière



→ Alors, on plante des arbres partout ?

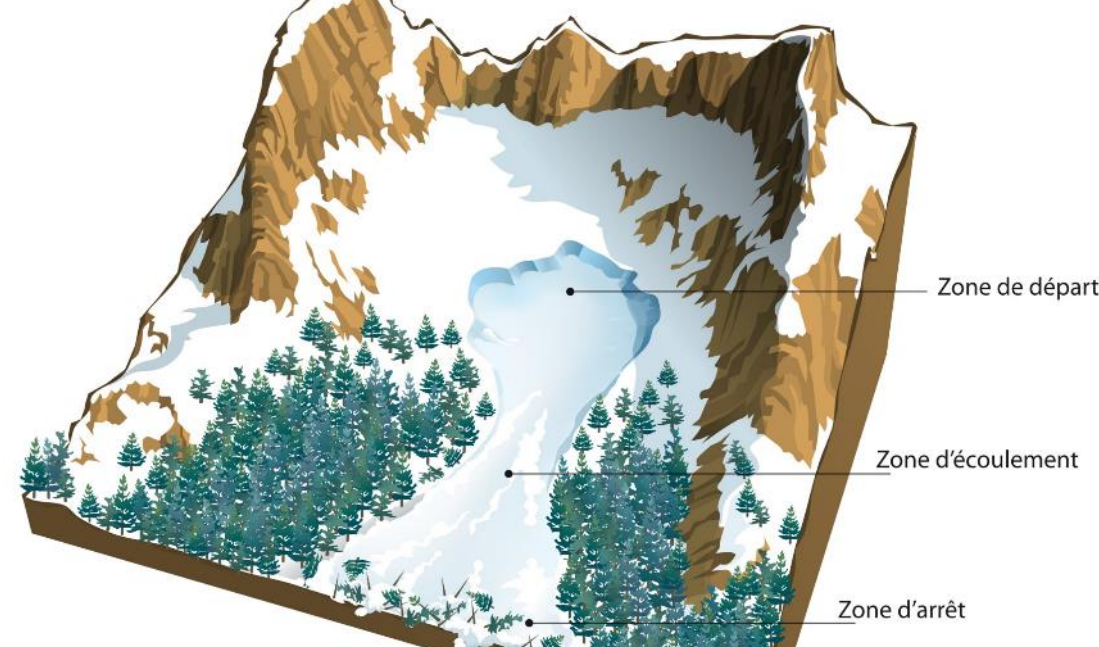
Oui mais... le bois flottant



... Et l'entretien des forêts pour assurer leur efficacité
« optimale » sur le long terme a un coût !



Quels effets ?



	Avalanches	Aléas rocheux	Aléas liés à l'eau
Zone de départ	Interception de la neige Métamorphose du manteau neigeux	Effet stabilisateur uniquement pour les éboulis Effet de levier/facteur d'altération	Stabilisation des pentes/sols, interception des précipitations, évapotranspiration
Zone de propagation et d'arrêt	Effet de frein, canalisation Effet bélier	Effet de frein, canalisation Embâcle/rupture	Piégeage des matériaux Résistance à l'érosion Alimentation en bois/effet bélier Embâcle/rupture
Echelle	Le versant, le couloir	Le versant, le couloir	Le bassin versant



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

luuk.dorren@bfh.ch

Stabilisation du manteau neigeux.



