

# Observation et modélisation de l'organisation structurelle et des impacts physiques de la gestion de la neige dans les domaines skiables français

**Spandre P.<sup>1,2,\*</sup>, Morin S.<sup>1</sup>, George-Marcelpoil E.<sup>2</sup>,  
François H.<sup>2</sup>, Lafaysse M.<sup>1</sup>, Lejeune, Y.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Météo-France - CNRS, Centre d'Etudes de la Neige

<sup>2</sup> Université Grenoble Alpes, Irstea,

\* pierre.spandre@irstea.fr

# Pourquoi gérer la neige?

**Confort et sécurité** des pratiquants (damage)

**Résistance** thermique et mécanique du manteau neigeux (damage)

**Atténuation des effets de la variabilité** inter annuelle des conditions météorologiques (neige de culture)

**Vecteur d'image** (promotion, communication) (neige de culture)


**Atténuation des effets du changement climatique ?** (neige de culture)

## Pour aller plus loin

Bergstrom, K., Ekeland, A., 2004. Effect of trail design and grooming on the incidence of injuries at alpine ski areas. *British Journal of Sports Medicine* 38, 264-268. doi :10.1136/bjism.2002.000270.

Hopkins, D.M., 2013. The social phenomenon of climate change : contextual vulnerability, risk perception and adaptation in the ski industry of Queenstown, New Zealand. Ph.D. thesis. doi :10.1080/13683500.2013.776022.

Trawoger, L., 2014. Convinced, ambivalent or annoyed : Tyrolean ski tourism stakeholders and their perceptions of climate change. *Tourism Management* 40, 338-351. doi :10.1016/j.tourman.2013.07.010.



# Quelques éléments de contexte

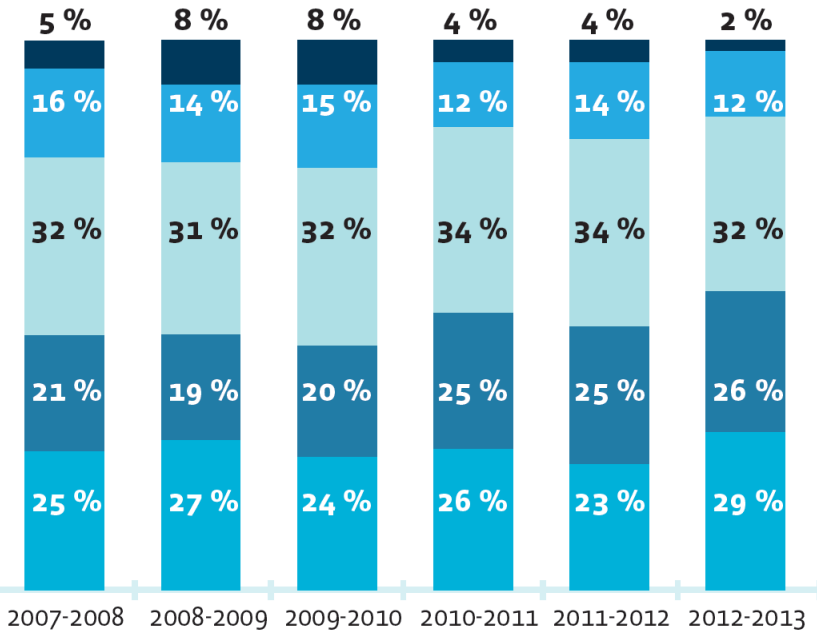
## Pour aller plus loin

Francois, H., Morin, S., Lafaysse, M., George-Marcelpoil, E., 2014. Crossing numerical simulations of snow conditions with a spatially-resolved socio-economic database of ski resorts : A proof of concept in the french alps. Cold Regions Science and Technology 108, 98-112. doi :10.1016/j.coldregions.2014.08.005.

# Pourquoi gérer la neige?

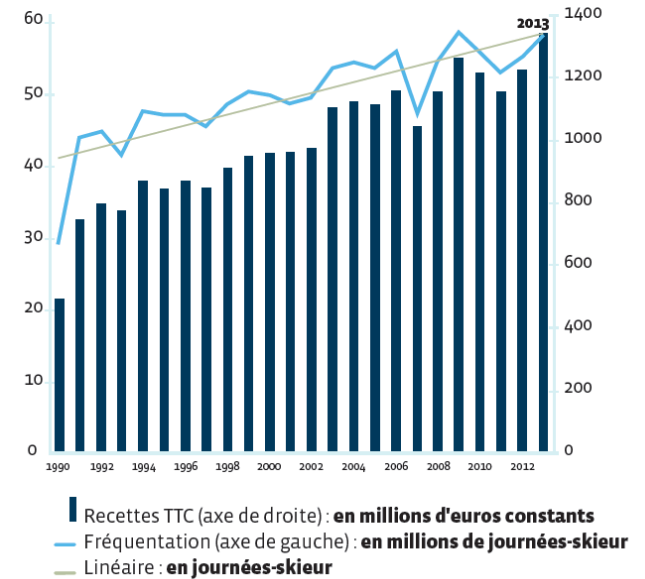
**POIDS DES PÉRIODES DANS LA SAISON DE 2008 À 2013**

- Vacances de printemps
- Intervacances mars
- Vacances d'hiver



- Intervacances janvier
- Noël et avant-saison

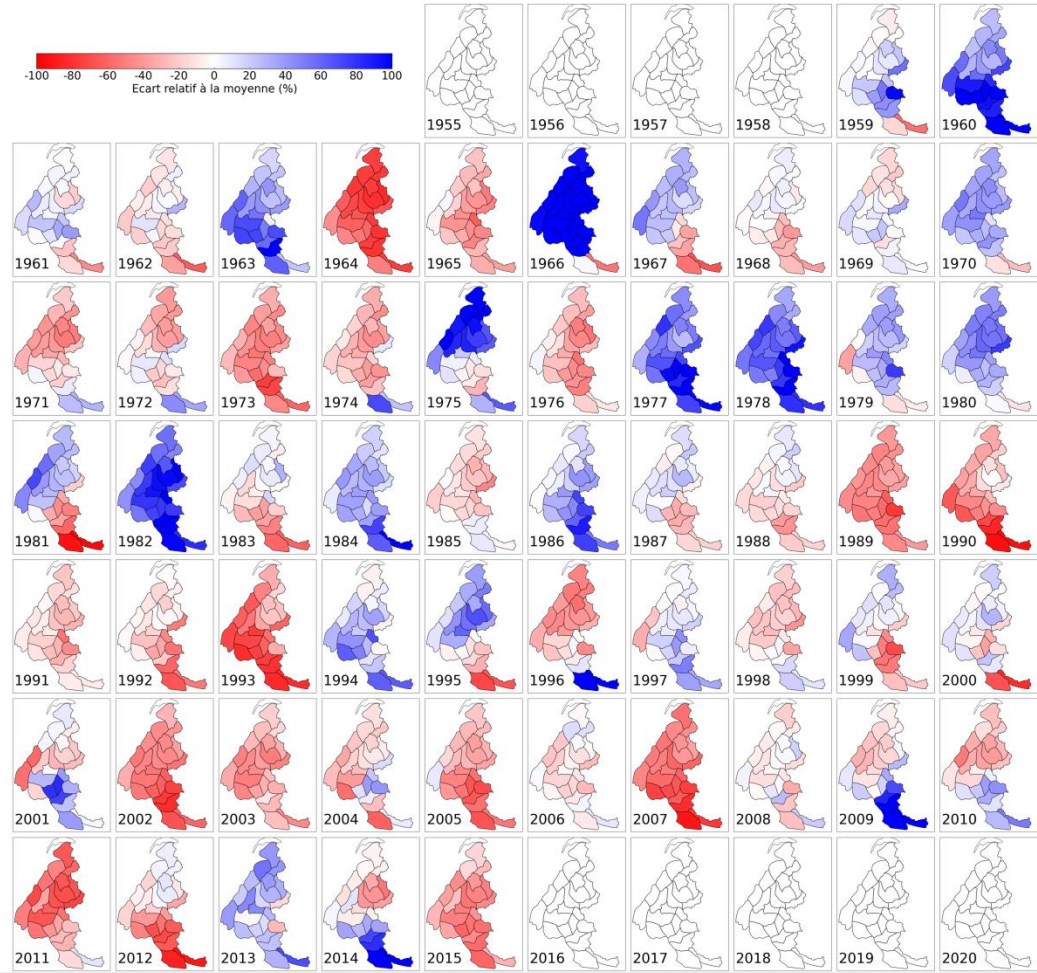
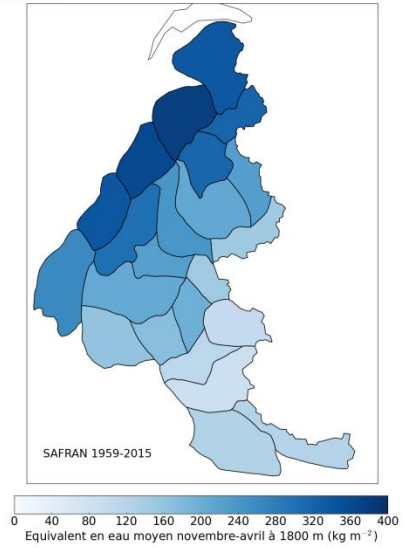
**RECETTES ET FRÉQUENTATION DES DOMAINES SKIABLES DEPUIS 1990**



**Pour aller plus loin**

DSF, 2011. L'observatoire - Indicateurs et Analyses. Technical Report. Domaines Skiabiles de France. URL : <http://www.domaines-skiabiles.fr/downloads/uploads/OBSERVATOIRERecueilIndicateur2011BD.pdf>.

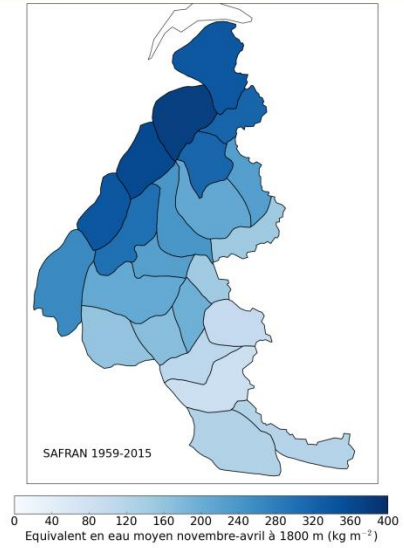
# Pourquoi gérer la neige?



