

  <p>INSIEME OLTRE I CONFINI ENSEMBLE PAR-DELA LES FRONTIERES</p>	 <p>Région Autonome Vallée d'Aoste Regione Autonoma Valle d'Aosta</p>	 <p>Cemagref Sciences, eaux & territoires</p>
<p>Objectif coopération territoriale européenne Programme Italie-France (Alpes) 2007/2013 Alcotra</p>	<p>REGION AUTONOME VALLEE D'AOSTE Direction de l'aménagement hydrogéologique et des bassins de montagne Loc. Amérique, 33 11020 Quart</p>	<p>Cemagref UR ETNA 2, Rue de la Papeterie BP 76 38402 - Saint-Martin-d'Hères</p>

INTERREG Cooperazione Italia-Francia 2007-13

Progetto n° 048 - DYNAVAL

“Dynamique des avalanches: départ et interactions
écoulement/obstacle (DynAval) “

**Rapport Technique
Janvier 2009 – Mars 2012**

PARTENAIRES ET COUTS DU PROJET

<p><u>INTERREG Cooperation Italie-France 2007-13</u></p>		 <p>a l c o t r a</p>	
<p><i>Projet n 048</i></p>	<p>Dynamique des avalanches: départ et interactions écoulement/obstacle - DynAval</p>		
<p><i>Budget</i></p>	<p>Budget total 1641.390,00</p>	<p>RAVA 1.046.800,00</p>	<p>Cemagref 594.590,00</p>
<p><i>Partenariat</i></p>	<p><u>Chef de file :</u> Direction de l'aménagement hydrogéologique et des bassins de montagne Région Autonome Vallée d'Aoste</p>		<p><u>Partenaire transfrontalier :</u> Cemagref (Institut de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement)</p>

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
Objectifs du projet	3
Rappel des étapes principales	5
ETAT D'AVANCEMENT DU PROJET.....	6
AVANCEMENT DES TRAVAUX	6
ACTION 1 : Réalisation des sites expérimentaux	6
ACTION 2 : Caractérisation mécanique du manteau neigeux	28
ACTION 3 : Evaluation de l'énergie de détachement grâce aux techniques de déclenchement artificiel.....	29
ACTION 4 : Définition de l'aire et des volumes de l'avalanche	32
ACTION 5 : Etude de la dynamique des avalanches denses.....	35
ACTION 6 : Etude de l'interaction entre l'écoulement et les obstacles	36
ACTION 7 : Valorisation des résultats et divulgation.....	39
ACTION 8 : Coordination des activités.....	43

INTRODUCTION

Le projet de Coopération Italie-France (Alpes) Alcotra 2007-2013 n 048 « **Dynamique des avalanches: départ et interactions écoulement/obstacle - DynAval** » a été approuvé par le Comité de Suivi du 10.12.2008 à Gap. Le démarrage effectif du projet a été fixé au 16 mars 2009.

Objectifs du projet

Aujourd'hui, la gestion de la sécurité des territoires montagnards vis-à-vis du risque d'avalanche est problématique, principalement du fait du manque de connaissance sur deux éléments essentiels pour la prévention : le volume de départ, qui conditionne l'ampleur de l'évènement, et les pressions d'impact dans la zone d'arrêt, paramètre déterminant du dimensionnement des structures et du zonage réglementaire. Le projet « DYNAVAL » a pour objectif de faire progresser les connaissances dans ces deux domaines clés:

- ✚ Définition de la zone de départ et des volumes de déclenchement pour mieux comprendre les phénomènes physiques qui génèrent le déclenchement et obtenir des données d'entrée pour les modèles numériques de propagation qui pourront être utilisés pour l'établissement des cartes d'aléas;
- ✚ Définition des pressions d'impact résultantes dans la zone d'arrêt, y compris en considérant l'interaction avec des obstacles, dans le but d'améliorer le zonage, et étude du comportement des ouvrages face aux événements (influence des obstacles sur le flux d'avalanche) dans le but d'optimiser la conception des ouvrages paravalanches.

Pour satisfaire les objectifs du projet, les partenaires ont équipé des couloirs et des ouvrages paravalanches (la Punta Seehore, dans la commune de Gressoney-La-Trinité (Italie) et Tacconnaz (France) et ont complété l'instrumentation du site expérimental du Lautaret (France) pour, d'une part, acquérir une base de données expérimentale et, d'autre part, valider les approches théoriques, numériques et physiques développés en parallèle par les laboratoires concernés.

Ce projet doit permettre d'améliorer les outils de planification territoriale telles que les cartes de localisation du danger d'avalanche, de déterminer plus précisément les pressions d'impact qui servent de base au zonage réglementaire et de fournir un outil technique de référence pour la construction en zone exposée au risque d'avalanche faible ou moyen ainsi que pour la conception d'ouvrages paravalanches.

Les résultats attendus sont les suivants :

- ✚ Méthodologie pour la détermination du volume de départ d'avalanche suivant la fréquence de l'avalanche ;
- ✚ Relation entre les caractéristiques de la neige et la dimension de la zone de rupture ;
- ✚ Relation entre les caractéristiques de la neige (densité) et les pressions d'impact ;
- ✚ Validation des modèles numériques d'écoulement d'avalanche déjà développés ;
- ✚ Mise au point d'une méthode de calcul de la pression exercée dans la zone d'arrêt en fonction des caractéristiques dynamiques des avalanches de neige dense et des interactions avec des obstacles ;
- ✚ Description des interactions entre l'obstacle et le flux avalancheux pour une meilleure compréhension de l'efficacité des dispositifs de protection ;
- ✚ Rédaction de deux guides techniques sur « Détermination des zones de départ » et « Interaction écoulement/obstacle incluant le calcul des pressions ».

Budget total du projet 1 641 390 €uros	Budget des partenaires italiens 1 146 800 €uros 63,8%	Budget des partenaires français 594 590 €uros 36,2%
---	---	---

Durée du projet : 3 ans (Janvier 2009 – janvier 2012 – prolongation au 27 mars 2012)

Ce projet se décompose en 8 actions décrites dans le tableau ci-après.

Activités du projet		
N°	Activités	Description synthétique
1	Instrumentation de sites expérimentaux	Le site de la "Bettolina" en Vallée d'Aoste sera complètement équipé dans le cadre de ce projet (mesures des paramètres nivo-météorologiques et des variables dynamiques). Le projet permettra ainsi de doter l'Italie d'un site expérimental avalanches. En France l'équipement du site du Lautaret (site avalanche français géré par l'UR ETNA du Cemagref de Grenoble) sera renforcé par la mise en place de capteurs de vitesses. La Bettolina et Le Lautaret seront déclenchés artificiellement. Le couloir de Tacconnaz, couloir hors-norme, sera équipé de capteurs de pression, installés au sein des dispositifs de protections (tas freineurs) dans la zone d'arrêt. Le déclenchement des avalanches sera dans ce cas naturelle et un MNT (modèle numérique) au pas de 1 mètre sera réalisée après les évènements atteignant le dispositif.
2	Caractérisation mécanique du manteau neigeux	Réalisation de mesures in situ et en laboratoire, aussi bien dans la zone de départ que dans la zone de dépôt.
3	Détermination de l'efficacité des déclenchements artificiels	Recueil et analyse les données relatives à la hauteur de la fracture, à la typologie, à la quantité d'explosifs, à l'aire d'influence et à la pression produite par l'explosion.
4	Détermination de l'aire et des volumes de l'avalanche dans la zone de départ	L'aire et le volume de l'avalanche dans la zone de départ sont un des paramètres d'entrée des modèles numériques. Les informations historiques seront traitées afin de corréler les dimensions de la zone de départ et les temps de retour.
5	Etude de la dynamique des avalanches denses	Utilisation des données issues des sites expérimentaux pour valider les modèles numériques développés par ailleurs.
6	Etude de l'interaction entre l'écoulement et les obstacles.	Un des verrous scientifiques actuels concerne la connaissance de la pression d'impact en relation avec les caractéristiques dynamiques de l'avalanche incidente. Les mesures réalisées sur les sites expérimentaux français et italien visent à valider les lois de pression d'impact qui font actuellement l'objet d'importants développements scientifiques combinant des approches théorique numérique et expérimentale. L'analyse de la structuration des écoulements autour des obstacles est également programmée. Dans ce cadre une post-analyse des évènements sur Tacconnaz sera réalisée.
7	Valorisation et diffusion des résultats	Par le biais de publications scientifiques et techniques, de brochures d'information, de la maintenance d'un site Web dédié au projet, d'un guide technique pour la détermination des zones de départ et d'un guide technique dédié à l'interaction écoulement/obstacle incluant le calcul des pressions. Réalisation d'une journée de restitution en France à Chamonix.
8	Coordination du projet	Suivi du projet et organisation de séminaires de travail

Rappel des étapes principales

DATE	EVENEMENT
<u>27 janvier 2009</u>	Date de réception de la lettre de notification d'approbation du projet
<u>16 mars 2009</u>	Démarrage effectif du projet
<u>19 janvier 2009</u>	1 ^{ère} réunion du Groupe opérationnel (Courmayeur - FMS)
<u>27 mars 2009</u>	Visite des partenaires techniques italiens sur le site du Lautaret
<u>05 juin 2009</u>	2 ^{ème} réunion du Groupe opérationnel (Les Houches - OLCA)
<u>20 novembre 2009</u>	3 ^{ème} réunion du Groupe opérationnel (Courmayeur - FMS)
<u>2 mars 2010</u>	Participation des partenaires techniques italiens au déclenchement sur le site du Lautaret
<u>05 et 06 juillet 2010</u>	4 ^{ème} réunion du Groupe opérationnel (Gressoney-La-Trinité - Instituto Mosso)
<u>18 et 19 novembre 2010</u>	5 ^{ème} réunion du Groupe opérationnel (Cemagref - Grenoble)
<u>14 février 2011</u>	6 ^{ème} Réunion de rédaction des guides techniques - (Courmayeur - FMS)
<u>09 juin 2011</u>	7 ^{ème} réunion du Groupe opérationnel (Courmayeur - FMS)
<u>02 décembre 2011</u>	Journée de restitution (Gressoney-La Trinité)
<u>26 mars 2012</u>	Journée de restitution (Chamonix)
27 mars 2012	Date d'achèvement du projet

ETAT D'AVANCEMENT DU PROJET

AVANCEMENT DES TRAVAUX

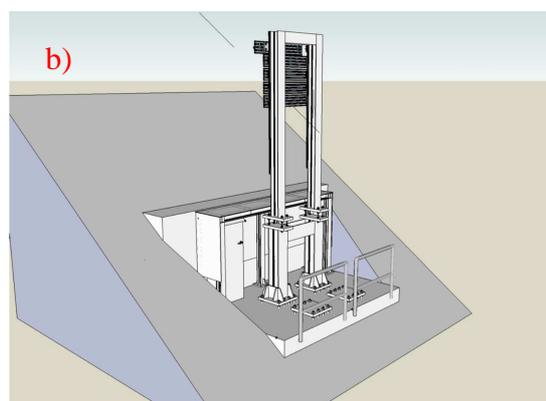
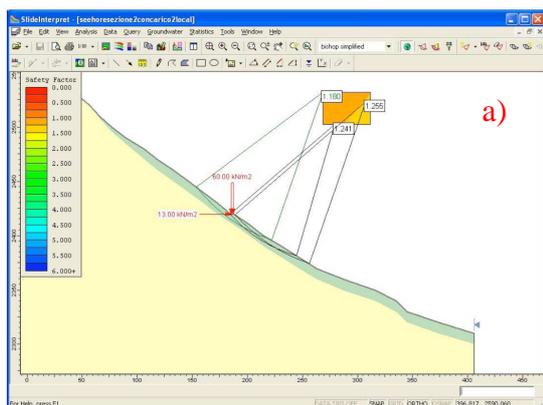
Par rapport à la fiche approuvée, la Région Vallée d'Aoste a décidé de changer la position du site pilote et l'installer à la Punta Seehore, dans la commune de Gressoney-La-Trinité. En effet, après les premiers tests menés sur le site de la « Bettolina » dans l'hiver de 2008 - 2009, il y a eu quelques problèmes techniques et logistiques, qui ont entraîné le déplacement du site pilote. A ce propos, pendant l'année 2009, sur le Site de la Bettolina, trois déclenchements artificiels ont été réalisés avec des relèvements des caractéristiques du manteau neigeux post-déclenchements.

Le changement a été communiqué au Service de contrôle, au STC et à l'Autorité de Gestion le 03.09.2009 (Prot N.. 8418/DBM).

ACTION 1 : Réalisation des sites expérimentaux

Le site de la Pointe Seehore se trouve dans le domaine skiable du Monterosa Ski dans le Massif du Mont Rosa (Nord-Est de la Vallée d'Aoste) entre 2570 et 2300 m d'altitude. L'exposition est de 350°, l'inclinaison moyenne de 38°. Les avalanches y sont déclenchées artificiellement. Le déclenchement s'effectue à l'aide d'un hélicoptère en utilisant le Daisy-Bell (exploseur hydrogène-oxygène atmosphérique) ou la charge Vassale (avec l'explosif). Les avalanches déclenchées sont de type dense.

Pendant l'année 2009, pour la caractérisation du site, la Vallée d'Aoste a réalisé plusieurs activités (Analyse géologique et géomorphologique, Analyse géophysique, Caractérisation géotechnique du site, Analyse de stabilité de la pente par chute de blocs, Conception structurelle de l'obstacle, Dimensionnement de la fondation de l'obstacle, Conception du système d'acquisition et transmission des données, MNT par laserscanner à partir d'un hélicoptère, Installation de cibles de mesures caractéristiques manteau neigeux, Définition d'un protocole pour la gestion des tests in situ).



Analyse de stabilité de la pente (a) et conception de l'obstacle (b)

Pour l'hiver 2009-2010, sept déclenchements artificiels ont été réalisés, le 06 et le 20 février, le 27 et 31 mars, le 24 novembre, le 07 et 27 décembre. Le 27 mars, outre les mesures manuelles, telles que les profils nivologiques, les tests de stabilité du manteau neigeux, la caractérisation du dépôt (température, taille des blocs, densité...), des zones de déclenchement (à l'aide aussi d'une perche

fixe qui permet de mesurer l'épaisseur de la neige) et d'écoulement, nous avons réalisé deux relèvements par laser scanner pre et post événement.



Relèvement laser scanner (a) et Extended column test du 27mars 2010 (b)

Sur le site de la Pointe Seehore un obstacle vertical d'environ 4 m (2.8 m plus la base) de hauteur, construit en acier sur une base de béton armé, a été mis en place.

Sur l'obstacle, 5 plaques d'aluminium sont placées horizontalement. Les plaques peuvent être unies pour couvrir une surface de 1m², mais aussi être déplacées pour pouvoir avoir un profil de pression le long de la hauteur.

A proximité de l'obstacle sous un abri en acier, une armoire scellée a été installée pour contenir les systèmes d'alimentation et d'acquisition de données. Une ligne électrique et une fibre optique pour la transmission des données à la salle de contrôle, située à l'intérieur du télésiège du Gabiet de la MonterosaSki, ont été réalisées. Les données seront ensuite enregistrées sur un ordinateur.



Réalisation de la fondation de l'obstacle (aout 2010)



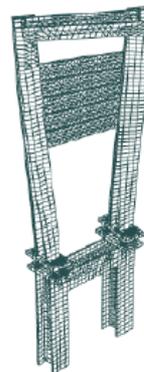
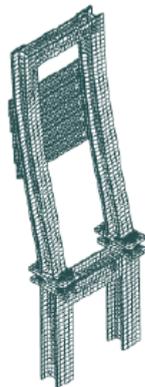
Installation de l'obstacle (septembre 2010)



Avant le positionnement de l'obstacle sur le site de la Pointe Seehore, des tests sur la structure de l'obstacle ont été menés dans le laboratoire du Polytechnique de Turin (MASTRLAB).

