

Adaptation du Domaine Skiable d'Isola 2000 aux Futurs Défis Environnementaux

ALPIMED



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

Interreg

ALCOTRA

Fonds européen de développement régional
Fondo europeo di sviluppo regionale



UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

IMREDD

INSTITUT D'INNOVATION

ET DE PARTENARIATS

LE BLEVENNEC Yoann

IMREDD

04/05/2022

Table des matières

| | | |
|-----|---|----|
| I. | Contexte du projet | 2 |
| II. | Living Lab CLIMA de INNOV | 8 |
| A. | Damage et production de neige | 8 |
| B. | Remontées mécaniques | 11 |
| 1) | <i>Instrumentation de la remontée</i> | 11 |
| 2) | <i>Variation de la vitesse des remontées mécaniques</i> | 12 |
| 3) | <i>Anticipation des chutes</i> | 13 |

Table des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Modélisations de l'évolution de la température minimale moyenne en janvier à Isola 2000 | 2 |
| Figure 2 : Modélisations de l'évolution de la température maximale moyenne en janvier à Isola 2000 | 3 |
| Figure 3 : Evolution des précipitations à Isola 2000 en fonction des mois | 4 |
| Figure 4 : Simulation du potentiel de neige en décembre à Isola 2000 | 5 |
| Figure 5 : Simulation du potentiel de neige en janvier à Isola 2000 | 5 |
| Figure 6 : Simulation du potentiel de neige en février à Isola 2000 | 6 |
| Figure 7 : Simulation du potentiel de neige en mars à Isola 2000 | 6 |
| Figure 8 : Positionnement des capteurs sur la dameuse Kässbohrer | 9 |
| Figure 9 : Vue dans la dameuse | 9 |
| Figure 10 : Ecran de visualisation SNOWsat | 10 |
| Figure 11 : Schéma du système de variation de vitesse d'une remontée mécanique en fonction de l'affluence | 13 |
| Figure 12 : Schéma d'une solution anticipant le risque de chutes des skieurs | 14 |

I. Contexte du projet

Isola 2000 est une station de ski au cœur d'un environnement culturel et naturel entre le Parc national du Mercantour et le Parc naturel des Alpes-Maritimes, située à 1h30 de la Côte d'Azur et à la frontière de l'Italie. Du haut de ses 2000 mètres d'altitude, cette station est la plus haute des Alpes-Maritimes et des Alpes du Sud.

Malgré sa situation géographique privilégiée, cette station est exposée, comme les autres, à une hausse des températures et à une modification des régimes de précipitation. Un dérèglement climatique étant constaté, il est présent indispensable de modéliser et de simuler l'évolution des futures températures et précipitations afin de pouvoir élaborer des stratégies d'adaptation. Cela permettra ainsi de fiabiliser le domaine skiable et de réduire sa vulnérabilité.

Dans cette optique d'anticipation et d'adaptation, Nicolas Martin, maître de conférences en géographie au sein de l'Université Côte d'Azur a réalisé une étude de l'impact du changement climatique sur Isola 2000 (DEADEN). Deux scénarios de cette étude peuvent être mis en exergue. Le premier étant le cas le plus favorable alors que le second est le plus pessimiste. Ces deux scénarios sont les RCP 2.6 et RCP 8.5. Un scénario RCP (Representative Concentration Pathway) permet de modéliser le climat futur. Le numéro du scénario RCP correspond au forçage radiatif en W/m^2 . Plus le numéro est élevé, plus le forçage radiatif est important et moins le scénario sera favorable au bien-être des populations. Deux modèles ont, de plus, été utilisés pour les différentes simulations. Ces modèles sont les RegCM 4.6 et ALADIN 6.3. Quatre cas sont alors à prendre en compte pour l'exploitation des résultats.

La neige naturelle, comme la neige de culture, est dépendante de la température de l'air. En effet, si cette dernière est trop élevée, la formation de flocons de neige est impossible. C'est pourquoi, il est indispensable pour un domaine skiable de simuler les variations de température au cours des prochaines décennies. Les figures 1 et 2 représentent ainsi l'évolution des températures minimales et maximales de la station d'Isola 2000.

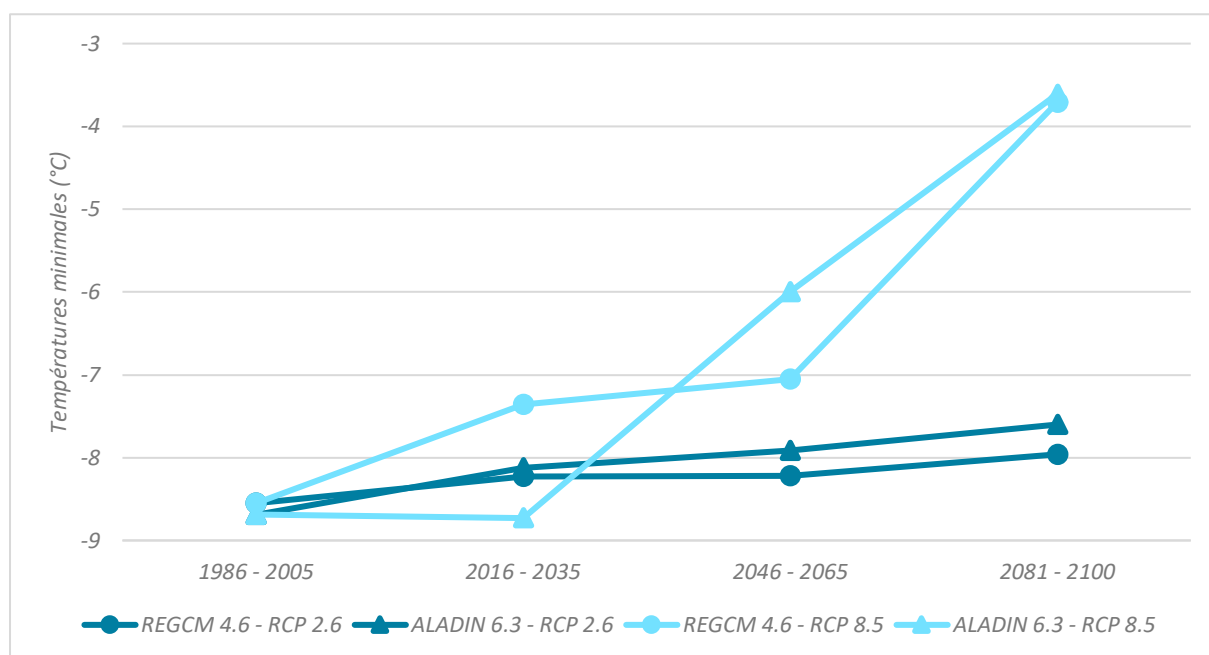


Figure 1 : Modélisations de l'évolution de la température minimale moyenne en janvier à Isola 2000

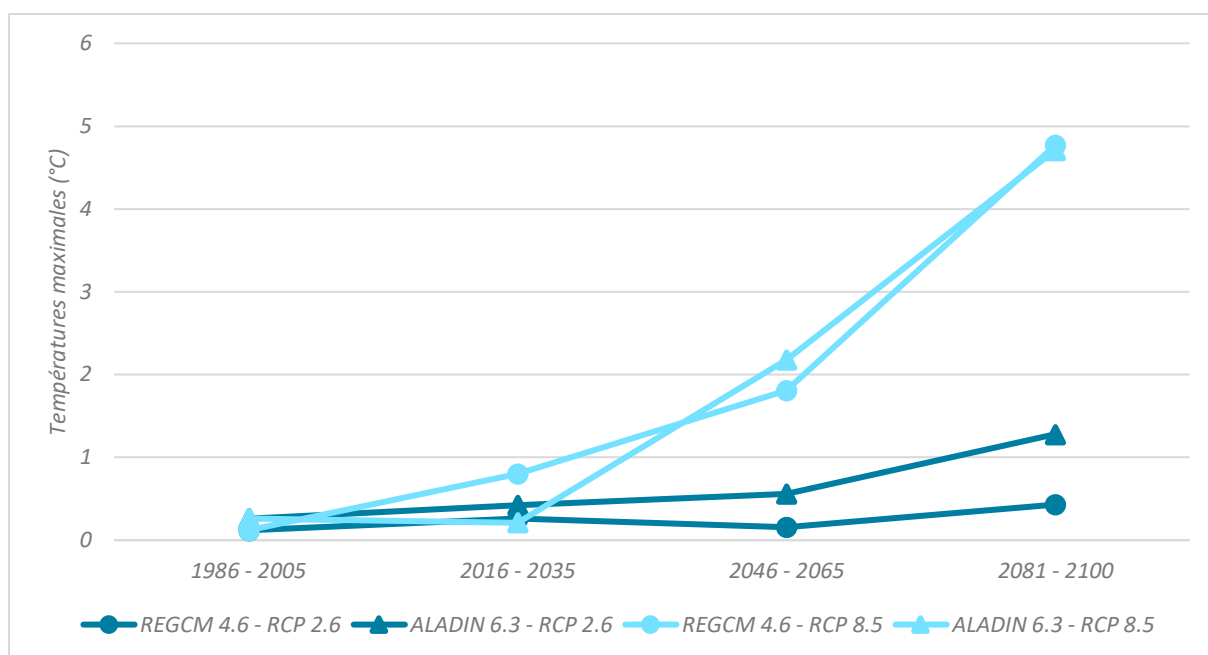


Figure 2 : Modélisations de l'évolution de la température maximale moyenne en janvier à Isola 2000

Il est aisé de constater qu'il y a une importante différence entre le scénario le plus favorable et le plus pessimiste. Concernant les températures minimales ou maximales, l'évolution entre 1986 et 2100 est mineure dans le meilleur des cas. En effet, il y a seulement une augmentation de l'ordre d'un degré pour le scénario RCP 2.6. Malgré une indéniable influence sur le taux d'enneigement, cette évolution devrait tout de même permettre à la station de ski d'Isola 2000 de conserver une activité sur son domaine skiable. Cependant, le scénario RCP 8.5 promet un avenir réellement différent à cette station des Alpes du Sud. Avec une augmentation des températures minimales comme maximales de l'ordre de 5°C, la formation de flocons de neige risque d'être très rare et le maintien de la neige naturelle sur les pistes de ski risque, quant à lui, d'être utopique.

En plus d'avoir un impact sur les températures, le dérèglement climatique devrait aussi avoir un impact sur les précipitations, et cela dans le monde entier. Des régions deviendront plus arides et d'autres seront plus susceptibles à d'importantes périodes de sécheresse. C'est pourquoi, l'évolution des précipitations a aussi été modélisée dans le cadre du projet DEADEN. La figure 3 permet de montrer cette évolution en fonction des différentes périodes de l'année. Le scénario retenu pour cette modélisation est le RCP 8.5, soit le cas le moins favorable.



Figure 3 : Evolution des précipitations à Isola 2000 en fonction des mois

Il est difficile d'émettre une conclusion concernant la direction de l'évolution des précipitations. En effet, il semblerait que les averses seront moins fréquentes au cours des prochaines décennies. Nonobstant, il est possible qu'il y ait un accroissement de la quantité de pluie ou de neige selon les scénarios et les périodes de l'année. Une chose est cependant certaine, les précipitations des années futures seront différentes de celles actuelles. La gestion de la neige de culture est alors un point essentiel pour une station de ski comme Isola 2000.

En combinant les simulations de l'évolution de la température et des précipitations, il est possible d'estimer un potentiel de neige en fonction de la situation géographique. Les figures 4, 5, 6 et 7 permettent de visualiser ce potentiel d'enneigement pour, respectivement, les mois de décembre, janvier, février et mars. Le scénario et le modèle retenu sont les suivants : RCP 8.5, RegCM 4.6. La partie blanche correspond, à l'échelle d'une journée moyenne, à la zone où la température moyennée (T_m) est négative à 2m au-dessus du sol. Cette température est calculée à l'aide de la formule ci-dessous :

$$T_m = \frac{2 \cdot T_{min} + T_{max}}{3}$$

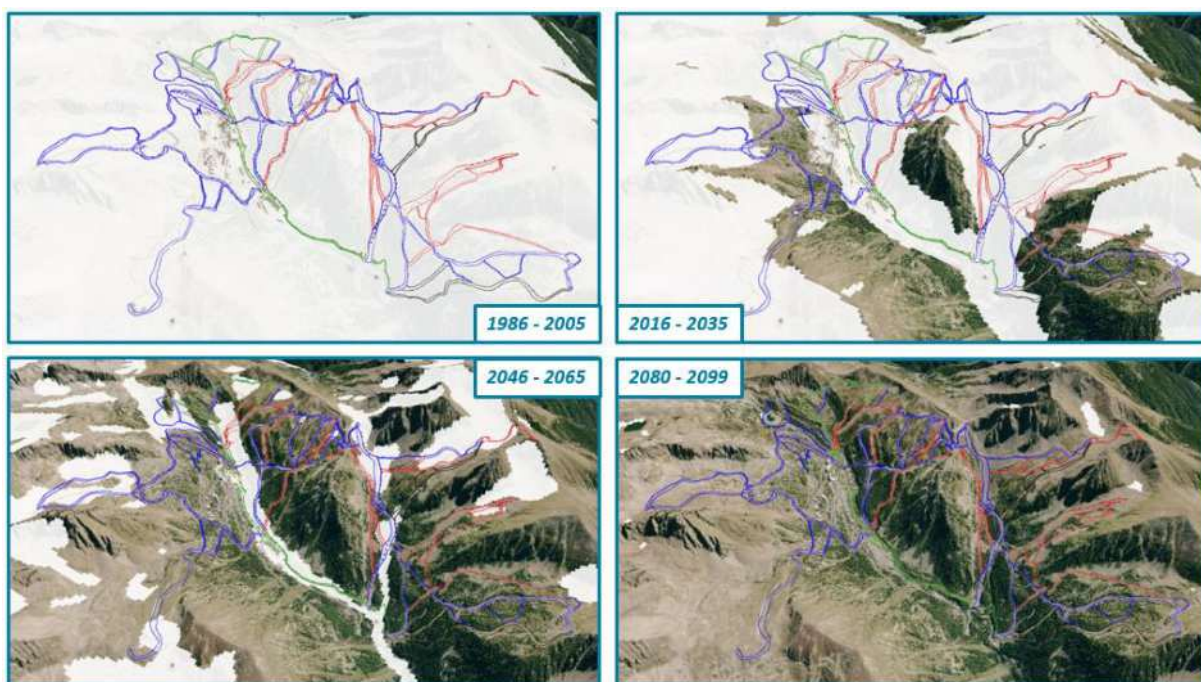


Figure 4 : Simulation du potentiel de neige en décembre à Isola 2000

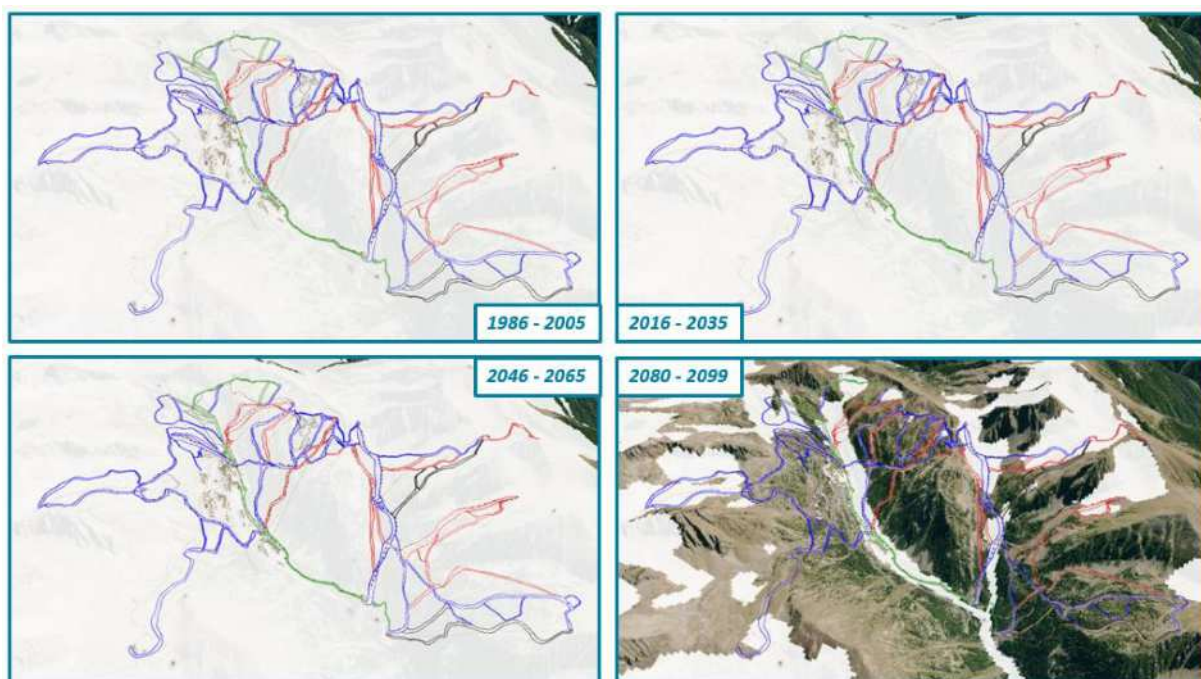


Figure 5 : Simulation du potentiel de neige en janvier à Isola 2000

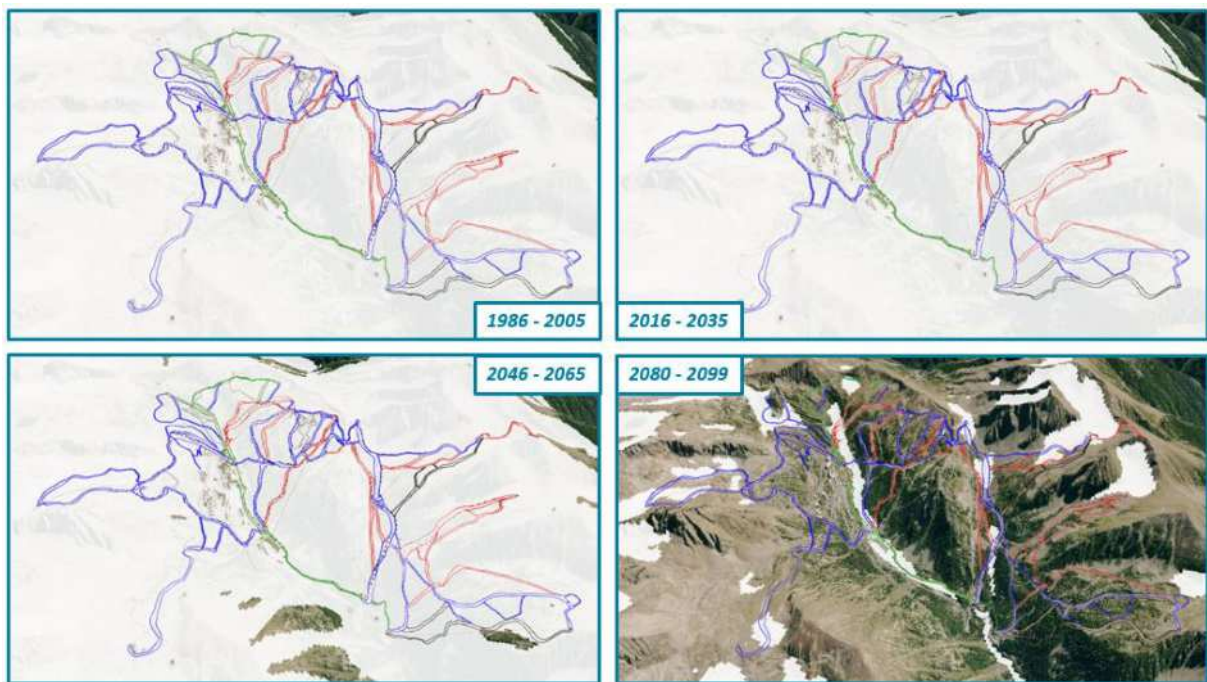


Figure 6 : Simulation du potentiel de neige en février à Isola 2000

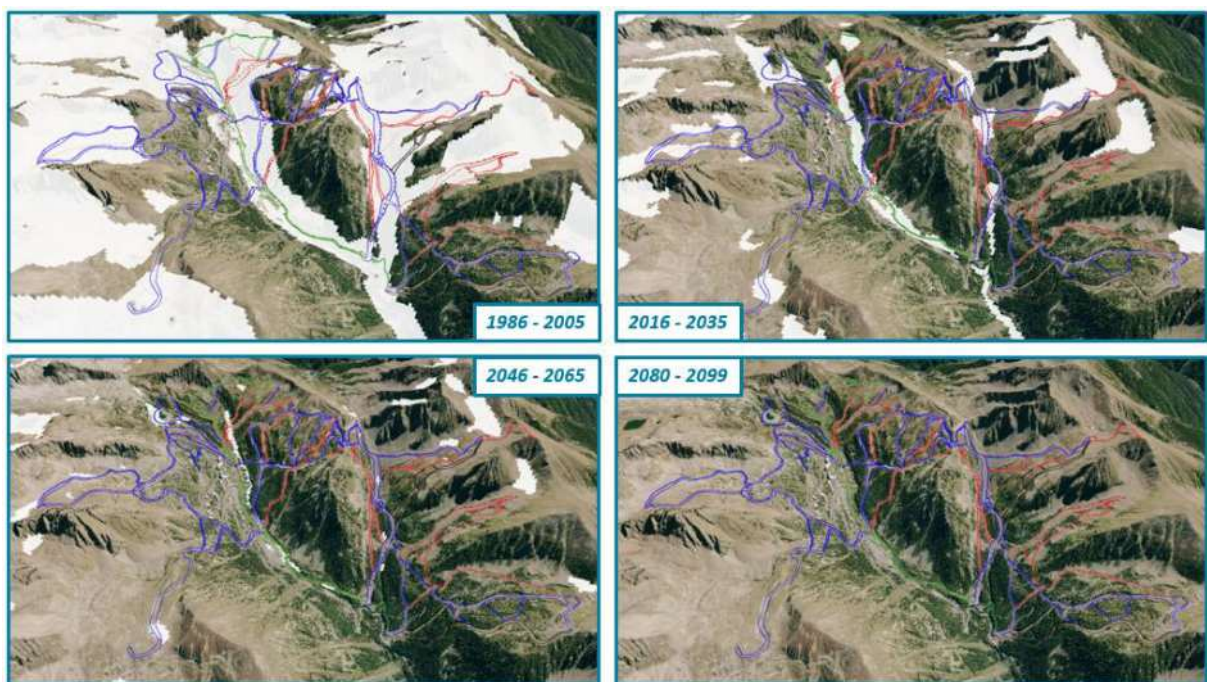


Figure 7 : Simulation du potentiel de neige en mars à Isola 2000

Une nette évolution du manteau neigeux serait à prévoir avec cette simulation. L'impact du dérèglement climatique serait moindre au cœur de l'hiver durant les décennies qui arrivent. Cependant, en dehors de cette plage temporelle, une forte diminution du potentiel de neige risque de toucher la station. Le domaine skiable sera, sans nul doute, seulement praticable sur une plage de

temps réduite, voire impraticable à l'horizon 2100 si les émissions de gaz à effet de serre ne baissent pas d'ici là.