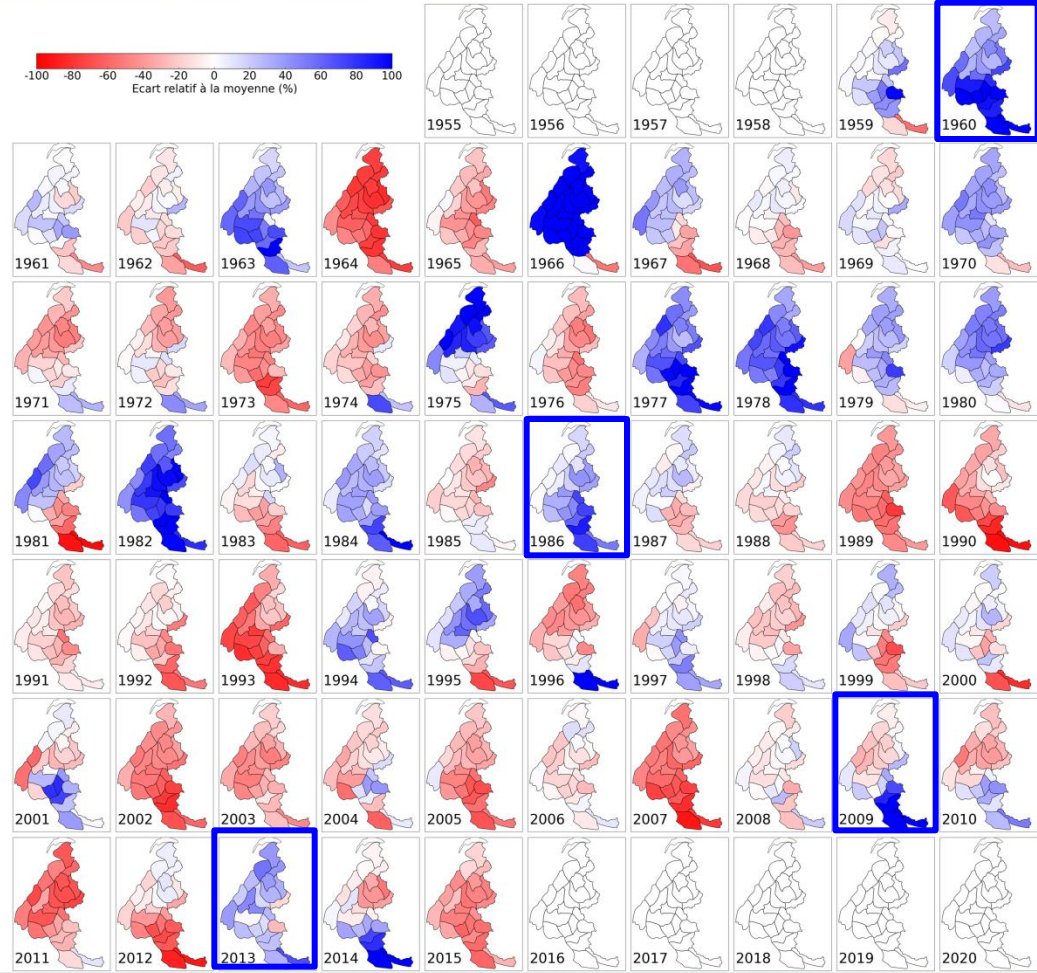
## Pour aller plus loin

Durand, Y., Giraud, G., Laternser, M., Etchevers, P., Merindol, L., Lesaffre, B., 2009b. Reanalysis of 47 years of climate in the french alps (1958-2005) : Climatology and trends for snow cover. J. Appl. Meteor. Climat. 48, 2487-2512. doi:10.1175/2009JAMC1810.1.

# Pourquoi gérer la neige?



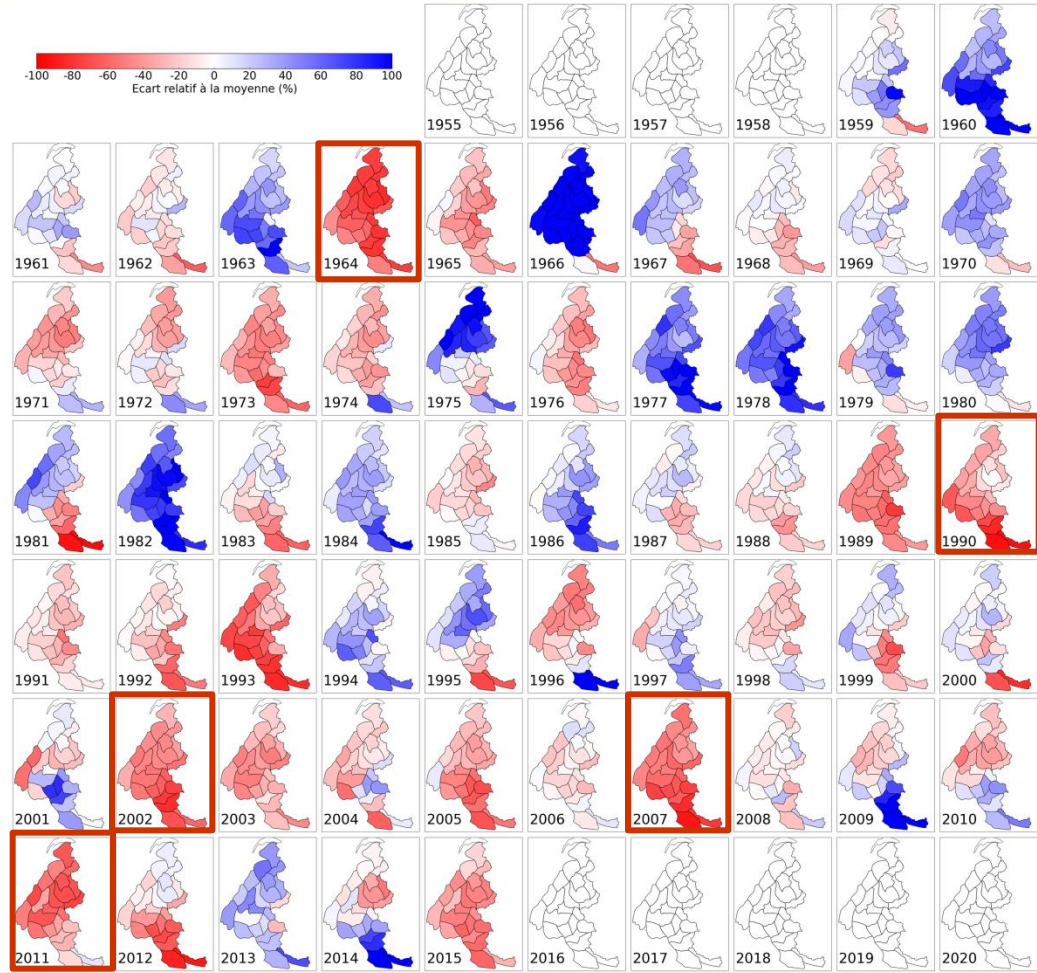
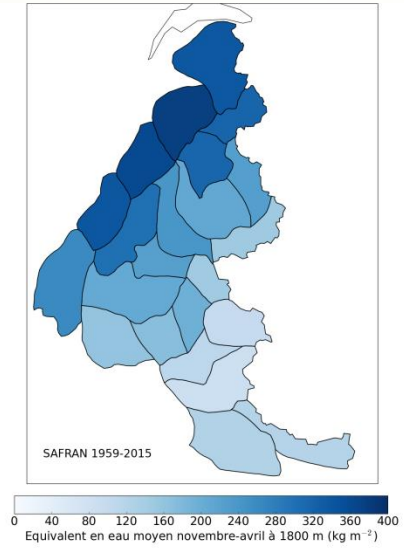
« Bonnes »  
années



Pour aller plus loin

Durand, Y., Giraud, G., Laternser, M., Etchevers, P., Merindol, L., Lesaffre, B., 2009b. Reanalysis of 47 years of climate in the french alps (1958-2005) : Climatology and trends for snow cover. J. Appl. Meteor. Climat. 48, 2487-2512. doi :10.1175/2009JAMC1810.1.

# Pourquoi gérer la neige?



« Mauvaises »  
années

Pour aller plus loin

Durand, Y., Giraud, G., Laternser, M., Etchevers, P., Merindol, L., Lesaffre, B., 2009b. Reanalysis of 47 years of climate in the french alps (1958-2005) : Climatology and trends for snow cover. J. Appl. Meteor. Climat. 48, 2487-2512. doi:10.1175/2009JAMC1810.1.

# Pourquoi gérer la neige?

A 1800 m, la durée de la saison **avec neige au sol** est de

**156 jours** pour les « mauvaises » années

**193 jours** pour les « bonnes » années

A 1800 m, la durée de la saison **avec 30 cm de neige** est de

**76 jours** pour les « mauvaises » années

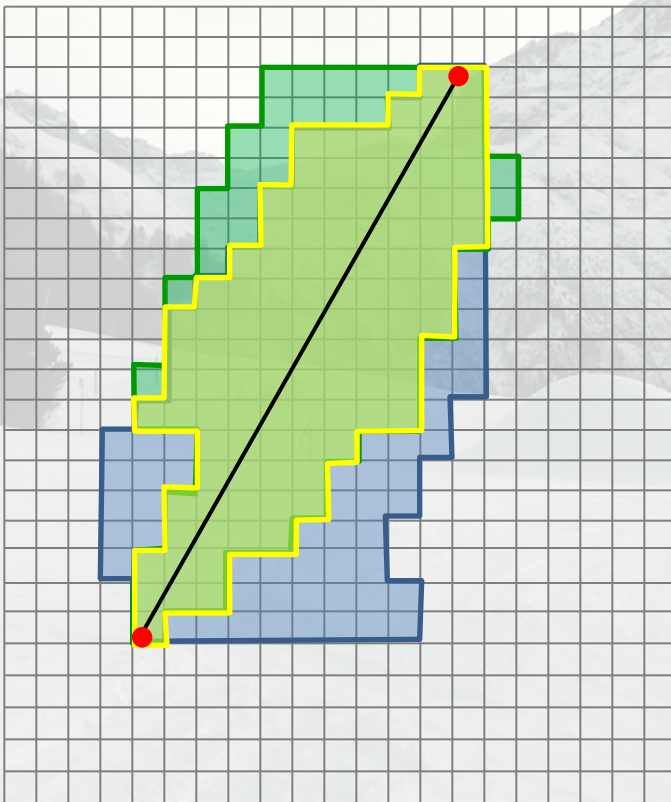
**157 jours** pour les « bonnes » années

Pour aller plus loin

Durand, Y., Giraud, G., Laternser, M., Etchevers, P., Merindol, L., Lesaffre, B., 2009b. Reanalysis of 47 years of climate in the french alps (1958-2005) : Climatology and trends for snow cover. J. Appl. Meteor. Climat. 48, 2487-2512. doi :10.1175/2009JAMC1810.1.