Action sur le dépôt

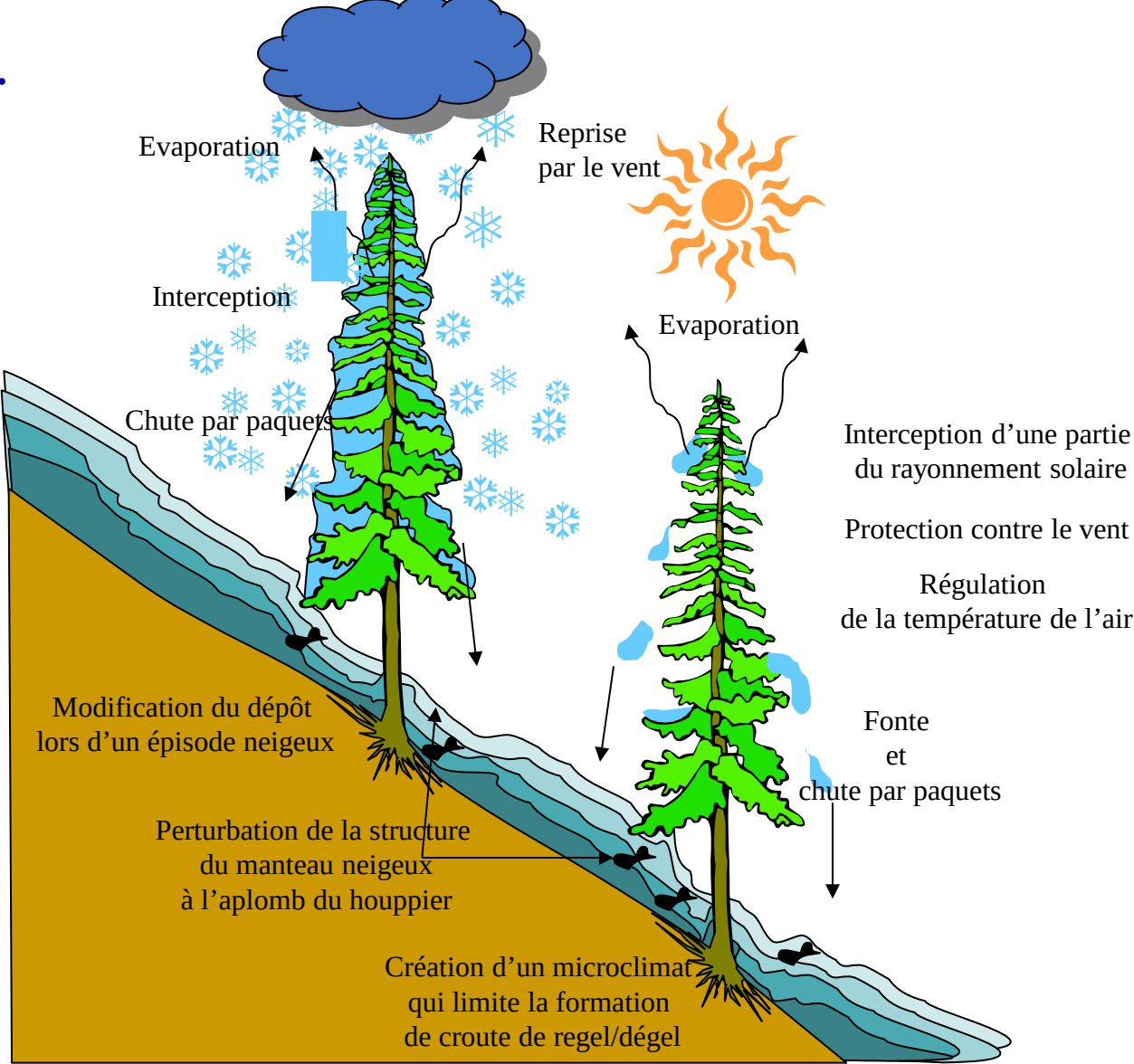
+

Action sur la stratigraphie

+

Action sur la métamorphose

= Stabilisation du manteau neigeux

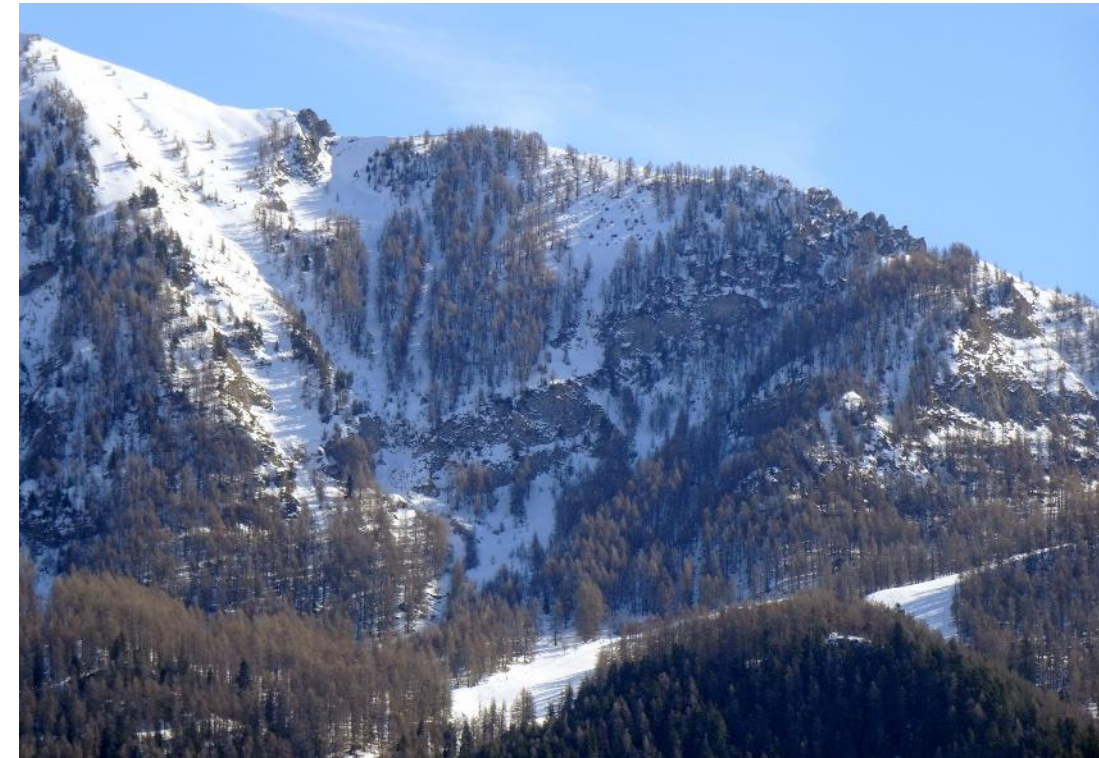


Stabilisation du manteau neigeux par reboisement paravalanches

➤ SAINT-LEGER LES MELEZES – Le Cuchon (05)

Les travaux débutent à l'automne 2006 et la dernière intervention date de 2020.

12 interventions ont été nécessaires pour permettre l'installation du boisement paravalanche, qui ne couvre pour autant qu'une partie de la trouée dans cette zone de départ (mise en place de tripodes, plantations, regarnis, dégagement végétation ...).



Tripodes et plants de
mélèzes en 2013

Stabilisation du manteau neigeux par reboisement paravalanches

➤ SAINT-LEGER LES MELEZES – Le Cuchon (05)

Vue d'ensemble de la partie Ouest du dispositif en juillet 2024



➔ Réussite

BOISEMENTS PARAVALANCHES - Limites

➤ ORCIERES – PRAPIC – Les Sarriesses (05)



Plantations de 2015 et 2016



Plantation de 2017



Plantation de 2018



Photos de novembre 2020

BOISEMENTS PARAVALANCHES - Limites

➤ ORCIERES – PRAPIC – Les Sarriesses

Les travaux ont débuté en 2015 et la dernière intervention date de 2024.

9 interventions ont déjà été réalisées sur cette période (mise en place de tripodes, plantations, regarnis, dégagement végétation ...).

Entre 2015 et 2020, 4230 plants sont mis en place en première plantation ou en regarnis.

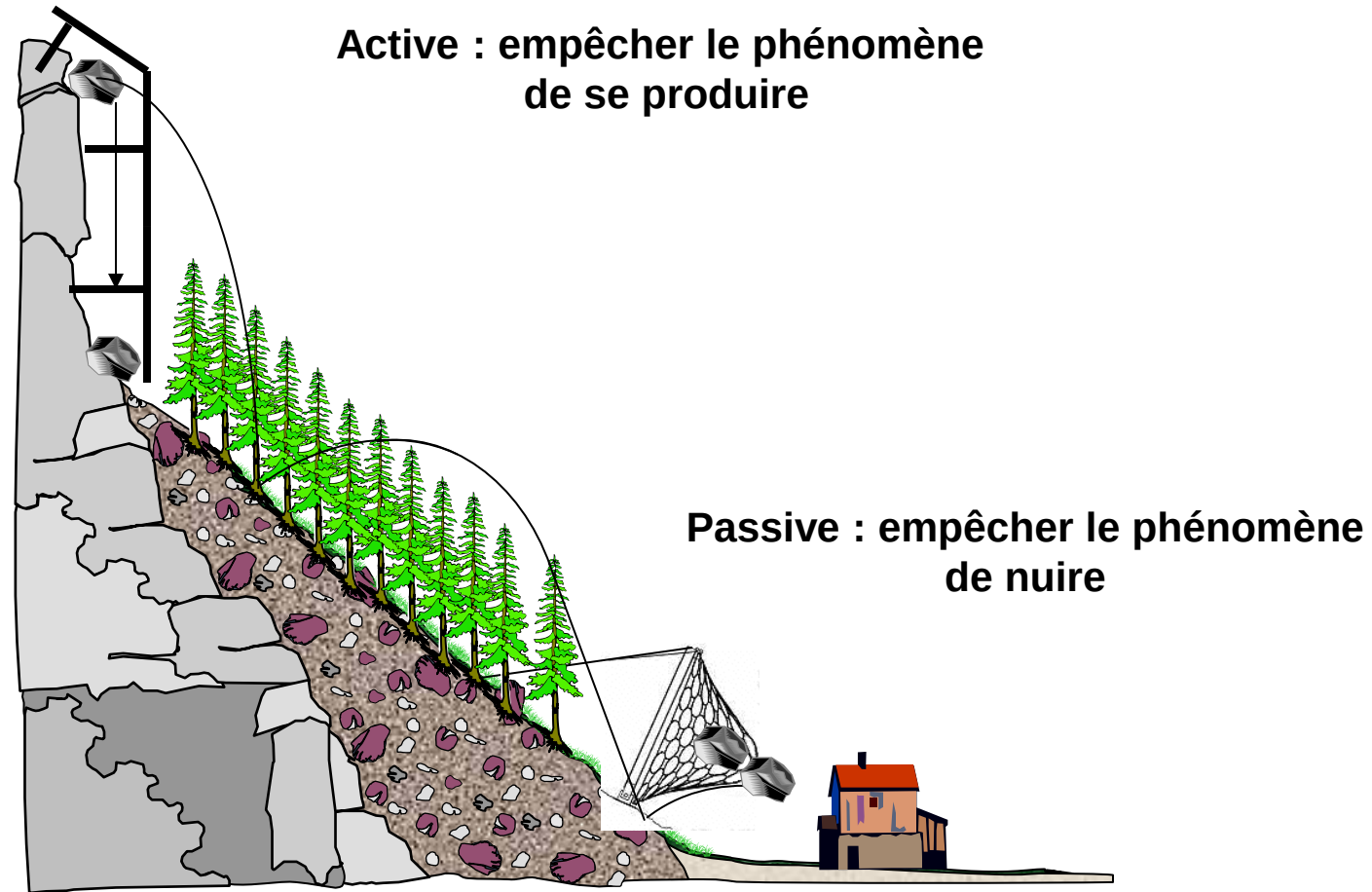
En 2021, un fort regarnis de 3000 plants est effectué.

Depuis 2022, un comptage du nombre de plants est effectué régulièrement et il montre une diminution du nombre de plants restants ...