Le changement climatique est, de nos jours, quelque chose d'incontestable. La réduction de l'enneigement qui est en découle nécessite alors d'élaborer des stratégies d'adaptation pour des stations de ski telles qu'Isola 2000. Ce qui est primordial est la prise de conscience des différents acteurs impactés. C'est pourquoi, il fut indispensable de réaliser une modélisation climatique de la région à très fine échelle spatiale permettant de caractériser l'évolution des températures et des précipitations. Cela permet ainsi d'avoir un support de travail démontrant la nécessité d'un devoir d'adaptation du domaine skiable.

Une fois cela réalisé, il est indispensable de proposer et de mettre en place des actions concrètes dans le but de fiabiliser le domaine skiable et de réduire sa vulnérabilité. Des solutions d'économie d'électricité et d'eau permettraient donc de réduire les besoins en énergie ainsi que la facture énergétique et les émissions de gaz à effet de serre associées. Face au dérèglement climatique, deux aspects sont mis en valeur dans ce projet : la lutte et l'adaptation.

II. Living Lab CLIMA de INNOV

Dans le cadre du Piter Alpimed et des programmes INNOV et CLIMA, différentes expérimentations ont été mises en place au sein du territoire Alpimed. A la recherche de propositions en lien avec les thématiques abordées et répondant aux besoins du territoire, un groupe d'étude a réalisé un premier brainstorming. Cela a découlé sur de nombreuses pistes de réflexion regroupées en six thématiques : hydrogène, biomasse, bâtiments, hydroélectricité, remontées mécaniques et production de neige. En étudiant les avantages et les inconvénients de ces propositions, seules les deux dernières ont été retenues. Ces choix ont été réalisés car il aurait sans doute été difficile, voire impossible, pour les autres thématiques d'obtenir une preuve de faisabilité, ou bien, parce que cela ne s'inscrivait tout simplement pas dans le contexte des programmes.

Un domaine skiable est majoritairement composé de trois secteurs énergivores qui sont la production de neige, l'entretien des pistes et les remontées mécaniques. Deux expérimentations, en lien avec ces secteurs, ont alors été réalisées. La première lie la production de neige de culture à l'entretien des pistes. Le but étant d'optimiser la production de neige de culture. La seconde, focalisée sur les remontées mécaniques a pour enjeu d'adapter la vitesse d'une remontée mécanique afin de générer des économies d'énergies.

A. Damage et production de neige

L'objectif de la première expérimentation est d'optimiser énergétiquement la production de neige de culture. Pour faire cela, il est indispensable de parfaitement connaître la quantité de neige sur le domaine skiable. La solution retenue permettant de connaître, avec précision, l'épaisseur de neige sur les pistes est la mise en place d'un GPS dans une des neuf dameuses de la station. Ce système est un GPS SNOWsat et développé par Kässbohrer.

Une cartographie du domaine skiable fut tout d'abord nécessaire. Celle-ci permet d'identifier les reliefs du domaine skiable. Trois capteurs sont présents au niveau de la lame de la dameuse. Avec la position géographique des capteurs, il est alors possible de connaître la différence de hauteur entre la dameuse et le relief de la montagne. Cette différence correspond à la hauteur de la neige. Le système permet de constater une épaisseur de neige avec une précision de plus ou moins quatre centimètres. La figure 8 permet de visualiser le positionnement des capteurs sur la dameuse.

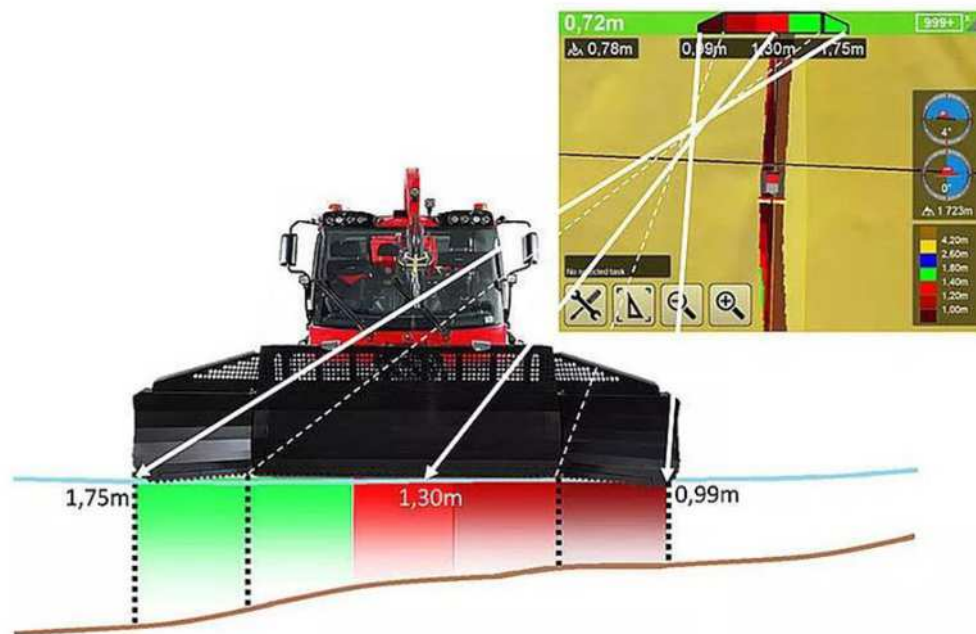


Figure 8 : Positionnement des capteurs sur la dameuse Kässbohrer

Les données mesurées sont affichées en temps réel sur un écran au sein de la cabine. L'opérateur a ainsi une parfaite connaissance de la répartition de la neige sur la piste où il est présent. Il y a, de plus, l'affichage du passage du véhicule sur l'écran. Tout cela permet ainsi à l'opérateur d'optimiser sa tournée. Kässbohrer promet, en effet, une économie de temps de fonctionnement de 5% et de 8% de carburant. La figure 9 offre la possibilité de voir la vue de l'opérateur dans la dameuse. L'écran de droite est initialement présent dans la cabine et permet de gérer différents paramètres du véhicule. L'écran de gauche est l'écran SNOWsat permettant la visualisation, entre autres, de la hauteur de neige.



Figure 9 : Vue dans la dameuse

Grâce à une légende et un jeu de couleurs, la technologie SNOWsat permet de visualiser aisément la répartition de la neige sur la piste. La figure 10 est une photo de l'écran de visualisation. Cette photo a été prise lors d'un passage de la machine équipée du GPS sur la piste Merlier, une des pistes du domaine skiable d'Isola 2000.

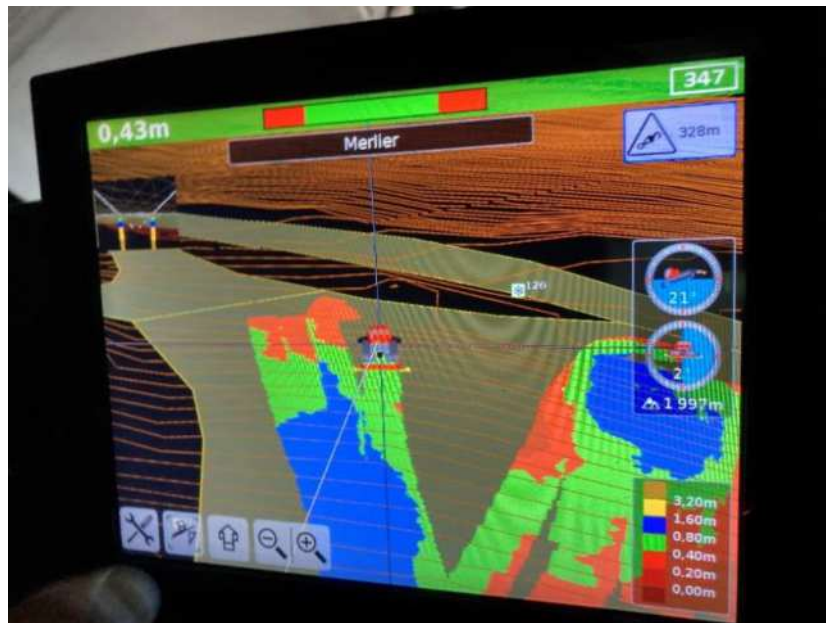


Figure 10 : Ecran de visualisation SNOWsat

En plus de connaître l'épaisseur de neige sous la dameuse, il est possible d'apercevoir les canons à neige et les points d'ancrage permettant au véhicule de s'attacher à l'aide d'un treuil. Le treuil est nécessaire lorsque la pente de la piste est considérable. Cet outil est aussi une aide à la conduite lorsque la visibilité est réduite. En effet, grâce à une parfaite localisation du véhicule, l'opérateur peut se guider à l'aide de cette technologie en période de fort brouillard ou de rafales de neiges.

A l'heure actuelle, une seule dameuse est équipée du GPS SNOWsat et trois opérateurs ont été formés à utiliser cette technologie. L'objectif serait cependant d'équiper l'intégralité des dameuses d'Isola 2000 de la solution développée par Kässbohrer.

Une fois les données acquises, elles sont transmises par Wi-Fi lors du retour du véhicule au garage à un webserver. Il est alors possible de visualiser et de traiter ces dernières grâce à une plateforme intuitive. Ces données sont particulièrement utiles au quotidien du snowmaker.

En terme de neige de culture, l'entreprise allemande prévoit une économie de 15% avec l'utilisation de la technologie SNOWsat. Cela est loin d'être négligeable et générerait d'importantes économies financières et énergétiques. En effet, la neige de culture est produite à partir d'eau stockée dans un bassin de rétention. Il est tout d'abord indispensable de pomper l'eau depuis la rivière, jusqu'à ce bassin. Cette première action nécessitant un apport électrique est suivie de la production de neige à l'aide de canons à neige. C'est cette seconde action qui est particulièrement énergivore.

Afin d'avoir une idée économique de l'impact d'une réduction de la quantité de neige de culture, il est possible de réaliser un simple calcul. Le coût de production de la neige est estimé aux alentours de 2€/m³. Si sur une piste de 2 km de long et de 50 m de largeur, l'utilisation du GPS SNOWsat permet une meilleure répartition de la neige sur l'ensemble de la piste et génère une réduction de 10 cm

d'épaisseur moyenne, il serait possible d'obtenir une économie de 20 000€. Si cela a lieu de nombreuses fois au cours de la saison hivernale et dans l'intégralité du domaine skiable, il serait envisageable de générer d'importantes économies financières. En plus de cela, la réduction de coûts annexes liés au damage est aussi à prendre en compte.

En terme d'adaptation aux conséquences du dérèglement climatique, l'économie de neige de culture est aussi réellement importante. En effet, la fenêtre offrant la possibilité de créer de la neige est actuellement faible. Elle dépend des conditions météorologiques telles que la température de l'air, l'humidité relative et le vent. En cas de forte présence de vent, il est impossible de réaliser de la neige de culture. La création de neige nécessite une faible température et une importante humidité. Avec une augmentation de la température due au dérèglement climatique, la fenêtre de production sera alors réduite. Il est donc évident qu'une réduction du besoin en neige de culture va dans le sens de cette adaptation.

B. Remontées mécaniques

La remontée mécanique choisie pour l'expérimentation est le télésiège Combe Grosse. Cette dernière présente l'avantage d'être en activité en hiver comme en été. Cela permet ainsi de récolter des données sur une large période de l'année.

La deuxième loi de Newton mentionne qu'une force résultante exercée sur un objet est égale au produit de la masse de cet objet par son accélération. Dans le cas d'une remontée mécanique, la puissance instantanée du système et donc la consommation énergétique associée dépendent alors de l'accélération. Concrètement, une augmentation de l'accélération a lieu lors d'une intensification de la vitesse ou lors d'un redémarrage faisant suite à un arrêt de la machine. C'est particulièrement ce dernier point qui est la source d'une forte accélération. C'est pourquoi, d'un point de vue énergétique, il est préférable de limiter le nombre d'arrêts, quitte à devoir opter pour d'importants ralentissements.

1) Instrumentation de la remontée

Une fois la théorie exposée, il est alors nécessaire de la démontrer grâce à un cas réel. C'est pourquoi, la première partie de cette expérimentation est l'instrumentation de la remontée mécanique Combe Grosse par de nombreux capteurs. Différents paramètres tels que le courant, la puissance du moteur, la vitesse linéaire du câble ou bien la température extérieure ont été mesurés. La température semble obsolète vis-à-vis des autres paramètres mais elle est, en réalité, indispensable à l'exploitation des résultats. En effet, le rendement d'un moteur dépend de nombreuses conditions dont sa température. Comme beaucoup de machines, lorsqu'un moteur s'échauffe, il devient moins performant. Il est alors nécessaire de le refroidir et il est bien évidemment plus facile de le refroidir lorsque la température n'est pas trop élevée. Cela est ainsi valable pour la saison estivale mais durant l'hiver, c'est une très basse température qui peut être problématique.

La seconde étape de cette expérimentation fut l'analyse et le traitement des données récoltées. Cette étape fut essentielle quant à la direction à donner à ce projet. Le choix était alors binaire. Si la relation entre accélération de la remontée et consommation énergétique est démontrée, il est alors intéressant de continuer dans cette direction et de mettre en place un quelconque système permettant, à partir des résultats obtenus, de réaliser des économies d'énergie. Dans le cas contraire, si aucun gain énergétique est prouvé à l'aide de cette instrumentation, il ne semble alors pas avoir d'intérêt de consacrer des ressources humaines comme économiques à la mise en place d'une solution technologique sur une remontée mécanique.

Deux systèmes ont été imaginés dans le but de générer des économies d'énergie. Le premier est la variation de vitesse de la machine en fonction de l'affluence. Le second est un dispositif permettant d'anticiper les risques de chutes et de limiter ainsi le nombre d'arrêts.

2) Variation de la vitesse des remontées mécaniques

Le système imaginé serait une caméra dotée d'une intelligence artificielle capable de quantifier le nombre de skieurs devant la remontée mécanique. L'espace d'attente au pied de la remontée, plus communément appelé espace tampon est une zone délimitée par les bornes SKIDATA à l'entrée et les cellules photoélectriques à l'autre extrémité. Les bornes comme les cellules sont des moyens de comptage de personnes. Nonobstant, les bornes permettent en plus d'autoriser ou non l'accès grâce au passage du forfait. La caméra serait alors située proche des cellules photoélectriques et dirigées de manière à avoir une parfaite vue sur la zone tampon. Cette position a l'intérêt de ne pas comptabiliser une population immobile en attente de partenaires de descente. Le comptage de personnes se ferait grâce à une intelligence artificielle ayant la capacité d'identifier des personnes.

Une fois le nombre de personnes dans la zone tampon détecté, le système traite cette information et détermine une vitesse idéale en fonction de l'affluence. Si l'affluence est élevée, la vitesse escomptée est alors la vitesse nominale de l'appareil. Celle-ci permet d'évacuer un maximum de personnes de l'espace en amont des cellules photoélectriques. Le temps d'attente des skieurs est alors optimisé et la qualité du service n'est donc pas détériorée. Dans le cas opposé, si la foule est très faible, il est envisageable de réduire la vitesse de la remontée mécanique dans le but de réduire la consommation énergétique de l'appareil. Toujours dans une optique de qualité du service proposé par la station, la différence entre la vitesse nominale et celle imaginée par l'intelligence artificielle sera moindre, non discernable par les skieurs et ne générera pas de temps d'attente supplémentaire.

Avec la volonté de la part de la station d'Isola 2000 de ne pas remplacer les nombreux emplois par des automates mais bien de faciliter les différentes tâches grâce aux avancées technologiques, le système doté de l'intelligence artificielle ne prendra pas le contrôle de la machine. La solution identifiera une vitesse idéale en fonction de l'affluence et la proposera à l'opérateur. C'est bien ce dernier qui aura le choix de varier, ou non, la vitesse de la remontée. L'opérateur aura, bien évidemment, préalablement été formé à une éco-conduite et à l'utilisation de cette solution.

Le fonctionnement de ce premier procédé d'aide à une éco-conduite est schématisé sur la figure 11. Les points bleus représentent des skieurs.

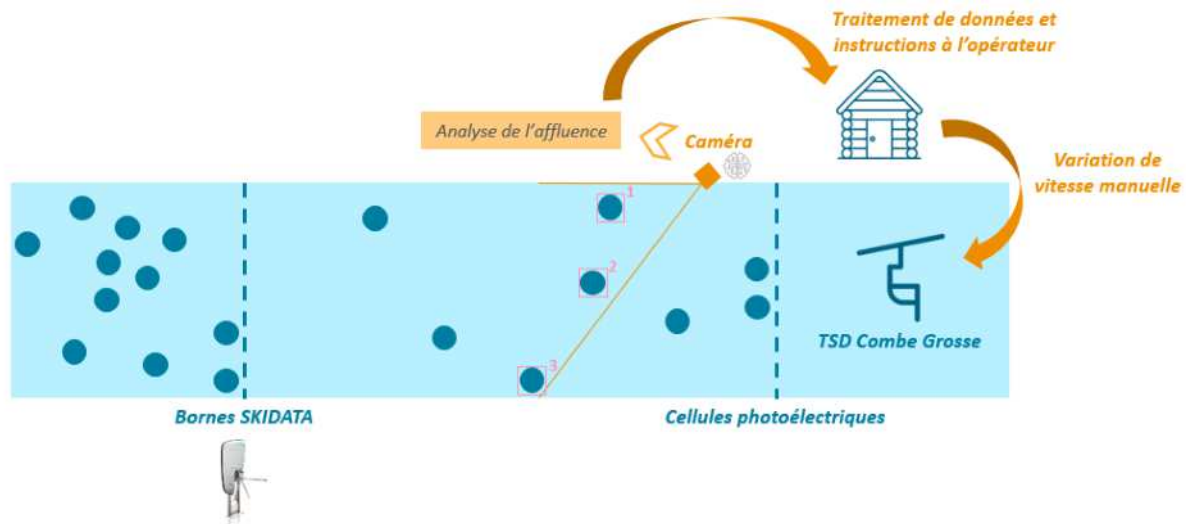


Figure 11 : Schéma du système de variation de vitesse d'une remontée mécanique en fonction de l'affluence

3) Anticipation des chutes

Les chutes en amont comme en aval des remontées mécaniques sont la principale source d'arrêts et de redémarrages de la machine. Cela influe donc sur la consommation énergétique de ces machines. En plus de cela, ces chutes peuvent entraîner des blessures aux skieurs et particulièrement lorsqu'elles arrivent suite à un contact avec un télésiège non débrayable. Certains télésièges sont débrayables, ce qui veut dire que la vitesse des sièges au moment de la montée ou de la descente de la remontée est réduite. Les télésièges non débrayables ne permettent pas cette réduction de vitesse et les sièges arrivent donc à une vitesse importante et les risques d'heurter, voire de blesser, les skieurs non vigilants ou mal positionnés sont non négligeables. Pour toutes ces raisons, un système anticipant le risque de chutes semble pertinent.

Tout comme la première solution envisagée, celle-ci serait dotée d'une caméra munie d'une intelligence artificielle. Cette caméra serait, néanmoins, orientée différemment et de façon à voir parfaitement les skieurs s'apprêtant à prendre la remontée ainsi que les sièges sur le point d'arriver. Il est, par similarité, envisageable de mettre ce système, en haut, lors de la descente de la machine. Suivant la position et la taille des skieurs (les enfants étant plus sujet à une chute), ainsi que l'emplacement des sièges, la solution déterminera une probabilité de risque de chute. Si celle-ci est trop élevée, une consigne sera envoyée à l'opérateur afin que ce dernier puisse faire varier manuellement la vitesse et donc réduire ce risque de chute.

Une diminution de la consommation énergétique est donc envisageable du fait de la réduction de redémarrages nécessaires et un gain de qualité du service serait alors indéniable. Le fonctionnement de ce procédé, développé par PyxisAI, est schématisé en figure 12.