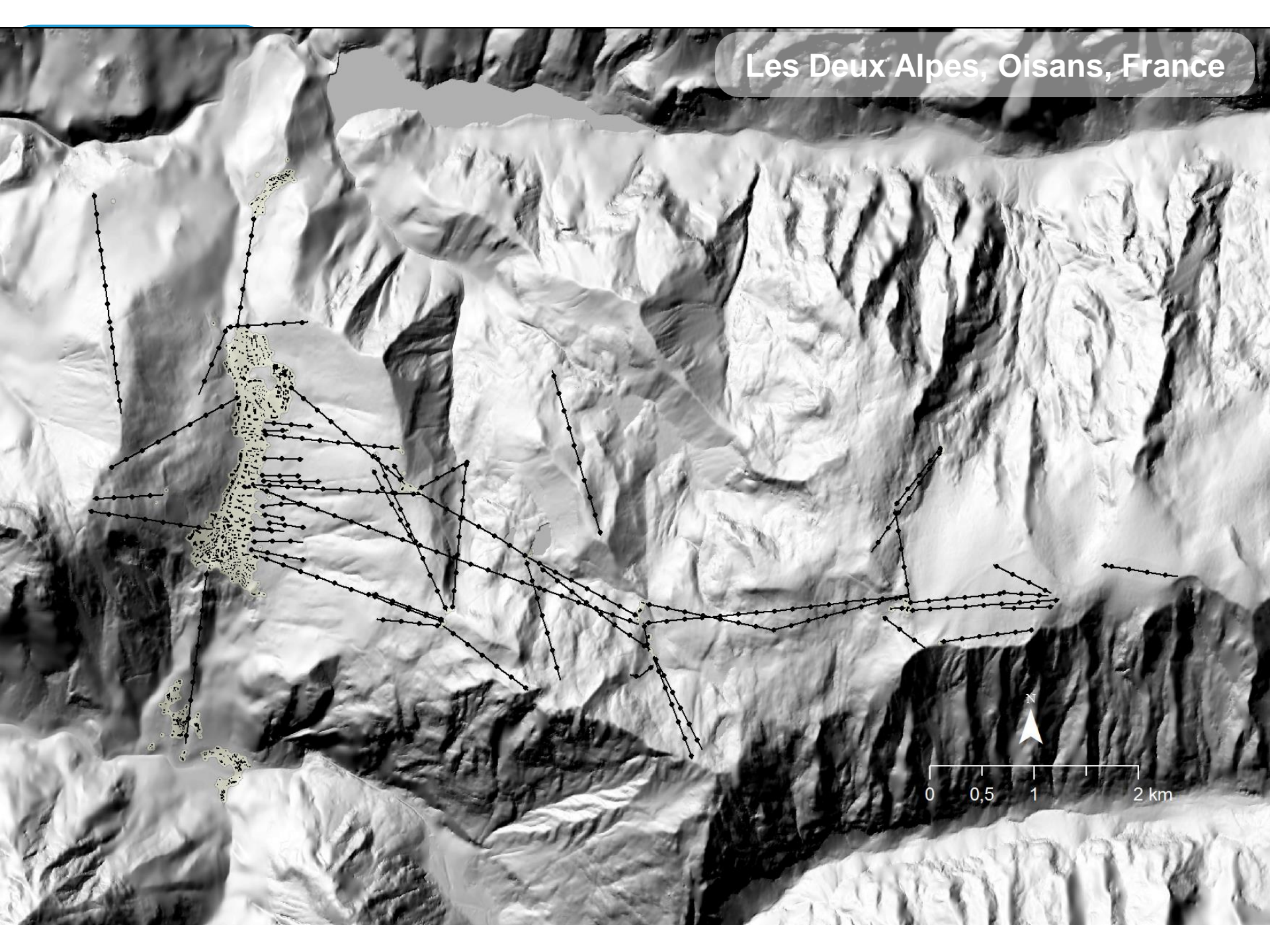


# Modélisation du domaine skiable gravitaire



- Ensemble des points accessibles depuis le haut d'un appareil de remontées mécaniques et permettant de rejoindre le pied d'un appareil
- Croisement de données géographiques
- Prise en compte de l'inertie du skieur à la descente
- Exclusion des parties « non skiable »
- Agrégation à l'échelle d'une station