<u>BILAN:</u>	TOTAL NOMBRE DE PLANTS (octobre 2022) :	1046
	TOTAL NOMBRE DE PLANTS (juin 2023) :	1111
	TOTAL NOMBRE DE PLANTS (nov 2023) :	711
	TOTAL NOMBRE DE PLANTS (oct 2024) :	505

La principale cause de l'échec de ce boisement est dû à **l'abrutissement par les chevreuils.**

Protection contre les chutes de blocs



SF Génie Civil : emmailloter, filet, etc.

SFF/SFN: gérer au mieux l'existant, reboiser, revégétaliser

Protection contre les chutes de blocs

La forêt une solution fondée sur la nature efficace pour la protection contre les chutes de blocs...



Protection contre les chutes de blocs

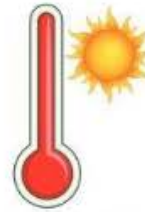
... mais aussi vulnérable aux perturbations



Pathogènes



Tempêtes



Sécheresses



Incendie du Néron. Agglomération de Grenoble. Août 2003. © O. Goirand



Broussaille / Taillis
300 ha - 33 jours

Forêt du Miollet - Champagny-en-Vanoise Savoie. Août 2003. © D. Mouchéné



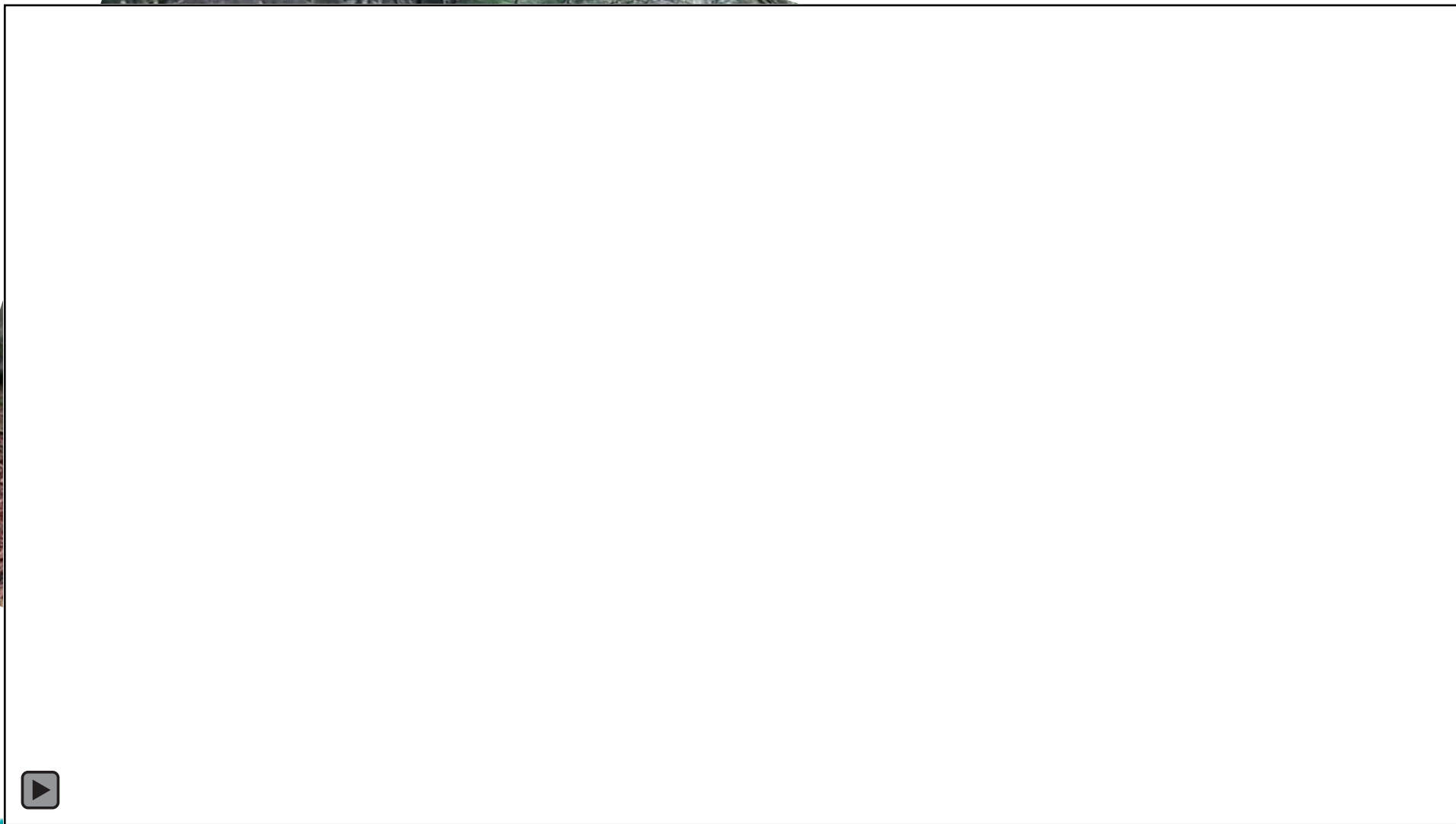
Forêt d'Épicéas (1500 m)
100 ha - 3 jours