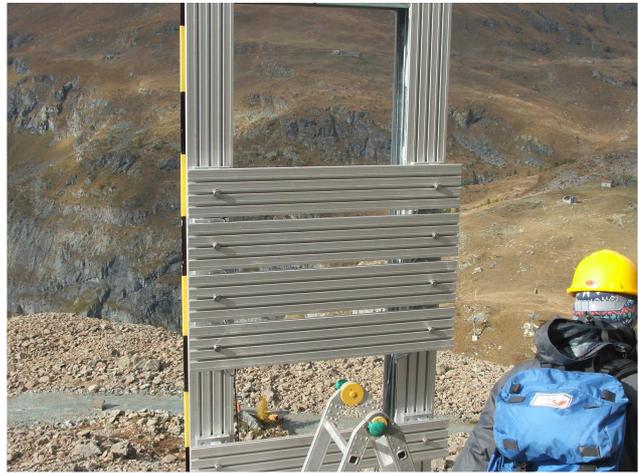
En laboratoires, un modèle aux éléments finis a été réalisé pour évaluer la structure métallique soit en condition statique soit en condition dynamique.

ADINA



En particulier, le modèle ADINA (ADINA R&D, Inc.) a été utilisé pour les analyses structurelles.

Le mois d'octobre 2010, 10 capteurs de force U10M (HBM Italia S.r.l.) ont été placés sur les 5 plaques d'aluminium. Des accéléromètres piézo-électriques avec électronique intégrée ont été conçus pour mesurer les vibrations de la structure. En outre, 4 thermocouples, 4 accéléromètres et un capteur de pression barométrique ont été mis en place. Tous les capteurs sont reliés à l'armoire scellée qui contient les systèmes d'alimentation et d'acquisition de données (CompactRIO PAC - Programmable Automation Controller de la National Instruments).



Mise en place des capteurs de force (octobre 2010)



Thermocouple (octobre 2010)

*Armoire électronique avec les systèmes
d'alimentation et d'acquisition de données (octobre
2010)*



Pour l'hiver 2010-2011, neuf déclenchements artificiels ont été réalisés, le 24 novembre 2010, le 07 et 27 décembre 2010, le 17 février 2011, le 02, le 05, le 18 le 19 et le 20 mars. Différentes méthodologies de déclenchement ont été utilisées : carica Vassalle (explosif) et Daisy-Bell. Deux événements naturels se sont produits : entre le 01 et le 04 novembre 2010 et le 16 février 2011.

Le 05 mars 2011, outre les mesures manuelles, telles que les profils nivologiques, les tests de stabilité du manteau neigeux, la caractérisation du dépôt (température, taille des blocs, densité...), des zones de déclenchement (à l'aide aussi d'une perche fixe qui permet de mesurer l'épaisseur de la neige) et d'écoulement, le straw-test, deux relèvements par laser scanner, pre et post événement, ont été réalisés.



Evénement du 24.11.2010



Evénement du 07.12.2010 – vue de l'aval a) et secteur de dépôt b)





Evénement du 27.12.2010



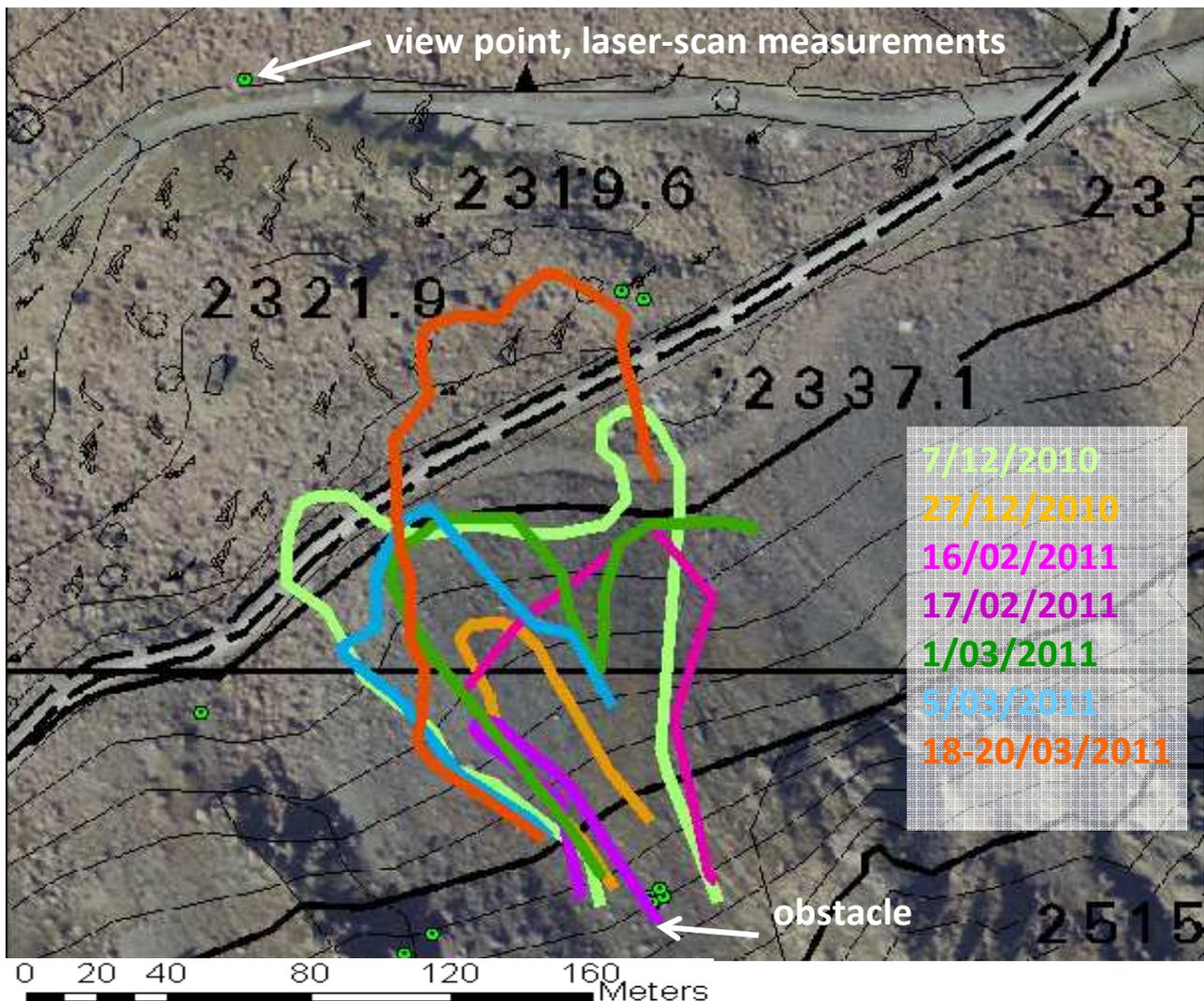
Evénement du 02.03.2011 – distribution de la neige autour l'obstacle a) et profil nivologique b)



Evénement du 05.03.2011 – relèvements autour l'obstacle a) et laser scanner b)

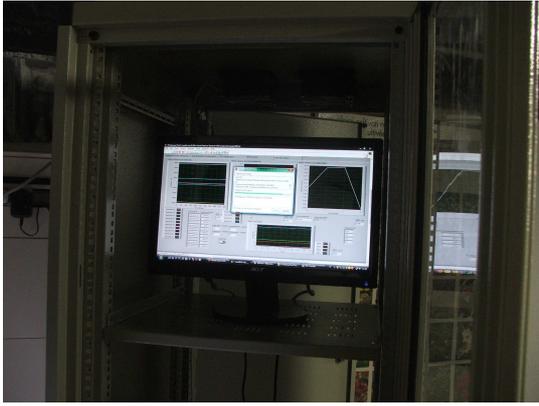


Événement du 18.03.2011

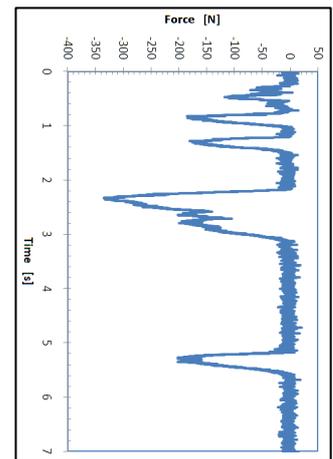
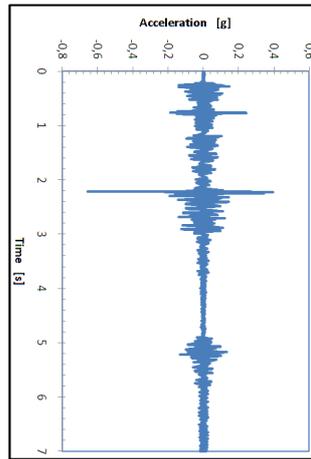


Relèvements GPS des événements de l'hiver 2010-2011

Les données enregistrées par les capteurs installés sur la structure métallique sont transmis à la station du Gabiet et d'ici, avec liaison GPRS, au Polytechnique de Turin. Les données enregistrées pendant les déclenchements sur le site sont en train d'être analysées.

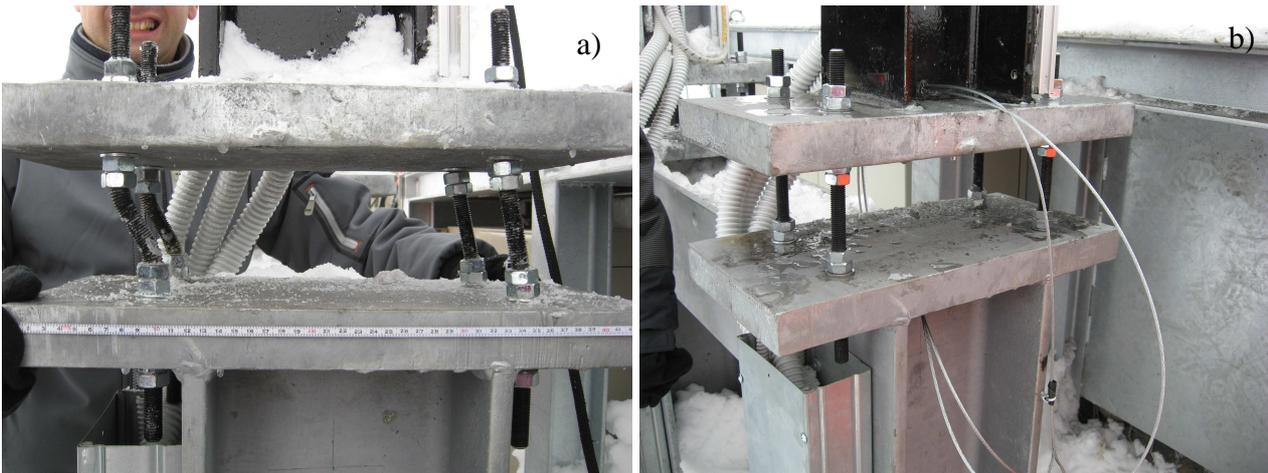


Ordinateur installé à Gabiet



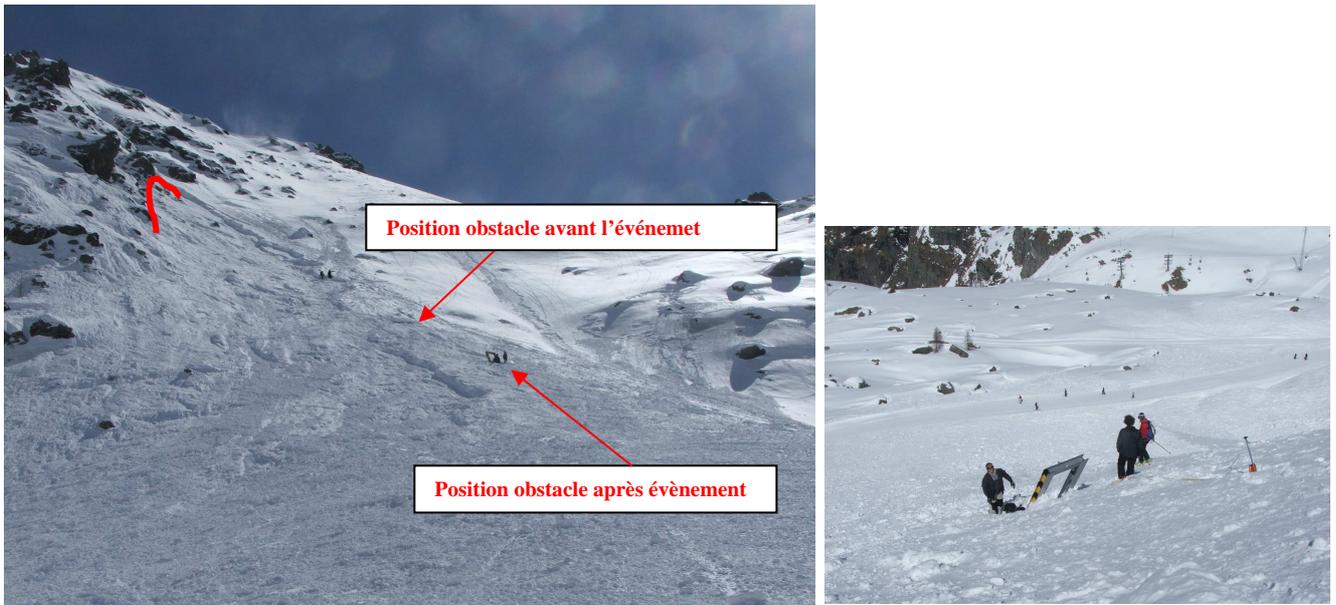
Données d'accélération et de force enregistrées par les capteurs

L'événement des premiers jours de novembre (entre le 01 et le 04 novembre 2010) a produit des petits dommages à la structure de l'obstacle. Avec l'intervention de maintien du 10.11.2010, la structure de l'obstacle a été remise en place. Malheureusement deux capteurs de force ont été sérieusement endommagés et ils ne pourront plus être utilisés.



10 novembre 2011 : avant l'intervention a) et après l'intervention b)

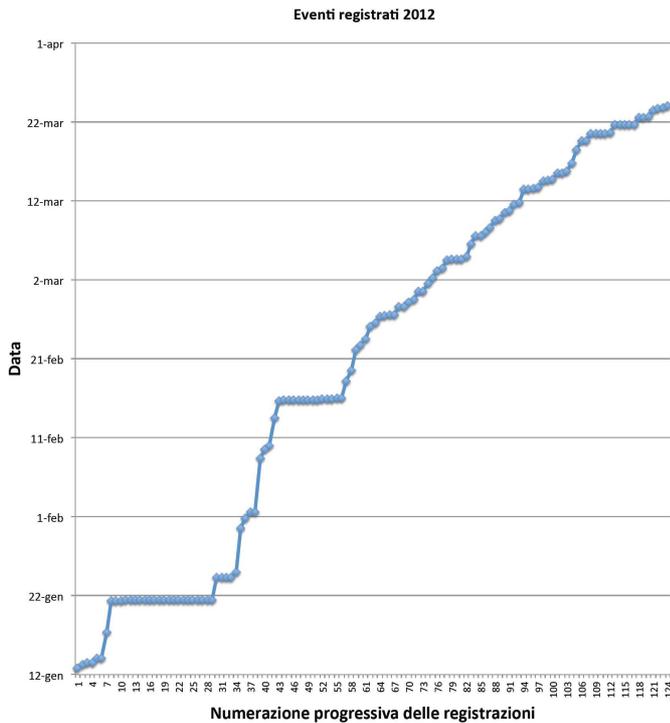
Enfin, l'événement du 19.03.2011 a arraché la structure métallique de son logement original. Le flux avalanchéux a transporté l'obstacle pour une vingtaine de mètres. Les capteurs ont été récupérés et maintenant leur fonctionnement est en train d'être contrôlé. L'obstacle a été récupéré par les dameuses de la Société Monterosa Ski et il est logé à la station du Gabiet. Pendant l'été, les instruments endommagés seront remplacés et la structure métallique sera remise en place. Des précautions seront prises pour limiter les dégâts en cas d'arrachement de la structure métallique.