# Les Deux Alpes, Oisans, France

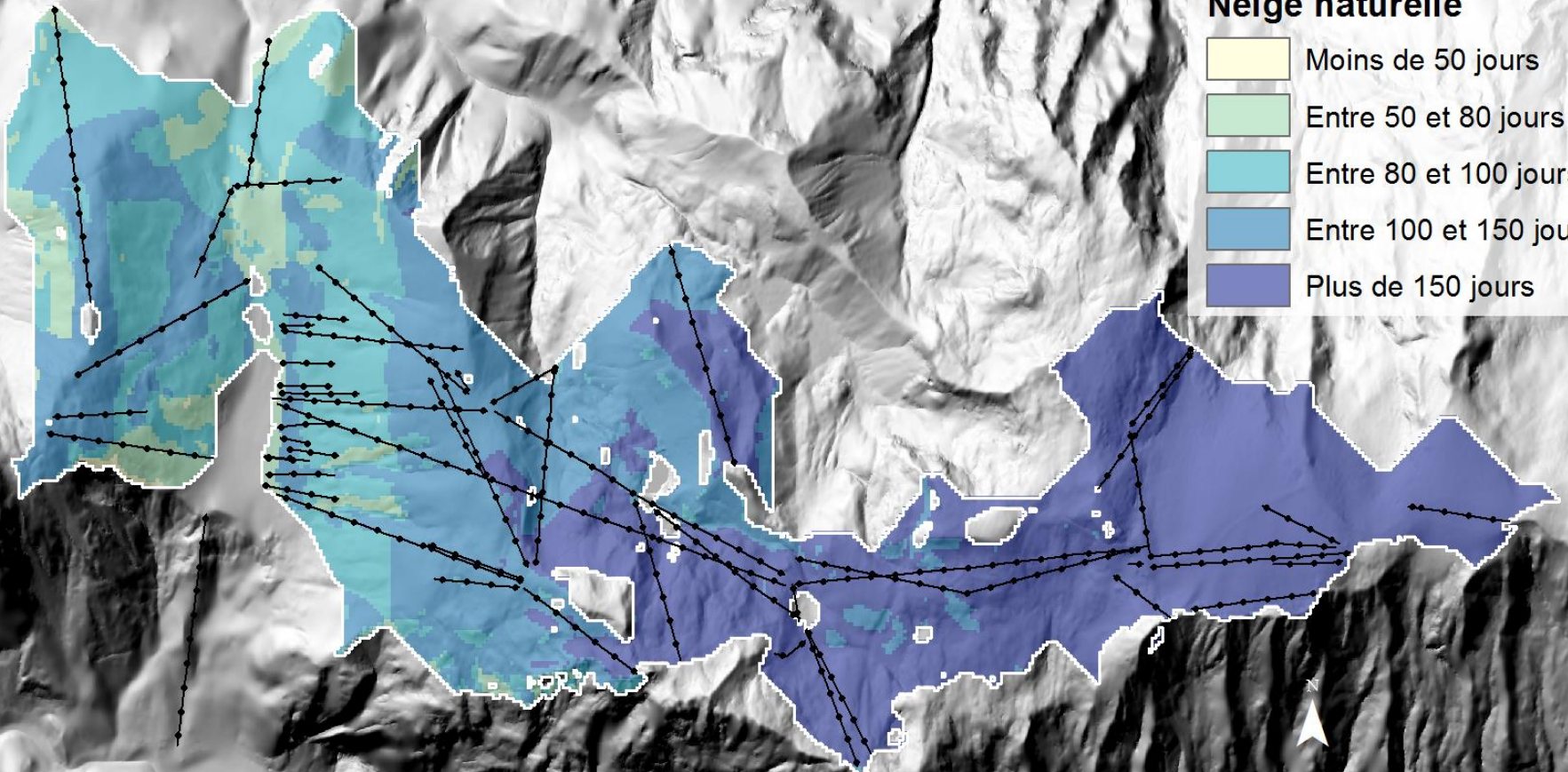


# Les Deux Alpes, Oisans, France



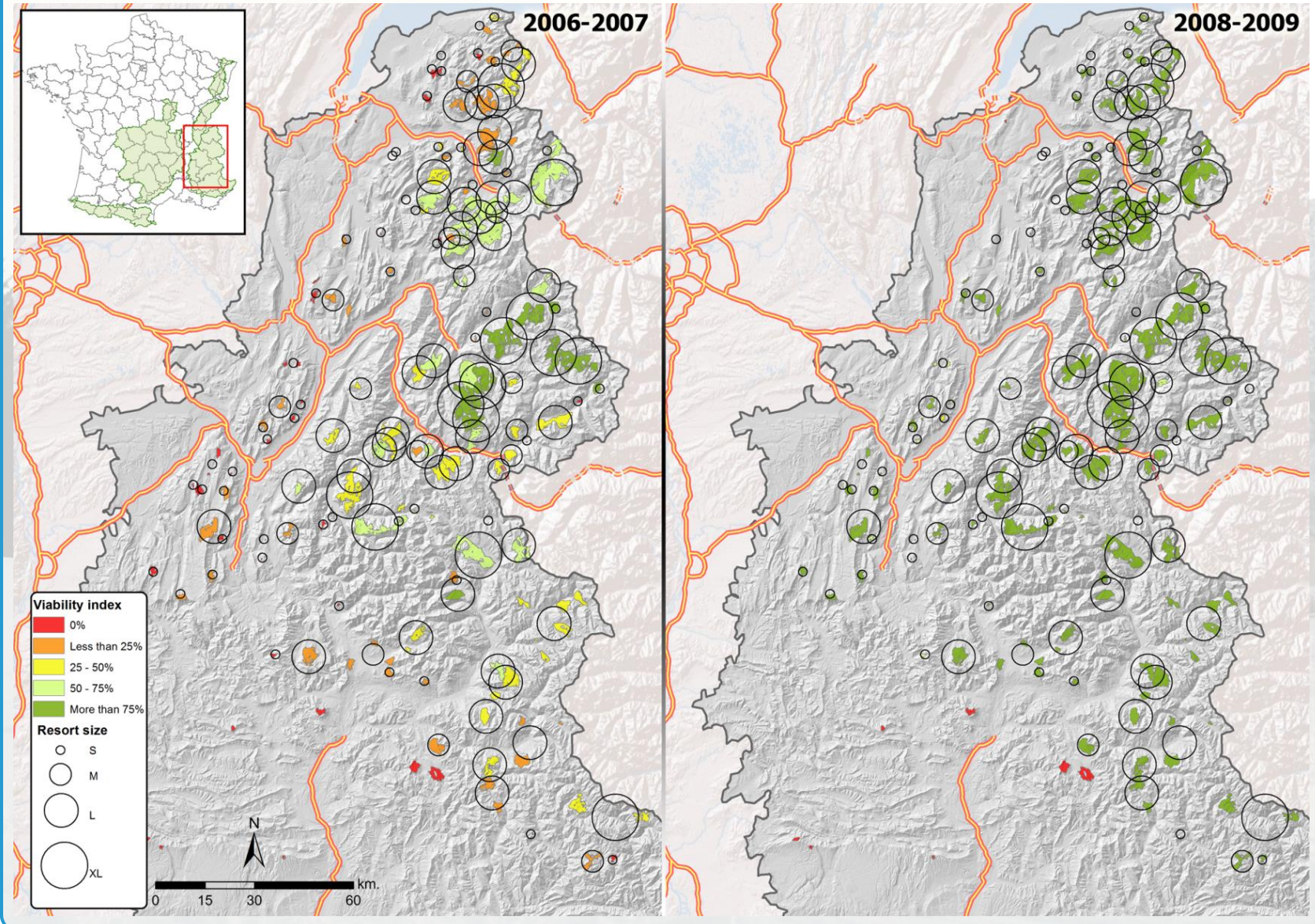
# Les Deux Alpes, Oisans, France

## Neige naturelle



**Enneigement naturel moyen – Période 2000-2012**

# Echelle Alpes – Enneigement naturel

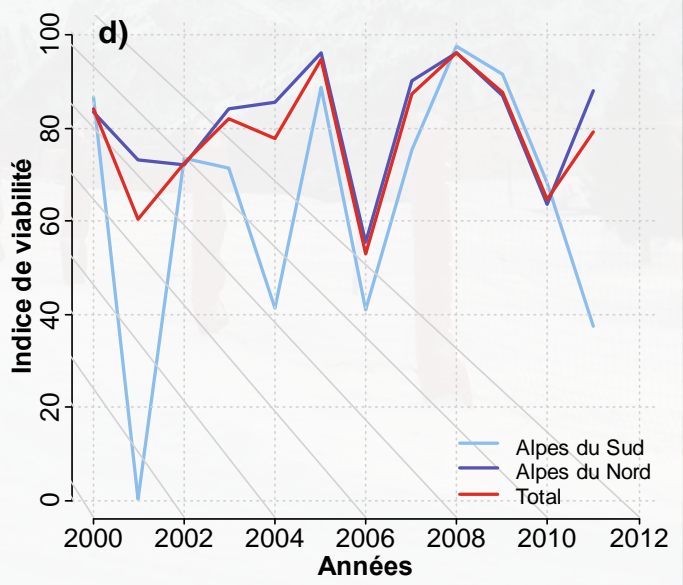
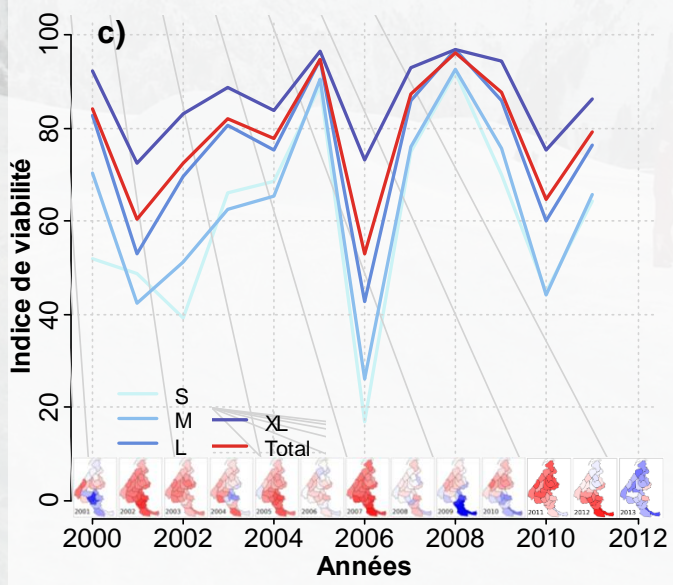
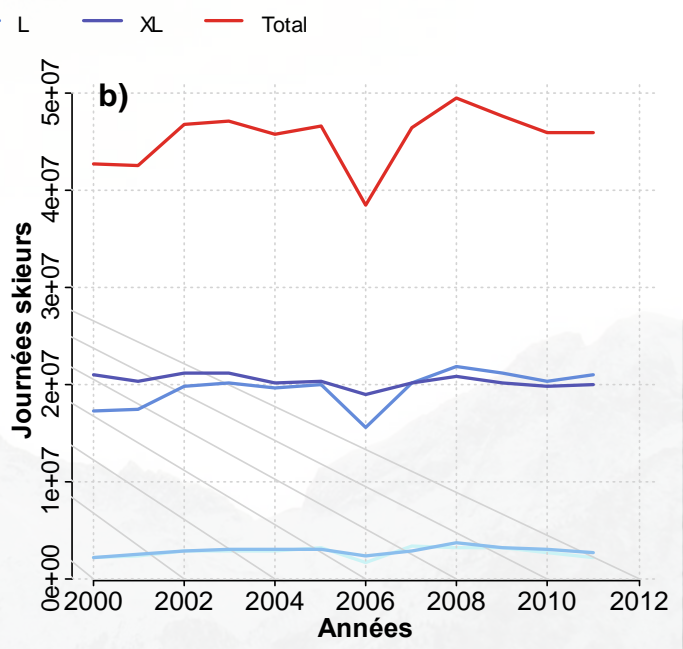
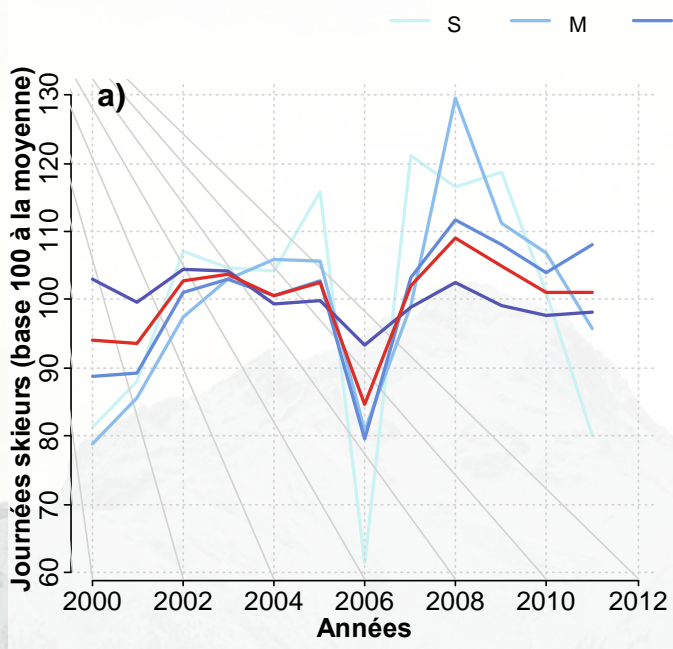


# Echelle Alpes

—

## Enneigement naturel

François et al., 2014

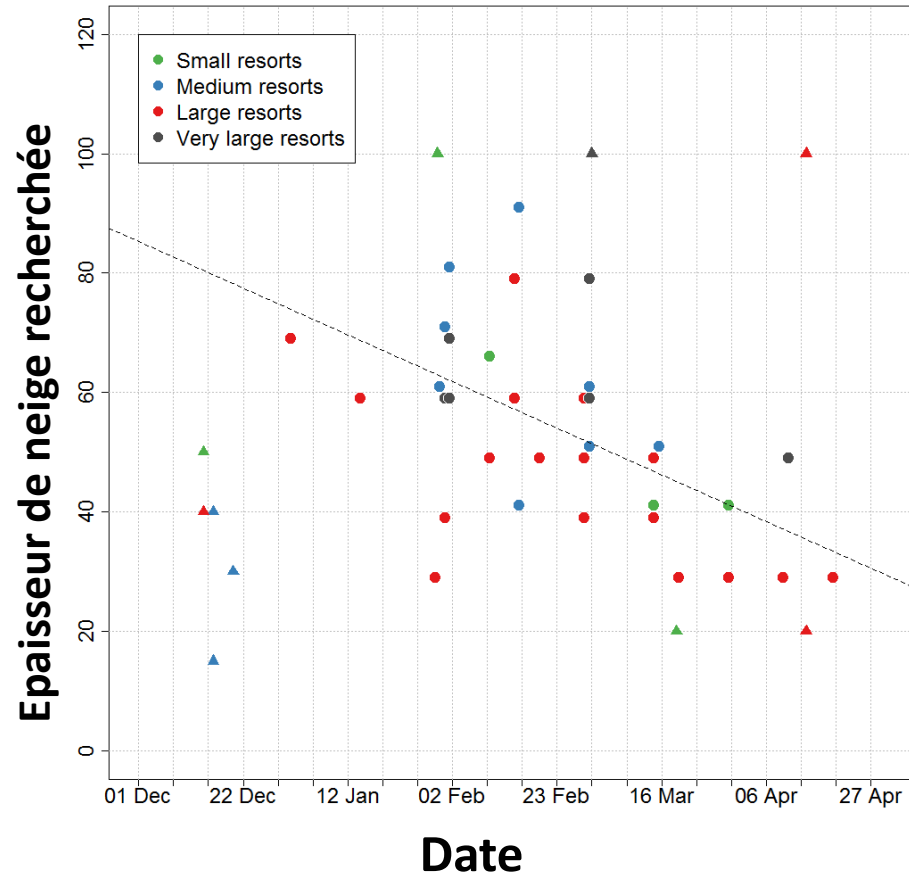


# Approches professionnelles de la gestion de la neige

## Pour aller plus loin

Spandre, P., François, H., George-Marcelpoil, E., Morin, S. Panel based assessment of snow management operations in French ski resorts  
*Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, Under review