Protection contre les chutes de blocs



Des expérimentations

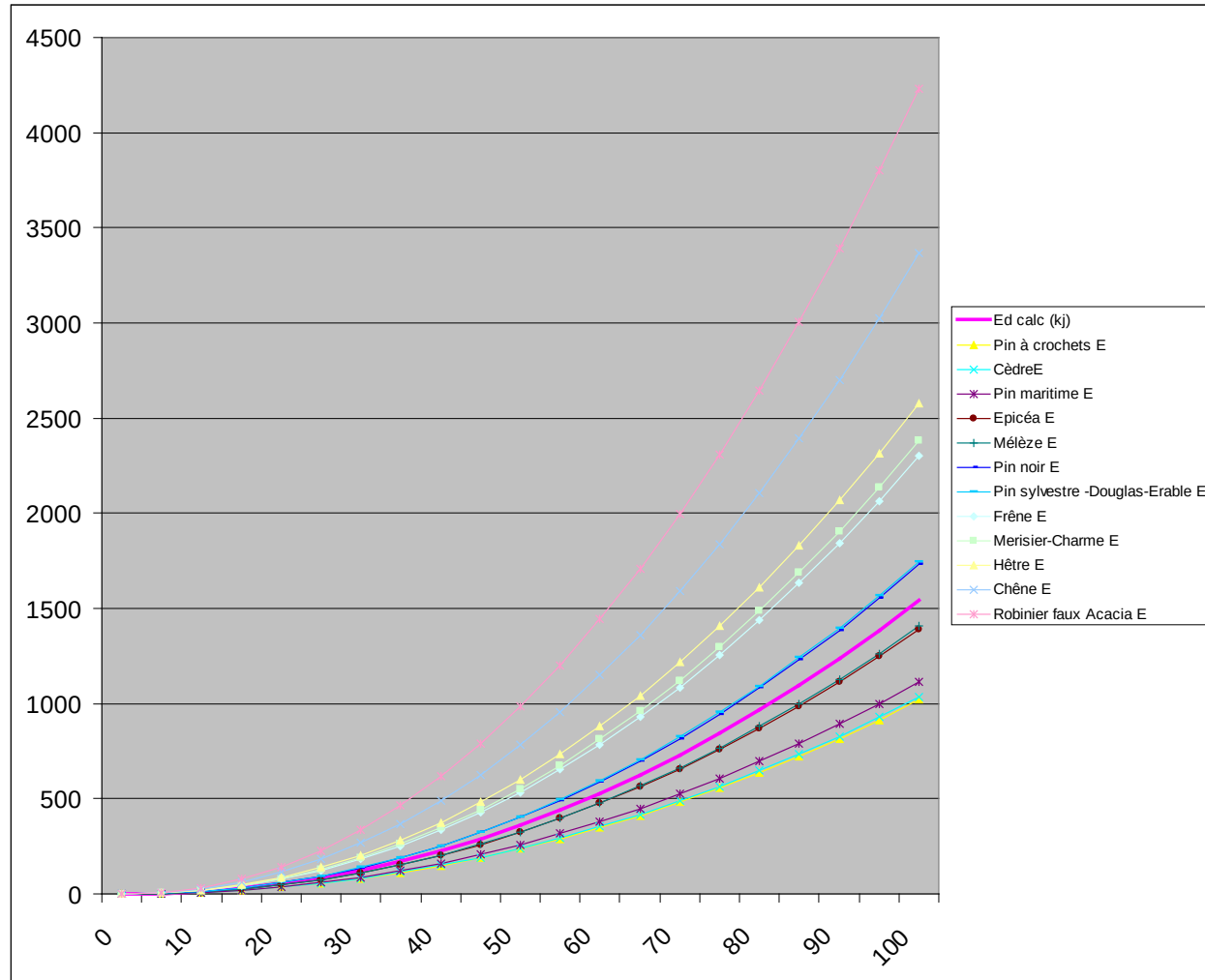


$15 \text{ m}^3 = 15 \times 2,4 = 36\text{t!}$



Energie dissipée
=

f (f(DHP, essence), pente, longueur de la pente boisée, distance d'entrée en forêt,
probabilité de rencontre (DHP,N,G), bois au sol, infrastructures forestières)

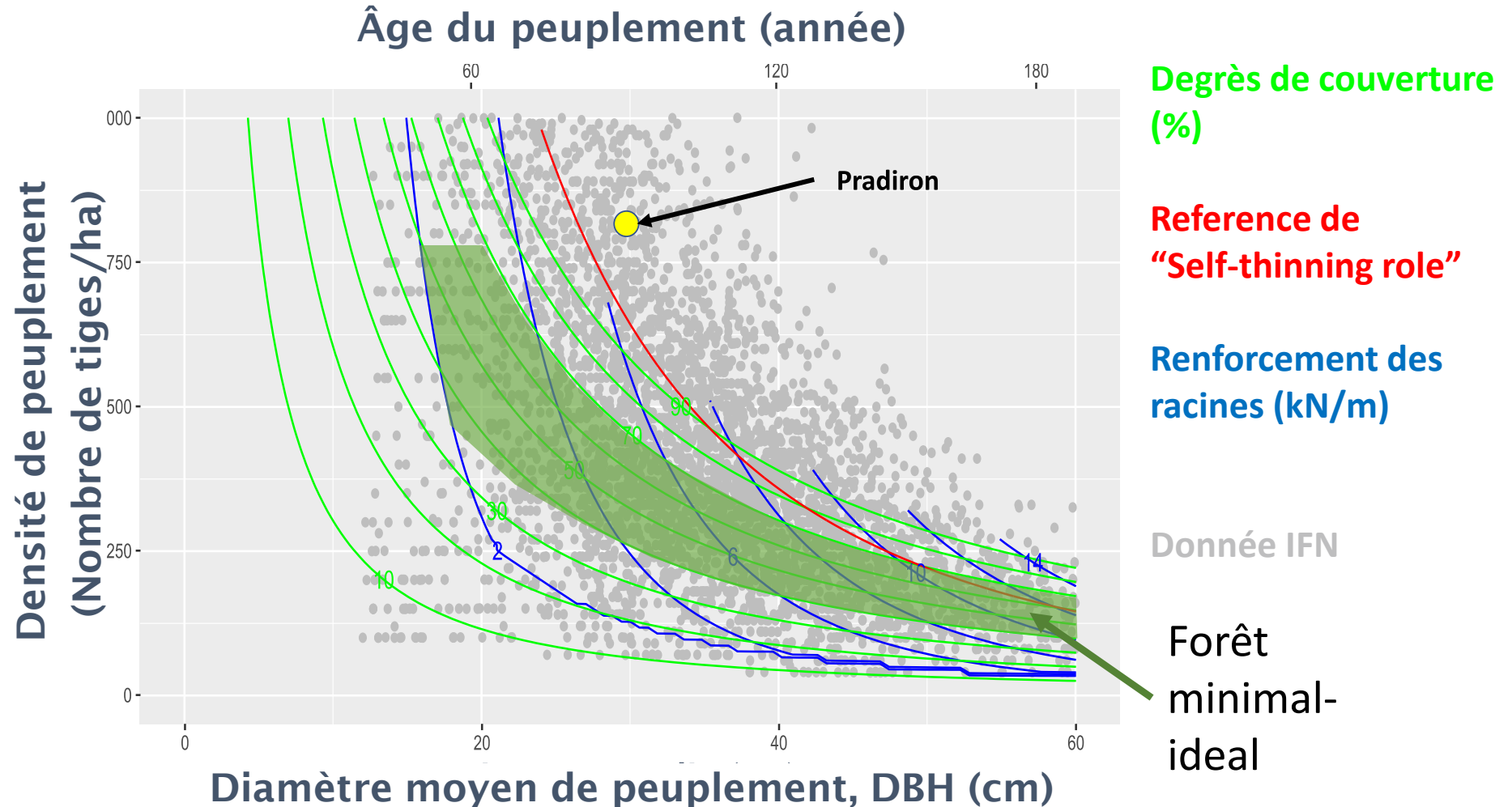


Etudes en cours dans les projets



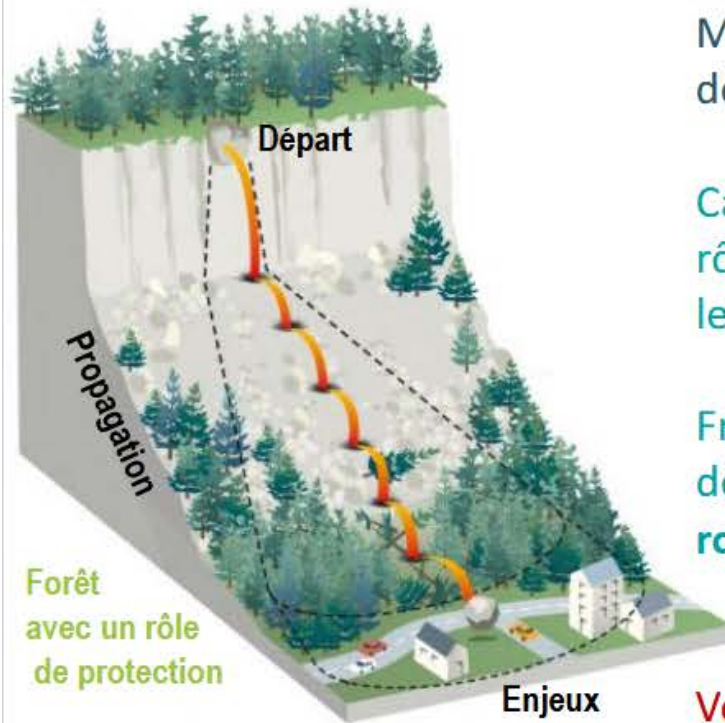
Ex. Décision à l'échelle du peuplement avec **SlideforNET** : mesures sylvicoles et optimisation de la fonction protectrice

Quel est le potentiel d'une forêt pour réduire le danger? Quelle est la structure durable d'une forêt protectrice idéale dans ce contexte particulier ?



Où?