Les fondations et l'armoire électronique n'ont pas subi des dommages sérieux

En automne, la structure métallique a été replacée à son endroit original et les instruments endommagés ont été substitués. Afin d'éviter de nouveaux dommages, d'améliorations ont été apportées sur la structure métallique.

Pendant la saison hivernale 2011-2012, à cause du manque de neige et des vents très forts qui ont soufflé sur le site, nous n'avons pas pu réaliser des déclenchements artificiels. Un seul déclenchement naturel a été enregistré par le système d'acquisition. Suite à cet événement, des relèvements ont été faits sur le site.



La saison hivernale a permis de tester le nouveau système automatique d'acquisition de données sur le site de la Pointe Seehore.

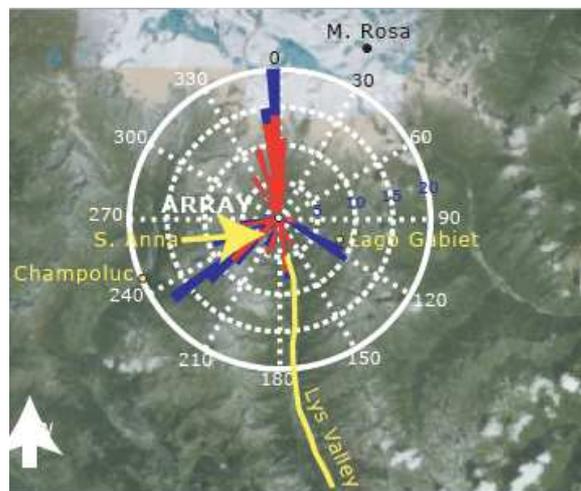
Pour le site de la Pointe de Seehore deux guide pratique ont été rédigées :

- *un manuale d'uso* pour comprendre le fonctionnement correcte de l'obstacle, avec les informations sur les systèmes d'acquisition et de transmission des données ;
- *un guide pour la gestion des expérimentations* pour une correcte gestion en sécurité des tests menés sur le site.

Pendant l'hiver 2009-2010, des tests avec un dispositif array infrasonique ont été conduits sur le site de la Pointe Seehore. Les tests, dont les données sont encore en cours d'analyse, ont permis de tester ce dispositif de surveillance. Les premières analyses ont montré que le dispositif permet de localiser, avec une bonne précision, la position de l'événement et aussi d'obtenir des premières informations sur la vitesse et la direction du flux avalanchéux.



Installation dispositif array infrasonique (décembre 2009)



Azimuths des événements à partir de décembre 2009 à avril 2010

Site du Lautaret

Le col du Lautaret est le site expérimental « historique » de l'UR ETNA du Cemagref de Grenoble. Les avalanches y sont déclenchées artificiellement. Dans le cadre de ce projet la photogrammétrie terrestre a été appliquée à la caractérisation des avalanches et 6 capteurs de pressions ont été installés. Durant l'hiver 2009, 2 déclenchements ont été organisés le 22 janvier et le 9 février avec un tir positif le 9 février. Pour l'hiver 2010, trois déclenchements artificiels ont été réalisés, les 21 janvier, 10 février et 2 mars. Lors du dernier hiver 2011, un seul tir a été réalisé le 18 Mars

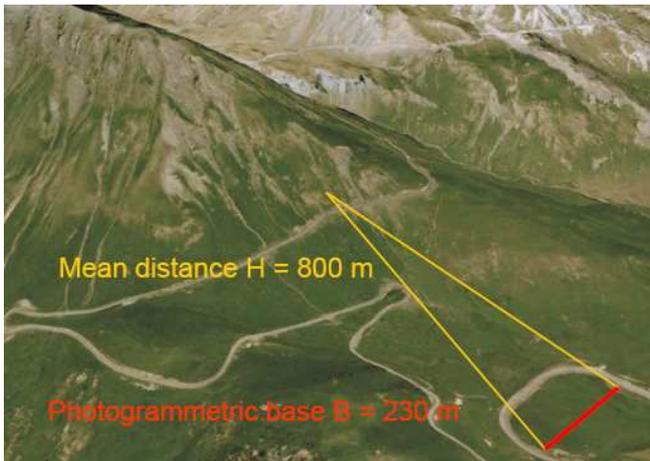
Le nouveau système de photogrammétrie développé dans le cadre de ce projet a permis de cartographier les positions du front d'avalanches déclenchées artificiellement. Nous illustrons la méthode à partir du tir du 2 mars 2010.

La solution envisagée est d'utiliser des prises de vue photographiques numériques afin d'obtenir une vision stéréoscopique instantanée du terrain. Dans la mise au point de cette méthode, la phase d'aérotriangulation des clichés, c'est à dire la reconstitution de la géométrie de prise de vues (orientation des prises de vues dans l'espace) est une étape déterminante. Elle est très sensible aux paramètres de la chambre de prise de vue (ensemble boîtier-optique), principalement focale et distorsion. Ceux-ci doivent être déterminés à priori par une méthode de calibration. Le redressement géométrique des prises de vue nécessite des points connus en coordonnées image et terrain pour résoudre le problème de l'intersection inverse dans l'espace. Le nombre, la répartition et la précision des points de contrôle utilisés dans le calcul itératif de résolution des équations de colinéarité contrôlent également la précision géométrique des couples d'image à restituer.

La méthodologie qui a été choisie est celle de la photogrammétrie terrestre qui permet de modéliser un espace tridimensionnel à partir de photographies stéréoscopiques. Le principe est d'utiliser 2 images d'une même surface de terrain prise selon 2 perspectives différentes. Celles-ci génèrent une parallaxe dont la mesure permet d'obtenir la distance au plan de base des caméras de prise de vue. Du point de vue de la précision recherchée, le ratio optimal base photographique/distance moyenne de la cible à photographie doit être proche de 1. Le site du col du Lautaret est bien adapté : le ratio base/distance est égal à 0.28 (base = 230 m ; distance = 800 m). L'accessibilité de ce site, la possibilité de compléter aisément le réseau de point de contrôle au sol et la disponibilité actuelle d'un MNT "sol nu" (sans neige) de précision centimétrique permettront une validation et une quantification de la précision de la méthode. La chaîne de traitement photogrammétrique est composée principalement de quatre étapes :

a- Acquisition des images

Au Lautaret, nous avons utilisé 2 caméras Nikon D2 (CCD de 12,8 millions de pixels en format Dx de 23.7x15.7 mm) avec un objectif de focale 85mm. Les caméras sont synchronisées par une liaison radio. Il est ainsi possible d'acquérir jusqu'à 4 images par secondes. La taille des pixels de 5.52 mm et une distance moyenne de 800 m entre les caméras et les couloirs d'avalanche permettent d'avoir une taille de pixel au sol de 5,2 cm. La base photogrammétrique (distance entre les 2 caméras) est de 230 m. On s'attend ainsi à obtenir une précision de l'ordre de 8 cm dans le plan des images, et de 21 cm dans la direction perpendiculaire (vision 3D). Les 2 caméras sont installées le jour des déclenchements artificiels et la séquence est déclenchée manuellement.



Situation des caméras au site du Lautaret.



Boitier Nikon D2Xs et le système de relai radio

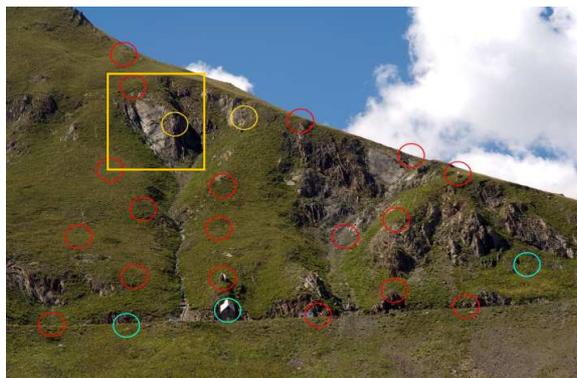
b- Mesure des points de contrôle, orientation des images et calibration des caméras

Les points de contrôle au sol sont essentiels au redressement géométrique des prises de vue (aérotriangulation). Théoriquement, il nous faut au minimum 3 points (bien répartis) connues en coordonnées image et terrain pour résoudre le problème de l'intersection inverse dans l'espace. Il faut savoir ici que plus les points de contrôle utilisés dans le calcul itératif de résolution des équations de colinéarité seront nombreux, meilleure sera la précision géométrique du couple stéréoscopique lors de la restitution photogrammétrique. Au Lautaret, nous avons utilisé 7 points de contrôles utilisables l'hiver quelque soient les conditions d'enneigement (fig. suivante), nombre suffisant pour déterminer l'orientation (coordonnées et directions des caméras).



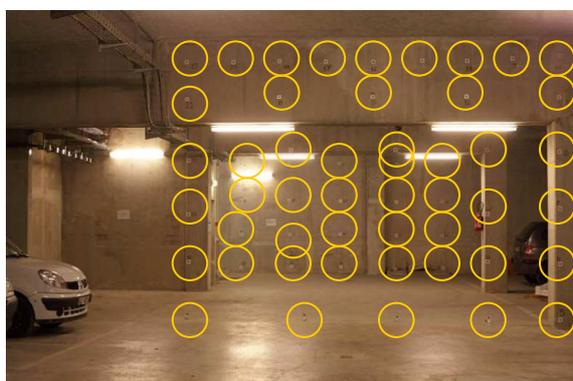
Points de contrôle au Lautaret (en conditions d'hiver) et point de contrôle (à 900 m des caméras) tel qu'il est visé lors de l'aéro

Afin de procéder à la calibration, nous avons complété temporairement ce réseau jusqu'à 17 points lors de l'été 2009 (fig. suivante). Les coordonnées des points ont été mesurées par GPS différentiel géodésique (précision centimétrique).



Points additionnels pour la calibration et zone de validation de restitution photogrammétrique

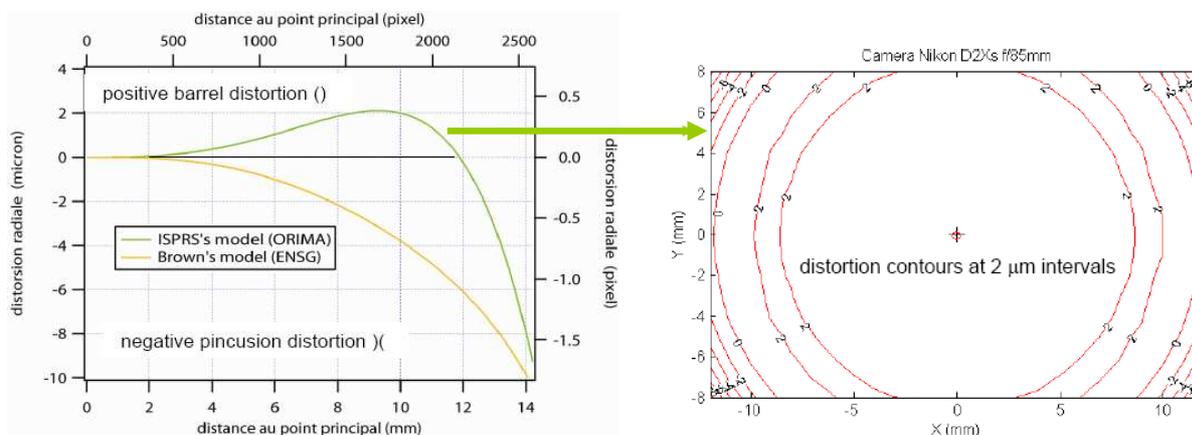
Nous avons également utilisé une mire de calibration mise à disposition par l'IGN (ENSG, Champ sur Marne) disposant d'un réseau de 56 points (précision millimétrique ; fig. suivante).



Points de calibration (IGN ENSG)

La calibration a permis de déterminer précisément la focale des objectifs (important pour la mise à l'échelle des clichés), et de quantifier les défauts géométriques (distorsion, décentrement). La distorsion reste faible pour les optiques retenues (Nikorr 85 mm), de l'ordre de quelques microns, soit 1 à 2 pixels (Fig. suivante). Le décentrement, de l'ordre de 50-60 μm (10 pixels), n'est par contre pas négligeable et doit être pris en compte dans le modèle des caméras.

L'orientation des images sur les points de contrôle est très satisfaisante, les résidus de calage étant très faibles, compris entre 3 et 8 cm. Dans ces conditions, il est possible d'attendre une précision sur la mesure des points de la surface de terrain de l'ordre de 15 cm. Nous avons validé ce point à l'aide de quelques points de contrôle déterminés au sol mais non utilisés pour l'orientation : les coordonnées mesurées ne se sont pas écartées de plus de 5-10 cm des coordonnées obtenus par GPS différentiel.



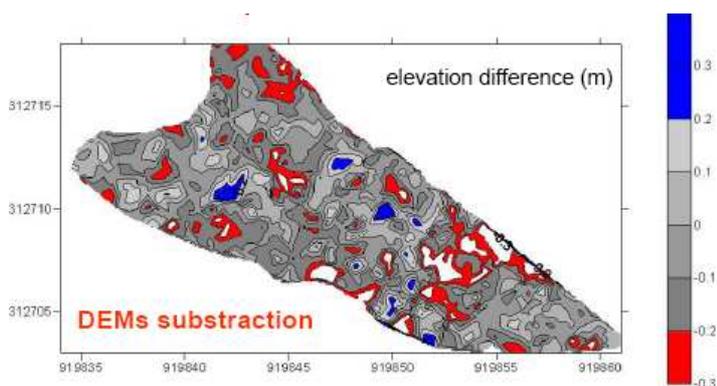
Distorsion radiale du système D2Xs et 85 mm en condition in situ au Lautaret : distance de mise au point infinie et diaphragme à $f/8$.

c- Restitution photogrammétrique

La restitution, ou mesure des 3 coordonnées spatiales des points visibles sur les couples d'image, a été effectuée à l'aide du logiciel SIG ArcGis et du module StéréoAnalyst. Il s'agit d'un pointé manuel des points à mesurer, effectué en vision stéréoscopique (3D) à l'aide de lunettes anaglyphes (Fig. suivantes). La restitution des points de la surface de l'objet à restituer (front, surface de l'avalanche, faces visibles du sérac) permet d'obtenir un nuage de points (connus en XYZ). L'interpolation de ces points constitue un modèle numérique de terrain (MNT) représentant l'objet en question. Cette étape a également fait l'objet d'une validation sur le site du Lautaret où l'on dispose d'un MNT indépendant obtenu par laser-scan aéroporté. Un MNT a été ainsi généré à partir du couple d'images (été 2009) dans une zone de dalles rocheuses (Fig. suivante). Il a été ensuite comparé au MNT laser. Les résultats de cette comparaison sont très positifs. On n'observe pas de différence systématique entre ces 2 surfaces, ce qui indique un très bon calage relatif des 2 observations. Une dispersion de ± 11 cm sur les points des 2 modèles de surface existe néanmoins et s'explique par les incertitudes aléatoires de mesure de chaque méthode de levé.