# Combien de neige pour skier?

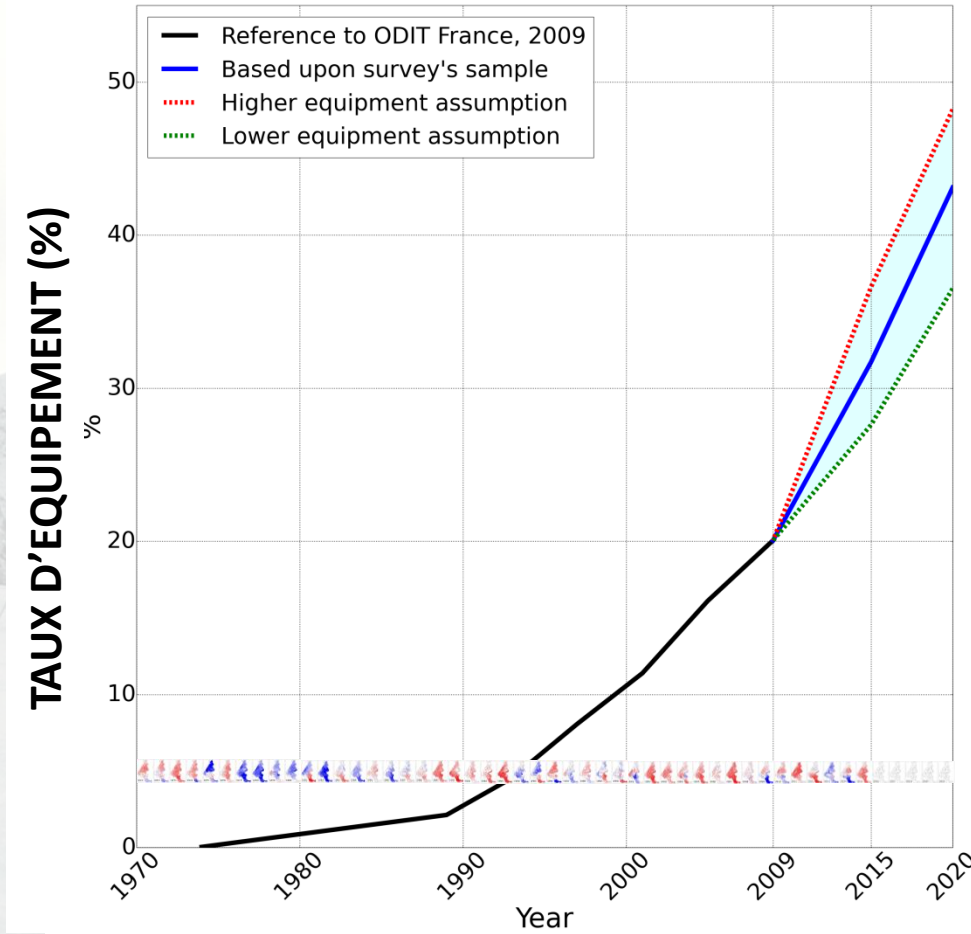


## Pour aller plus loin

Hennessy, K., Whetton, P., Walsh, K., Smith, I., Bathols, J., Hutchinson, M., Sharples, J., 2007. Climate change effects on snow conditions in mainland australia and adaptation at ski resorts through snowmaking. Climate Research. doi :10.3354/cr00706.



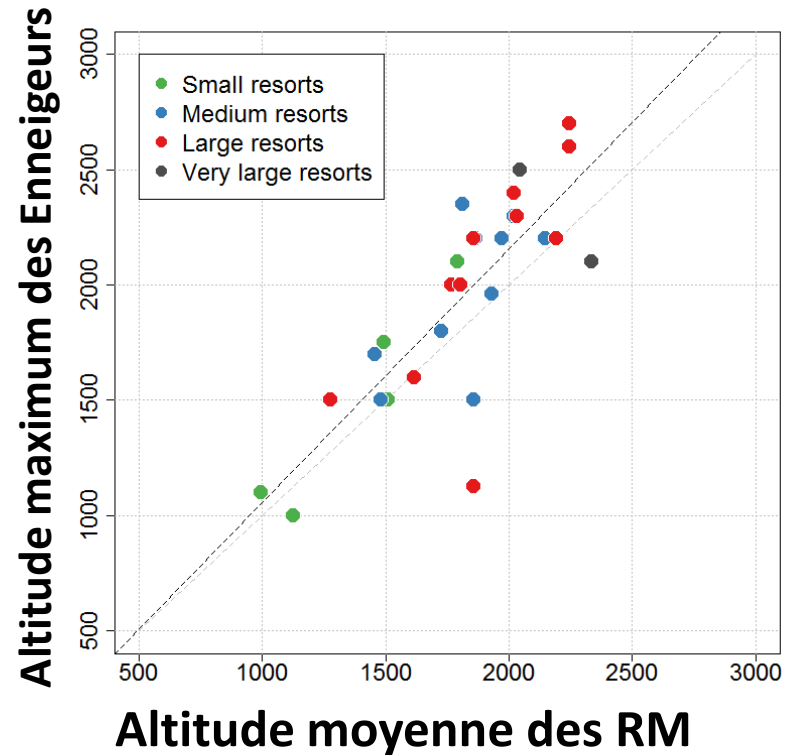
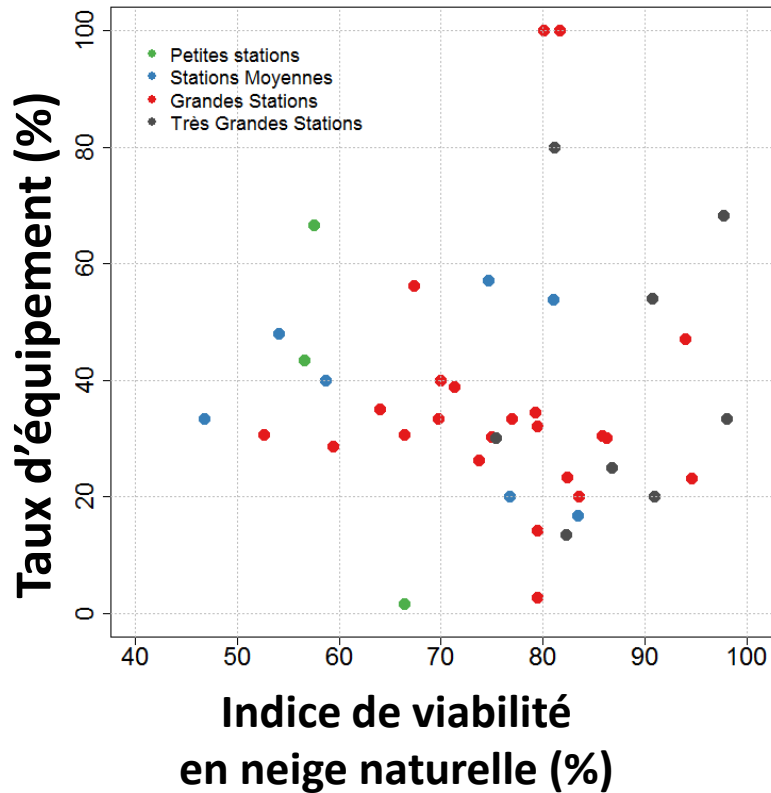
# Combien de neige pour skier?



## Pour aller plus loin

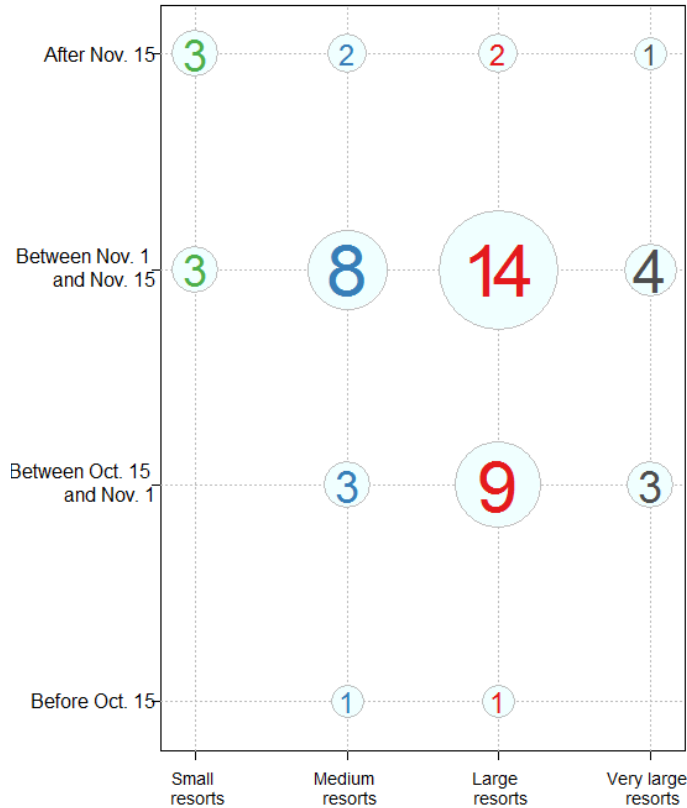
Spandre, P., Francois, H., Morin, S., George-Marcelpoil, E., 2015. Snowmaking in the French alps. climatic context, existing facilities and outlook. Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine doi :10.4000/rga.2913.