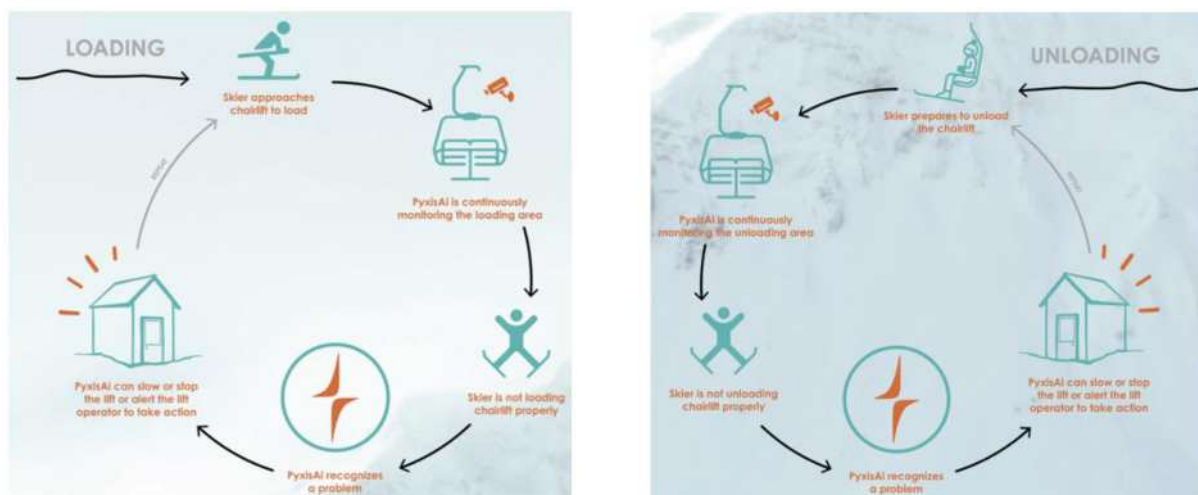


Figure 12 : Schéma d'une solution anticipant le risque de chutes des skieurs

ALPIMED



Interreg
ALCOTRA

Fonds européen de développement régional
Fondo europeo di sviluppo regionale

Adaptation du Domaine Skiable d'Isola 2000 aux Futurs Défis Environnementaux



UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR

IMREDD

INSTITUT D'INNOVATION
ET DE PARTENARIATS

Pierre-Jean Barre, Honorat Quinard, Yoann Le Blévennec IMREDD

Nicolas Martin ESPACE

03/06/2022

01 Présentation du Piter Alpimed

ALPIMED

4 thématiques retenues

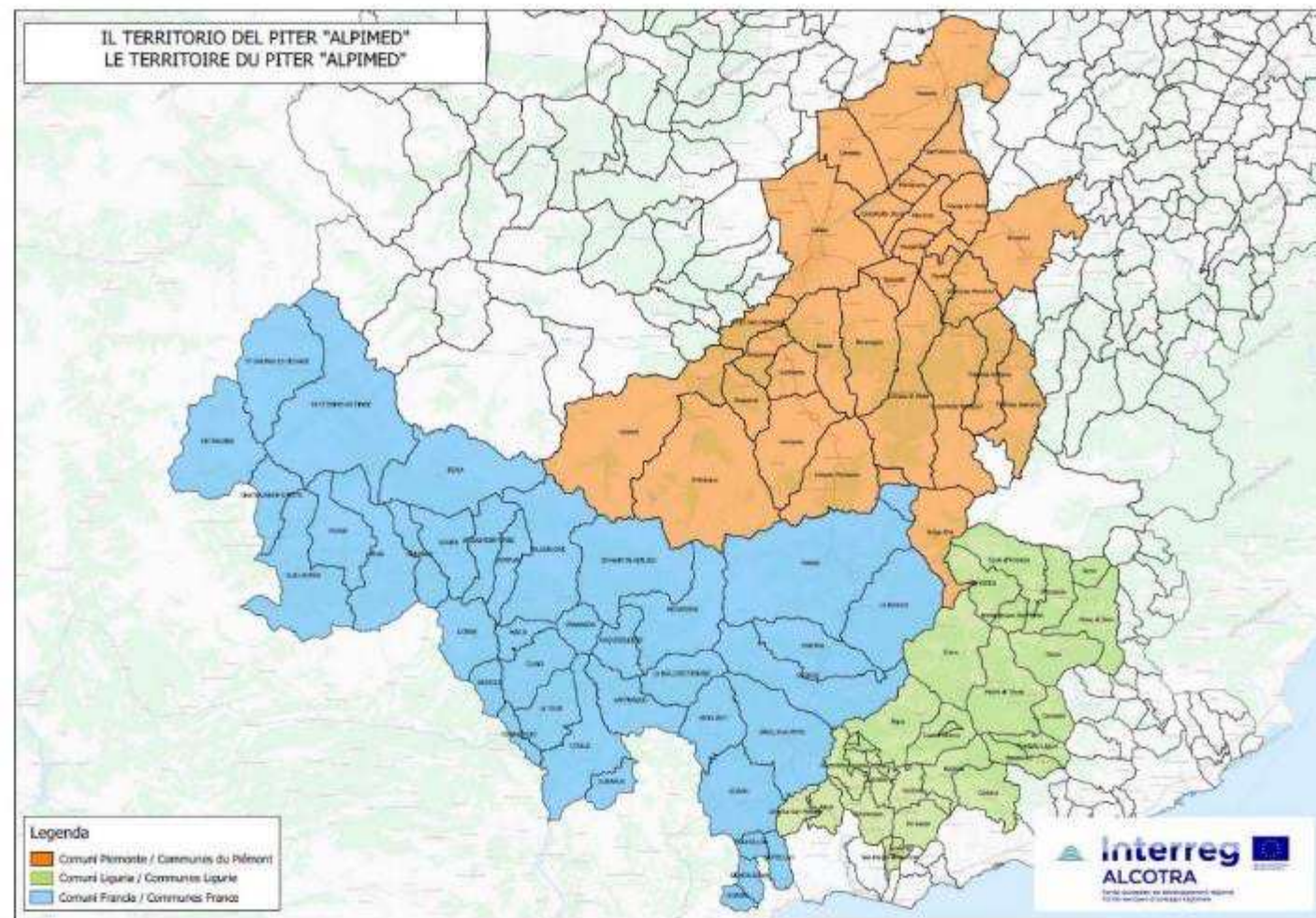
Le tourisme durable, un des moteurs économiques de l'aire transfrontalière

Le changement climatique, véritable enjeu pour les habitants et l'économie locale

L'innovation qui a encore trop de mal à pénétrer le territoire et ses entreprises

La mobilité qui doit être un moyen permettant de mailler un territoire encore trop enclavé

Le Territoire ALPIMED



Les Projets ALPIMED

ALPIMED **INNOV**

INNOV vise à favoriser l'accès à l'**innovation** et à la **diffusion des nouvelles technologies** auprès des entreprises et des jeunes



ALPIMED **PATRIM**

PATRIM vise à **créer une destination touristique** des Alpes de la Méditerranée basée sur une offre d'itinérance

ALPIMED **CLIMA**

CLIMA vise à lutter contre les impacts du **changement climatique** sur une économie de montagne et à sensibiliser les populations



ALPIMED **MOBIL**

MOBIL vise à développer de nouveaux services pour **favoriser l'utilisation des modes de transports** doux et durables

Positionnement du Projet dans le Piter Alpimed

INNOV

WP 4.1.1. Living Lab CLIMA

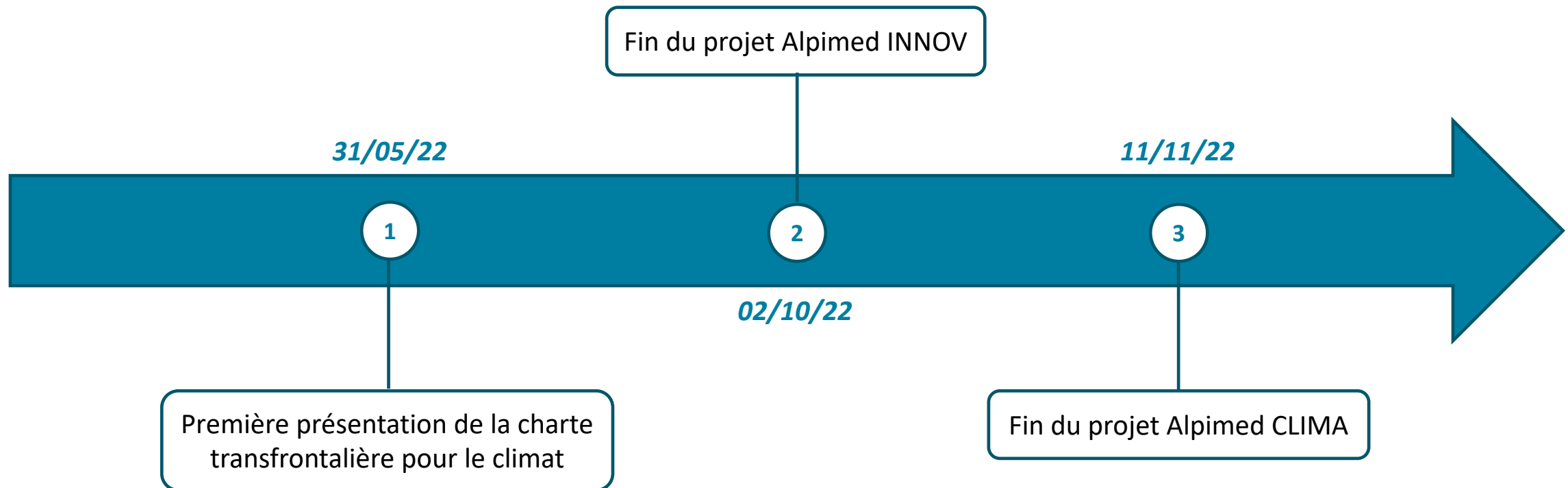
WP 4.1.2. Efficacité énergétique et énergies renouvelables

WP 4.1.3. Réduction de la consommation hydrique en agriculture

CLIMA

WP 4.1.3. Expérimentations en stations de ski / Environnement

Echéances du Piter Alpimed



Partenaires du Piter Alpimed



02 DEADEN

EtuDe dE l'impAct Du changEmeNt climatique sur Isola 2000

*Nicolas Martin, Maître de conférences en géographie
Université Côte d'Azur, Laboratoire ESPACE, UMR CNRS 7300*

Contexte du Projet

120
km de pistes
de ski

22
Remontées
mécaniques

430
Canons à
neige



*ISOLA 2000 est la plus haute station de ski des Alpes-Maritimes, **exposée comme les autres aux changements climatiques** : hausse des températures et modification des régimes de précipitations*

Température Minimale à Isola 2000

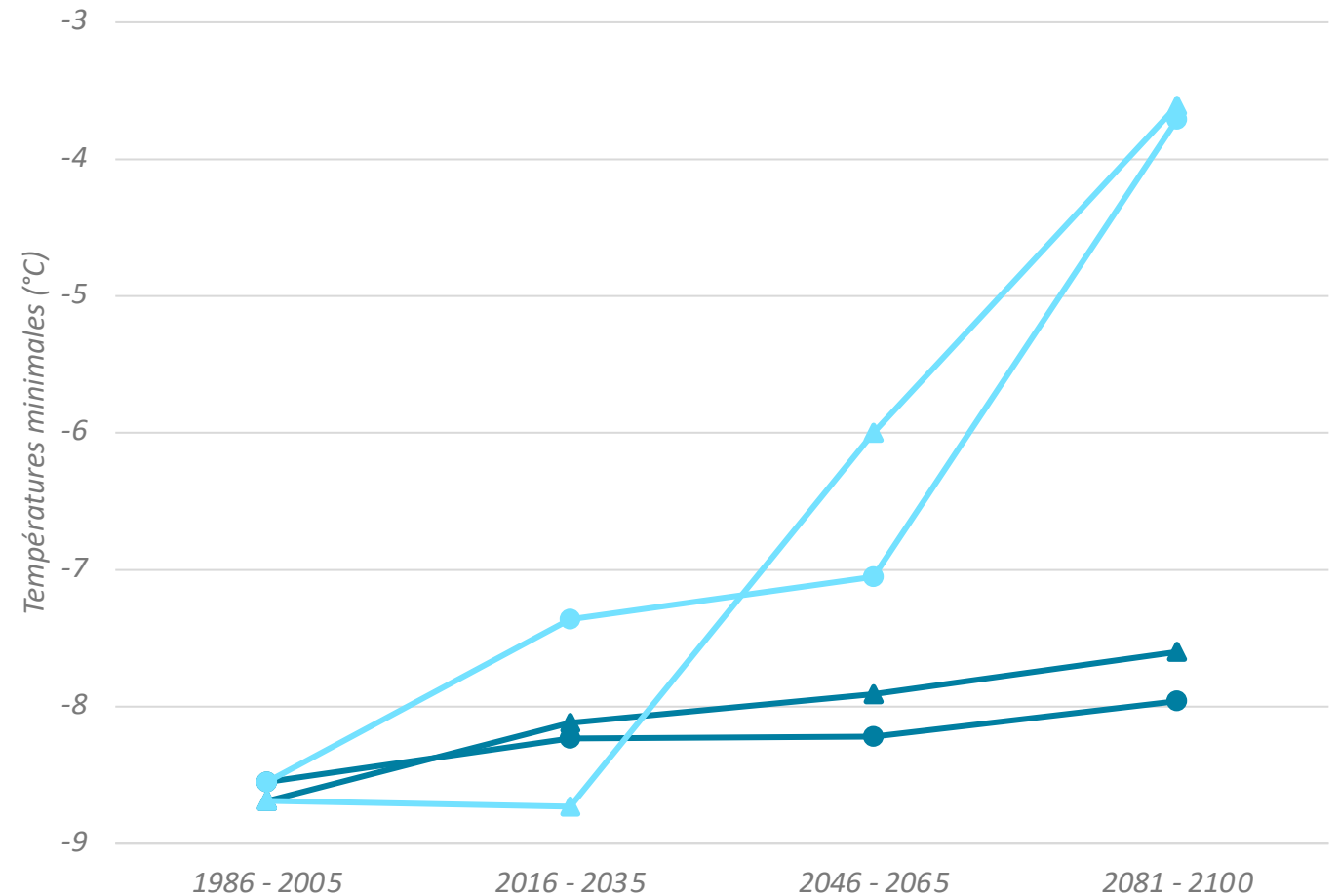
Un scénario RCP permet de **modéliser le climat futur**. Le numéro du scénario RCP correspond au forçage radiatif en W/m^2



Le RCP 8.5 est le plus pessimiste tandis que le RCP 2.6 est le plus favorable

Deux modèles réalisés :
Regional Climate Model
(REGCM) et ALADIN

- REGCM 4.6 - RCP 2.6
- ▲ ALADIN 6.3 - RCP 2.6
- REGCM 4.6 - RCP 8.5
- ▲ ALADIN 6.3 - RCP 8.5



Modélisations de l'évolution de la température minimale moyenne en janvier à Isola 2000

Température Maximale à Isola 2000

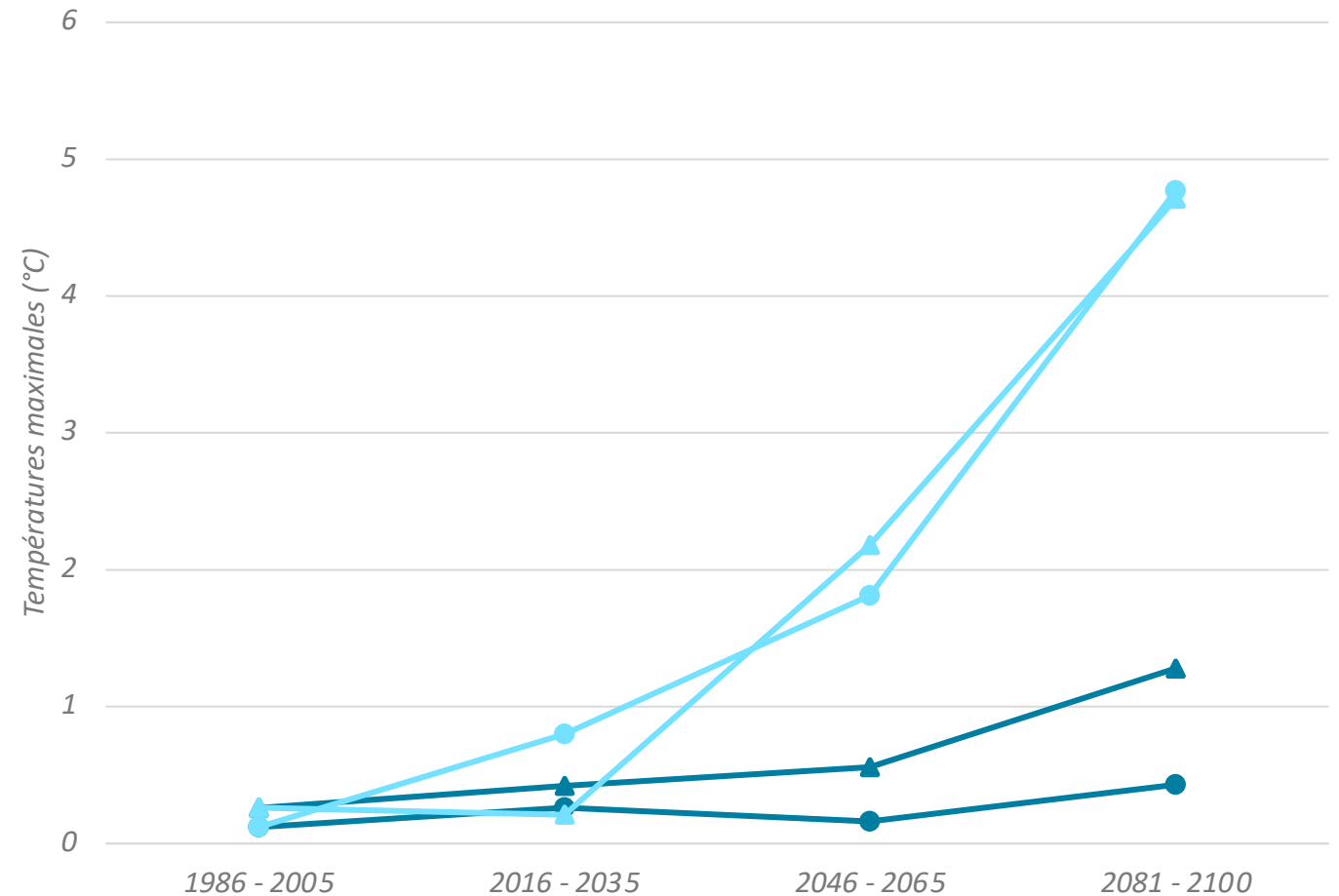
Un scénario RCP permet de **modéliser le climat futur**. Le numéro du scénario RCP correspond au forçage radiatif en W/m^2



Le RCP 8.5 est le plus pessimiste tandis que le RCP 2.6 est le plus favorable

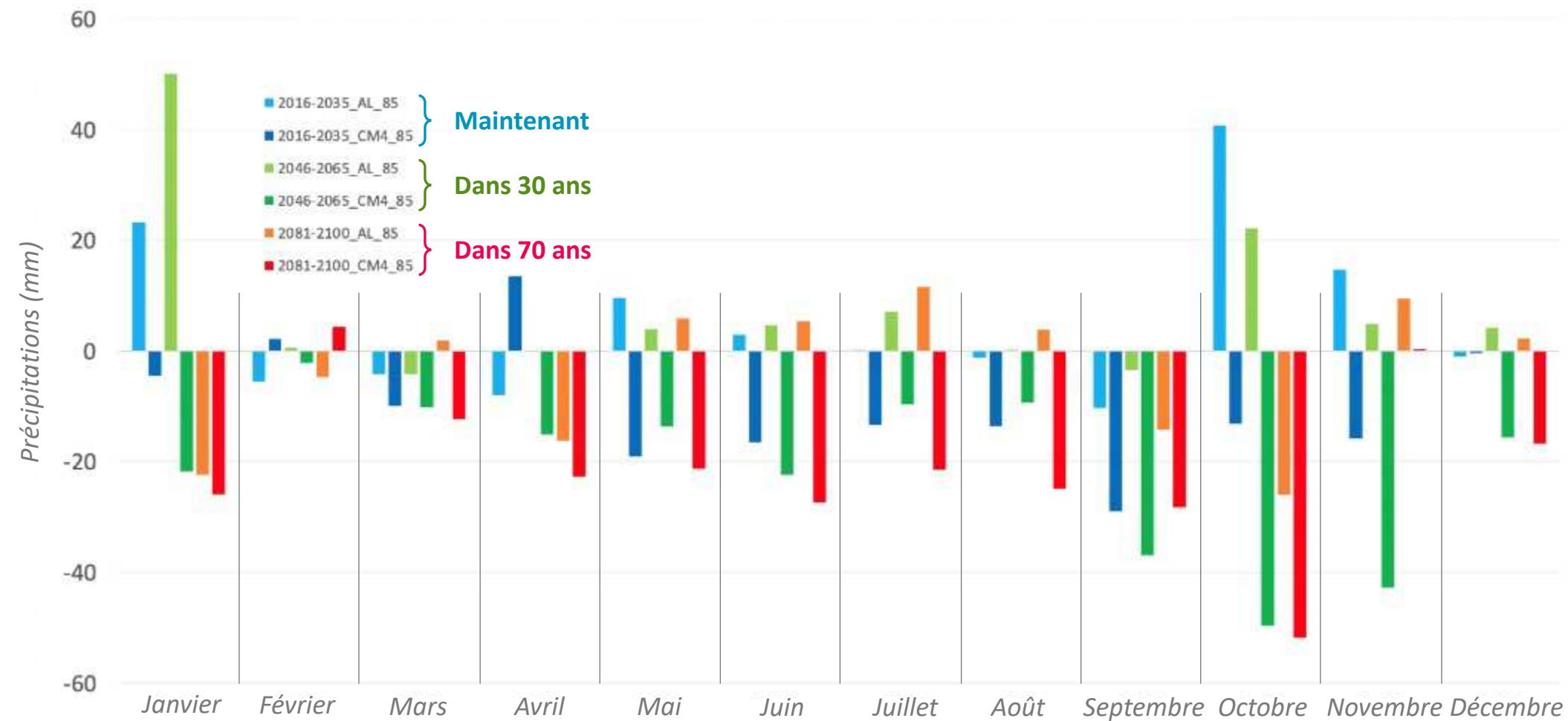
Deux modèles réalisés :
Regional Climate Model
(REGCM) et ALADIN

- REGCM 4.6 - RCP 2.6
- ▲ ALADIN 6.3 - RCP 2.6
- REGCM 4.6 - RCP 8.5
- ▲ ALADIN 6.3 - RCP 8.5

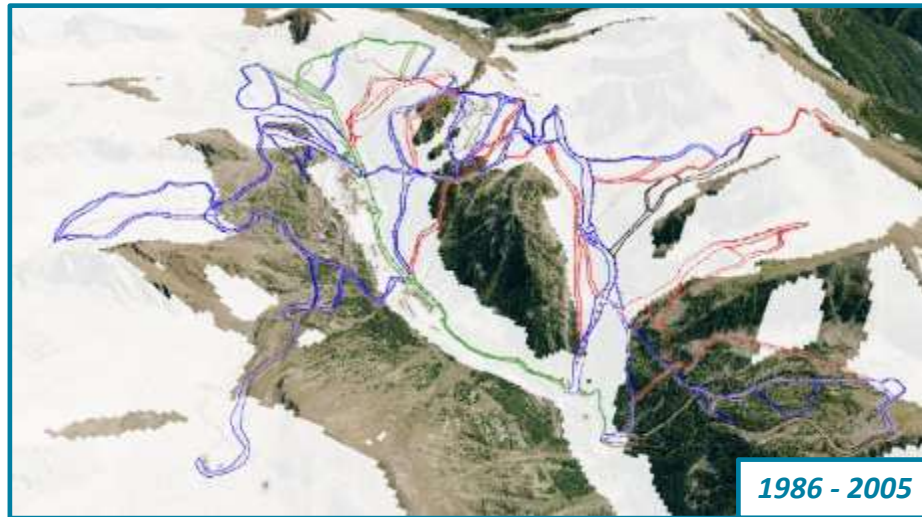


Modélisations de l'évolution de la température maximale moyenne en janvier à Isola 2000