Position du pointeur sur une mire non utilisée. Le logiciel positionne le pointeur sur la position théorique (obtenue par GPS) à environ 10 cm de la position obtenue par orientation.

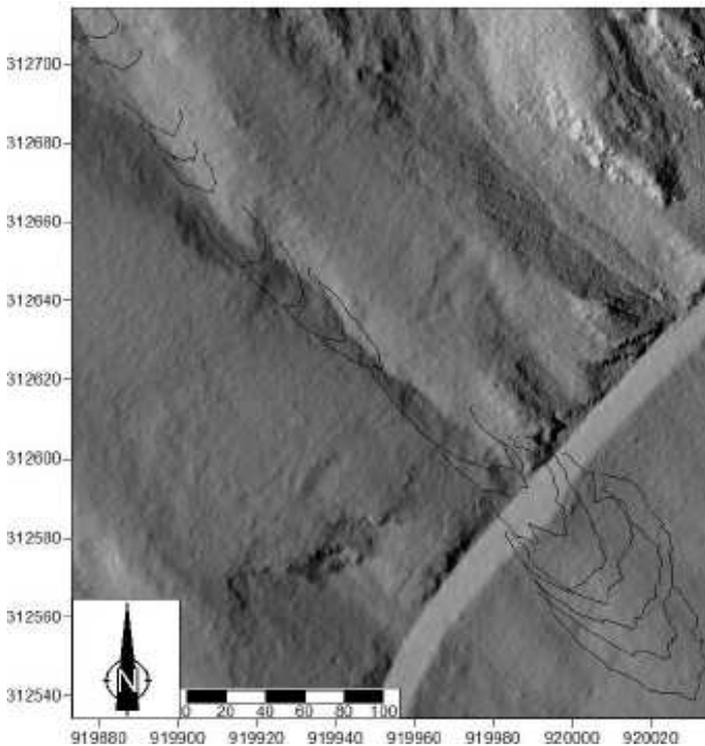


Différence des MNT obtenus par laserscan et par photogrammétrie (zone rocheuse) : pas de biais et RMS de ± 11 cm.

d- Positions et vitesses du front d'une avalanche

Lors du déclenchement artificiel du 2 mars 2010 sur le site expérimental du Lautaret, nous avons pu acquérir une séquence de 17 couples d'images synchronisées. Les paramètres des caméras déterminés lors des calibrations, et l'orientation sur les points de contrôle nous ont permis de restituer les positions de front de l'avalanche (Fig. suivante). Ainsi, pour cette avalanche, les vitesses atteignent 18 m/s (65 km/h) dans la section la plus raide du couloir. Elle est

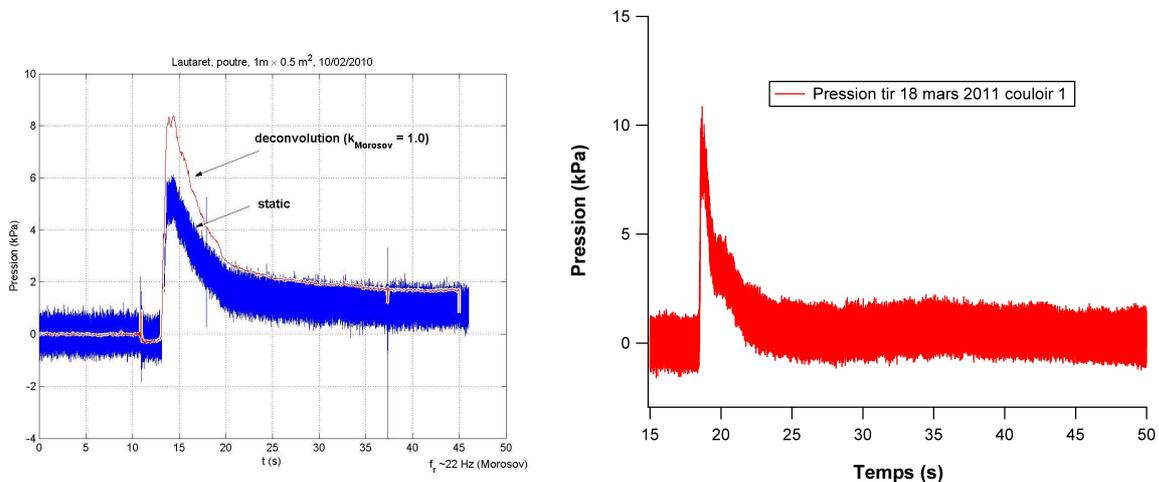
essentiellement contrôlée par la pente. La position extrême de l'avalanche (zone d'arrêt) est également cartographiée à partir des images.



Positions successives du front de l'avalanche du 2 mars 2010

Mesure de Pression d'impact par analyse inverse (couloir n°1)

Les pressions générées par l'écoulement du tir du 10 février 2010 et 18 mars 2011 sont présentées à la figure suivante. Le 10 février 2010, il s'agissait d'une petite avalanche de 0.5 m d'épaisseur. Pour le tir de 2011, l'épaisseur atteint 1 m de hauteur. Le profil temporel de pression est très classique avec un front de montée en pression et une décharge. Les maxima de pression atteignent t 8 et 11 kPa. L'analyse des vitesses est en cours à partir des nouveaux capteurs infra-rouge installés sur les bords de la plaque. Une analyse préliminaire des signaux indique une vitesse d'au moins 8 m/s pour le front de l'écoulement du 18 mars 2011. Une séquence d'image stéréoscopique de cet écoulement a été réalisée. Il permettra de recouper les mesures de vitesse réalisées in situ sur l'ouvrage.



Pression d'impact avalanche du 10 février 2010 et 18 mars 2011.



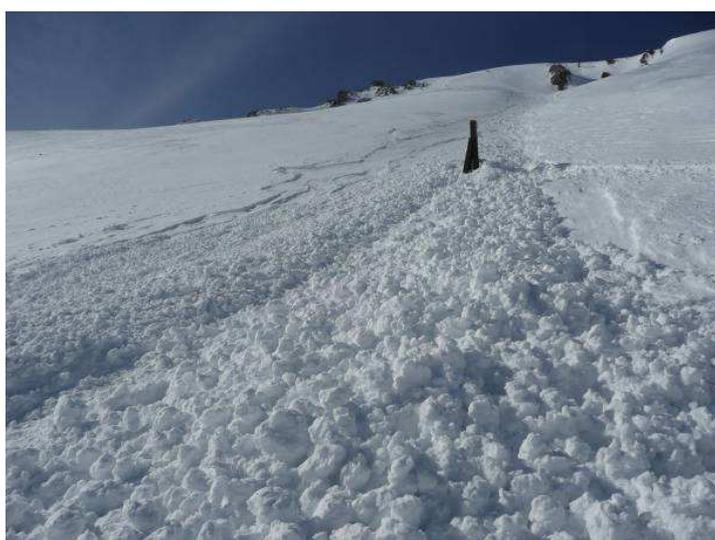
a)

Avalanches du 10 février 2010 au couloir 1.

Couloir n°2.



Traitement des signaux dans l'abri d'acquisition du Lautaret (Avalanche du 10 février 2010)

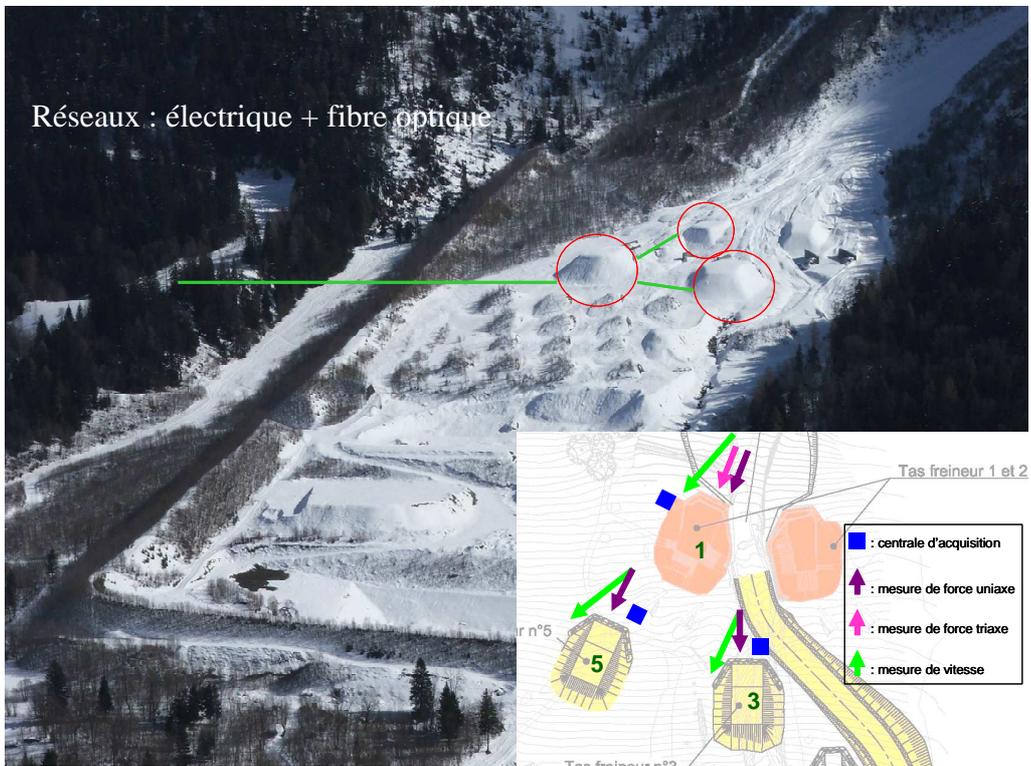


Avalanches du 2 mars 2010 (b)

Mât de mesures avec capteurs de pression au couloir n° 2

Le paravalanche de Taconnaz

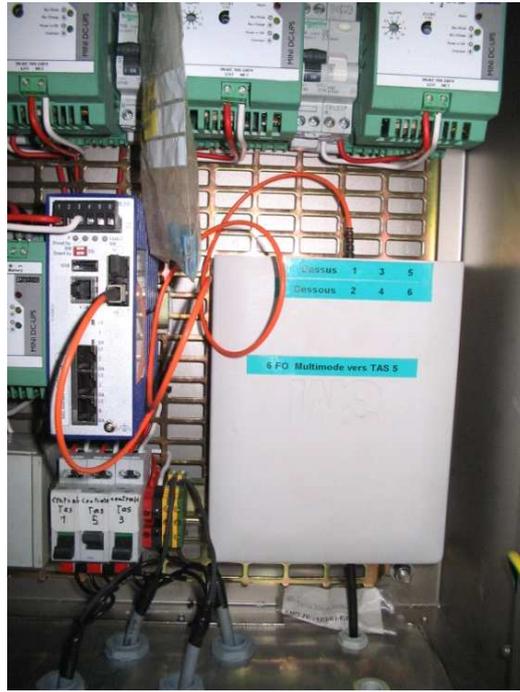
Ce site permet l'étude d'avalanches de plus grande ampleur. Les avalanches étudiées sont déclenchées naturellement et ce site a été entièrement équipé dans le cadre de ce projet avec la mise en place de capteurs de pression et de vitesse sur trois tas freineurs à l'entrée du dispositif paravalanche



Le dispositif paravalanche de Taconnaz et le schéma de principe de l'installation



Travaux de génie civil pour les supports de capteurs et mise en place des capteurs (automne 2009)



Chambres techniques au pied (a) de chaque tas pour les centrales d'acquisition (b) et chambre à vanne (c) - point d'accès sécurisé pendant l'hiver - avec amenée de l'électricité, gestion de l'alimentation secourue et possibilité de récupération à distance des données des centrales par fibre optique (d)

Les travaux ont été réalisés durant l'automne 2009 avec une fin de chantier au 30 novembre 2009. La partie programmation pour l'acquisition des données a été sous-traitée à la société SAPHIR.

Le matériel National Instrument utilisé a présenté des problèmes (voir lettre ci-jointe) conduisant à des dysfonctionnements : switch entre les voies engendrant des déclenchements d'enregistrement intempestifs et blocage des centrales en enregistrement générant des problèmes de place mémoire).

La dangerosité du couloir à partir de décembre ne nous a pas permis de changer les systèmes d'exploitation des centrales situées au pied de chaque tas.

De fait lors de l'évènement du 17 février 2010, seule l'heure de l'avalanche a été enregistrée.

Au 30 juin 2010 les 3 centrales ont été récupérées, les systèmes d'exploitation changés et des tests sont en cours auprès du sous-traitant.



Avalanche du 17 février 2010



A la suite de cet évènement, la structure du tas 3 a été partiellement endommagée avec un ancrage de sécurité inutilisable, un capteur de pression et un capteur de vitesse endommagés.

A la reprise des travaux du paravalanche une chambre de tirage a été endommagée par un engin de chantier



Dégâts occasionnés sur le tas 3 à la suite de l'avalanche du 17 février 2010 (a) et chambre de tirage endommagée par un engin de chantier (b)

L'application réalisée sur le couloir de Taconnaz reçu le premier prix du concours NIDays, organisé par National Instruments en partenariat avec la revue Mesures, dans la catégorie Systèmes embarqués. Ce concours récompense les applications innovantes réalisées en 2009 avec le matériel et les logiciels du constructeur National Instrument.

LabVIEW et le CompactRIO équipent le dispositif paravalanche de Taconnaz dans le cadre du projet DYNAVAL.

Par Florence NAAIM BOUVET et Hervé BELLOT du Cemagref, et Frédérick BERNARD de Saphir

<http://www.mesures.com/archives/823-NIDays-2010.pdf>

<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-12603>



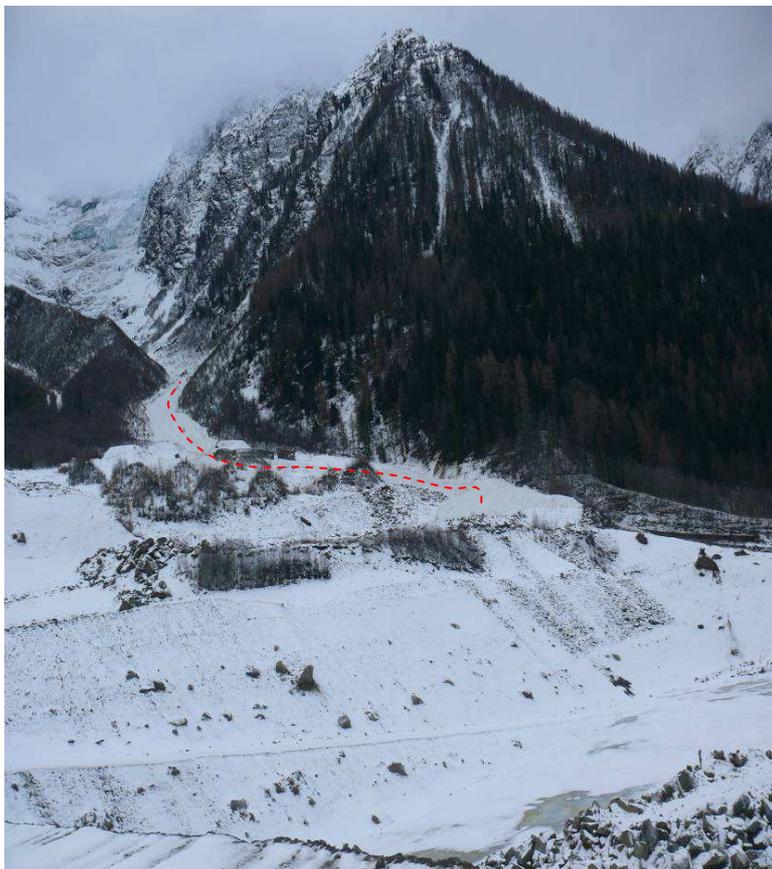
Remise du premier prix le 2 février 2010

A l'automne 2010, le capteur de pression tri-axe qui n'avait pu être installé en 2009, a été mis en place.