► SylvaRock - Cartographier les forêts avec un rôle de protection potentiel



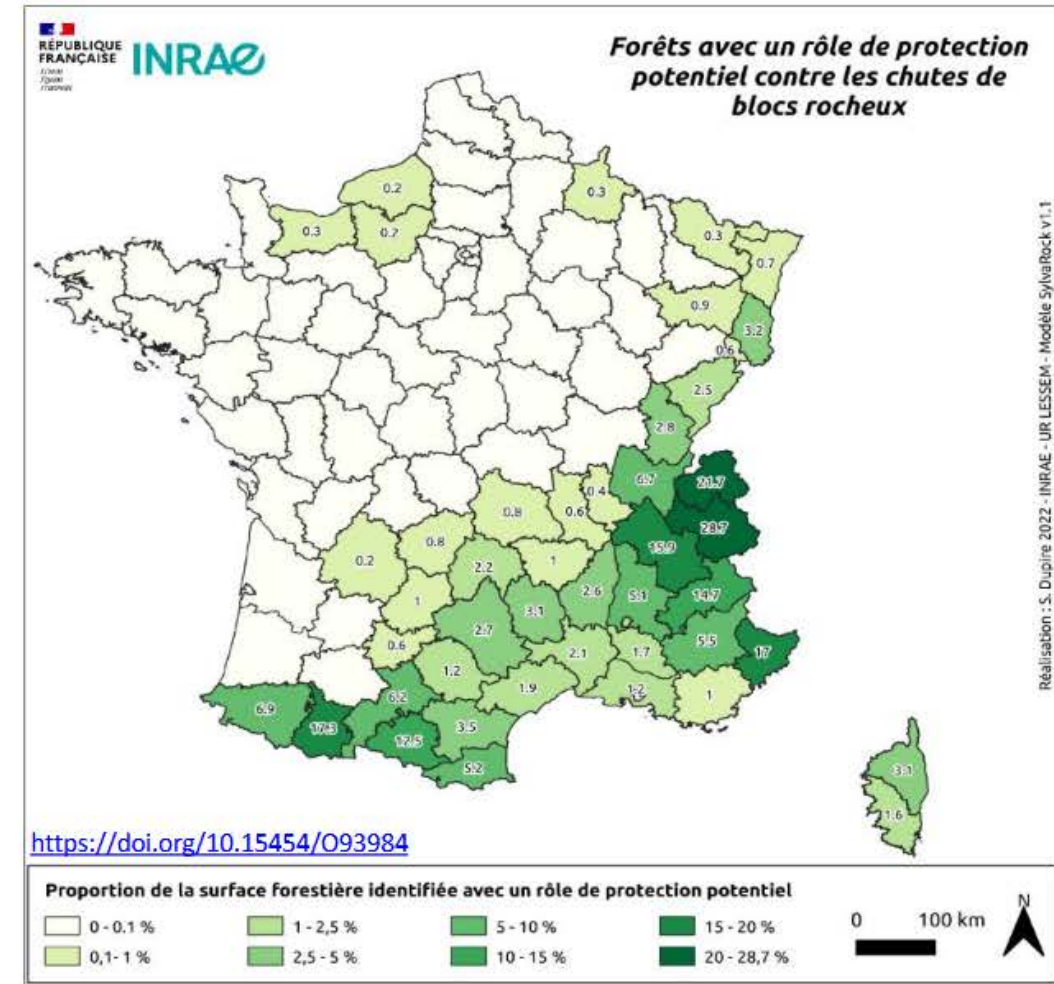
Modèle SylvaRock développé depuis 2020.

Carte nationale des forêts avec un rôle de protection potentiel contre les chutes de blocs

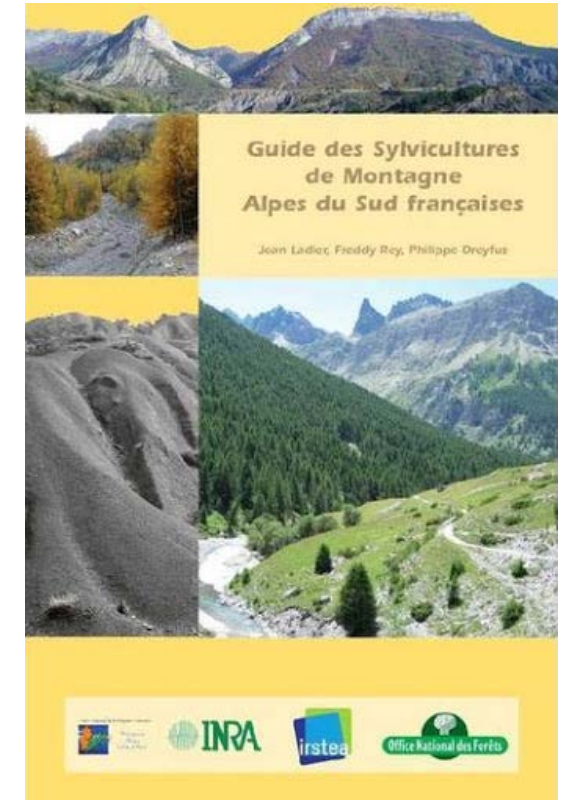
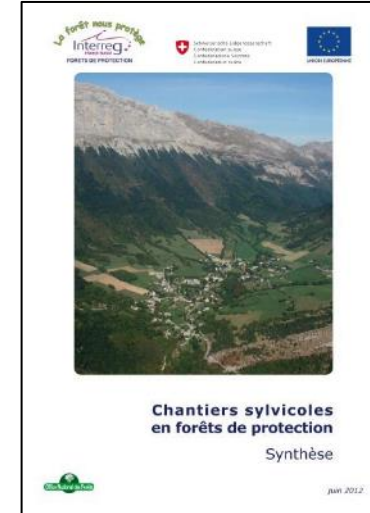
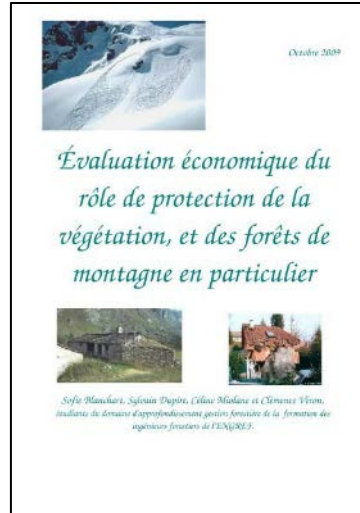
France : 400 000 ha identifiés (3%) dont **127 000 ha au-dessus de routes départementales**

Version C2ROP avec focus sur les forêts au-dessus de routes départementales

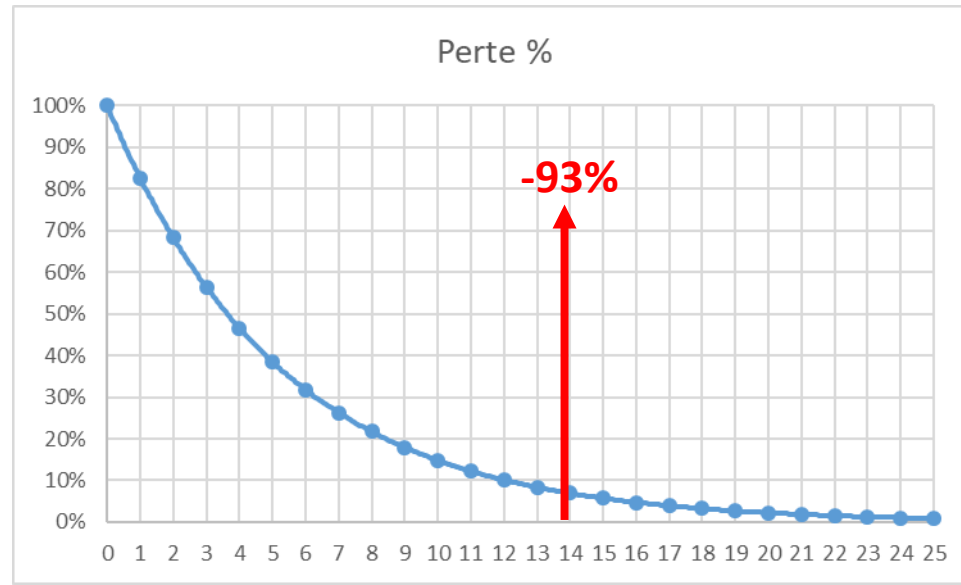
1 Dupire, S., Toe, D., Barré, J. B., Bourrier, F., & Berger, F. (2020). [Harmonized mapping of forests with a protection function against rockfalls over European Alpine countries](#). *Applied Geography*, 120, 102221.