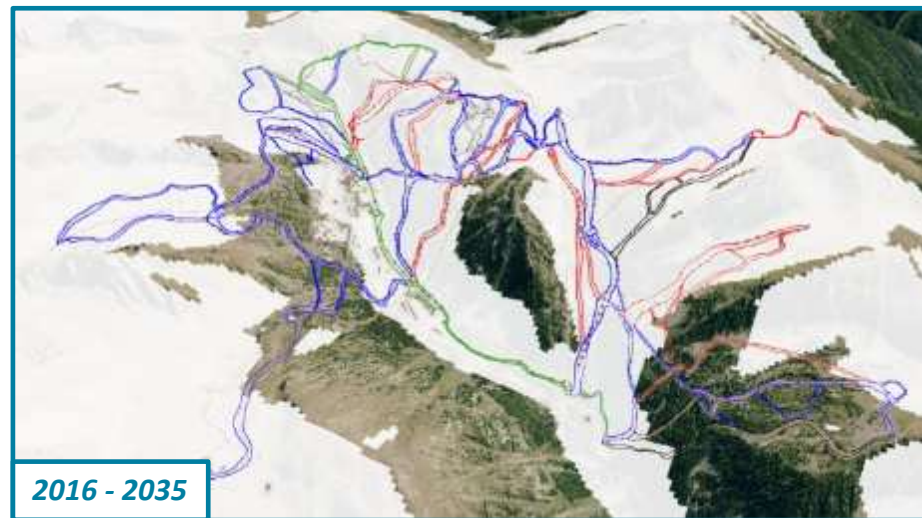
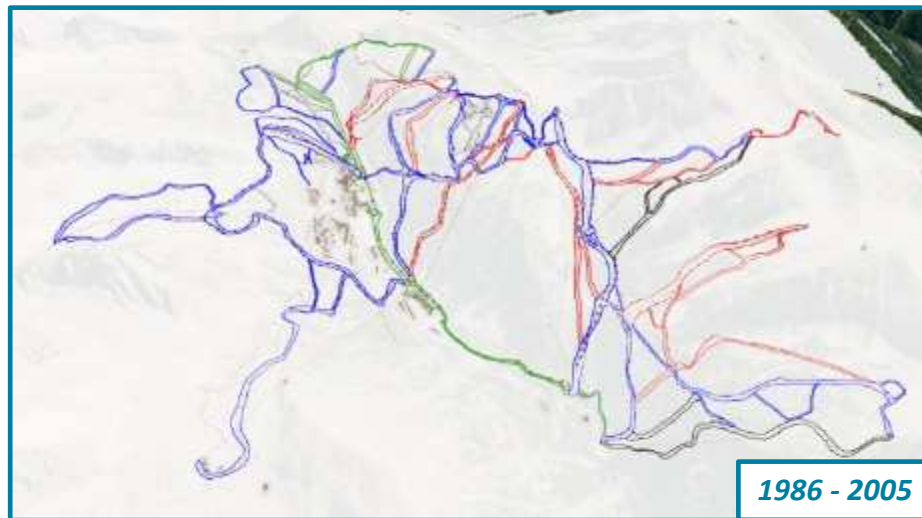
Evolution des Précipitations à Isola 2000



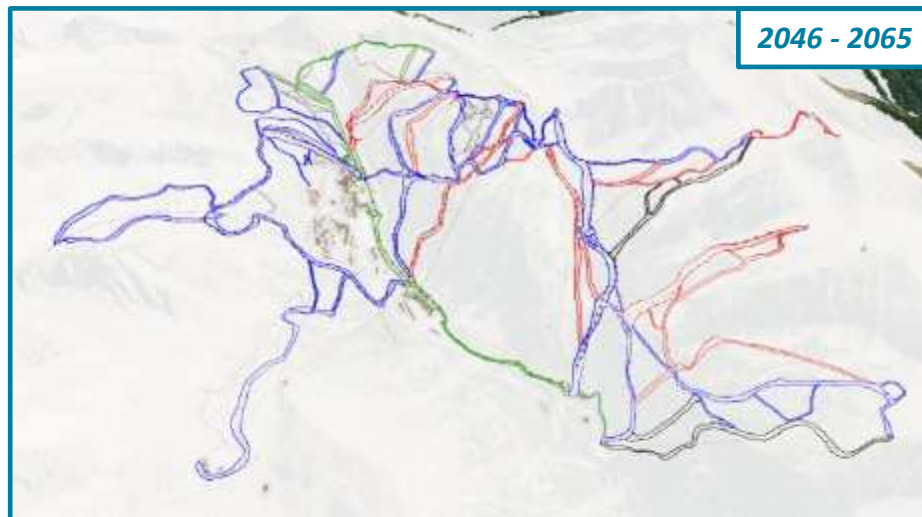
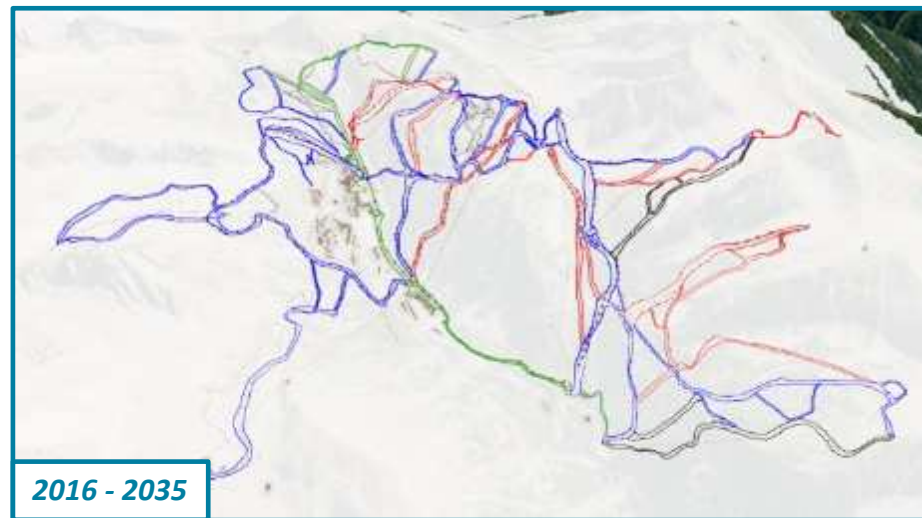
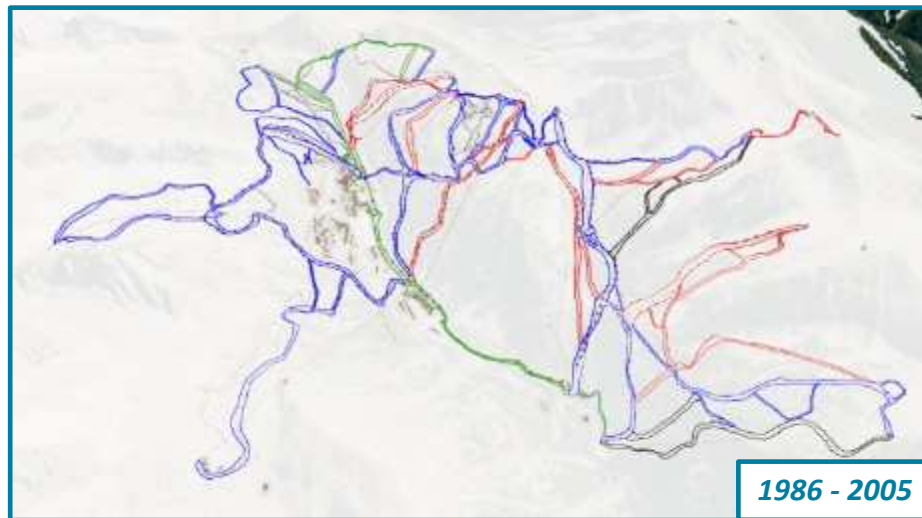
Potentiel de Neige en Novembre à Isola 2000



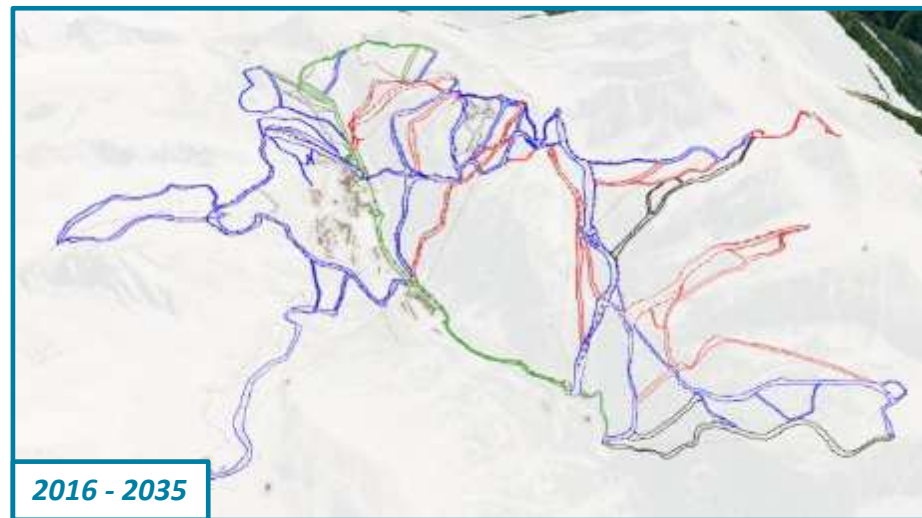
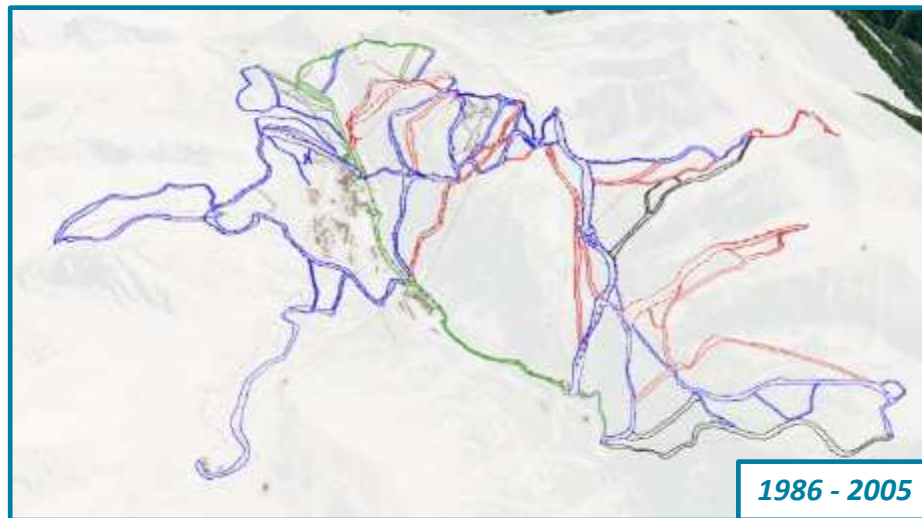
Potentiel de Neige en Décembre à Isola 2000



Potentiel de Neige en Janvier à Isola 2000



Potentiel de Neige en Février à Isola 2000



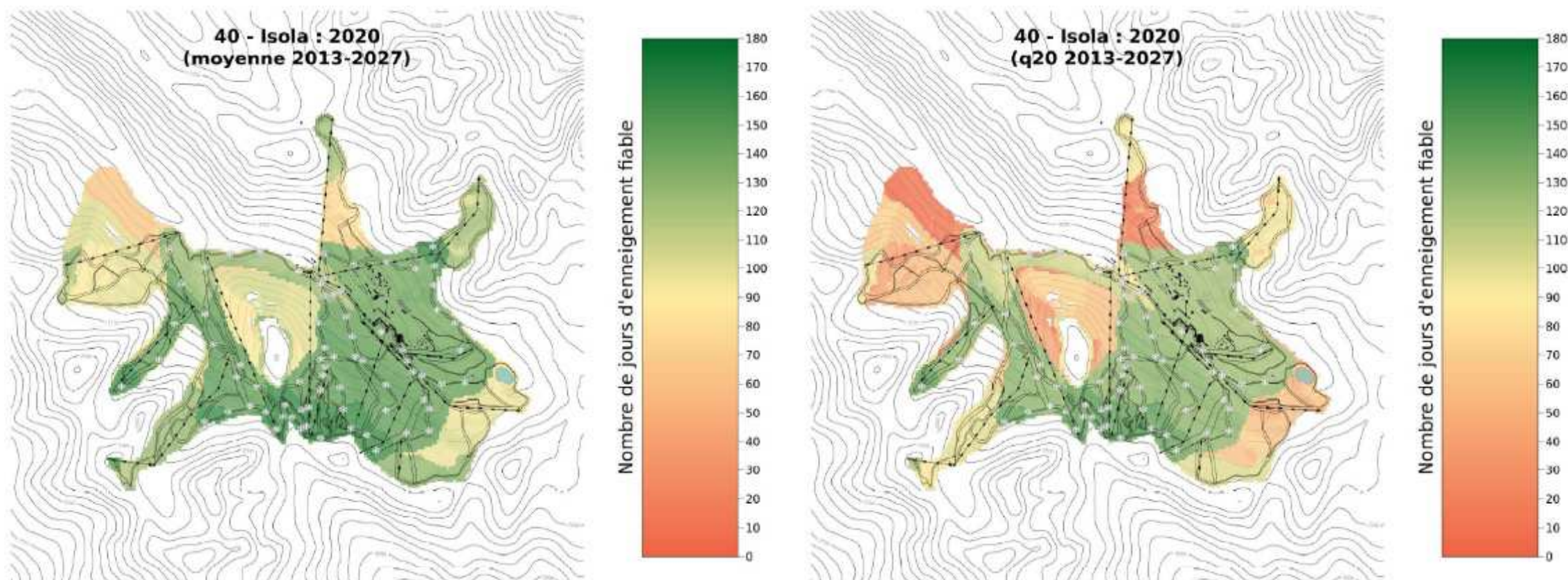
Potentiel de Neige en Mars à Isola 2000



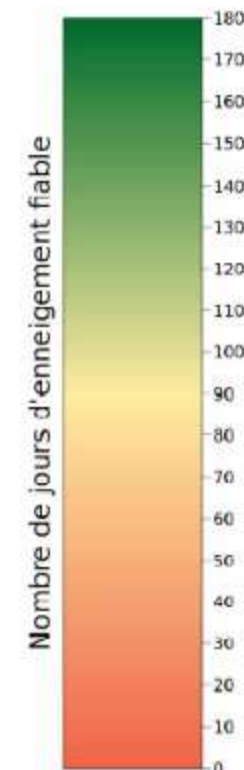
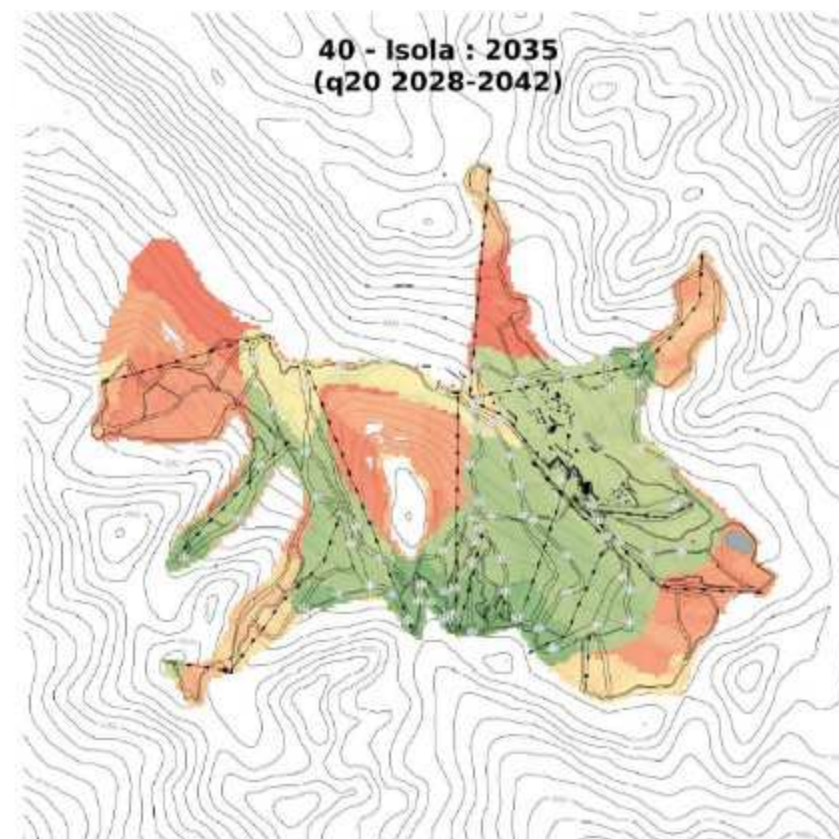
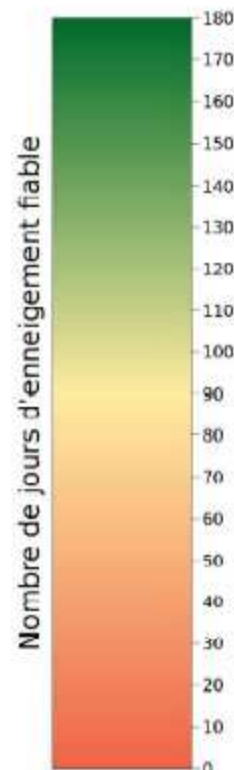
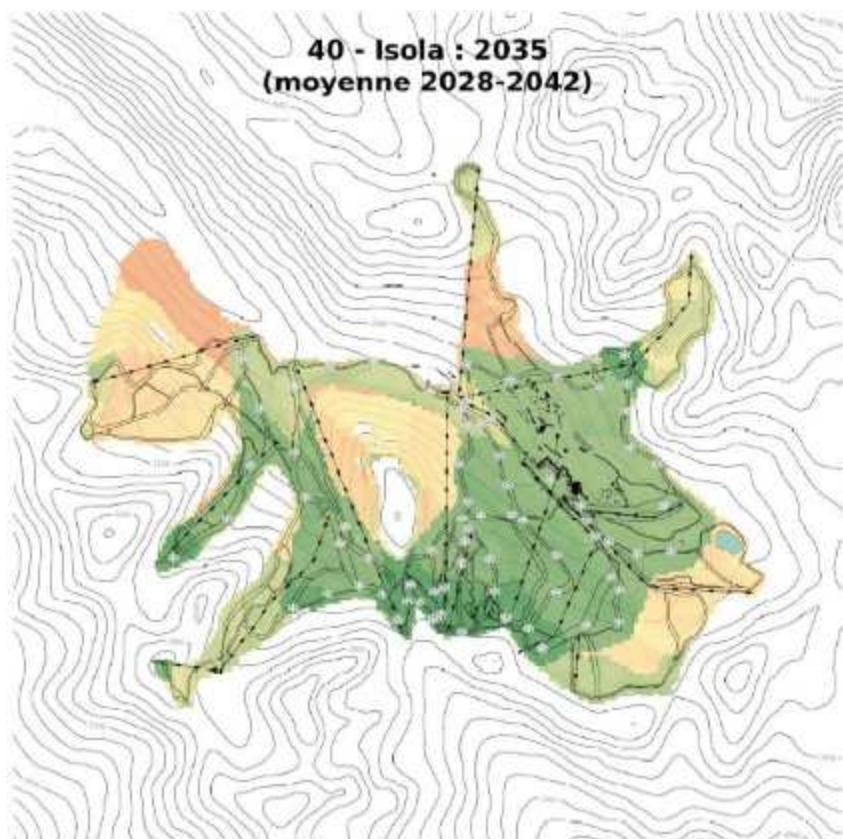
Potentiel de Neige en Avril à Isola 2000