Installation du capteur de pression tri-axes le 22 septembre 2010

Une avalanche s'est produite dans le couloir de Taconnaz le 29 décembre 2010 à 3h00 du matin. Le système de déclenchement automatique d'enregistrement a fonctionné correctement et a permis l'enregistrement de données (vitesse et pression) en cours d'analyse.



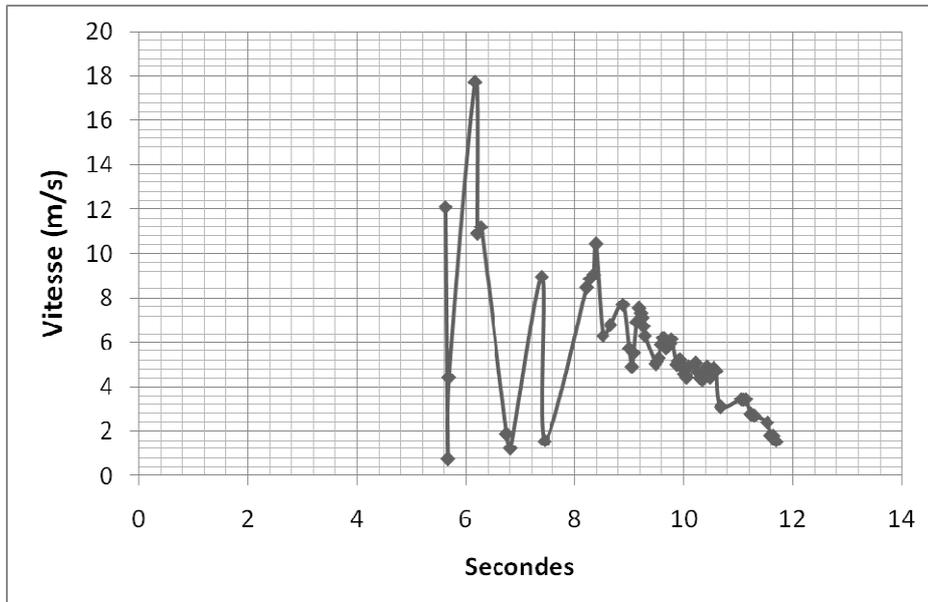
*Vue d'ensemble de l'avalanche du 29 décembre 2010 dans le couloir de Taconnaz (photo du 7 janvier 2011)
depuis le bas du couloir*



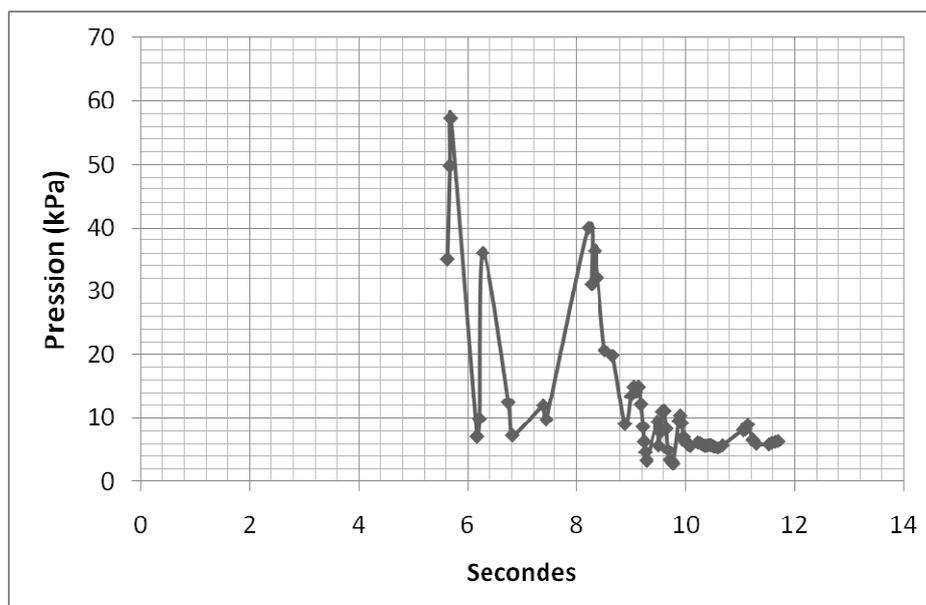
*Avalanche du 29 décembre 2010 dans le couloir de Taconnaz (photo du 7 janvier 2011) – Vue à l'amont des
tas freineurs instrumentés.*



Avalanche du 29 décembre 2010 dans le couloir de Tacconnaz (photo du 7 janvier 2011) – Tas freineur n°3



Exemple de mesure de vitesse : avalanche du 29 décembre 2010



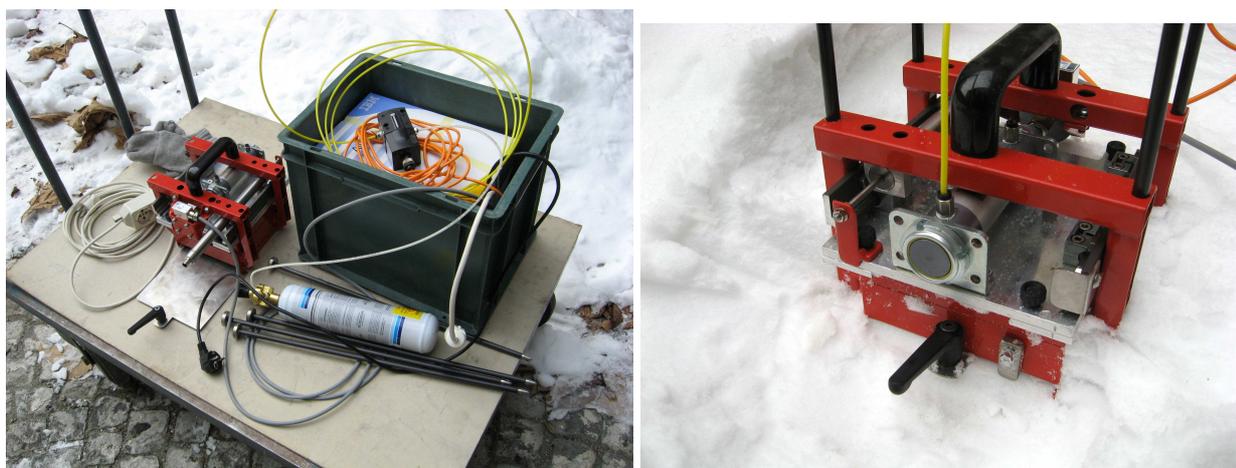
Exemple de mesure de pression : avalanche du 29 décembre 2010

Il s'agit pour ces deux sites de valider les connaissances concernant les lois d'interaction dynamique entre l'écoulement et les obstacles. Les résultats permettront le couplage entre mesures expérimentales et données réelles en vue de fournir des entrées pertinentes pour les modèles de calcul de structure, afin de définir et pouvoir quantifier des indices de vulnérabilité physique pour une large gamme d'ouvrages.

ACTION 2 : Caractérisation mécanique du manteau neigeux

La Vallée d'Aoste a confié un mandat au Polytechnique de Turin, DISTR, pour développer les activités sur cette action.

Le Polytechnique de Turin, DISTR a conçu une «boîte de cisaillement» pour mesurer la résistance au cisaillement du manteau neigeux. Les premiers tests seront réalisés pendant l'hiver 2010-2011.



Boîte de cisaillement

Un deuxième dispositif pour la caractérisation du manteau neigeux a été conçu et réalisé pendant le 2011 : un carotageur à neige.



Carotatore à neige

Les deux instruments ont été testés le mois de mars 2012.

Pour un fonctionnement correct des deux dispositifs, un guide pratique a été réalisé par le Politecnico de Turin.

ACTION 3 : **Evaluation de l'énergie de détachement grâce aux techniques de déclenchement artificiel**

La Vallée d'Aoste a confié un mandat au Polytechnique de Turin, DISTR, pour développer les activités sur cette action.

Des tests sur le manteau neigeux ont été menés le 31.03.2010 au Lago Gabiet dans la commune de Gressoney-La-Trinité, à côté du Site de la Pointe Seehore.

Sur le site, nous avons fait plusieurs tirs d'explosion avec différentes typologies des explosifs (Dynamite et émulsion). En particulier :



Site des tests de explosion

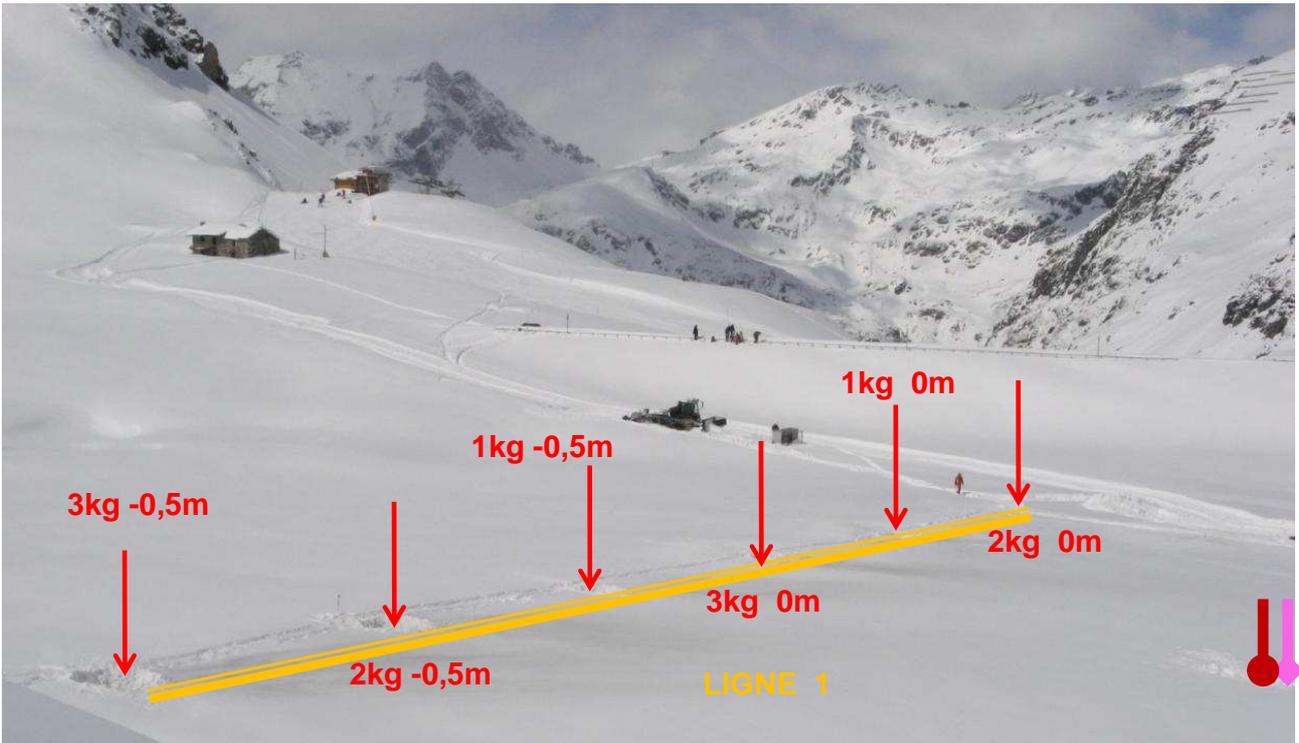
24 explosions (12 pour chacun type d'explosif)

charges : 1kg; 2 kg; 3 kg

Positions:

- 0m : charge appuyée sur le manteau neigeux
- 0.5m: charge 0.5m au dessus du manteau neigeux
- 1.0m: charge 1m au dessus du manteau neigeux
- -0.5m : charge 0.5m au dessous du manteau neigeux

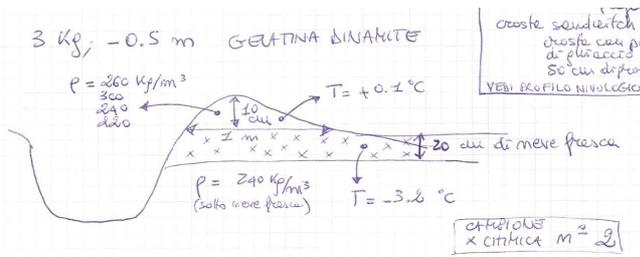
Distances entre les explosions = 15 m
 Temps entre les explosions = 1min



Des mesures sur le manteau neigeux ont été réalisées avant et après les explosions. En particulier :

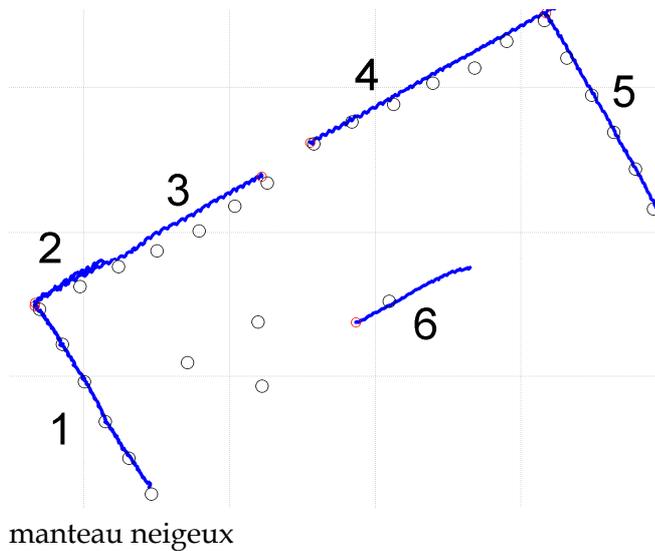


- n. 2 Stratigraphies dans le manteau neigeux non perturbé
 Pour chaque point d'explosion, le long des lignes (aussi la sismique):
- hauteur du manteau neigeux
 - position de la croûte de glace



- Pour chaque cratère:
- Dimension du cratère: diamètres max et min, profondeur,
 - Section
 - Densité
 - Température
 - Analyse chimique

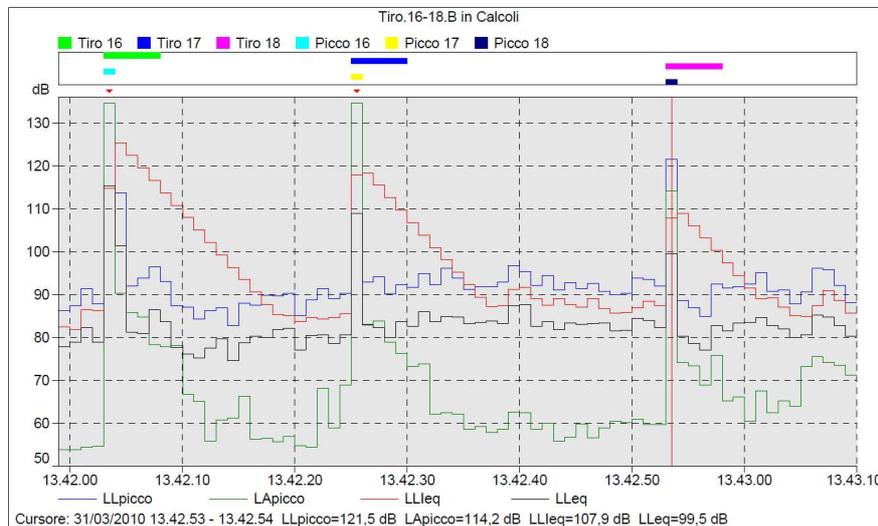
Deux essais avec le Georadar (n.1 Pré et Post explosions) ont été réalisés, pour estimer les propriétés diélectriques du manteau neigeux et évaluer indirectement la densité de la neige.