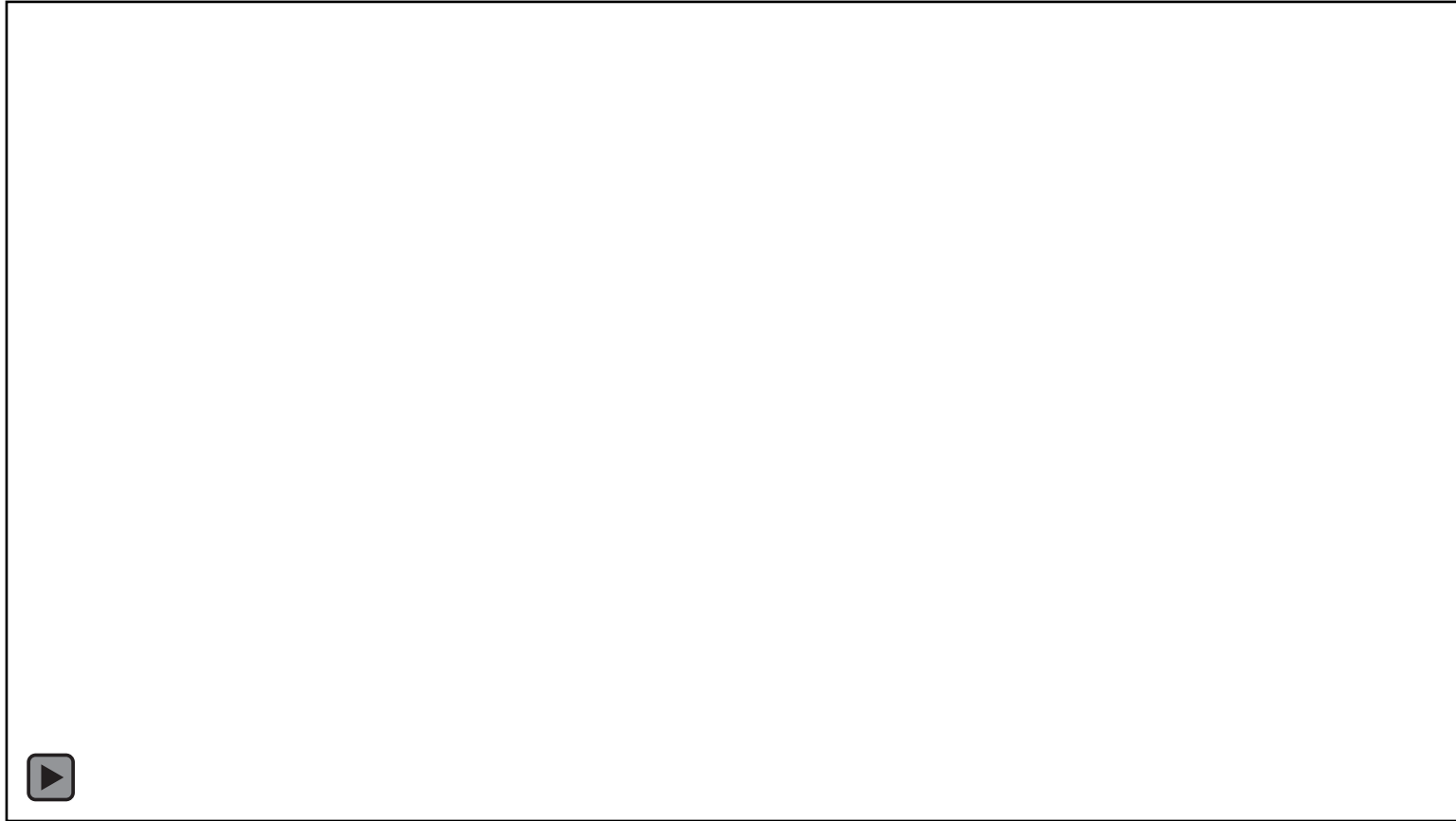
Comment/quand intervenir?



Durée?



Des SFF grises !



Les SFF : un travail d'équilibriste sous contraintes...

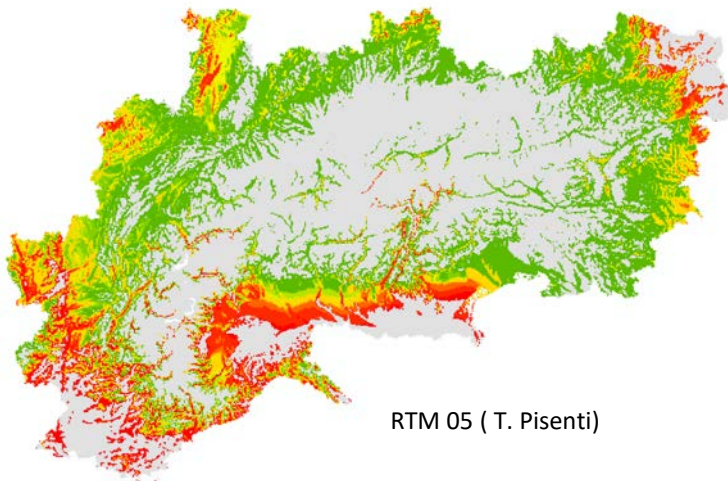
Perturbation du
fonctionnement des arbres
et des écosystèmes



Incendie



Modification de l'aire de répartition des
espèces



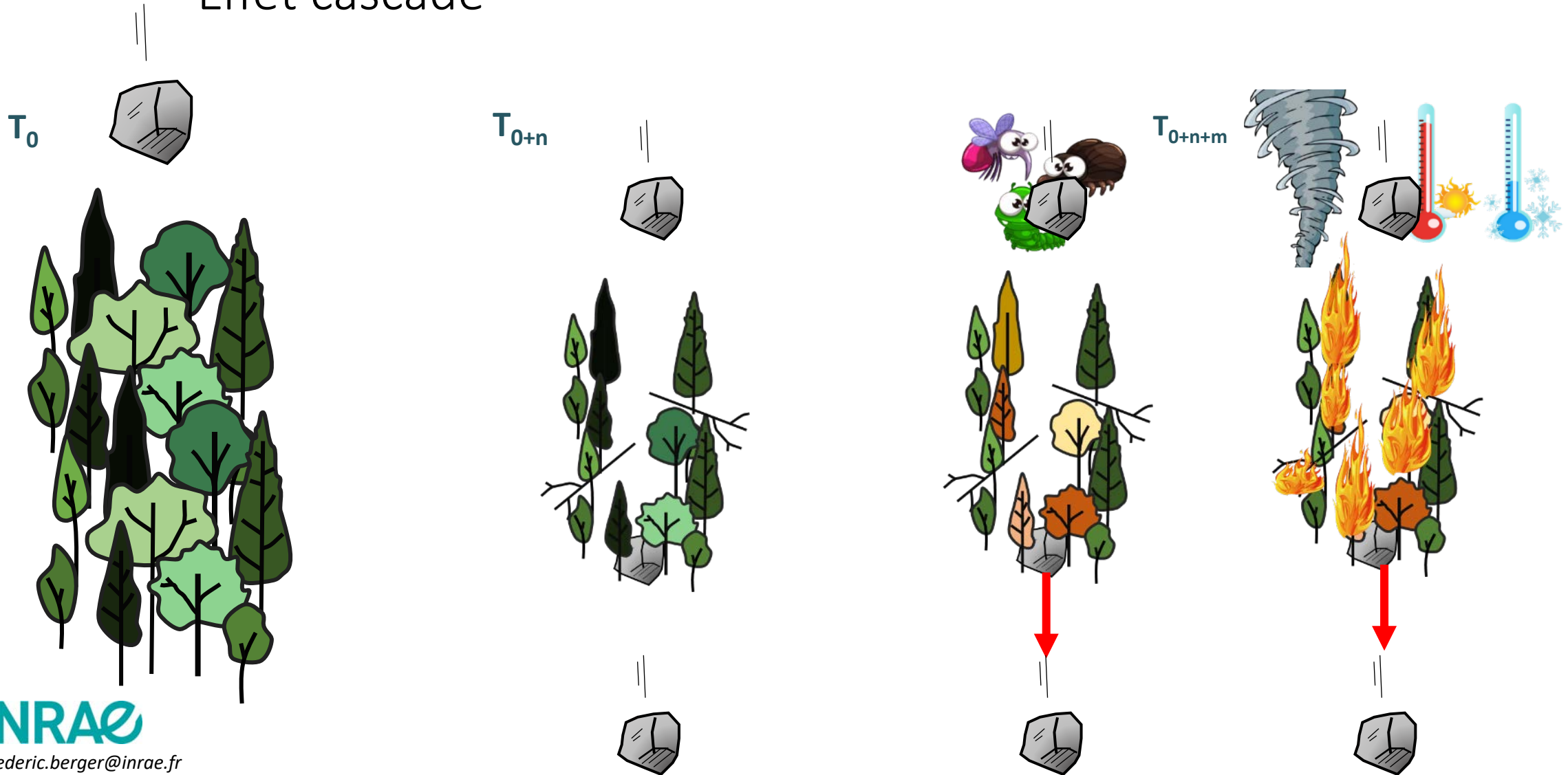
RTM 05 (T. Pisenti)