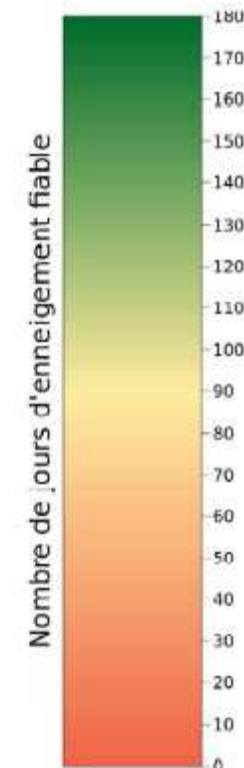
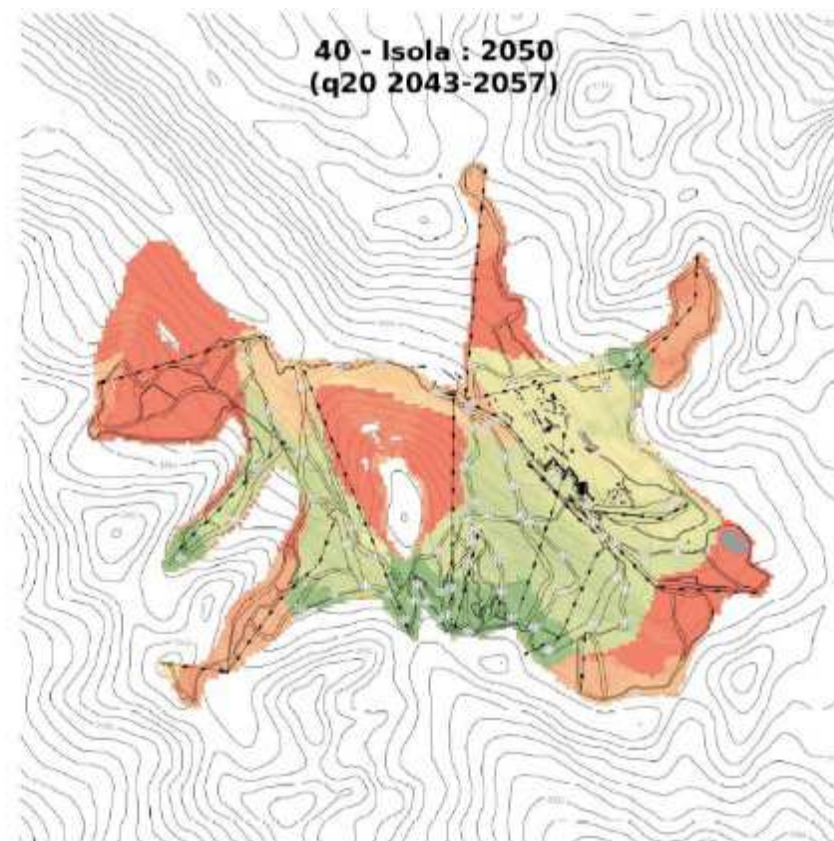
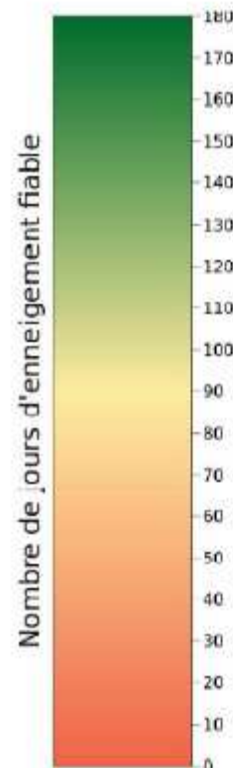
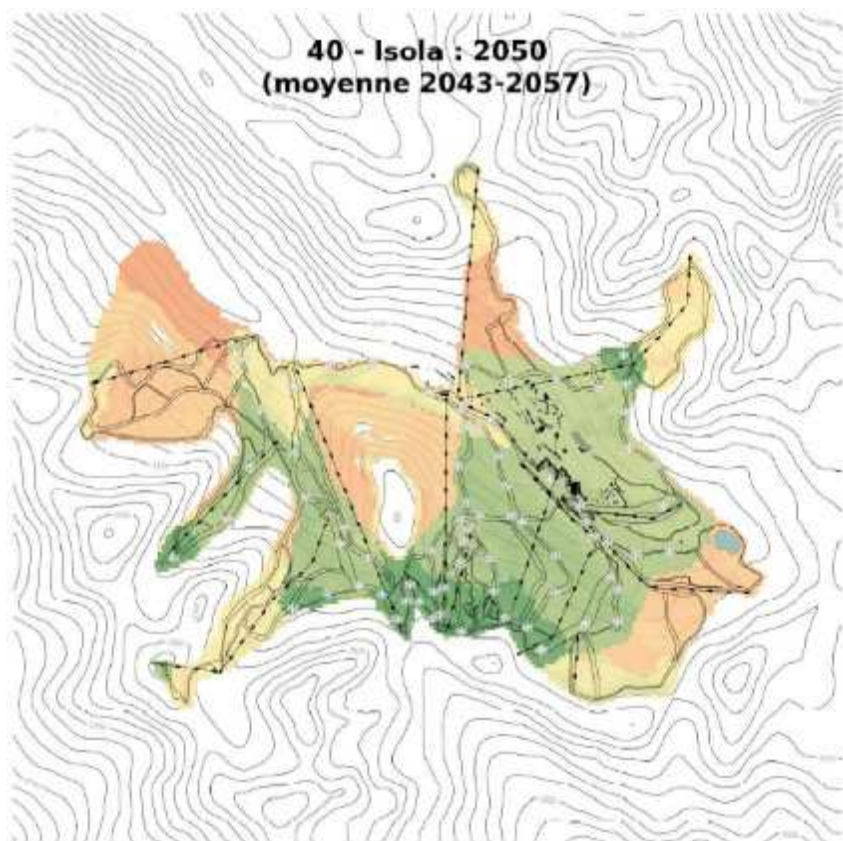
Etude CLIMSNOW à Isola 2000



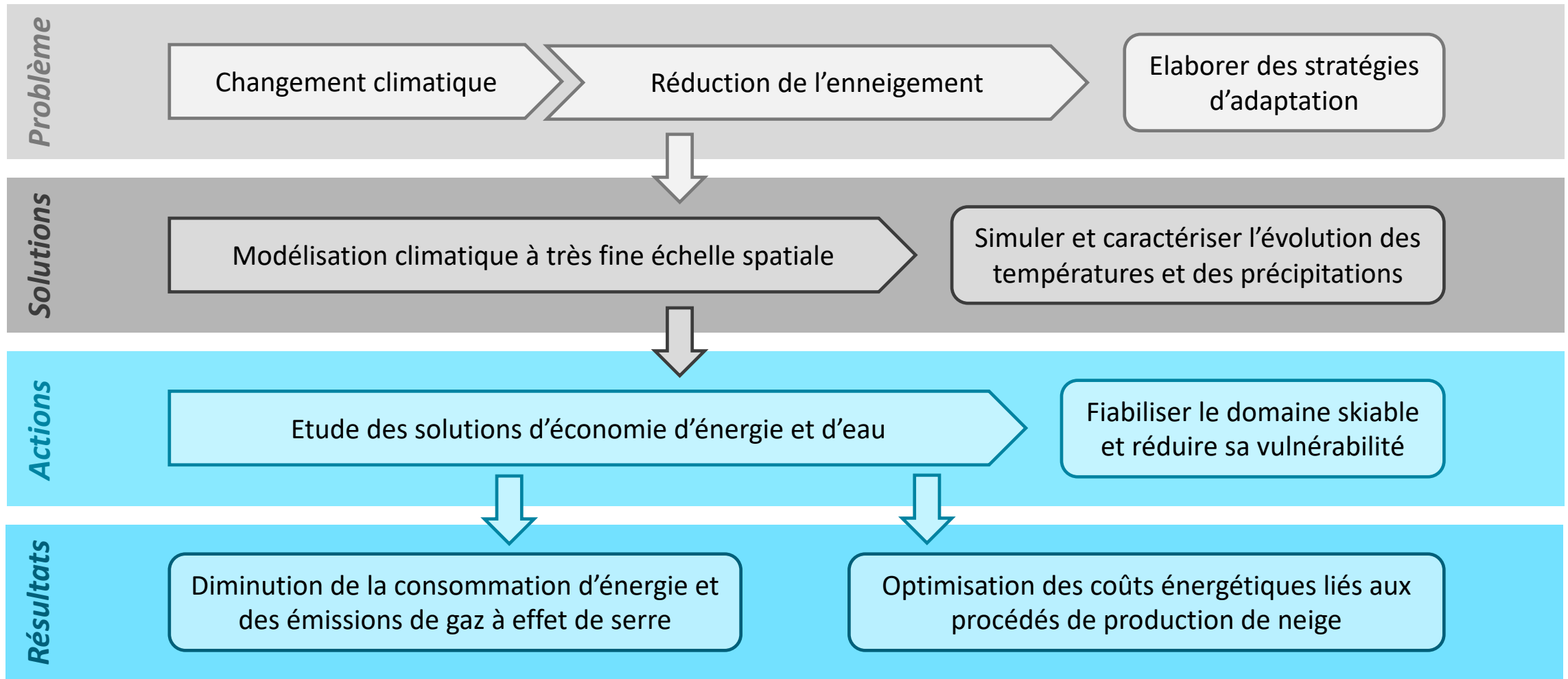
Etude CLIMSNOW à Isola 2000



Etude CLIMSNOW à Isola 2000



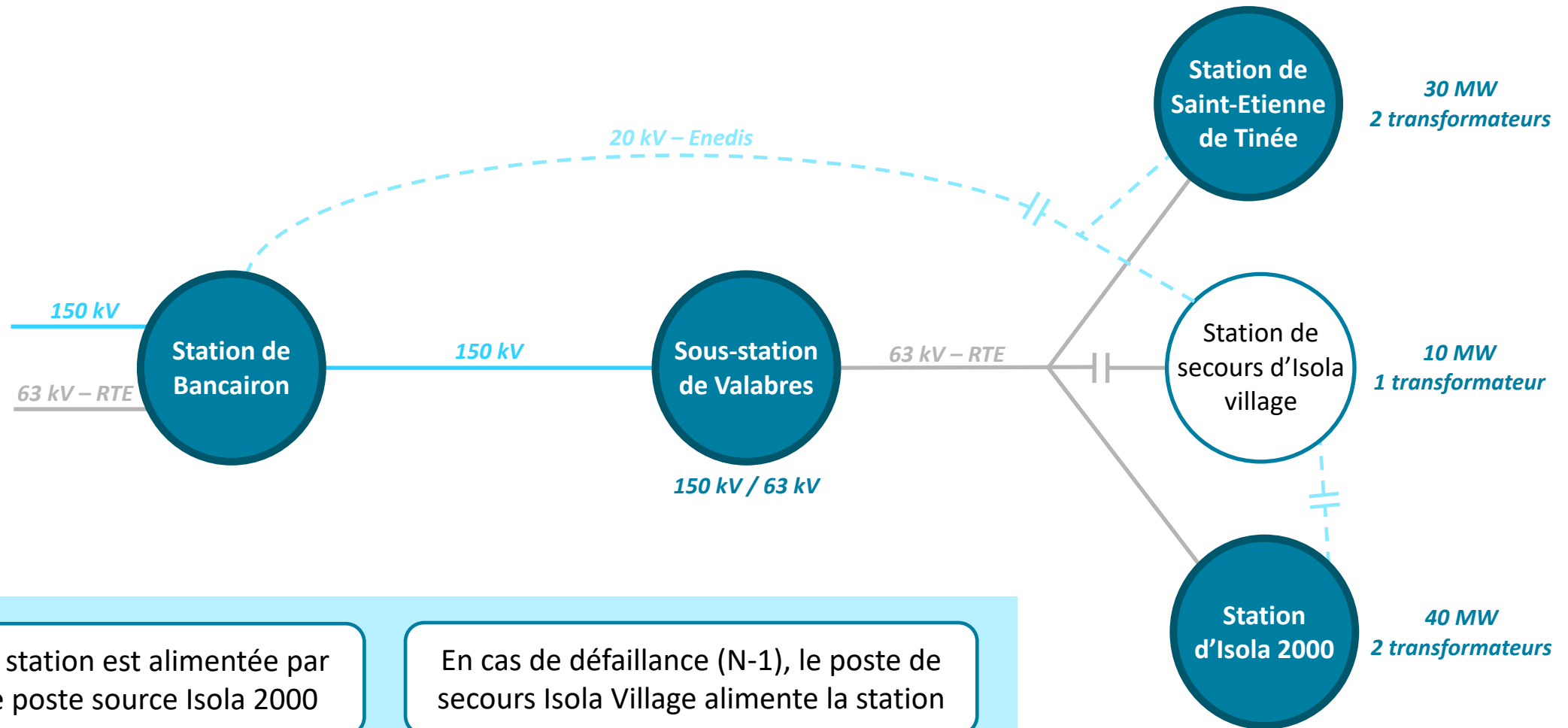
Une Nécessaire Adaptation des Stations de Ski



03

Alimentation Electrique d'Isola 2000

Alimentation Electrique d'Isola 2000



Consommation Electrique d'Isola 2000

Le réseau électrique semble aujourd'hui suffisamment dimensionné mais n'est **pas entièrement robuste**



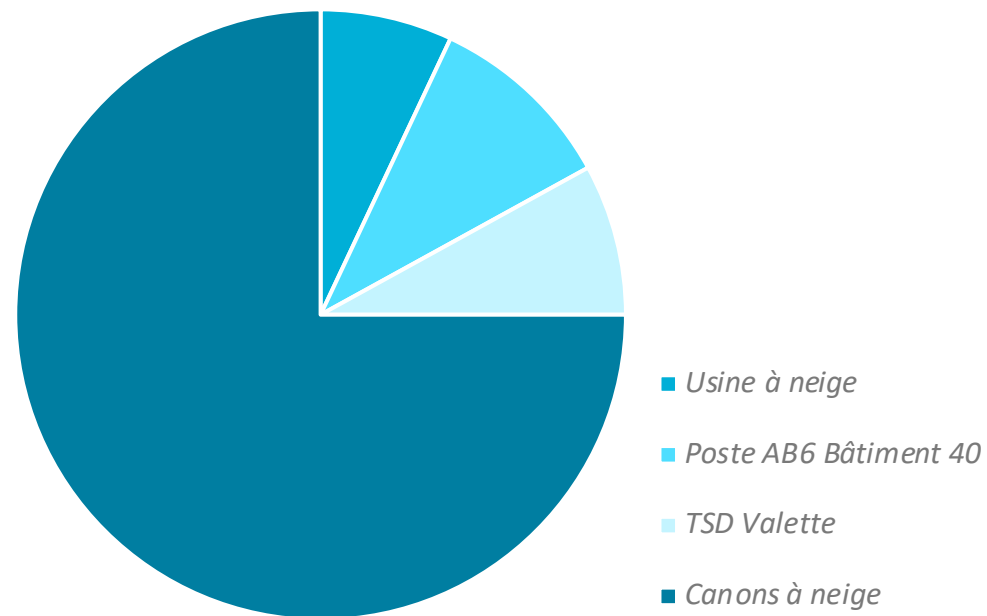
Le transformateur de Valabres est un ancien modèle difficile à réparer, le moindre incident dessus provoquerait des gênes importantes



La ligne de 150 kV a souvent été foudroyée et génère des défauts assez récurrents

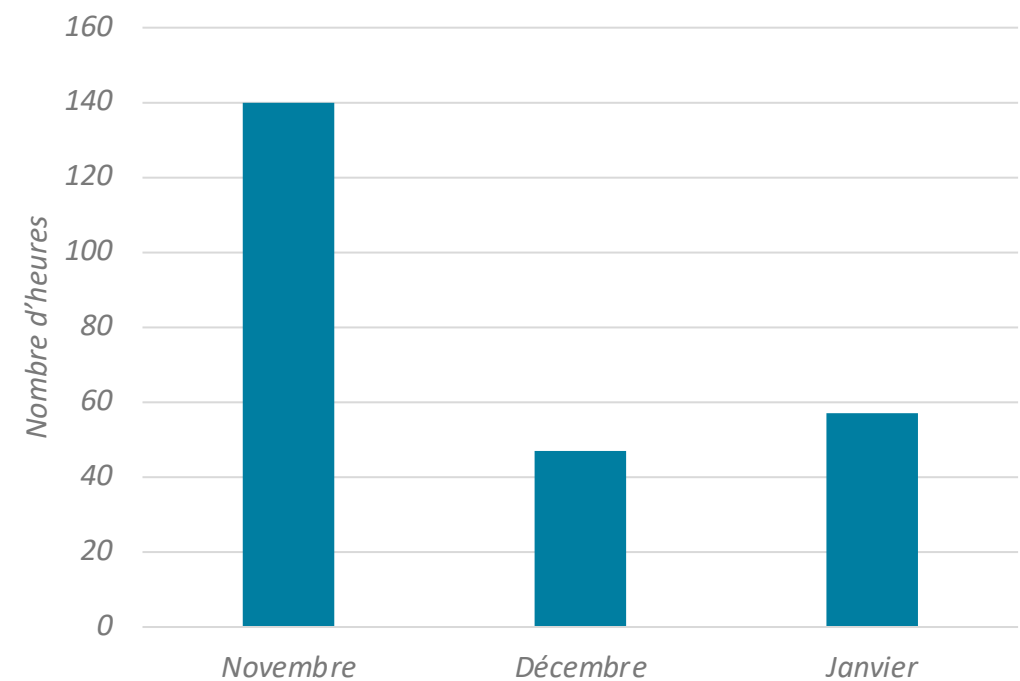
Données du 01/01/2016 à 30/04/2016

La Société d'Economie Mixte des Cimes du Mercantour (SEMCM) est le **plus gros consommateur** de la station*

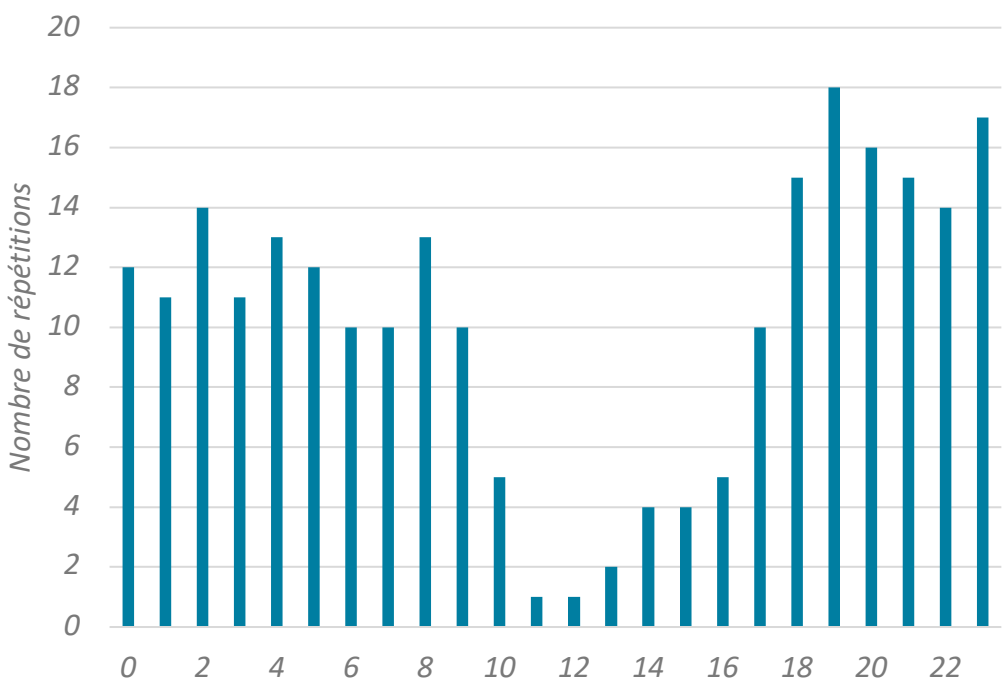


Répartition de la consommation de la SEMCM

Consommation Electrique de la SEMCM



Nombre de répétitions où la consommation est supérieure à 3 MW (par mois)



Nombre de répétitions où la consommation est supérieure à 3 MW (par heures)

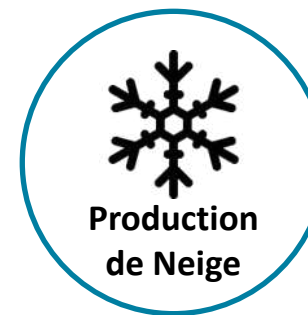
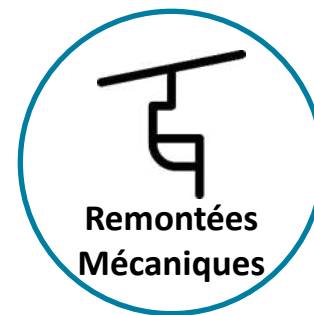
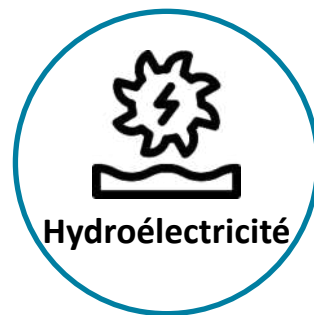
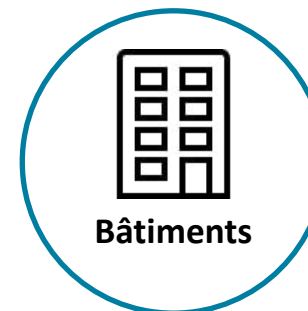
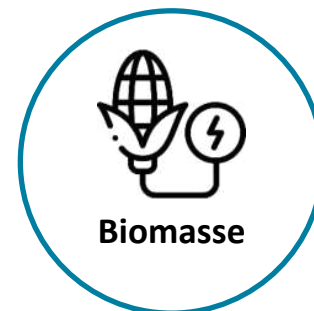
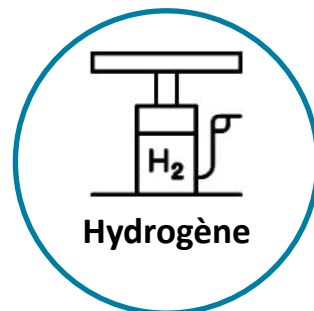
Les pics de consommation sont principalement en **novembre et la nuit**

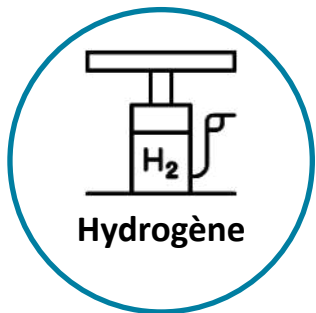
04 Living Lab CLIMA de INNOV

Les **consommations d'énergie** doivent être réduites dans les bâtiments et optimisées dans l'exploitation du domaine skiable



Premières pistes de réflexion

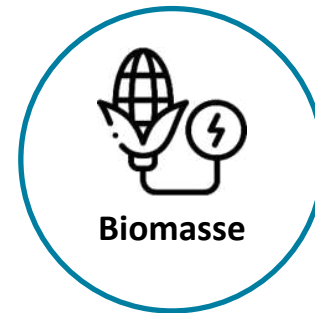




Hydrogène

- Solution technologique d'avenir mais **pas mature**
- Nécessité de beaucoup d'énergie pour fabriquer localement de l'hydrogène
- Rajout de **poids** à la dameuse (environ 1T) alors que l'on cherche à alléger
- **Prix** (x2)

Pas de possibilité de démonstration de faisabilité



Biomasse

- Solution technologique d'avenir et mature
- Fragilité notoire du territoire en termes d'alimentation électrique
- **Nécessité d'augmenter** l'exploitation des surfaces forestières sous utilisées, la production de déchets de bois et des déchets verts

Pas de possibilité de démonstration de faisabilité



Bâtiments

- Solutions technologiques existantes et opérationnelles
- Bâtiments vieillissants
- Multiplicité de **copropriétaires peu intéressés** par un investissement pour de l'économie d'énergie
- Possibilité de démonstration de faisabilité en recrutant des testeurs recrutés parmi les personnels permanents de la station de ski