Des mesures sismiques ont été réalisées à l'intérieur des lignes des explosions, avec 24 géophones (distances = 1 m), pour évaluer les propriétés mécaniques du



Des mesures acoustiques ont été réalisées à l'intérieur des lignes des explosions, dans le manteau intact, pour évaluer les vibrations données par les explosions et la surpression aérienne des explosions dans l'air.

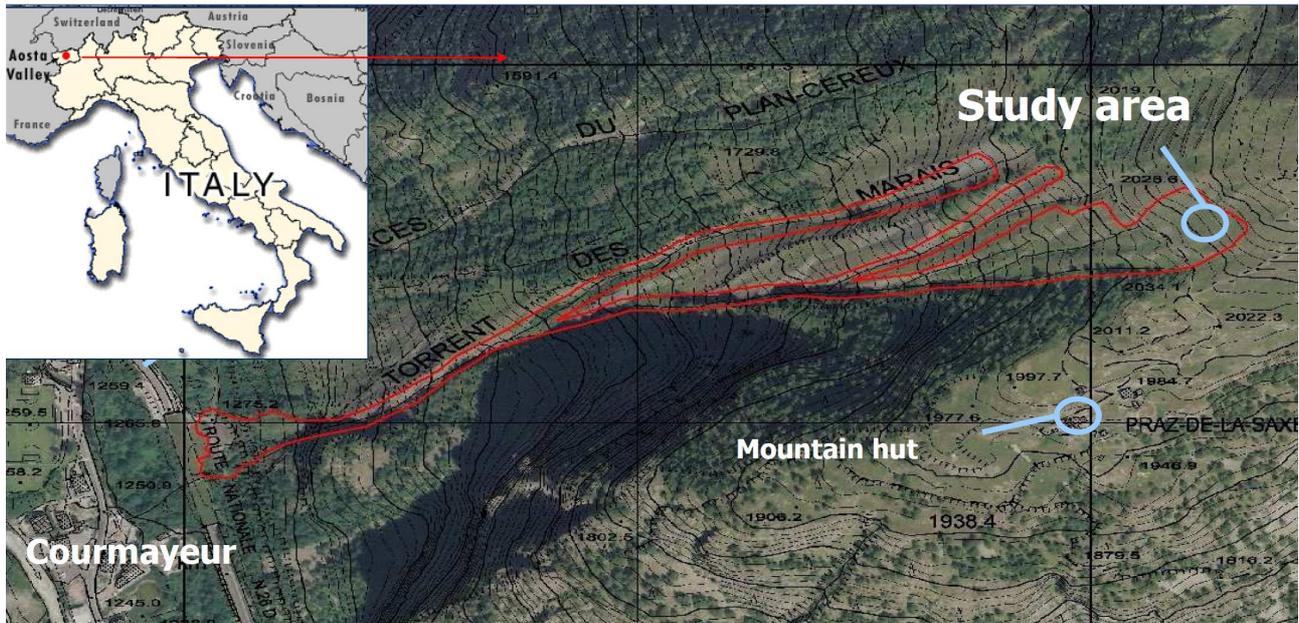


L'analyse des données des mesures du 31.03.2010 a été complétée. Vu que la thématique n'a pas été traitée très souvent jusque à maintenant, il nous reste encore des problématiques à résoudre et à analyser. Toutefois, les résultats présentés lors de conférences internationales ont produit beaucoup d'intérêt dans le monde scientifique et parmi les opérateurs qui pratiquent le déclenchement artificiel.

ACTION 4 : Définition de l'aire et des volumes de l'avalanche

Le DIVAPRA, de l'Université de Turin, a été chargé, par la Vallée d'Aoste, de mener les actions sur cette activité. Pour l'instant, une étude sur les zones de déclenchement a été menée sur les données du Cadastre régional d'avalanches. En outre, le DIVAPRA a choisi un site expérimental pour le suivi d'une avalanche. Le site est celui de Courmayeur (Mont de la Saxe).

La zone d'étude a été identifiée dans un secteur où il y a une grande fréquence de phénomènes de glissement de neige (snow glide), associés généralement à des avalanches de fond. Dans le secteur est présente une source qui augmente la teneur en eau dans le sol, facteur important dans la dynamique des mouvements de la neige et du sol.



Dans la zone de départ ont été réalisés :

- Équipement de dispositifs pour le suivi du snow glide, humidité et température interface sol/neige, dans le sol et dans la partie de fond du manteau neigeux ;
- réalisation de profils sur le sol.

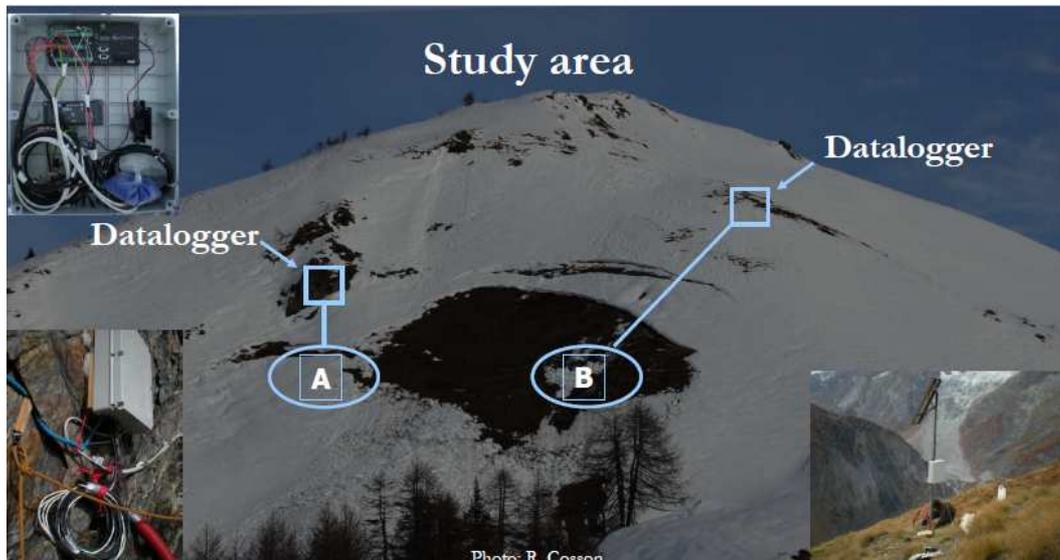
Dans la zone de dépôts ont été réalisés :

- échantillonnage de la neige mêlée avec du sol, suite à l'événement de mars 2009 ;
- réalisation d'un trou dans le dépôt d'avalanche, pour l'évaluation de la distribution verticale du matériel transporté par l'avalanche

En outre, des tests ont été menés en laboratoire sur le sol:

- Définition de la texture apparente ;
- Définition des limites d'Atterberg et de la stabilité des agrégats dans l'eau (WAS).

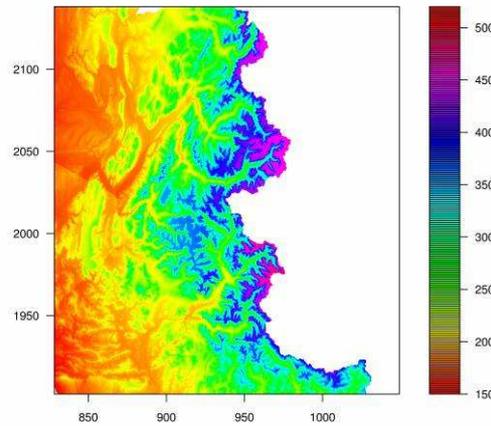
Sur les échantillonnages du dépôt (neige/sol) d'avalanche ont été définis le volume et la quantité de matériel présent.



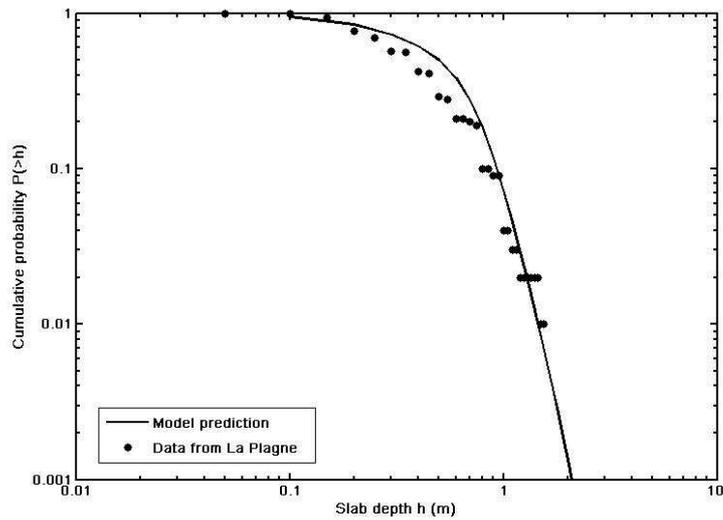
Installation sur le site de Mont de la Saxe

Pour le Cemagref, une thèse intitulée « Prédétermination des volumes de départ d’avalanches : modélisation combinée statistique – mécanique » et financée par le projet a débuté le 1^{er} février 2009. Le doctorant se nomme Johan Gaume. A l’issue de la première année les résultats sont les suivants :

Les modèles numériques de propagation des avalanches ont acquis un rôle central parmi les outils de décision pour la protection contre les avalanches. Néanmoins, l’implémentation systématique de ces modèles rencontre encore des difficultés comme l’évaluation précise du volume de départ de l’avalanche. La prédétermination des hauteurs dans les zones de départ est réalisée par interpolation des données de précipitations extrêmes. Ces données sont issues des relevés journaliers de 40 sites météorologiques dans les Alpes Françaises de 1966 à 2004 et nous considérons les maxima annuels sur 24, 48 et 72h. Par ailleurs, un modèle mécanique basé sur la méthode des éléments finis est utilisé pour déterminer les surfaces et les hauteurs de départ. Un système plaque élastique sur couche fragile dont les propriétés sont hétérogènes afin d’obtenir des distributions de surface et de hauteur est modélisé. Dans un premier temps l’influence de l’hétérogénéité sur les hauteurs de départ sur une géométrie simple, 2D et de pente uniforme a été étudiée. Pour une épaisseur de plaque donnée, les distributions d’angle de déclenchement en fonction de l’écart-type et de la longueur de corrélation de l’hétérogénéité ont été établies. Par inversion, on obtient ensuite les distributions de hauteur de plaque à angle fixé. Enfin, l’intégration sur une distribution d’angle typique conduit à une distribution des épaisseurs de plaque indépendante de l’angle. Après couplage avec le modèle météorologique (qui introduit une borne supérieure à la quantité de neige disponible), les distributions ainsi obtenues ont été comparées avec des données provenant de déclenchements naturels recensés dans la station de La Plagne. L’accord trouvé entre prédiction du modèle et données est bon.



Précipitations tri-centennales dans les Alpes françaises



Probabilités cumulées des hauteurs de départ d'avalanches de plaque : comparaison entre prédictions du modèle mécanique – statistique et données de La Plagne.

Les résultats de l'action 4 ont permis de rédiger le guide technique dédié aux zones de départ : *Manuale per la valutazione ed analisi della zona di distacco valanghe*. Le guide a été imprimé et il est disponible sur le site du projet stratégique RISKNAT.



ACTION 5 : Etude de la dynamique des avalanches denses

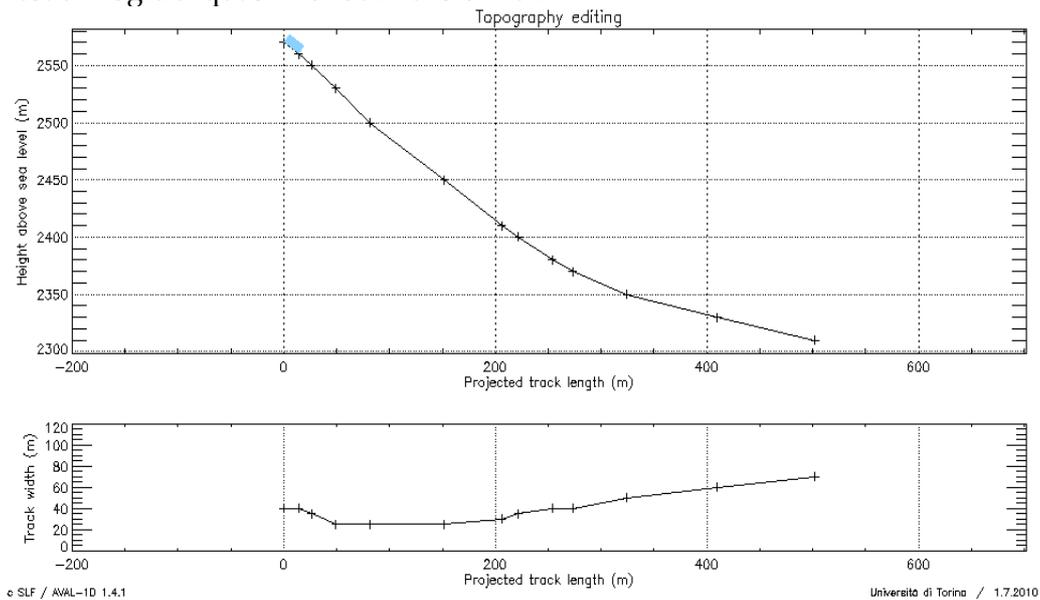
La Vallée d'Aoste a confié un mandat au DIVAPRA, de l'Université de Turin, pour le développement de cette action.

Pendant l'hiver 2009-2010, des analyses de la dynamique des événements avalancheux du site de la Pointe Seehore ont été menés. Les événements pris en considération sont ceux du 31/03/2010 et du 07/12/2010.

Pendant l'hiver 2010-2011, des analyses de la dynamique des événements avalancheux du site de la Pointe Seehore ont été menés. Les événements pris en considération sont ceux du 27/03/2010 et du 05/03/2011 et du 19/03/2011.

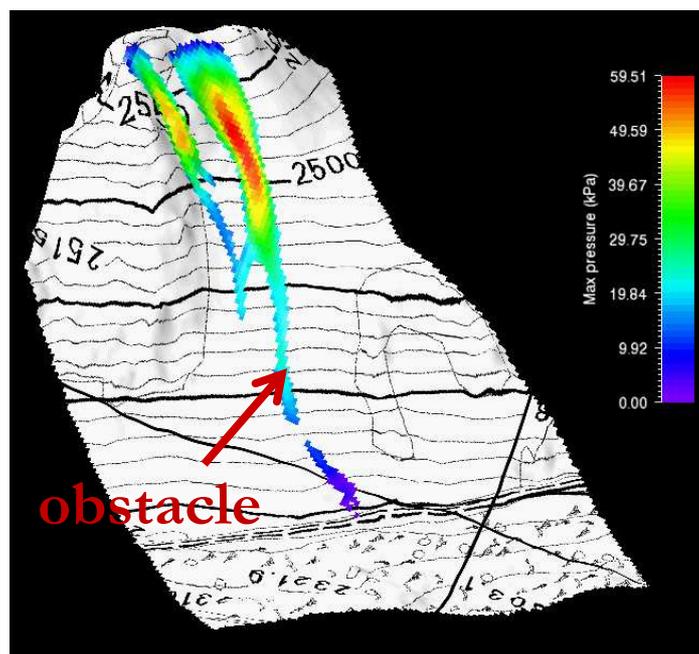
Les analyses de dynamique ont été réalisées avec deux différents logiciels de simulation : AVAL-1D et RAMMS.