# Pratiques de production de neige de culture

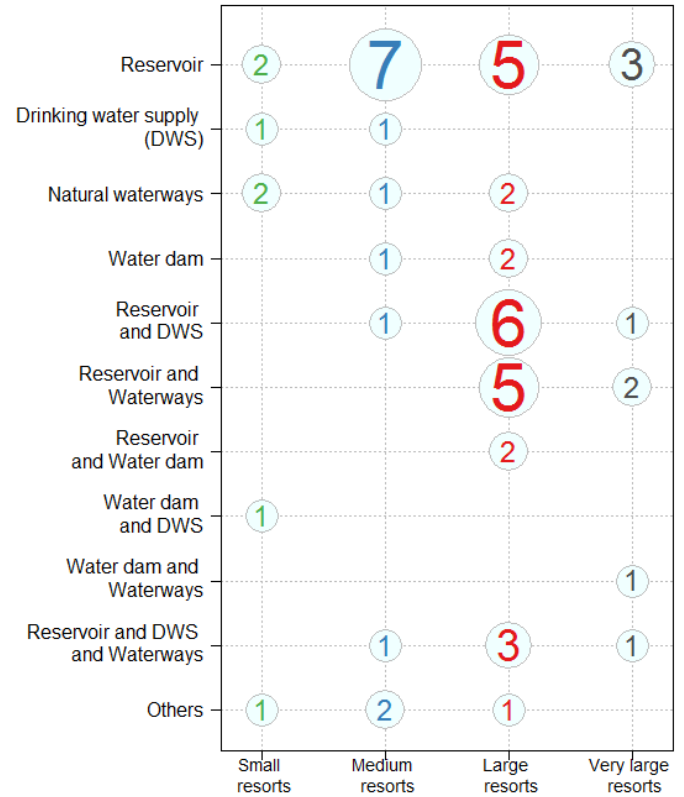


# Pratiques de production de neige de culture

DATE DE DEBUT DE PRODUCTION



ORIGINE DE L'EAU



# Pratiques de production de neige de culture

**En 2009** (taux d'équipement 20%), la consommation nationale pour **la neige de culture était de**

**17 millions de m<sup>3</sup> d'eau**

[Conso. Annuelle de 350 000 français]


**140 GWh d'électricité**

[Conso. Annuelle de 20 000 français]

## Pour aller plus loin

Badré, M., Prime, J., Ribière, G., 2009. Neige de culture : Etat des lieux et impacts environnementaux. Note socio-économique. République Française. Ministère de l'Ecologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire URL : [http://www.mountainwilderness.fr/IMG/pdf/rapport\\_neige-de-culture\\_2009.pdf](http://www.mountainwilderness.fr/IMG/pdf/rapport_neige-de-culture_2009.pdf).

ANMSM, Ski France, 2010. Rapport de presse, Les stations de montagne présentent leur bilan carbone et les résultats de 2 ans de charte du développement durable. URL: <http://docplayer.fr/8302459-Premiere-en-france-les-stations-de-montagne-presentent-leur-bilan-carbone-et-les-resultats-de-2-ans-de-charte-du-developpement-durable.html>



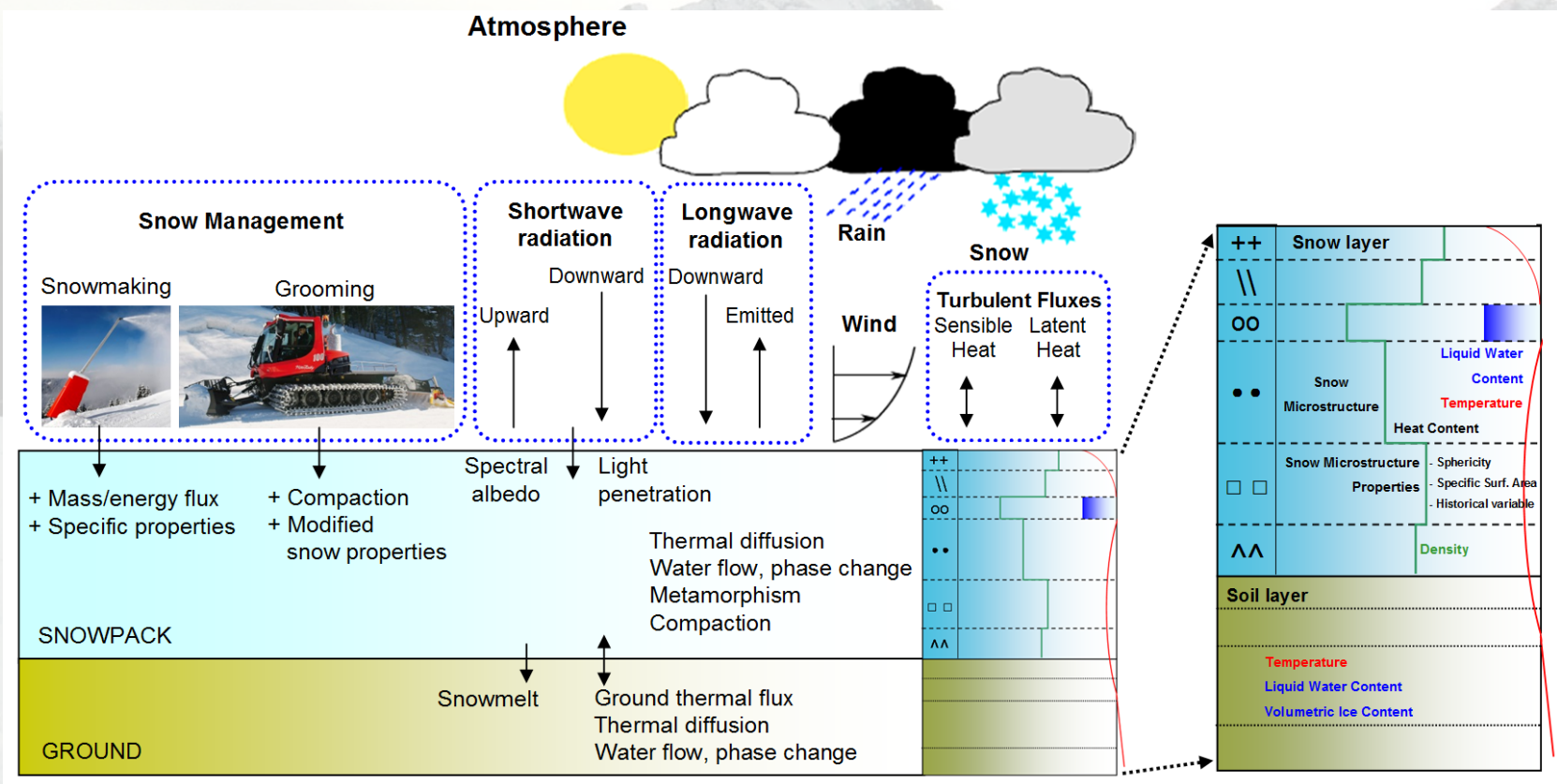
# Impacts physiques de la gestion de la neige

## Pour aller plus loin

Spandre, P., Morin, S., Lafaysse, M., George-Marcelpoil, E., Francois, H., Lejeune, Y., 2016. Integration of snow management in a detailed snowpack model. *Cold Regions Science and Technology* doi :10.1016/j.coldregions.2016.01.002.

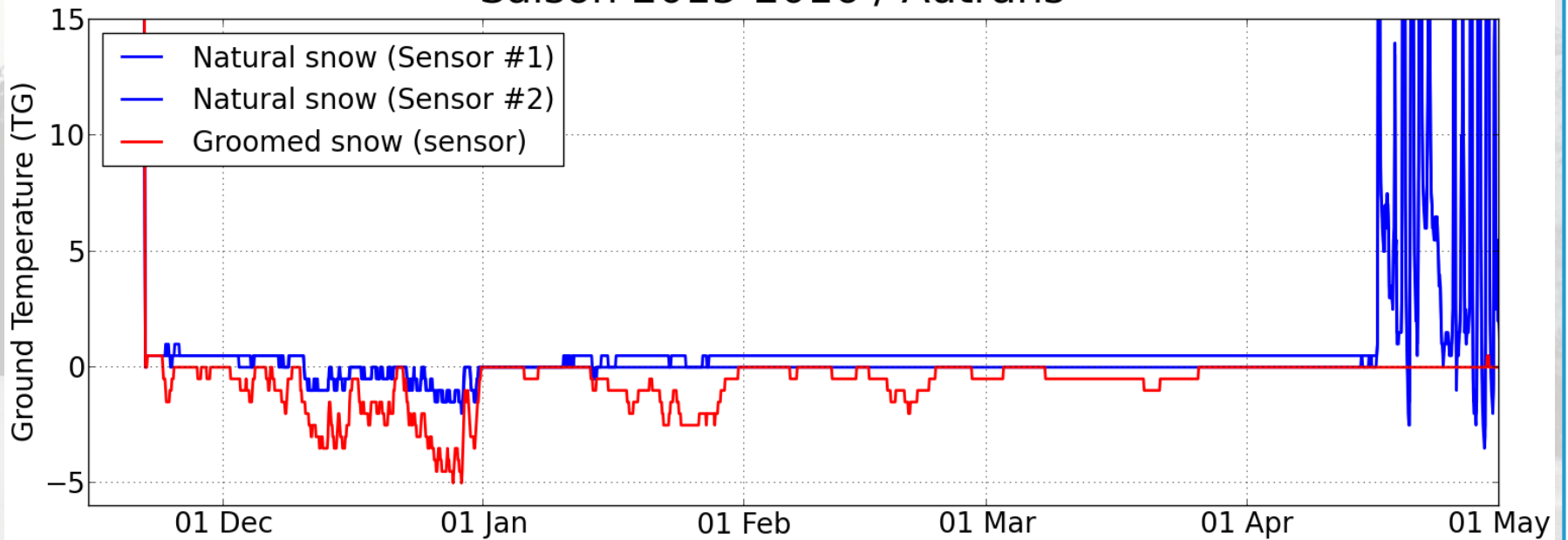
Spandre, P., François, H., Thibert E., Morin S., George-Marcelpoil, E., Detailed seasonal evolution of a ski slope snowpack using spatial observations and modelisation *The Cryosphere*, In prep.