Pas dans le cadre du projet Piter Alpimed

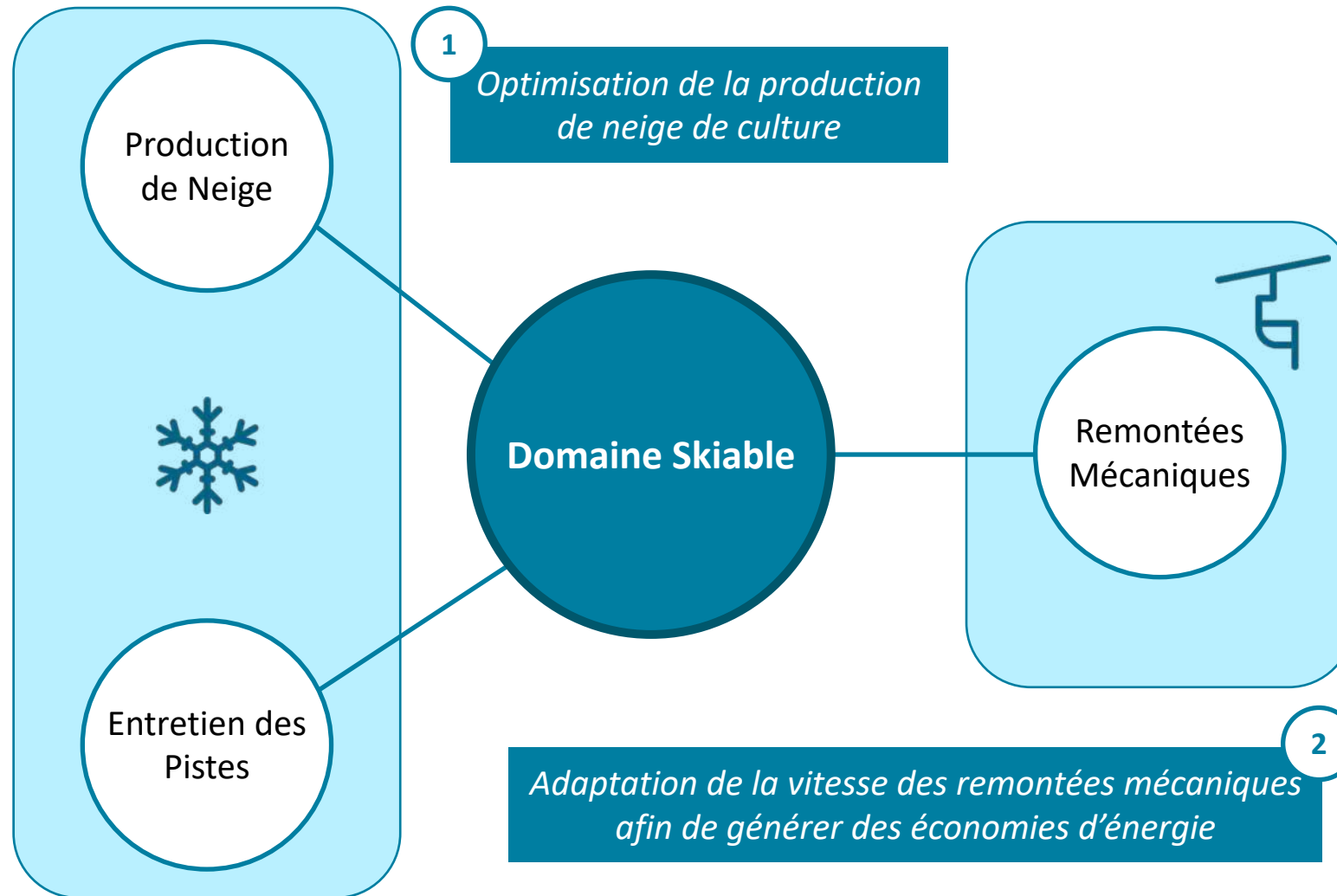


Hydroélectricité

- Solution technologique utilisée dans de nombreuses stations
- Solution intéressante car la fragilité du territoire en termes d'alimentation électrique est notoire
- **Pas de possibilité de démonstration** de faisabilité

Pas dans le cadre du projet Piter Alpimed

Adaptation du Domaine Skiable



05 Damage et Production de Neige

Damage et Production de Neige

Mise en place d'un GPS dans une
dameuse afin de mesurer
l'épaisseur de neige

Meilleure connaissance
de la quantité et de
l'épaisseur de neige

Optimisation de la
production de neige de
culture



Réduction



Système GPS SNOWsat

15%

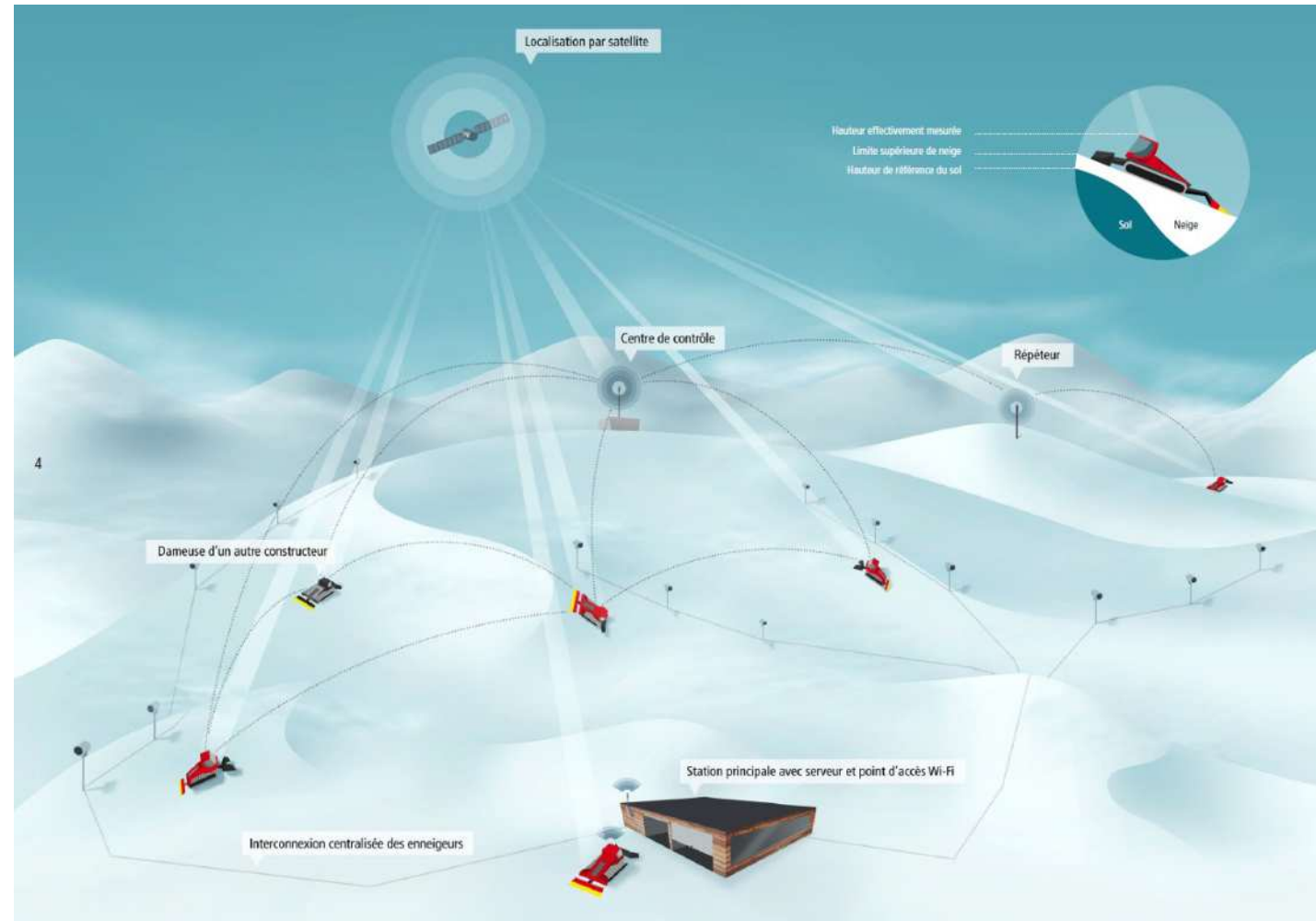
Economie de neige
de culture

5%

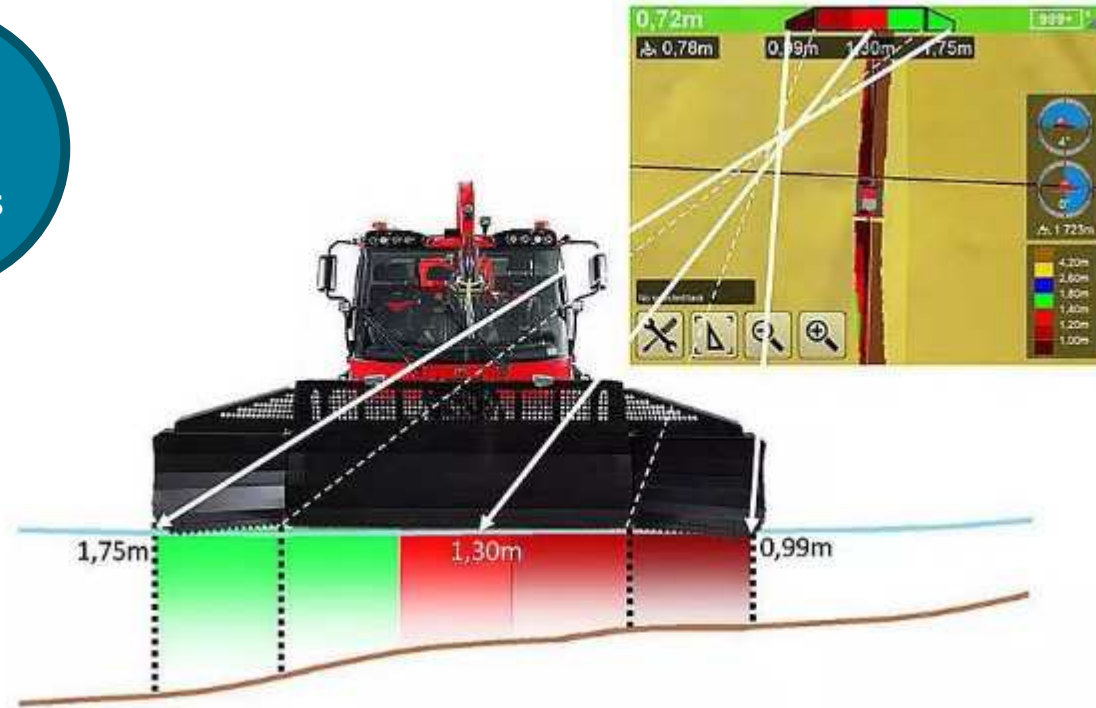
Economie de temps
de fonctionnement

8%

Economie de
carburant



3
Capteurs



Mesure de la hauteur de neige
avec une précision de +/- 4 cm

Affichage en temps réel
de l'épaisseur de neige

Web serveur pour un
accès aux données

Système GPS SNOWsat



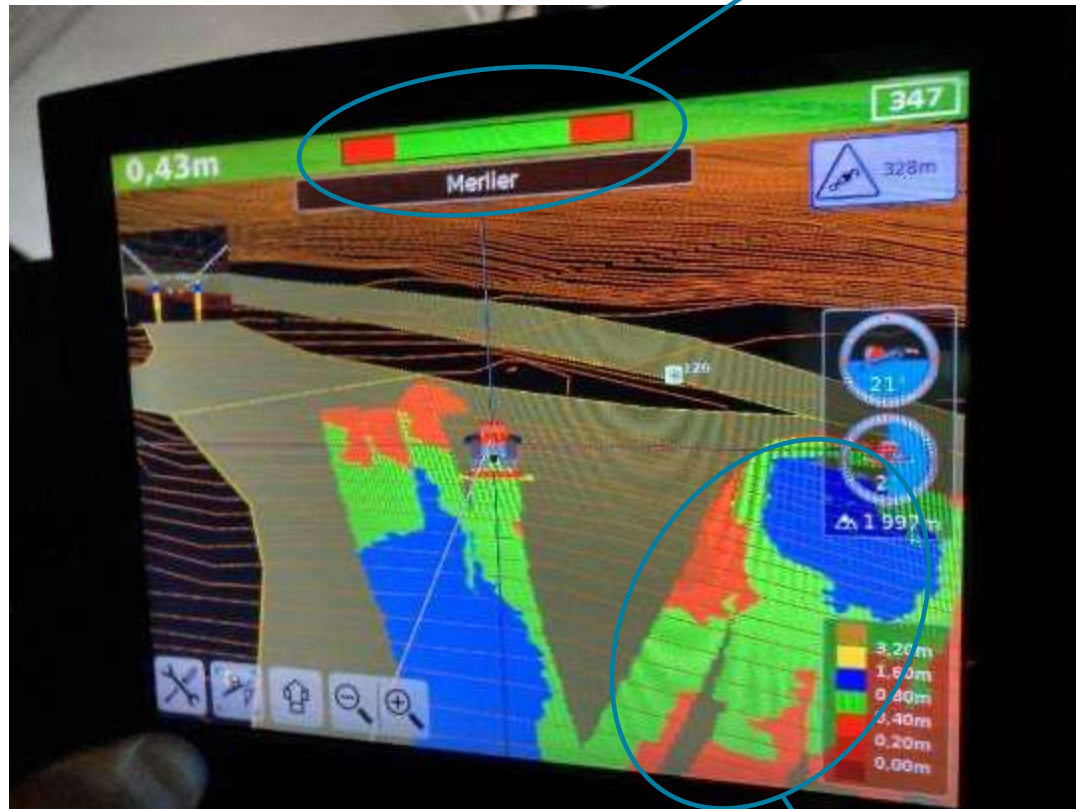
Ecran SNOWsat



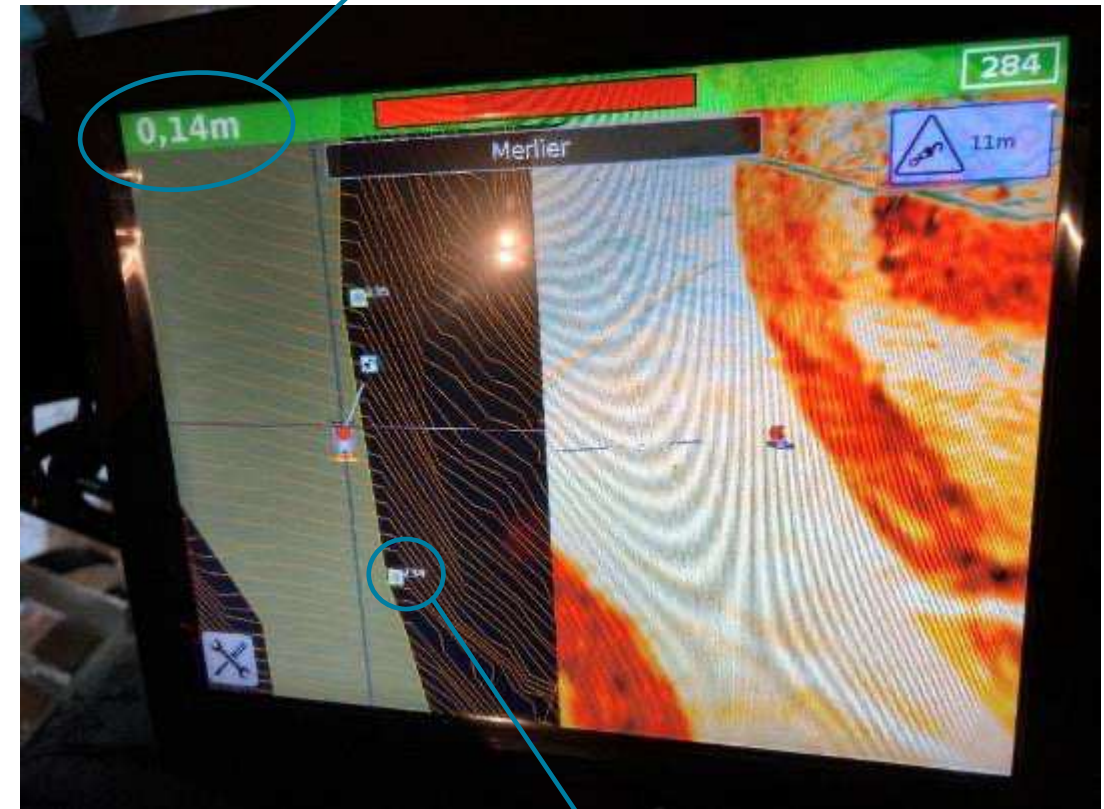
Ecran permettant de contrôler différentes fonctions de la dameuse

Système GPS SNOWsat

3 couleurs car 3 capteurs



Epaisseur moyenne sous la dameuse



Traces du passage de la dameuse

Canon à neige

Système SNOWsat à Isola 2000

Formation de 4h réalisée par le fournisseur de SNOWsat aux opérateurs



3 opérateurs formés à utiliser SNOWsat

Une seule
dameuse
équipée

Objectif d'équiper de la solution SNOWsat les 9 dameuses de la station

Mise en place en automne 2021



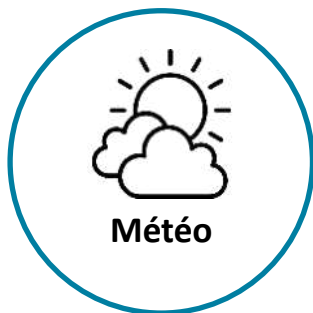
La dameuse équipée fonctionne sur l'intégralité du domaine skiable

Le travail de damage et le contrôle de la neige de culture permettent d'atteindre une **sobriété des ressources en eau et en énergie** tout en garantissant la sécurité des pistes et la qualité du domaine skiable

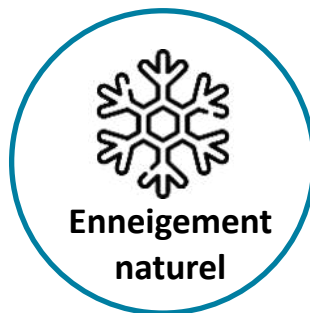


La technologie SNOWsat facilite la réalisation d'un plan de production raisonné

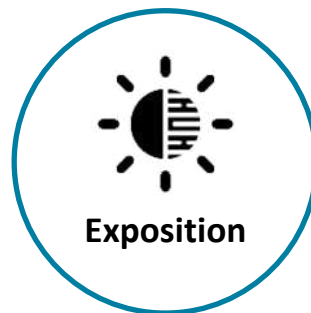
De nombreux paramètres impacts le plan de production



Météo



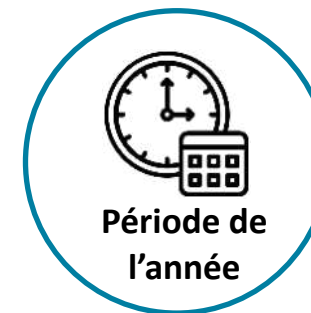
Enneigement
naturel



Exposition



Altitude



Période de
l'année

L'analyse théorique des données relevées est à moduler
en fonction de l'intégralité de ces paramètres

Gestion Optimale de la Ressource en Neige

23 canons à neige sur la piste Avenue à gauche de l'image et deux zones présentant un bon niveau d'enneigement



Possibilité de ne pas allumer la totalité des canons

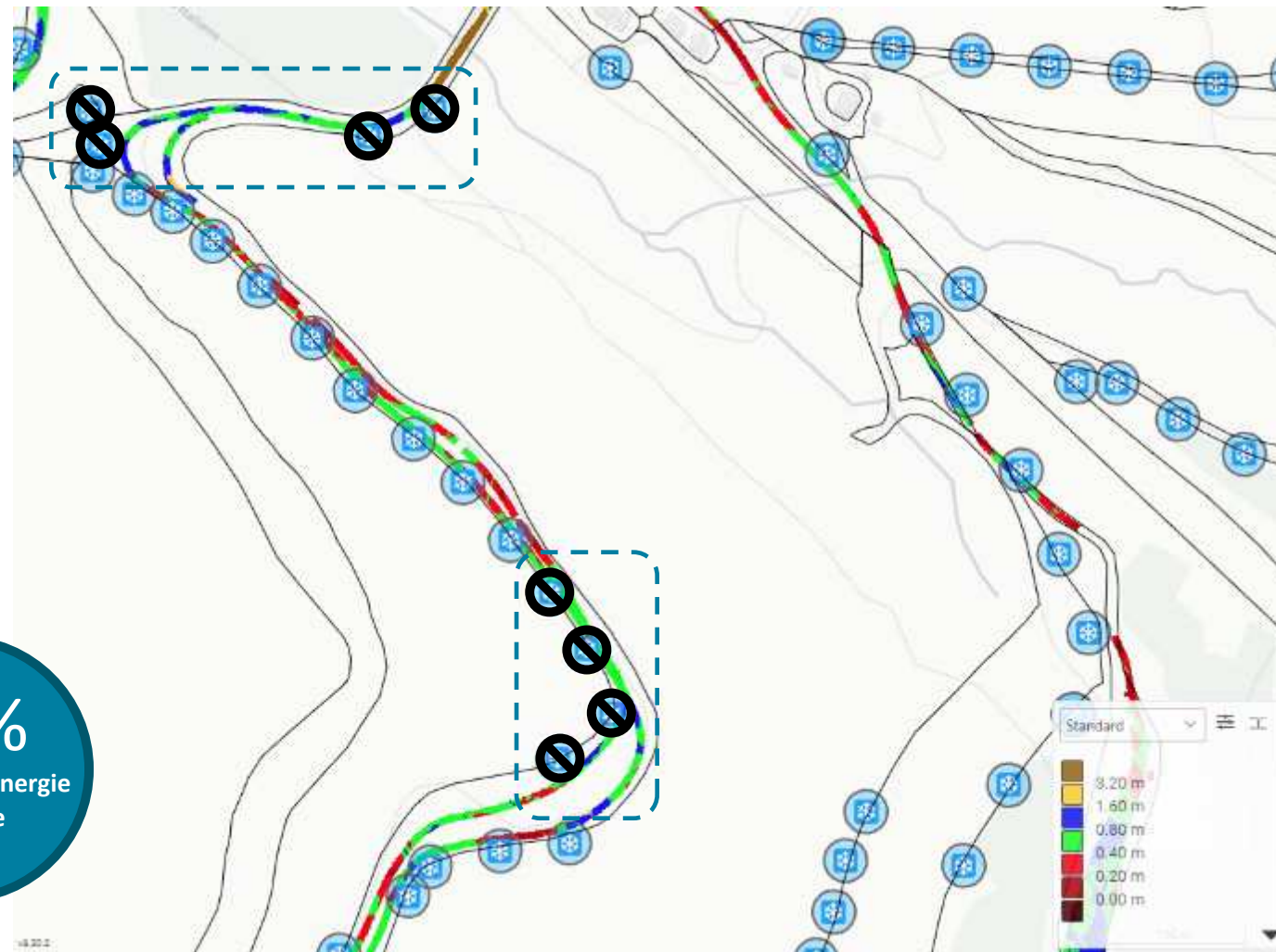
Avec seulement **15 des 23 canons** à débit nominal tout en respectant les besoins en neige