AVAL-1D est un logiciel quasi monodimensionnel.



Simulation avec AVAL-1D

Le logiciel RAMMS est bidimensionnel et la masse est considérée constante.



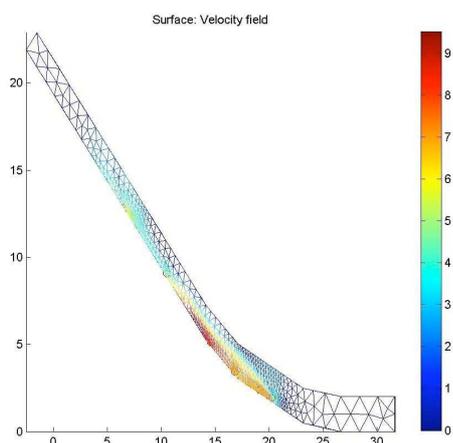
Une relation technique a été rédigée : *RAMMS applicato alle valanghe distaccate artificialmente al sito sperimentale del Seehore*.

ACTION 6 : Etude de l'interaction entre l'écoulement et les obstacles

Le but de l'activité menée par le Polytechnique de Turin, DISTR, a été de développer un modèle de dynamique des avalanches de neige et de simuler l'interaction avec des obstacles le long du parcours de l'avalanche.

A ce propos, le DISTR est en train de développer un modèle qui considère l'avalanche comme un fluide non compressible, avec l'utilisation des équations de Navier-Stokes, dans leurs formes bidimensionnelles. Une première comparaison des résultats de la simulation, effectuée par le logiciel FEM Comsol Multiphysics, a été faite avec des données expérimentales. Les résultats ont démontré que la vitesse du front de l'avalanche est correctement simulée, ainsi que la partie supérieure du profil de vitesse le long de l'épaisseur [Bovet et al., 2010 Meccanica].

Des études préliminaires ont été menées afin d'en tirer la loi rhéologique la plus appropriée.



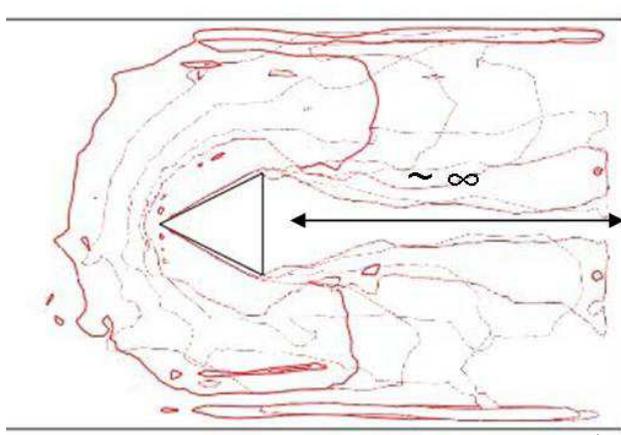
Des analyses, en outre, ont été menées sur la vitesse et la pression pour reconstruire le profil de vitesse et, en conséquence, le profil de pression, qui sera utile pour le dimensionnement d'une structure impactée par un écoulement avalancheux.

D'autres analyses sur la prise en charge de neige dans l'avalanche, le long du couloir, ont démontré l'influence de ce phénomène dans la dynamique des avalanches, avec une augmentation considérablement du volume.

Une fois le modèle étalonné, des simulations ont été réalisées avec l'introduction des obstacles le long du profil pour la neige dense. Les simulations ont été conduites en accord avec les réglementations suisse et NTC (vent) [Bovet et al. 2009, (AIMETA), Bovet et al. 2010 (EGU)].

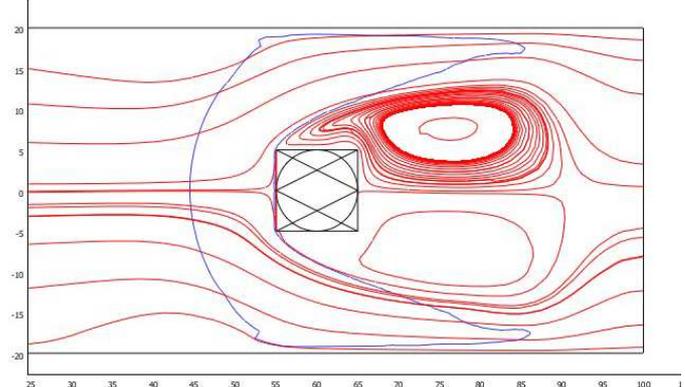
Les simulations ont montré que la forme et la dimension de l'obstacle influencent la pression d'impact de la neige sur l'obstacle. D'autres analyses ont été menées concernant la variation, dans le temps, de la pression sur la paroi exposée au flux avalancheux. Les analyses ont permis de montrer que le pic de pression est strictement lié à la forme de l'obstacle et au nombre de Froude [Bovet et al. 2010, EGU].

Parallèlement à ce travail, les analyses ont montré que la forme influence aussi la zone d'ombre à l'aval de l'obstacle, tandis qu'à l'amont de l'obstacle le modèle numérique n'arrive pas à nous montrer la caractéristique du dépôt tout-autour de l'obstacle, mais seulement la distribution des lignes de courant.



Simulation conduite à échelle réduite (1 m), pente 45°, à l'aval de l'obstacle

L'analyse des lignes de courant (rouges) nous permettent de comprendre le flux en mouvement à l'amont de l'obstacle

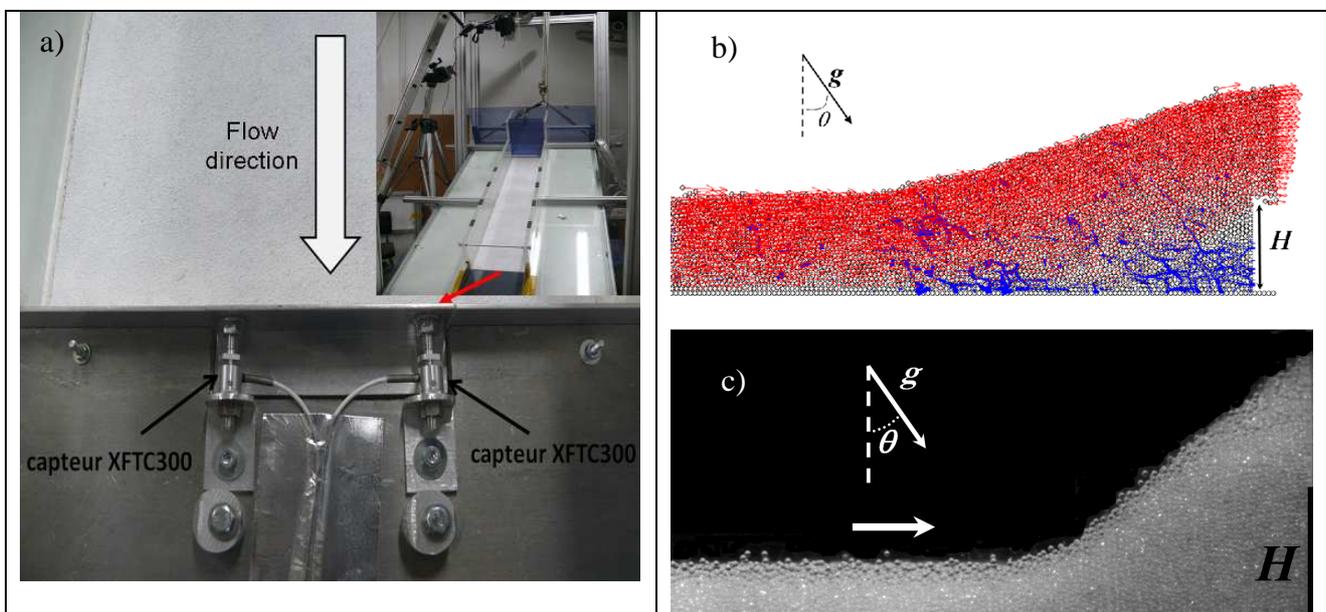


Enfin, tous ces travaux devront contribuer à donner les bases pour une conception correcte des structures exposées au risque avalanche, donnant la force exercée par un écoulement de neige sur un obstacle et comme celle-ci se distribue sur les différents éléments des structures. Pour cela, il faut reproduire de façon acceptable les pressions exercées par l'avalanche du site de la Pointe Seehore sur l'obstacle, ce qui permettra de conduire des simulations numériques de plus en plus précises.

Enfin, des relevés très détaillés ont été réalisés en proximité de l'obstacle, afin de pouvoir utiliser les données pour la validation du modèle en cours de développement.

Les activités menées par le Cemagref dans le cadre de cette action visent à développer des lois décrivant la pression exercée par les avalanches sur les structures en fonction du régime d'écoulement de l'avalanche. Une thèse intitulée « Etude expérimentale de l'influence des ouvrages de protection sur les avalanches et des pressions d'impact » et financée par le projet a débuté le 1^{er} février 2009. Le doctorant se nomme Paolo Caccamo. Cette thèse, à dominante expérimentale, a comme objectif d'améliorer les connaissances relatives à la dynamique des avalanches et aux forces qu'elles peuvent exercer sur un obstacle. L'étude prévoit des expériences en modèle réduit concernant les avalanches denses et en aérosol. Au cours de ces deux premières années, le travail réalisé au Cemagref a essentiellement concerné les avalanches de neige dense et se base en grande partie sur l'analogie avec les écoulements granulaires. Les expériences en modèles réduits consistent dans un premier temps à caractériser des écoulements granulaires sur une large gamme de pente (mesures de hauteur par imagerie Laser et vitesse par PIV) puis, dans un second temps, à mesurer la force exercée par ces écoulements sur un obstacle. Différents régimes d'écoulements (quasi-statique, dense inertiel, dilué collisionnel) ont été mis en évidence et la force a été quantifiée dans chacun de ces régimes. Une première géométrie d'obstacle a été testée [9, Caccamo et al., article soumis] une structure à géométrie plus complexe, reproduisant en modèle réduit les tas freineurs du site de Tacconnaz, a été dimensionnée pour les futurs tests de laboratoire. Toujours dans le cadre de la thèse, les premières mesures de vitesse et pression obtenues sur le paravalanche de Tacconnaz sont en cours d'analyse (Cf. Action 1).

Parallèlement à ce travail expérimental (laboratoire et terrain) de thèse, un modèle analytique basé sur les équations de l'hydrodynamique intégrées dans l'épaisseur a été développé pour décrire la force exercée par une avalanche sur un obstacle à face amont plane. Ce modèle a d'abord été développé pour les écoulements granulaires stationnaires et validé sur la base de simulations numériques aux éléments discrets en régime stationnaire (Faug et al., 2009). Il a ensuite été étendu au cas des avalanches granulaires et validé sur des simulations numériques discrètes en régime instationnaire (Chanut et al, 2009 ; Chanut et al., 2010). Dans le cadre du projet DYNAVAL, le modèle est également confronté (étude en cours) aux expériences réalisées en modèle réduit de laboratoire mentionnées précédemment et concernant la première géométrie d'obstacle. Enfin, tous ces travaux devront contribuer à développer une formulation théorique robuste donnant la force exercée par un écoulement de neige sur un obstacle. Ce travail est en cours et se basera sur les résultats préliminaires montrant qu'une formulation simplifiée permet déjà de reproduire de façon acceptable les pressions exercées par deux avalanches déclenchées en 2007 et 2008 sur la plaque du Lautaret (Faug et al, 2010). Le modèle numérique de simulation d'avalanche basé sur les équations de Saint-Venant, développé au Cemagref et utilisé par le passé pour le dimensionnement du dispositif paravalanche de Tacconnaz (Naaim et al., 2010), sera utilisé pour analyser en retour les avalanches observées sur Tacconnaz.



(a) Etude expérimentale d'écoulements granulaires impactant une digue: photographies du dispositif expérimental et des capteurs de force et écoulements granulaires impactant une digue: zoom sur la zone d'influence à l'amont de l'obstacle liée à la formation d'une zone morte : (b) simulations numériques discrètes et (c) tests de laboratoire

Caccamo P., Chanut B., Faug T., Bellot H., Naaim-Bouvet F., Small-scale experiments to investigate dry granular avalanches dynamics and forces on a wall-like obstacle, *submitted to Granular Matter*.
 Chanut B., Faug T., Naaim M. 2009. Mean force on a wall overflowed by dense granular avalanches: discrete numerical simulations. *Powders And Grains 2009 : Proceedings of the 6th International Conference On Micromechanics Of Granular Media*. AIP Conference Proceedings, Vol. 1145, p. 609-612.
 Chanut B., Faug T., Naaim M. 2010. Time-varying force from dense granular avalanches on a wall, *Physical Review E* 82, 041302.
 Faug T., Beguin R., Chanut B., 2009. Mean steady granular force on a wall overflowed by free-surface gravity-driven dense flows, *Physical Review E*, 80, 021305.
 Faug T., Chanut B., Beguin R., Naaim M., Thibert M., Baroudi D. 2010. A simple analytical model for avalanche-induced pressure on obstacles, *Annals of Glaciology*, 51 (54), 1-8.
 Naaim M., Faug T., Naaim-Bouvet F., Eckert N. 2010. Return period calculation and passive structure design at the Tacconnaz avalanche path (France), *Annals of Glaciology*, 51 (54), 89-97.

Les résultats de l'action 6 ont permis de rédiger le guide technique dédié à l'interaction entre flux avalancheux et obstacle : *Manuale per lo studio dell'interazione del flusso valanghivo con un ostacolo*.

Le guide a été imprimé et il est disponible sur le site du projet stratégique RISKNAT.



ACTION 7 : Valorisation des résultats et divulgation

Trois cours de formation ont été organisés:



- 11 novembre 2010, à Quart (AO): Distacco artificiale di valanghe;
 - 16 juin 2011 à Quart (AO): Snowpack slow movements and load on defence structures
 - 01 décembre 2011 à Gressoney-La-Trinité (AO): Interazione flusso valanghivo - infrastrutture
- 80 personnes, en total, ont participé aux cours, techniciens et fonctionnaires publics.

La première journée de divulgation a été organisée le 02 décembre 2011 à Gressoney-La-Trinité, avec la visite du site de la Pointe Seehore. Cinquante personnes, environ, ont participé à cette journée.

Le 26 mars 2012, à Chamonix, s'est déroulée la journée de restitution des résultats du projet, coté français. Une cinquantaine de personnes, environ, ont participé.

Un numero spécial de *Neve e Valanghe* a été rédigé, complètement dédié aux activités du projet Dynaval.

1000 brochures de présentation du projet ont été réalisées.

2 guides techniques ont été publiés: *Manuale per lo studio dell'interazione del flusso valanghivo con un ostacolo* e *Manuale per la valutazione ed analisi della zona di distacco valanghe*.



Brochure du projet

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet ont été présentés lors de conférences et par la publication d'articles scientifiques. En particulier, des articles scientifiques et des posters ont été présentés à l'EGU 2010, 2011 et 2012 de Vienne, à l'ISSW 2009 de Davos (CH) et à l'ISSW 2010, à Lake Tahoe - California (USA). Un poster a été aussi présenté à l'Interparaevent 2012, à Grenoble.