# Modélisation des conditions d'enneigement



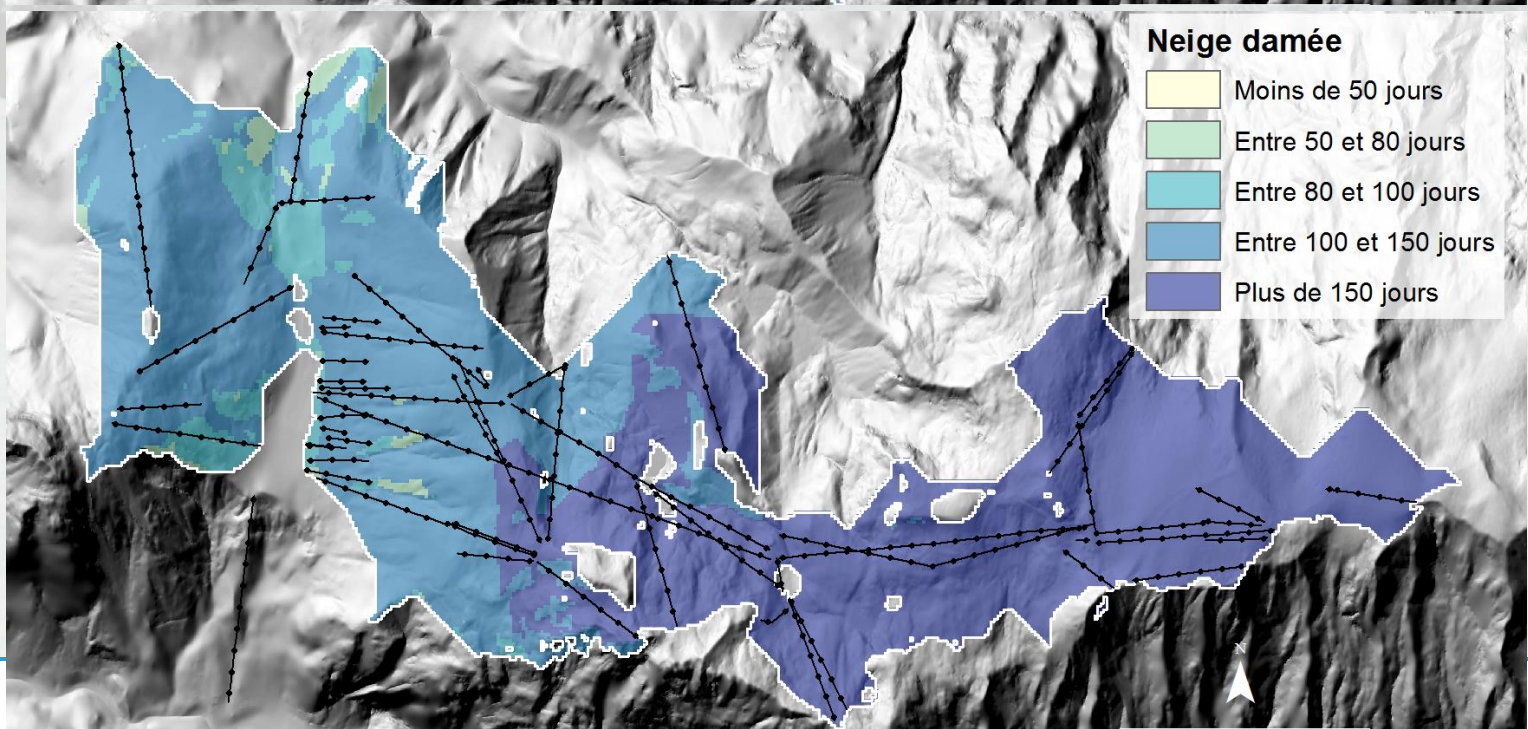
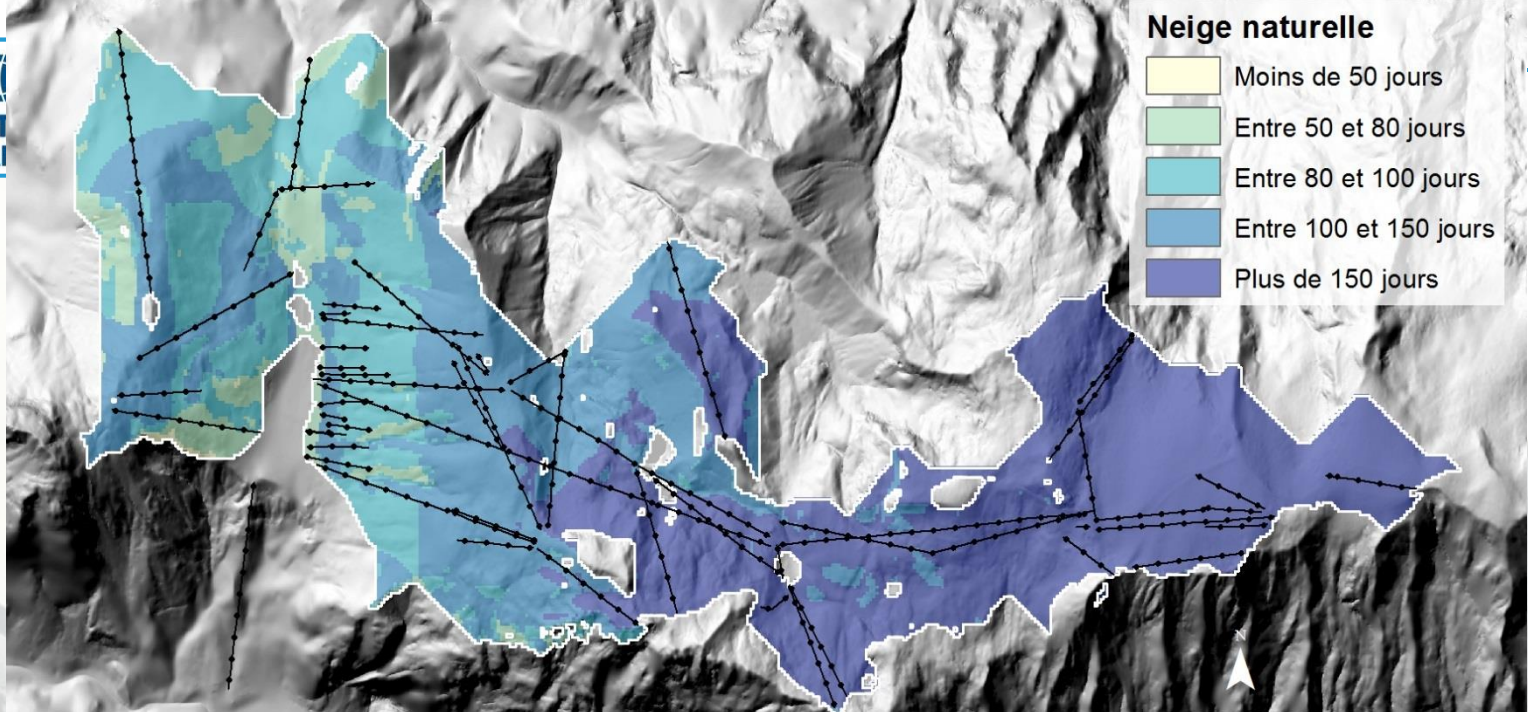
# Impact du damage

Saison 2015-2016 / Autrans



**Pour aller plus loin**

Lejeune, M., 2016. Evaluation de la modélisation de l'enneigement sur une piste de ski. *Application à la température au niveau de l'interface sol-neige et à la microstructure de la neige*. Rapport de stage F14, Polytech, Chambéry





# Pourquoi gérer la neige?

**A 1800 m, la durée de la saison avec neige au sol est**

**en neige naturelle**

**156 jours** pour les « mauvaises » années

**193 jours** pour les « bonnes » années

**en neige naturelle damée**

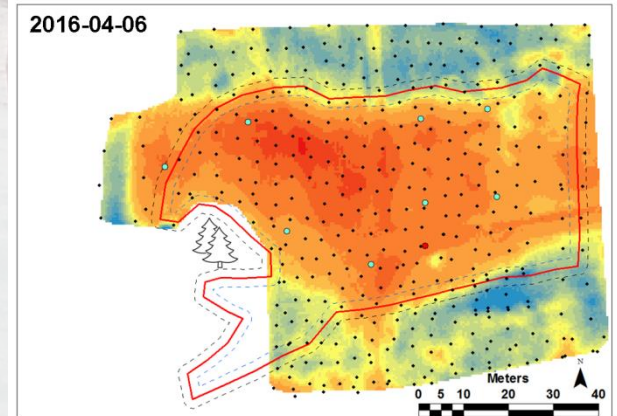
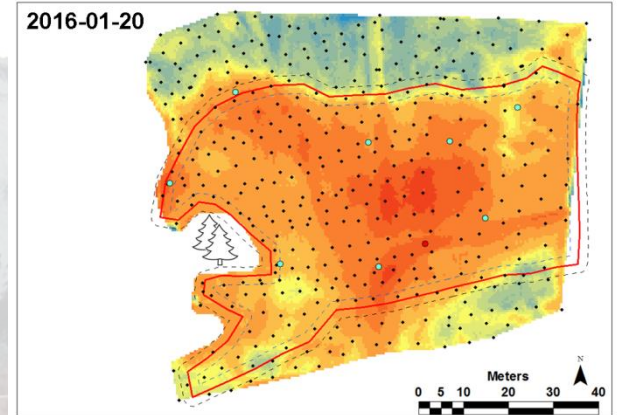
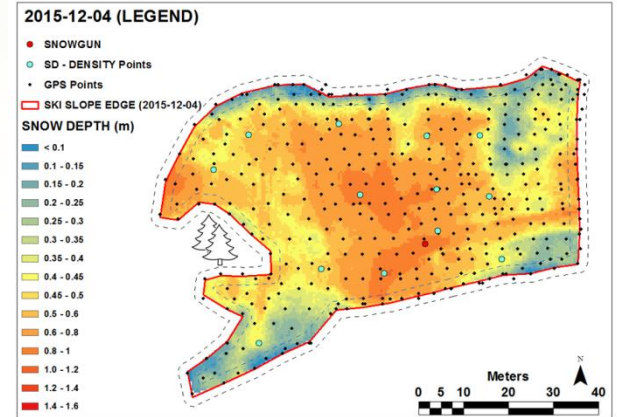
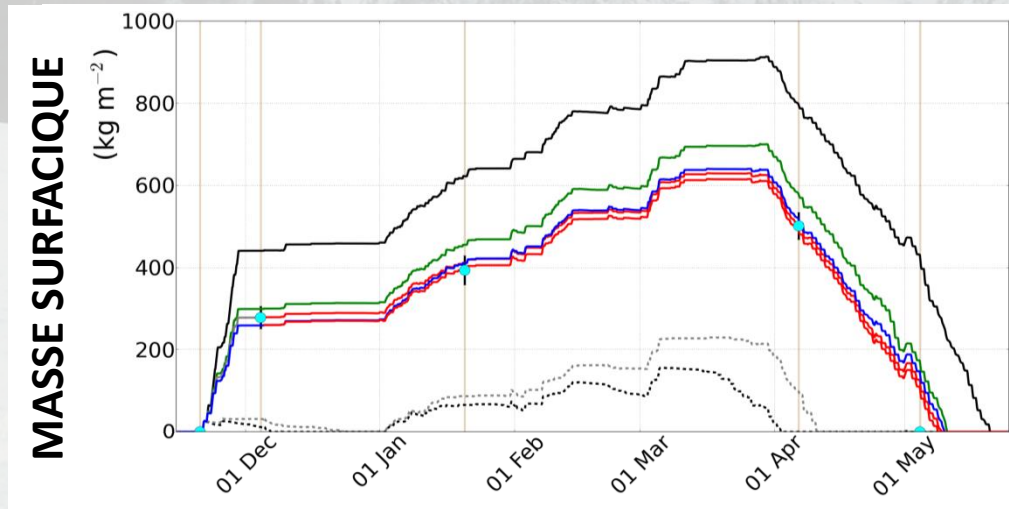
**163 jours** pour les « mauvaises » années (+6 jours)