35%

Economie d'énergie possible

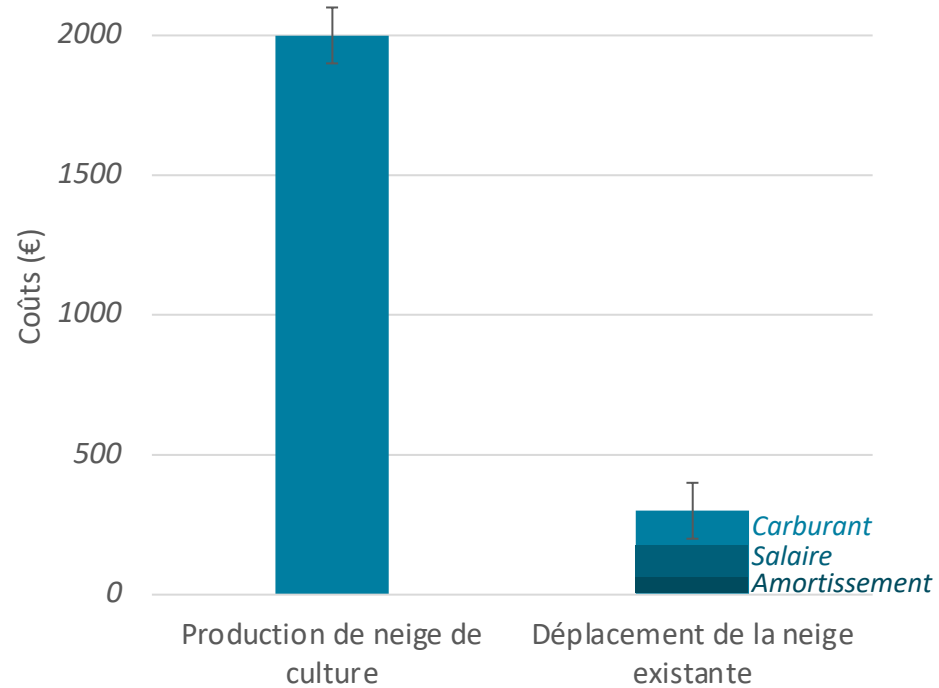


Impossibilité d'allumer seulement un canon mais nécessité d'en allumer au moins 40

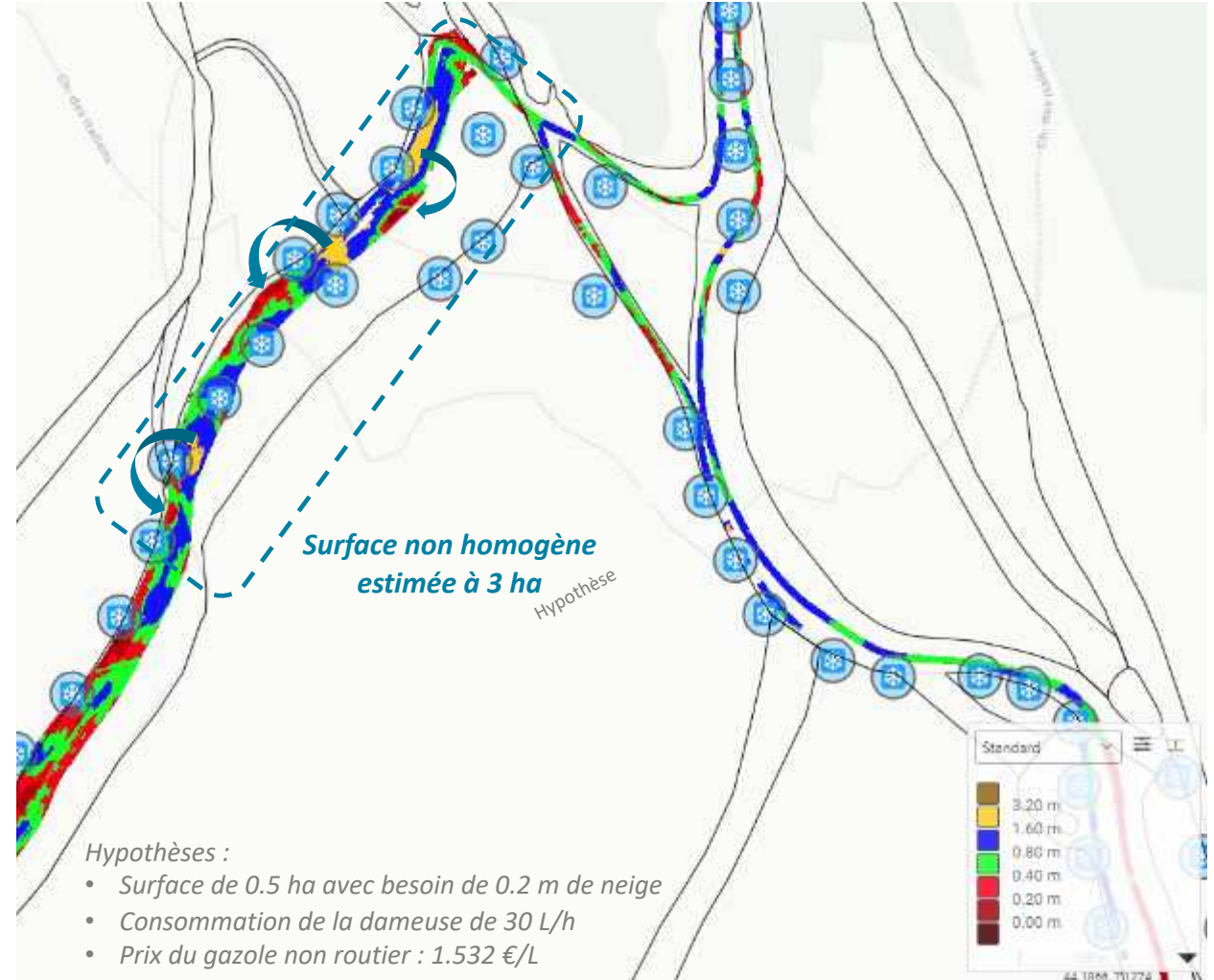


Homogénéisation Optimale Grâce au Damage

Afin d'homogénéiser une piste, il est possible de **combler les manques** grâce au surplus de neige ou en produisant de la neige de culture



Coûts relatifs à l'homogénéisation de la surface étudiée



Gestion de la Neige en Fin de Saison Hivernale

Excédent de neige en fin de saison sur le domaine skiable



Possibilité de limiter cela grâce à une meilleure gestion

Epaisseur excédentaire moyenne de neige (m)

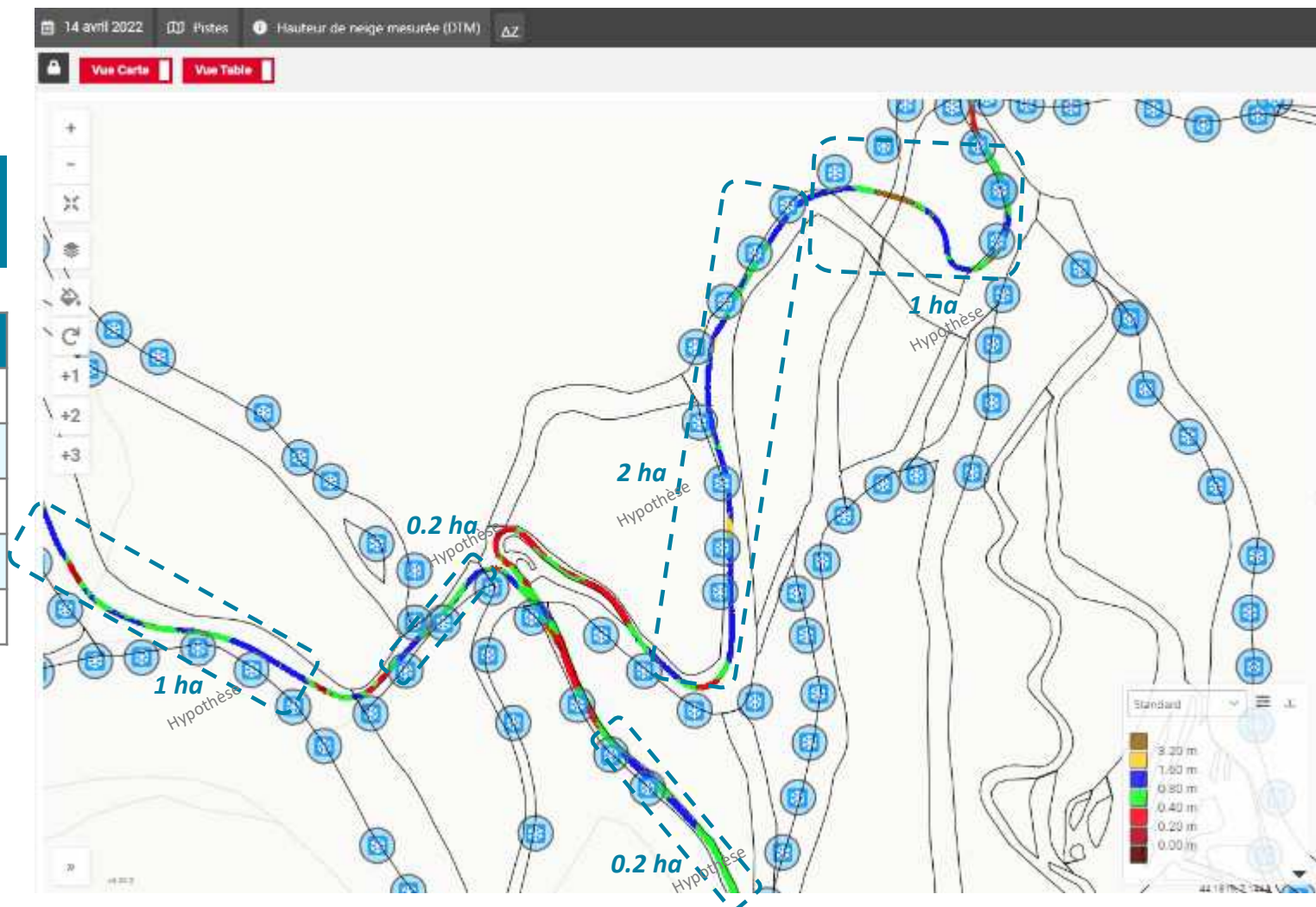
| | |
|---------------|-----|
| Chamois 1 | 0.4 |
| Chamois 2 | 0.4 |
| Baisse Cabane | 0.3 |
| Petite Combe | 0.3 |
| Verps 2 | 0.3 |

16800

m³ de neige excédentaire

➤ **33600 €**

Economies d'énergie et financières non négligeables



Production de Neige à Isola 2000



La quantité de neige de culture nécessaire augmente année après année

Mince fenêtre de production de neige et forte demande

Les canons à neige fonctionnent à 100% lorsque les conditions le permettent

138 000
Volume d'eau du bassin de rétention (m³)

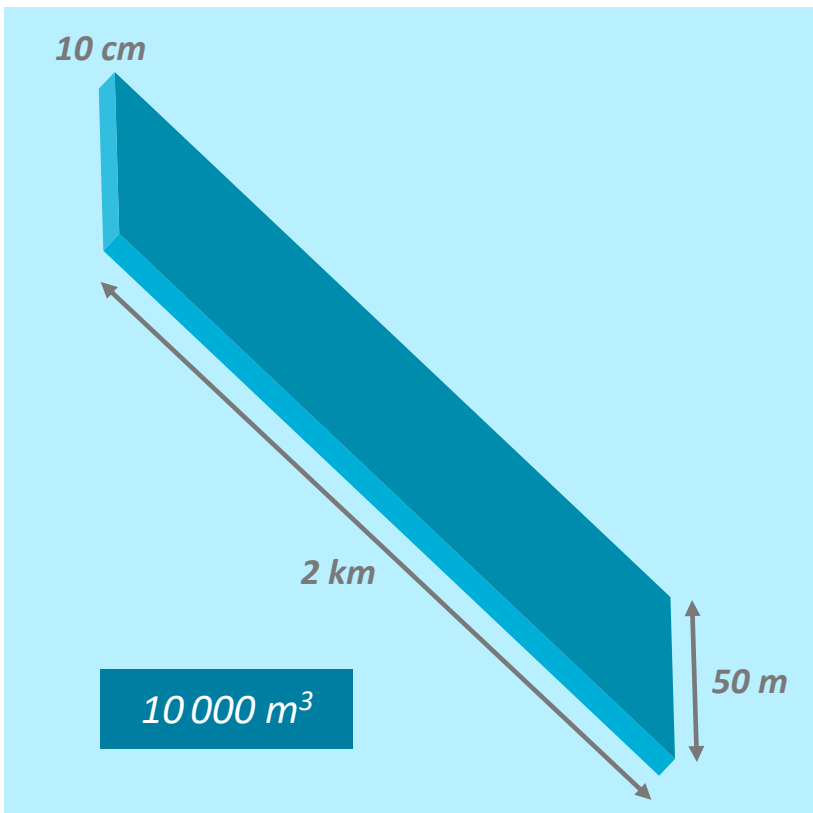
3 350
Puissance électrique totale des canons à neige (kW)

| | Relative humidity (%) → | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 | |
| ← Air temperature (°C) | -15 | -17.2 | -17.1 | -17 | -16.9 | -16.7 | -16.6 | -16.5 | -16.4 | -16.3 | -16.2 | -16 | -15.9 | -15.8 | -15.7 | -15.6 | -15.5 | -15.3 | -15.2 | -15.1 | -15 |
| | -14 | -16.4 | -16.3 | -16.1 | -16 | -15.9 | -15.8 | -15.6 | -15.5 | -15.4 | -15.2 | -15.1 | -15 | -14.9 | -14.7 | -14.6 | -14.5 | -14.4 | -14.3 | -14.1 | -14 |
| | -13 | -15.6 | -15.4 | -15.3 | -15.2 | -15 | -14.9 | -14.7 | -14.6 | -14.5 | -14.3 | -14.2 | -14.1 | -13.9 | -13.8 | -13.7 | -13.5 | -13.4 | -13.3 | -13.1 | -13 |
| | -12 | -14.8 | -14.6 | -14.5 | -14.3 | -14.2 | -14 | -13.9 | -13.7 | -13.6 | -13.4 | -13.3 | -13.1 | -13 | -12.9 | -12.7 | -12.6 | -12.4 | -12.3 | -12.1 | -12 |
| | -11 | -14 | -13.8 | -13.7 | -13.5 | -13.3 | -13.2 | -13 | -12.9 | -12.7 | -12.5 | -12.4 | -12.2 | -12.1 | -11.9 | -11.8 | -11.6 | -11.5 | -11.3 | -11.1 | -11 |
| | -10 | -13.2 | -13 | -12.8 | -12.7 | -12.5 | -12.3 | -12.2 | -12 | -11.8 | -11.7 | -11.5 | -11.3 | -11.2 | -11 | -10.8 | -10.7 | -10.5 | -10.3 | -10.2 | -10 |
| | -9 | -12.4 | -12.2 | -12 | -11.9 | -11.7 | -11.5 | -11.3 | -11.1 | -10.9 | -10.8 | -10.6 | -10.4 | -10.2 | -10 | -9.9 | -9.7 | -9.5 | -9.3 | -9.2 | -9 |
| | -8 | -11.7 | -11.5 | -11.3 | -11.1 | -10.9 | -10.7 | -10.5 | -10.3 | -10.1 | -9.9 | -9.7 | -9.5 | -9.3 | -9.1 | -8.9 | -8.7 | -8.6 | -8.4 | -8.2 | -8 |
| | -7 | -10.9 | -10.7 | -10.5 | -10.3 | -10 | -9.8 | -9.6 | -9.4 | -9.2 | -9 | -8.8 | -8.6 | -8.4 | -8.2 | -8 | -7.8 | -7.6 | -7.4 | -7.2 | -7 |
| | -6 | -10.2 | -9.9 | -9.7 | -9.5 | -9.3 | -9 | -8.8 | -8.6 | -8.4 | -8.1 | -7.9 | -7.7 | -7.5 | -7.3 | -7 | -6.8 | -6.6 | -6.4 | -6.2 | -6 |
| | -5 | -9.4 | -9.2 | -8.9 | -8.7 | -8.5 | -8.2 | -8 | -7.7 | -7.5 | -7.3 | -7 | -6.8 | -6.6 | -6.3 | -6.1 | -5.9 | -5.7 | -5.4 | -5.2 | -5 |
| | -4 | -8.7 | -8.5 | -8.2 | -7.9 | -7.7 | -7.4 | -7.2 | -6.9 | -6.7 | -6.4 | -6.2 | -5.9 | -5.7 | -5.4 | -5.2 | -4.9 | -4.7 | -4.5 | -4.2 | -4 |
| | -3 | -8 | -7.7 | -7.4 | -7.2 | -6.9 | -6.6 | -6.4 | -6.1 | -5.8 | -5.5 | -5.3 | -5 | -4.8 | -4.5 | -4.2 | -4 | -3.7 | -3.5 | -3.2 | -3 |
| | -2 | -7.3 | -7 | -6.7 | -6.4 | -6.1 | -5.8 | -5.5 | -5.3 | -5 | -4.7 | -4.4 | -4.1 | -3.9 | -3.6 | -3.3 | -3.1 | -2.8 | -2.5 | -2.3 | -2 |
| | -1 | -6.6 | -6.3 | -6 | -5.7 | -5.4 | -5 | -4.7 | -4.4 | -4.1 | -3.8 | -3.5 | -3.3 | -3 | -2.7 | -2.4 | -2.1 | -1.8 | -1.5 | -1.3 | -1 |
| 0 | -6 | -5.6 | -5.3 | -4.9 | -4.6 | -4.3 | -3.9 | -3.6 | -3.3 | -3 | -2.7 | -2.4 | -2.1 | -1.8 | -1.5 | -1.2 | -0.9 | -0.6 | -0.3 | 0 | |
| 1 | -5.3 | -4.9 | -4.6 | -4.2 | -3.9 | -3.5 | -3.2 | -2.8 | -2.5 | -2.2 | -1.9 | -1.5 | -1.2 | -0.9 | -0.6 | -0.3 | 0.1 | 0.4 | 0.7 | 1 | |
| 2 | -4.6 | -4.3 | -3.9 | -3.5 | -3.1 | -2.8 | -2.4 | -2.1 | -1.7 | -1.4 | -1 | -0.7 | -0.4 | 0 | 0.3 | 0.7 | 1 | 1.3 | 1.7 | 2 | |
| 3 | -4 | -3.6 | -3.2 | -2.8 | -2.4 | -2.1 | -1.7 | -1.3 | -0.9 | -0.6 | -0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.9 | 1.3 | 1.6 | 2 | 2.3 | 2.7 | 3 | |
| 4 | -3.4 | -3 | -2.5 | -2.1 | -1.7 | -1.3 | -0.9 | -0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.7 | 1.1 | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 2.6 | 2.9 | 3.3 | 3.6 | 4 | |

Corrélation entre température ambiante, température humide, humidité et possibilité de réaliser de la neige de culture

Exemple de Production de Neige de Culture

Meilleure gestion de la production et de la répartition de la neige de culture



2€

Coût de la neige de culture (€/m³)



Une réduction de 10 cm d'épaisseur de neige génèrerait une **économie de 20 000 €** pour une piste de cette dimension

+ coûts liés au damage

06 Remontées Mécaniques

Remontée Mécanique Expérimentale

Expérimentations sur le TSD Combe Grosse



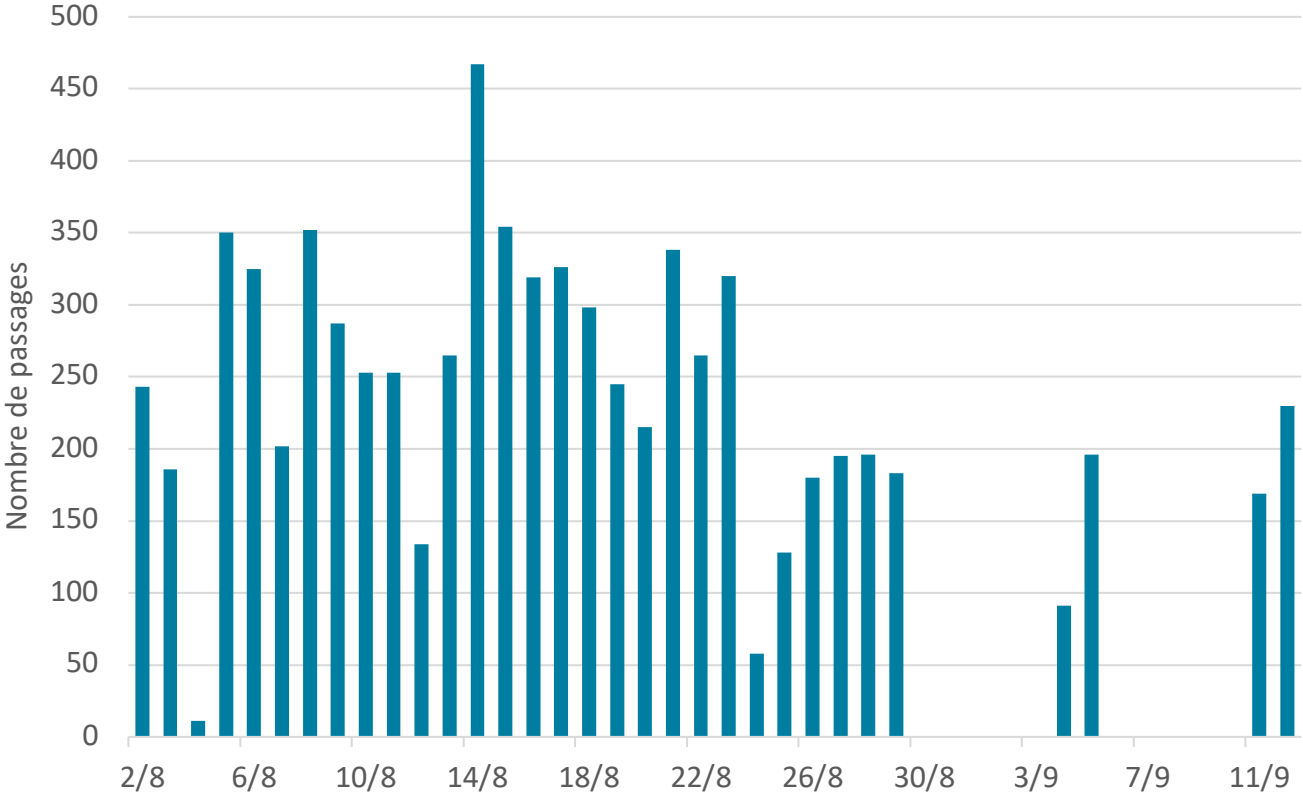
TSD en activité en hiver comme en été

3 000
Capacité
(personnes/h)