Des incertitudes pour 2100:

- remontée des espèces 800 km vers le Nord ou de 800 m en altitude ??
- capacité de résilience des espèces en place ???

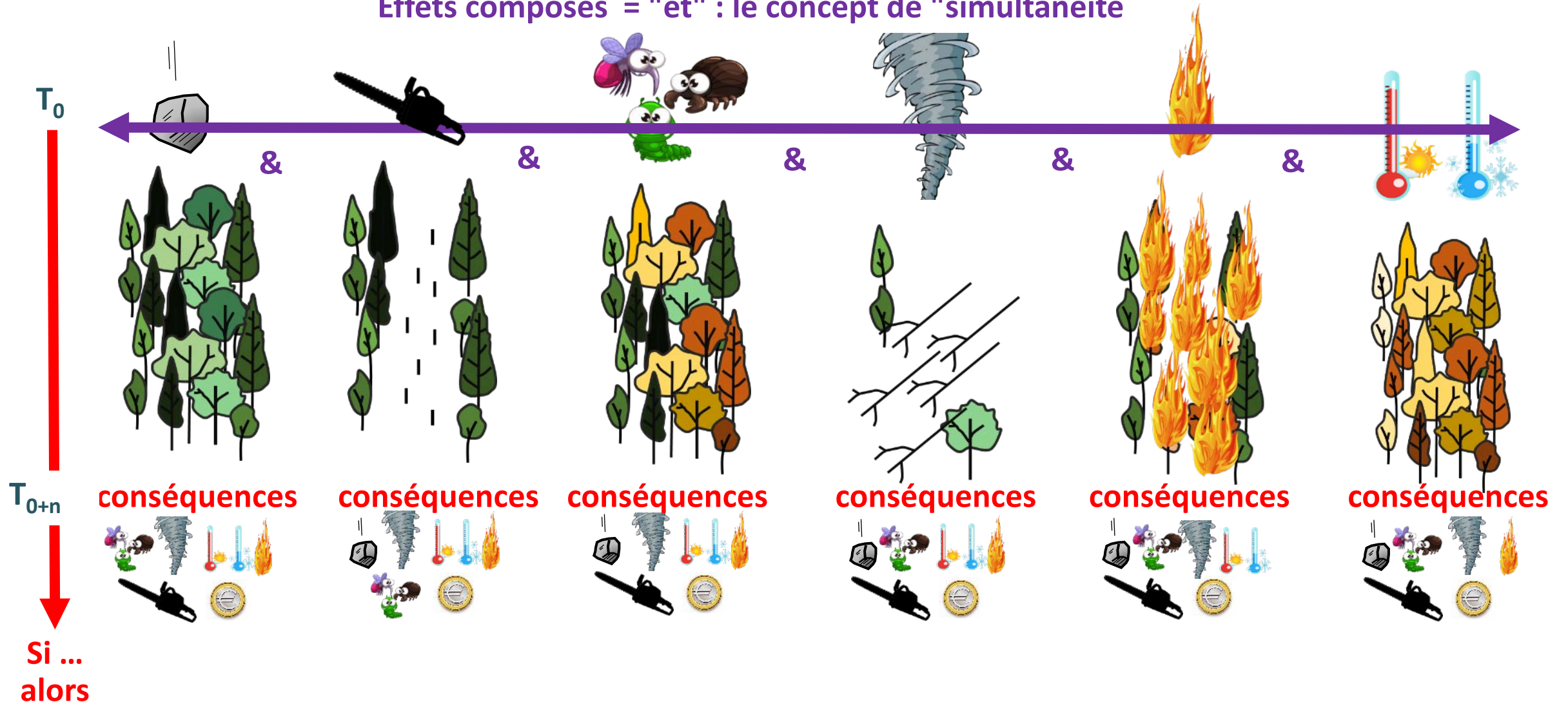
Les SFF : un travail d'équilibriste sous contraintes...