Ici la liste des plus importants :

French Avalanche Research : Experimental test X. Ravanat, F. Ousset / *International Snow Science Workshop de Davos 2009*

Monitoring of Taconnaz avalanche path: pressure and velocity measurements on breaking mounds F. Naaim-Bouvet, M. Naaim, H. Bellot, F. Ousset, F. Marine, P. Caccamo, T. Faug / *EGU 2010, Autriche, 2-7 mai.*

French Avalanche Research : Experimental test sites X. Ravanat, F. Ousset / *International Snow Science Workshop, October 17-22, 2010 Lake Tahoe, Ca*

Lautaret full-scale avalanche experimental site terrestrial photogrammetry : preliminary developments Soruco, A., Thibert, E., Vincent, C., Blanc, R., Heno, R./*14th Alpine Glaciological Meeting, Milan, 26-27 March 2010-03-24*

Photogrammétrie terrestre appliquée à la caractérisation des avalanches, Soruco, A., Vincent, C., Thibert, E., Ousset, F., Blanc, R/ *SHE, Section de Glaciologie 31 mars-1er Avril 2010, Grenoble*

A new experimental site for the study of snow avalanches in the Aosta Valley (NW-Italy) V. Segor, M. Barbero, F. Barpi, M. Borri Brunetto, E. Bovet, A. Brulport, E. Ceaglio , B. Chiaia, D. Fassin, M. Freppaz, B. Frigo, D. Godone, M. Maggioni, O. Pallara, F. Torretta, D. Viglietti, A. Welf. *Geophysical Research Abstracts Vol. 12, EGU2010-13989-2, 2010 EGU General Assembly 2010*

Infrasound monitoring of snow avalanches in the Italian Alps M. Ripepe, G. Ulivieri, E. Marchetti, I. Chiambretti, V. Segor, L. Pitet *Geophysical Research Abstracts Vol. 12, EGU2010-PREVIEW, 2010 EGU General Assembly 2010.*

Infrasound monitoring of snow avalanches in the Italian Alps M. Ripepe, G. Ulivieri, E. Marchetti, I. Chiambretti, V. Segor, L. Pitet, P Dellavedova, 2010, Lake Tahoe - California (USA).

Snow metamorphism: a fractal approach Carbone A., Chiaia B., Frigo B., *Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, Vol. 82, 036103 (2010) - pp 036103 (1-5) - DOI: 10.1103/PhysRevE.82.036103. ISSN: 1539-3755.

Experimental analysis of snowpack effects induced by blasts Frigo B., Chiaia B., Cardu M., Giraudi A, Godio A. and Rege R, *Proceedings of ISSW 2010, October 17- 22th pagg.* 66-72, 2010, Lake Tahoe - California (USA).

Predetermination of snow avalanches release depths using a Spatial Extreme statistical approach J. Gaume, N.Eckert, G. Chambon, M. Naaim / *EGU 2010, Vienne, Autriche, 2-7 mai.*

Predetermination of snow avalanches release depths using a Finite Element Method J. Gaume, G. Chambon, M. Naaim / *Triggering of Rapid Mass Movements in Steep Terrains, Mechanisms and Risks 11 - 16 April 2010, Monte Verita, Ascona, Switzerland.*

Influence of weak layer heterogeneity on slab avalanche release using a finite element method Gaume J, Chambon G, Eckert N, Naaim M. /*Proc. International Workshop on Bifurcation and Degradation in Geomaterials.* 2011.

Interaction between soil and snow related to ground avalanche release: an experimental site in NW Italy Ceaglio, E., Freppaz, M., Maggioni, M., Stanchi, S., Ferraris, S., Canone, D. e Zanini, E../. *Triggering of Rapid Mass Movements in Steep Terrains, Mechanisms and Risks 11 - 16 April 2010, Monte Verita, Ascona, Switzerland.*

“Full-depth avalanches and soil erosion: an experimental site in NW Italy Ceaglio, E., Freppaz, M., Maggioni, M., Filippa, G., Godone, D., Zanini. E., *Geophysical Research Abstracts*, 2-7/05/2010/15565, 2010 EGU General Assembly 2010, Vienna.

Full-depth avalanches and soil erosion: an experimental site in Aosta Valley (NW Italian Alps) E. Ceaglio, M. Freppaz, G. Filippa, V. Segor, S. Ferraris e D. Canone, 2010, Lake Tahoe - California (USA).

Small-scale laboratory tests on granular avalanches around an obstacle P. Caccamo, B. Chanut, T. Faug, H. Bellot, F. Naaim-Bouvet / *EGU 2010, Autriche, 2-7 mai.*

Small-scale laboratory tests on granular avalanches overflowing a flat obstacle : flow regimes, dead zone and induced forces Caccamo P., Chanut B., Faug T., Bellot H., Naaim-Bouvet F / *Proceedings of the EPFL Doctoral Conference in Mechanics, 2010*

A hydrodynamic formulation of snow avalanche drag coefficient, Naaim, M. et al., / *International symposium on snow, ice and humanity in a changing climate, Sapporo, Japan 21–25 June 2010.*

Impact energy of an avalanche on a structure, E. Thibert, D. Barroudi, *Annals of Glaciology* 51(54), 45-54, 2009.

A new model for snow avalanche dynamics based on non-Newtonian fluids Bovet E., Chiaia B. e Preziosi L. - *Meccanica Volume 45, Issue 6 (2010), Page 753-765*

“Numerical analysis of snow avalanche mechanics and of its interaction with structures E. Bovet, B. Chiaia, and L. Preziosi. *XIX Congresso AIMETA*, Ancona, 14 – 17 settembre 2009

Two dimensional numerical analysis of snow avalanche interaction with structures” E. Bovet, B. Chiaia, L.Preziosi, *Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-1857-1*, 2010 EGU General Assembly 2010, Vienna

Interaction avalanche obstacle: a first attempt of comparison between a real case study and numerical simulations E. Bovet, B. Chiaia, L.Preziosi, *Proceedings of ISSW 2010, October 17- 22th pagg.* 724-729, 2010, Lake Tahoe - California (USA).

Prédétermination des hauteurs de départ d’avalanches : Une approche par extrêmes spatiaux Gaume, J., Eckert, N., Chambon, G., Naaim, M.. *Proceedings colloque SHF : «Eaux en montagne», Lyon, 16-17 mars 2011.* pp 145-152.

Using spatial and spatial-extreme statistics to characterize snow avalanche cycles. Eckert, N., Gaume, J., Castebrunet, H. (2011). 1st Conference on Spatial Statistics 2011: Mapping Global Change. 23-25 March 2011, University of Twente, Enschede, The Netherlands. *Procedia Environmental Sciences*, 6p.

Equation for the force experienced by a wall overflowed by a granular avalanche: experimental verification Faug, T., Caccamo, P., Chanut, B. 2011 *Physical Review E*, vol. 84, n° 5, 7 p

Effects of flow regime and sensor geometry on snow avalanche impact pressure measurements Baroudi, D., Sovilla, B., Thibert, E. 2011 *Journal of Glaciology*, vol. 57, n° 202, p. 277-288.

Using spatial and spatial-extreme statistics to characterize snow avalanche cycles Eckert, N., Castebrunet, H., Gaume, J. 2011 *Procedia Environmental Sciences*, vol. 7, p. 224-229

Experiments on a dry granular avalanche impacting an obstacle: dead zone, granular jump and induced forces Caccamo, P., Faug, T., Bellot, H., Naaim-Bouvet, F. 2011. *VI International Conference on Fluid*

Structure Interaction of WIT A.J.Kassab; C.A. Brebbia; E.A. Divo; S. Hernandez Orlando, USA. *FluidStructure Interaction VI, WIT Transactions on the Build Environment*, (Eds). p. 53-62

Prédétermination des hauteurs de départ d'avalanches : une approche par extrêmes spatiaux Gaume, J., Eckert, N., Chambon, G., Naaim, M. 2011. *Colloque SHF : «Eaux en montagne» 16/03/2011-17/03/2011, Lyon, FRA. 8 p*

Effects of flow regime and sensor geometry on snow avalanche impact pressure Baroudi, D., Sovilla, B., Thibert, E. 2011. *EGU General assembly 2011 03/04/2011-08/04/2011, Vienne, AUT. 1 p*

Force from granular flows on a wall-like obstacle: contribution to snow avalanche dam design Chanut, B., Faug, T., Naaim, M. 2011. *EGU General assembly 2011 03/04/2011-08/04/2011, Vienne, AUT. 1 p*

Influence of weak layer heterogeneity on slab avalanche release: Finite Element Modeling. Gaume, J., Chambon, G., Naaim, M., Eckert, N. 2011. *EGU General assembly 2011 03/04/2011-08/04/2011, Vienne, AUT. 1 p*

Comparison between three avalanche test sites in north-western Alps as developed in the DYNAVAL-Alcotra project. Pitet, L., Segor, V., Naaim-Bouvet, F., Bellot, H., Caccamo, P., Naaim, M., Ousset, F., Thibert, E., Ravanat, X., Faug, T., Maggioni, M., Bruno, E., Godone, D., Ceaglio, E., Viglietti, D., Freppaz, M., Barbero, M., Barpi, F., Borri-Brunetto, M., Bovet, E., Chiaia, B., De Biagi, V., Frigo, B., Pallara, O. 2011. *EGU General assembly 2011 03/04/2011-08/04/2011, Vienne, AUT*

[37] Small-scale tests on granular avalanches against various types of flat obstacles Caccamo, P., Faug, T., Bellot, H., Ousset, F., Naaim-Bouvet, F. 2011 *EGU General assembly 2011 03/04/2011-08/04/2011, Vienne, AUT.*

Preliminary measurements and surveys at the Italian avalanche test site Punta Seehore M. Barbero, F. Barpi, L. Bornaz, M. Borri-Brunetto, E. Bovet, E. Bruno, E. Ceaglio, B. Chiaia, V. De Biagi, D. Fassin, M. Freppaz, B. Frigo, D. Godone, M. Maggioni, O. Pallara, L. Pitet, V. Segor, F. Torretta, D. Viglietti, A. Welf, E. Zanini *EGU General assembly 2011 03/04/2011-08/04/2011, Vienne, AUT.*

Back-calculation of small-size avalanches with the 2D avalanche dynamics model RAMMS: four events artificially triggered at the Seehore test site in Aosta Valley (NW Italy). M. Maggioni, M. Freppaz, M. Christen, P. Bartelt and E. Zanini

Analysis of continuous snow temperature profiles from automatic weather stations in Aosta Valley (NW Italy). M. Maggioni, G. Filippa, M. Freppaz and E. Zanini

Different surveys techniques to assess the snow erosion and deposition at the Punta Seehore test site. Eloïse Bovet, Bernardino Chiaia, Margherita Maggioni, Danilo Godone, Michele Freppaz.

Practical outputs for avalanche experts from two research projects in Aosta Valley (NW Italy). V. Segor, L. Pitet, B. Frigo, B. Chiaia, M. Maggioni, Freppaz and E. Zanini

A characterization of snow gliding and potential predisposing factors in a full-depth slab avalanche release area (Valle d'Aosta, NW Italian Alps). E. Ceaglio, G. Filippa, M. Freppaz, s. Ferraris, E. Zanini, V. Segor.

Snowpack effects induced by blasts: experimental measurements vs theoretical formulas B. Frigo, M. Cardu, B. Chiaia.

En outre :

Articles scientifiques anglophones à comité de lecture

Caccamo P., Chanut B., Faug T., Bellot H., Naaim-Bouvet F., 2012, **Small-scale tests to investigate the dynamics of finite-sized dry granular avalanches and forces on a wall-like obstacle**, *Granular Matter*, in press.

Gaume J., Chambon G., Eckert N. & Naaim M., 2012. **Relative influence of mechanical and meteorological factors on avalanche release depth distributions: An application to French Alps**. *Geophys. Res. Lett.*, in press.

Articles francophones

Naaim M., Naaim-Bouvet F., Faug T., Bellot H., Eckert N., Caccamo P., Ousset F. 2012. **Amélioration et suivi du dispositif paravalanche de Taconnaz**. *Neige et avalanches*, 137, 10

Articles de presse scientifique

Bellot H., Naaim-Bouvet F., Bernard F., **Retour d'expériences : Surveiller le comportement des avalanches par l'acquisition de données**, *Contrôles-Essais-Mesures*, n°37, Octobre-Novembre-décembre 2011.

Avalanches : du laboratoire aux couloirs, *La Recherche*, n°463, 55-58.

Communications dans des congrès

Bellot, H., Naaim-Bouvet, F., Faug, T., Naaim, M., Caccamo, P., Ousset, F. (2012). **Suivi du couloirs avalancheux de taconnaz : mesures de pression et de vitesse sur des tas freineurs**. Koboltschnig G, Hübl J, Braun J (Eds.), 12th Congress Interpraevent 2012. International Research Society Interpraevent, Grenoble, France, pp. 25-36.

J. Gaume, G. Chambon, N. Eckert, and M. Naaim, **Influence of weak layer heterogeneity on slab avalanche release. Application to the evaluation of avalanche release depths**, European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, 22 – 27 April.

J. Gaume, G. Chambon, N. Eckert, and M. Naaim, **Relative influence of mechanical and meteorological factors on avalanche release depth distributions. Application to French Alps**, European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, 22 – 27 April.

P. Caccamo, F. Naaim-Bouvet, H. Bellot, F. Ousset, and T. Faug, **Experimental measurements on a powder avalanche impacting an obstacle: 3D velocity field and exerted pressures**, European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, 22 – 27 April.

H. Bellot, F. Naaim-Bouvet, T. Faug, M. Naaim, P. Caccamo, and F. Ousset, **First measurements of pressure and velocity on breaking mounds in Taconnaz avalanches path : Event of 29th December 2010**, European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, 22 – 27 April.

T. Faug, B. Chanut, P. Caccamo, and M. Naaim, **Physically-sound scaling laws for snow avalanche impact pressure**, European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, 22 – 27 April.

ACTION 8 : **Coordination des activités**

Le Comité de Pilotage (CP) a été constitué le 05.06.2009

Les membres du Comité de Pilotage sont :

BARPI Fabrizio

CHIAIA Bernardino

ECKERT Nicolas

FAUG Thierry

FREPPAZ Michele

MAGGIONI Margherita

NAAIM Florence

THIBERT Emmanuel

SEGOR Valerio

Le Président du CP est M. V. SEGOR

Le Secrétariat du CP est assuré par la Région Vallée d'Aoste

Le CP assure la coordination technique et administrative du projet.

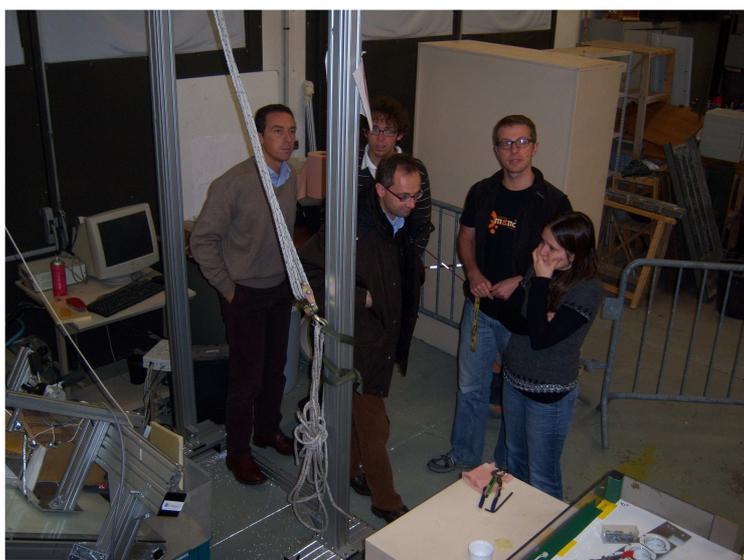
Réunions du CP : Sept réunions ont eu lieu : le 19.01.2009, 05.06.2009, le 20.11.2009 et le 05-06.07.2010, le 18-19 novembre 2010, le 14.02.2011 et le 09.06.2011.



Réunion à l'Istituto Mosso du 05/07/2010



Visite de terrain à Taconnaz 05/06/2009



Visite aux laboratoires Cemagref du 19/11/2010