5
Vitesse de
montée (m/s)

369
Dénivelé de la
remontée (m)





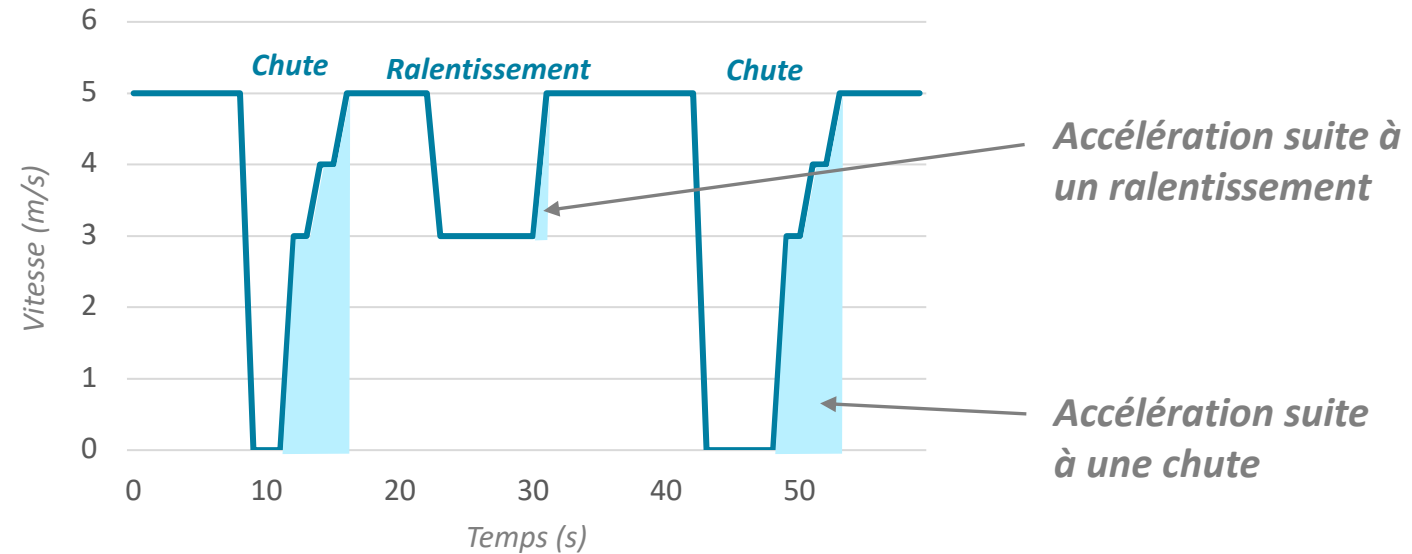
Suivi de passage du TSD Combe Grosse en août et septembre 2021

Relation Entre Puissance et Accélération

La deuxième loi de Newton mentionne qu'une force résultante exercée sur un objet est égale au produit de la masse de cet objet par son **accélération**



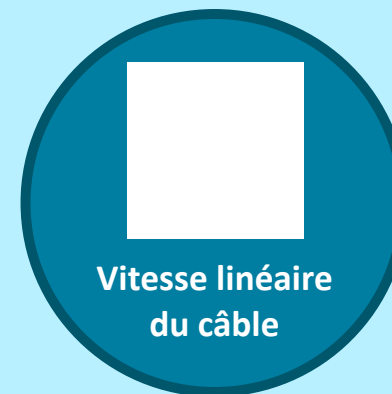
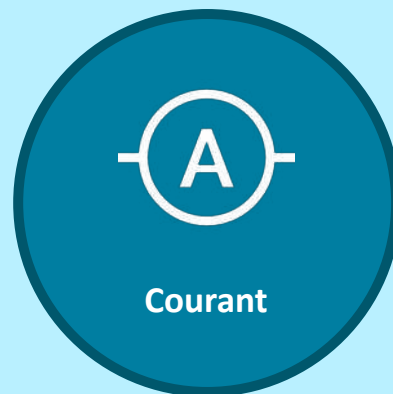
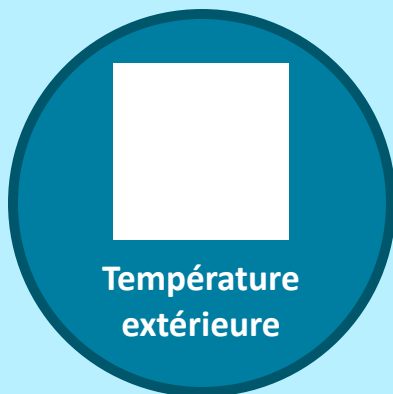
La puissance instantanée de la remontée mécanique et donc la consommation énergétique associée dépendent de l'accélération



A

Mise en place de capteurs sur le TSD Combe Grosse dans le but de **quantifier d'éventuelles réductions de consommation d'énergie** liées à la manipulation de cette machine

Relevé de différents paramètres



B

Fluctuations de l'affluence des remontées mécaniques au cours de la journée

Réduction de la vitesse des remontées lors de faibles affluences

Variation de la vitesse des remontées en fonction des affluences

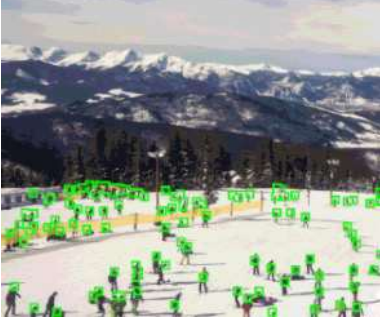
Pas de perte de qualité ni de confort pour les utilisateurs des remontées mécaniques

Réduction

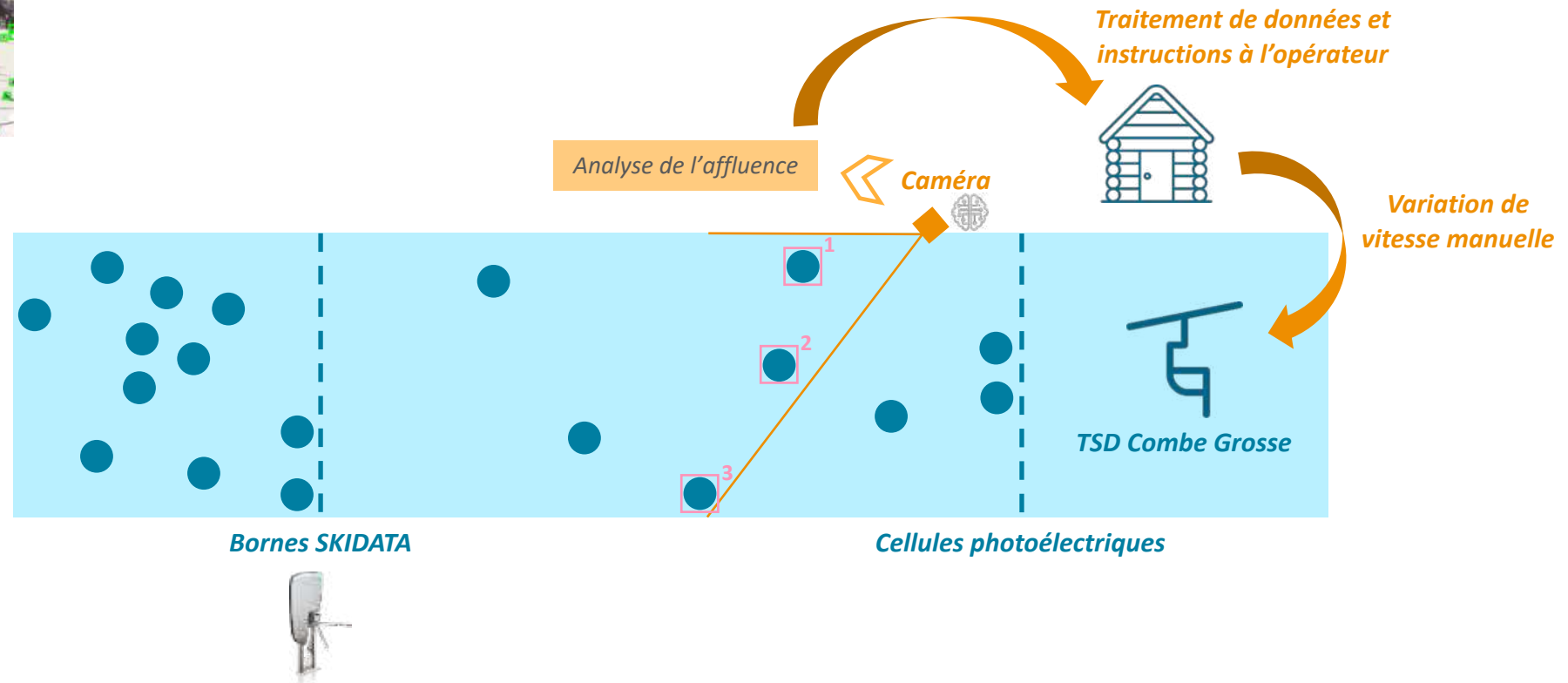


Variation de la Vitesse des Remontées

B



Mise en place d'une **caméra dotée d'une intelligence artificielle** permettant de quantifier l'affluence en bas des remontées mécaniques



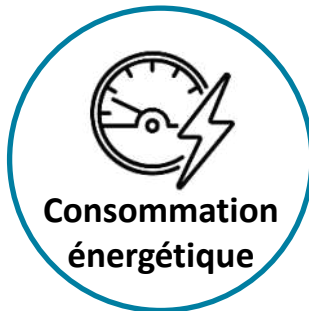
C



PyxisAI : solution d'intelligence artificielle de détection de chutes

La ludification est le fait d'**intégrer certains mécanismes de jeu** dans des processus qui n'ont pas pour vocation première d'être ludiques dans le **but de rendre ces processus plus attrayant**

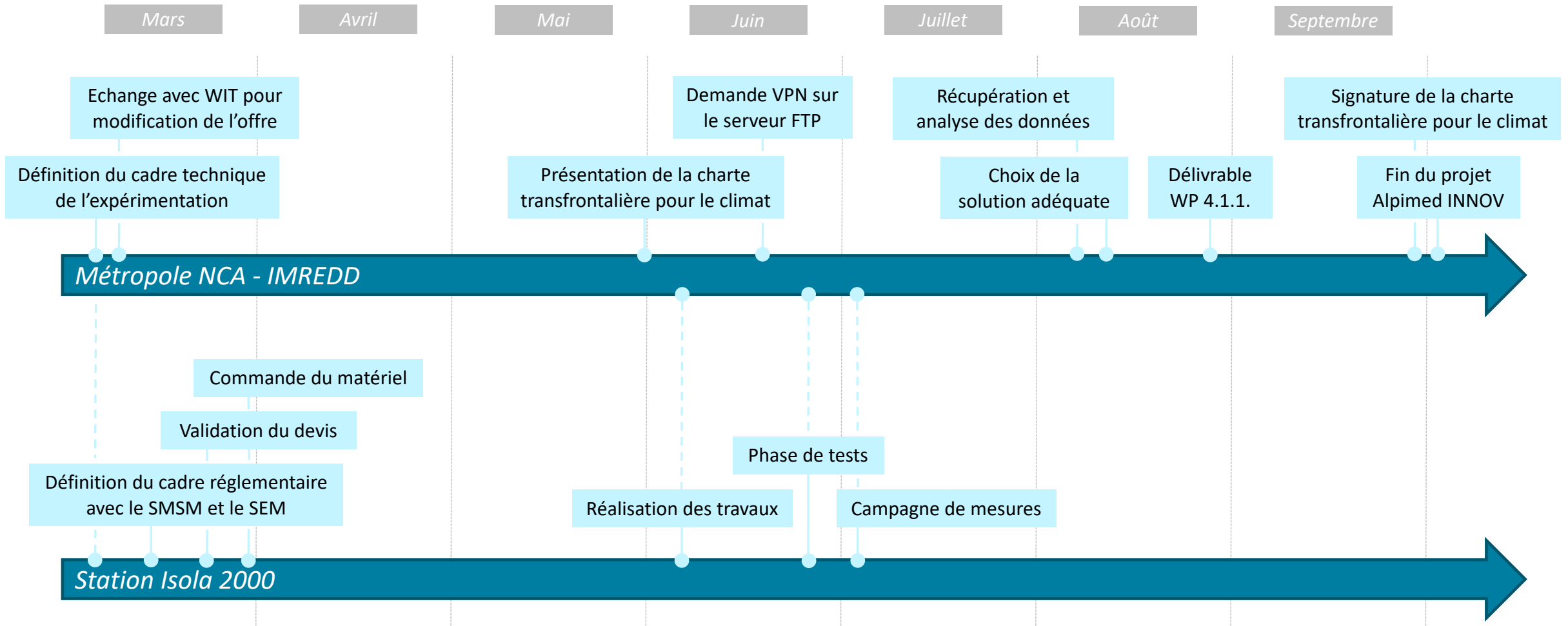
Plusieurs critères permettent une évaluation des opérateurs



*Dépend du type des remontées
mécaniques et du nombre de clients*

Dans un but de motivation, la **récompense** pourrait être sous forme d'une prime

Planning



Merci pour votre attention

Annexes

ALPIMED CLIMA

Objectifs

Consolider les données climatiques et les rendre accessibles aux acteurs du territoire

Devenir un acteur et un exemple de la lutte contre le changement climatique



Soutenir l'économie de montagne face au changement climatique

Fédérer les acteurs des Alpes de la Méditerranée autour d'objectifs communs

Expérimenter pour assurer le développement d'outils de planification territoriale

ALPIMED INNOV

Objectifs

L'**innovation** et la diffusion des technologies pour les entreprises et pour les jeunes

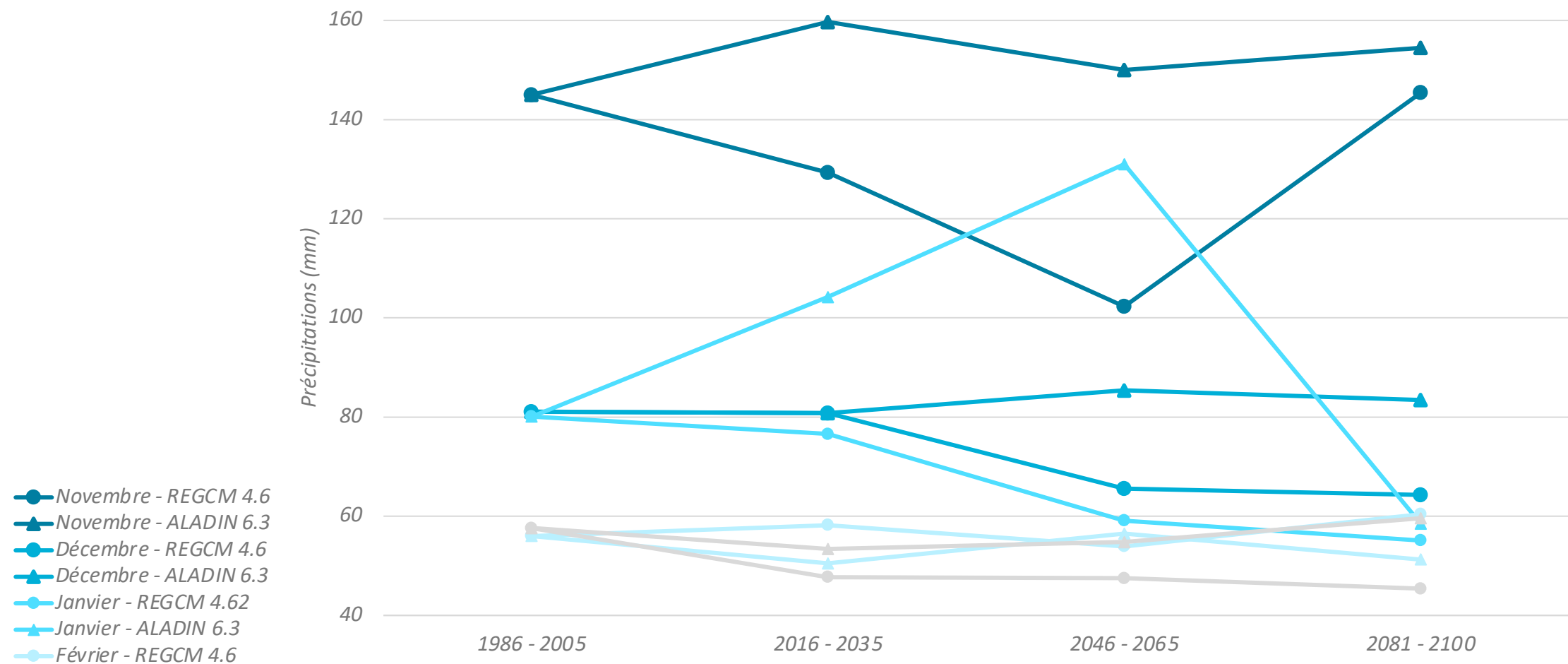
Actions et stratégies solutionnant des problèmes liés au dérèglement climatique

4

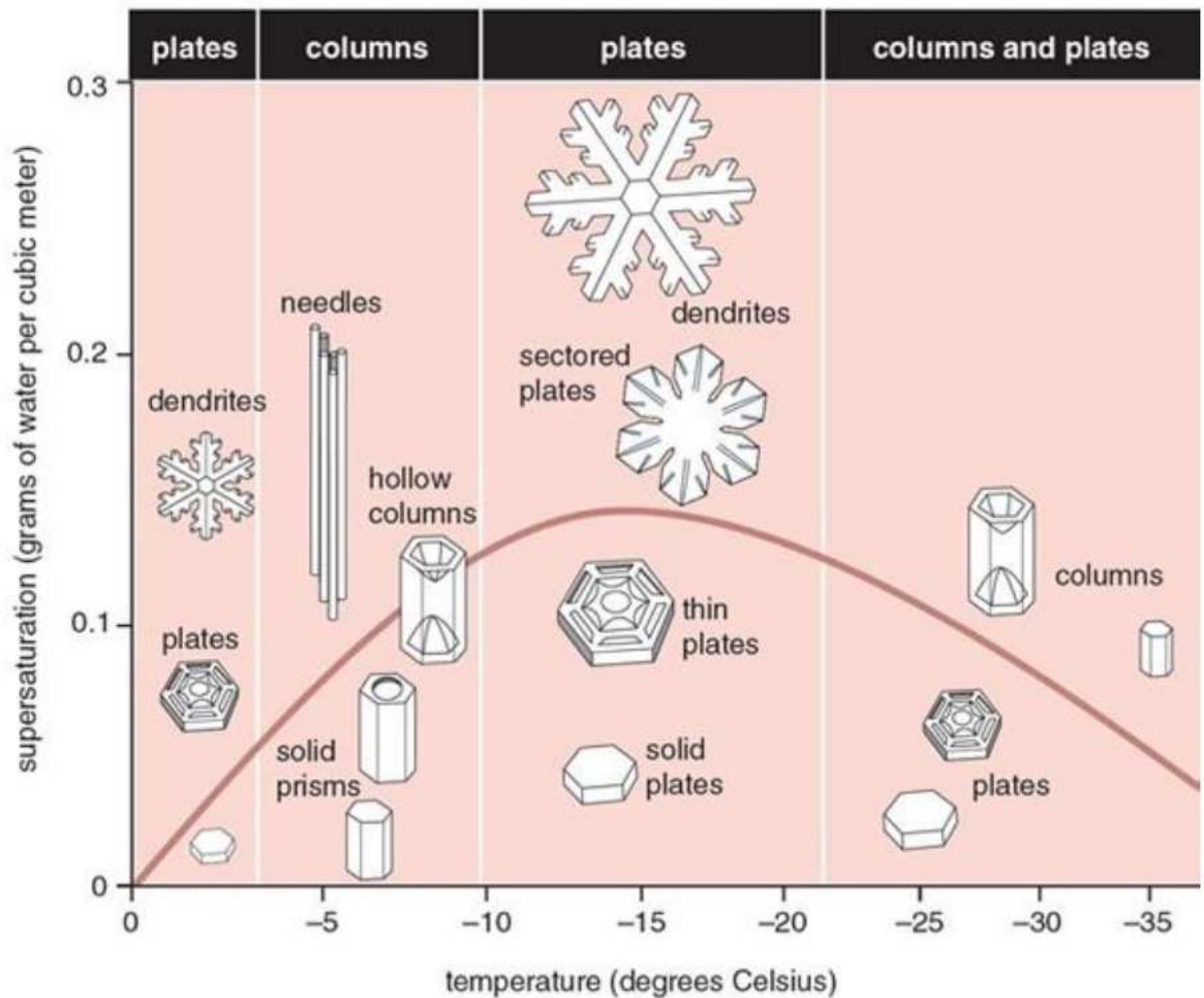
Favoriser l'**entrepreneuriat local et l'emploi des jeunes** pour lutter contre le dépeuplement

Encourager la **promotion du territoire**

Evolution des Précipitations à Isola 2000



Modélisations de l'évolution des précipitations moyennes à Isola 2000



Possibles configurations et formes des flocons de neige