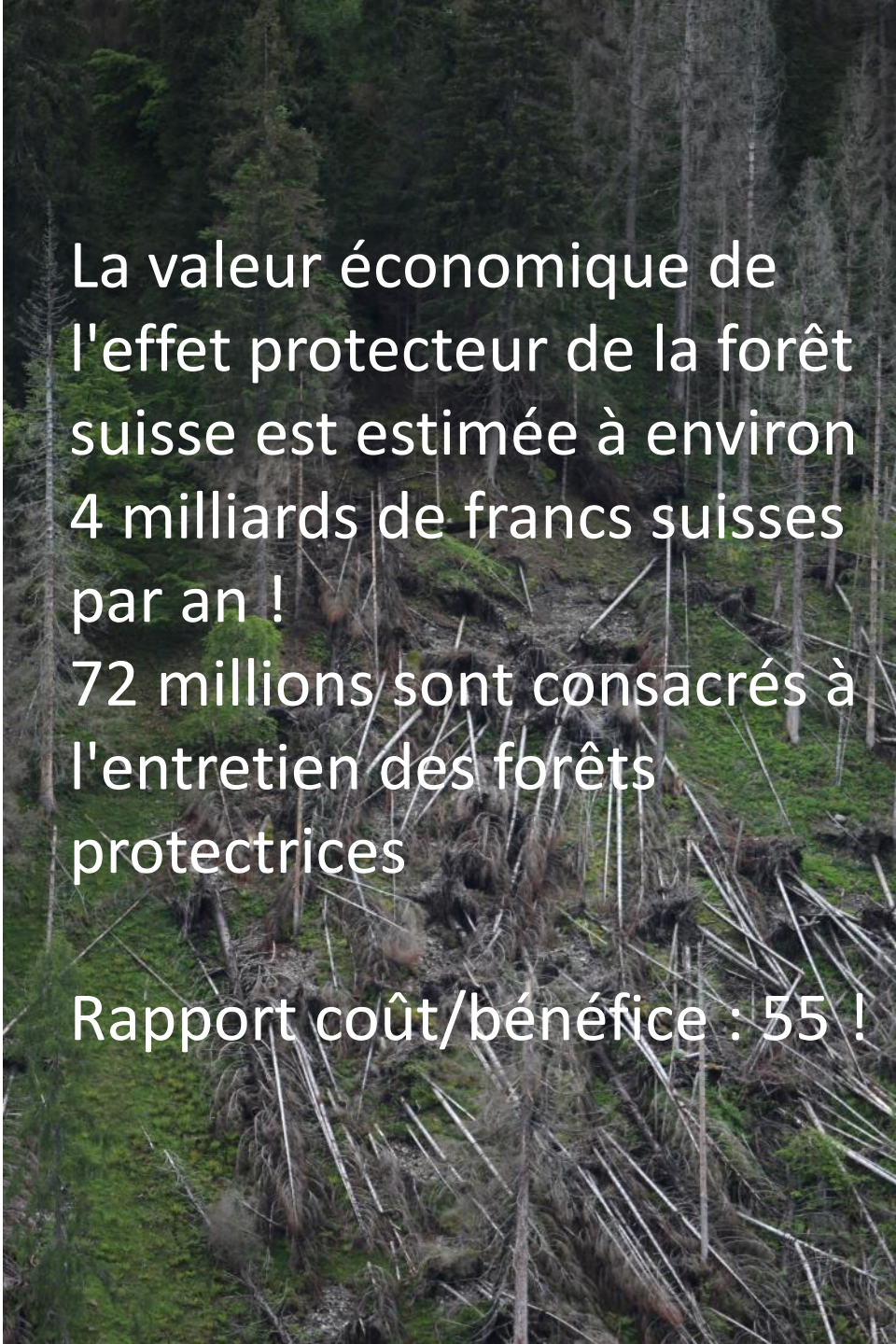
Effet cascade



Effets cascades et effets composés

Effets composés = "et" : le concept de "simultanéité"





La valeur économique de
l'effet protecteur de la forêt
suisse est estimée à environ
4 milliards de francs suisses
par an !

72 millions sont consacrés à
l'entretien des forêts
protectrices

Rapport coût/bénéfice : 55 !

La tempête Vaia a détruit 41 000 hectares de forêts, 15 millions d'arbres et 8,6 millions de mètres cubes de bois en quelques minutes, sous l'effet de rafales de vent atteignant 200 km/h, dans les régions du Trentin, du Haut-Adige, de la Vénétie, de la Lombardie et du Frioul-Vénétie Julienne.

La région la plus touchée par la tempête Vaia est la Vénétie, avec des dégâts estimés à 1,769 milliard d'euros.

Région de Belluno : 1271 ha

1ère priorité : 257 ha

2ème priorité : 320 ha

Coûts de « récupération » (travaux de protection + boisement + enlèvement du bois) 577 ha avec 400-600000€/ha = 231-346 Millions €.

June 13th 2024

EUSALP AG8



Classement en foret de protection

Version en vigueur au 07 février 1979

Code forestier

Partie législative (Articles L111-1 à L562-1)

Livre IV : Forêts de protection - Lutte contre l'érosion. (Articles L411-1 à L442-1)

Titre Ier : Forêts de protection. (Articles L411-1 à L413-1)

Naviguer dans le sommaire du code

Chapitre Ier : Classement des massifs. (Article L411-1)

Article L411-1

Peuvent être classés comme forêts de protection, pour cause d'utilité publique :

Les forêts dont la conservation est reconnue nécessaire au maintien des terres sur les montagnes et sur les pentes, à la défense contre les envahissements des eaux et des sables ;

Les bois et forêts, quels que soient leurs propriétaires, situés à la périphérie des grandes agglomérations, ainsi que dans les zones pour des raisons écologiques, soit pour le bien-être de la population.

Valoriser les services rendus par la forêt



La Ville vient de lancer son « fonds forêt ». Le financement de ce fonds est dupliqué à celui de l'intrant énergétique et appliqué au domaine de la transition carbone et de la maîtrise des risques dans nos massifs forestiers alpins. Il s'agit d'utiliser les services rendus par la nature (ou "écosystémiques") pour réduire ces risques, tout

en adaptant notre forêt aux impacts du changement climatique pour assurer sa pérennité. On l'oublie souvent mais la forêt nous donne énormément. Elle n'a pas de valeur tant que l'on ne lui en attribue pas mais si on y regarde de plus près, sa valeur économique est énorme. Elle permet, par exemple, la limitation des risques de chutes de blocs, la séquestration de carbone dans les sols ou encore la régulation des cycles de l'eau et la préservation de sa qualité par le filtrage. C'est autant de filets pour retenir les blocs de pierre à ne pas installer, et assurément des catastrophes environnementales évitées.

Pour être efficace, cette démarche doit s'inscrire dans la durée et il faut donc trouver les moyens de la financer sur le long terme. Ce fonds sera alimenté par la vente

de bois de coupe, mais aussi toutes les recettes qui pourront avoir un lien avec la gestion forestière (taxe foncière, taxe sur les pylônes implantés en forêt...) et la maîtrise des risques. Une enveloppe de 75 000 € est prévue pour 2025.

Ce fonds va financer, cette année, des travaux forestiers sur les bois dépérissants, l'aménagement d'un chalet en forêt de Rhonne, et une étude de prévention sur le risque de chute de blocs (notamment en Plaine de Conflans). Des travaux de prévention des risques prioritaires par l'étude pourront être ensuite programmés.

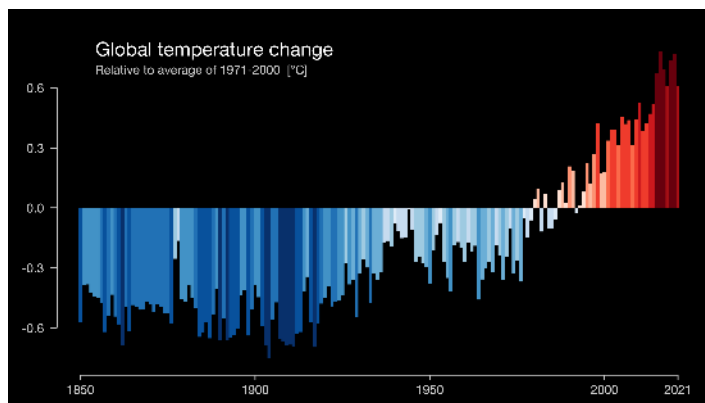


Des sources d'incertitudes...

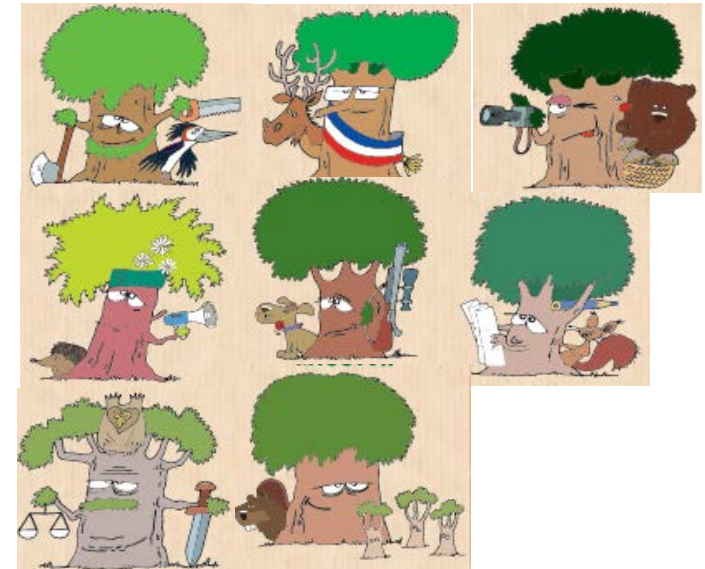
Connaissances, données, échelles



CC....



Parties prenantes, questionnaires....



Décideurs politiques, politiques.....

Messages à retenir

- Les SFF : un des outils de la boîte à outil de la prévention des risques
(complémentarité entre les outils)
- Une protection malheureusement « invisible » : effet de masque du couvert forestier
- Une acquisition de connaissance permanente avec une valorisation différée
- Des modèles disponibles mais nécessitant un regard critique
- Solidarité/dialogue nécessaires entre les différents acteurs concernés
- Nécessité de mettre en cohérence les législations/règlementations : compromis de gestion