**199 jours** pour les « bonnes » années (+3 jours)

# Neige de culture

un impact fort

un taux de conversion « utile »  
eau – neige mal connu



# Pourquoi gérer la neige?

A 1800 m, la durée de la saison avec neige au sol est

en neige naturelle

**156 jours** pour les « mauvaises » années

**193 jours** pour les « bonnes » années

en neige naturelle damée

**163 jours** pour les « mauvaises » années (+6 jours)

**199 jours** pour les « bonnes » années (+3 jours)

avec damage et production

**181 jours** pour les « mauvaises » années (+ 25 jours)

**209 jours** pour les « bonnes » années (+ 16 jours)

# Pourquoi gérer la neige?

A 1800 m, la durée de la saison  
avec des conditions minimales pour le ski  
(équivalentes à 20cm de neige damée) est

en neige naturelle

**69 jours** pour les « mauvaises » années

**149 jours** pour les « bonnes » années

en neige naturelle damée

**75 jours** pour les « mauvaises » années (+6 jours)

**158 jours** pour les « bonnes » années (+9 jours)

avec damage et production

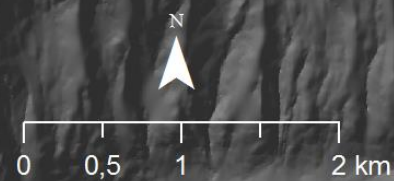
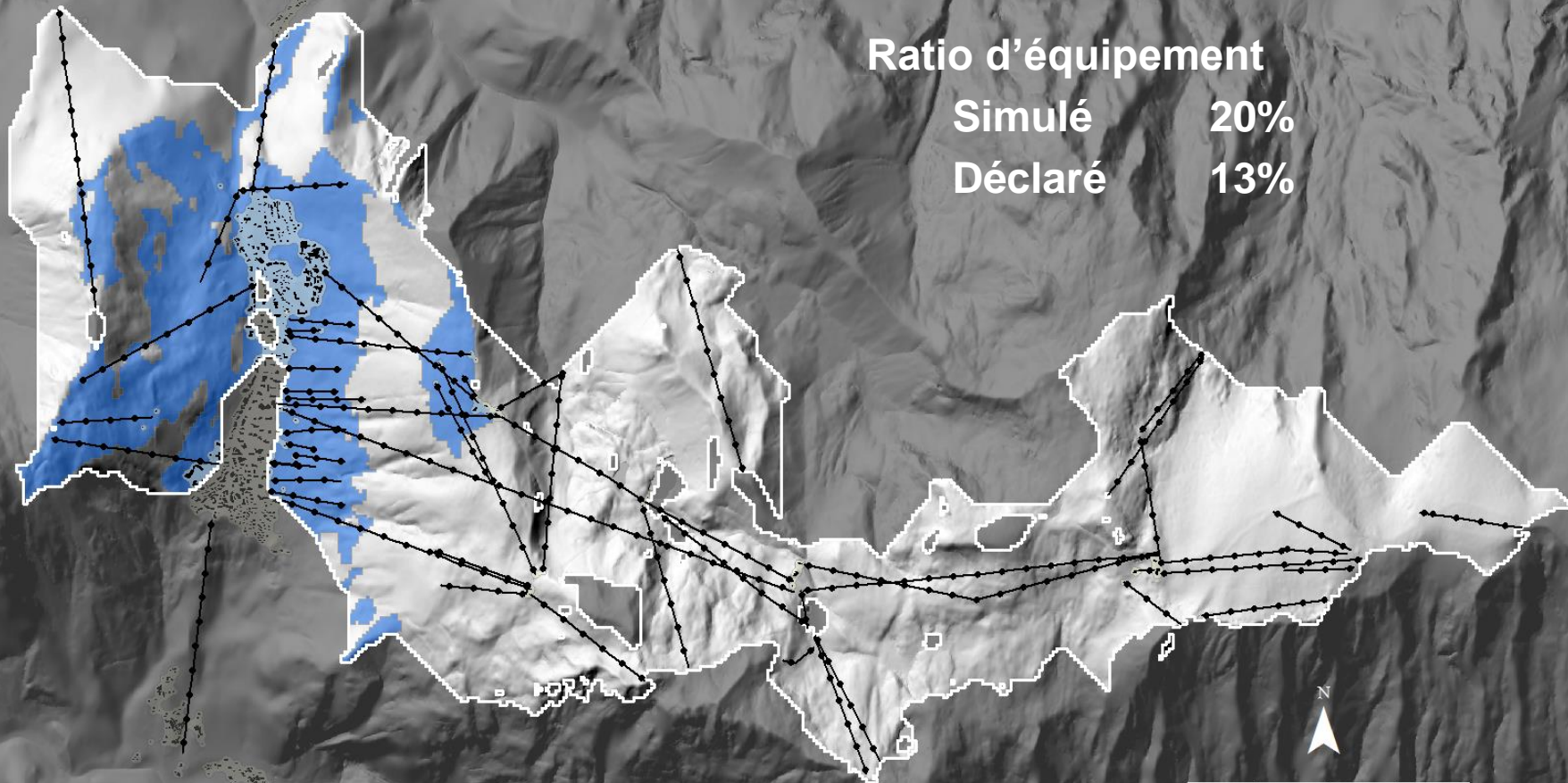
**155 jours** pour les « mauvaises » années (+ 86 jours)

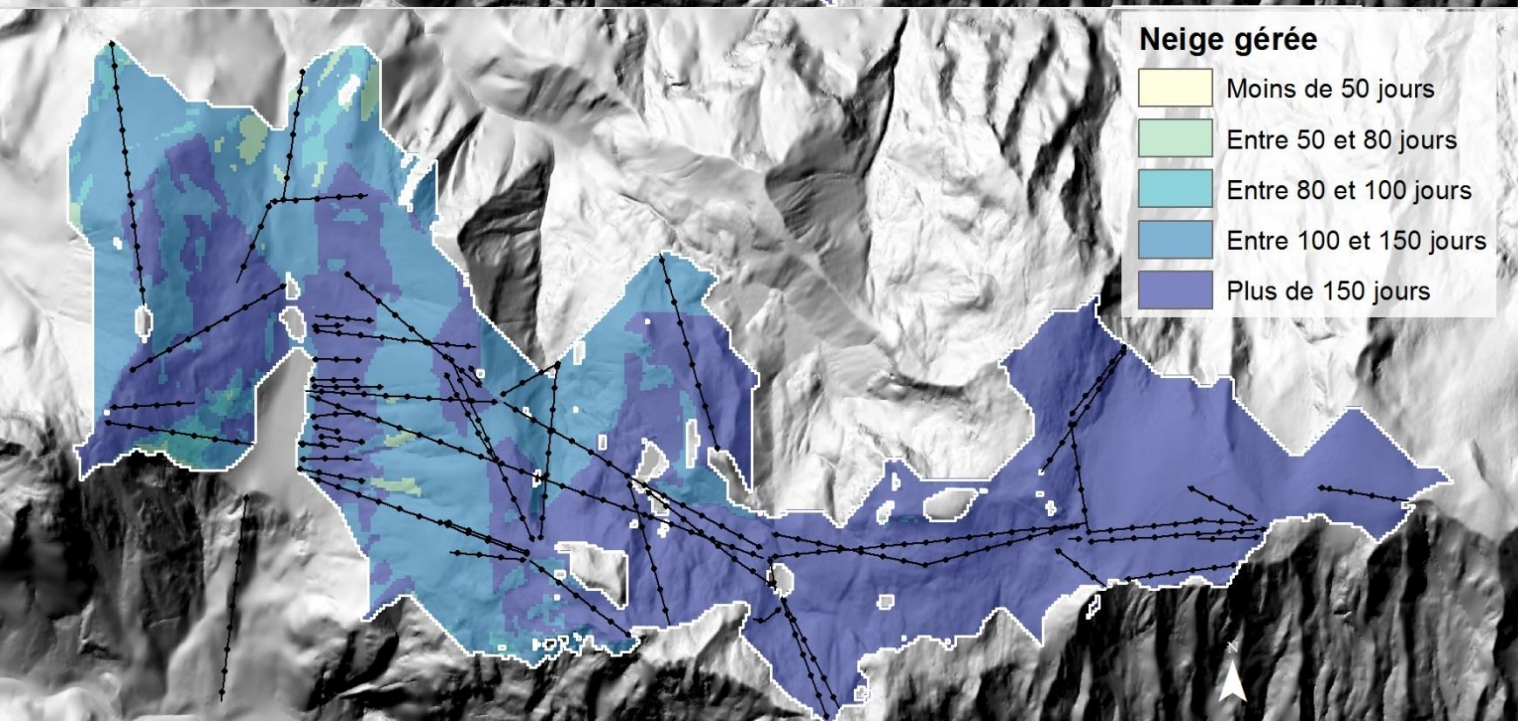
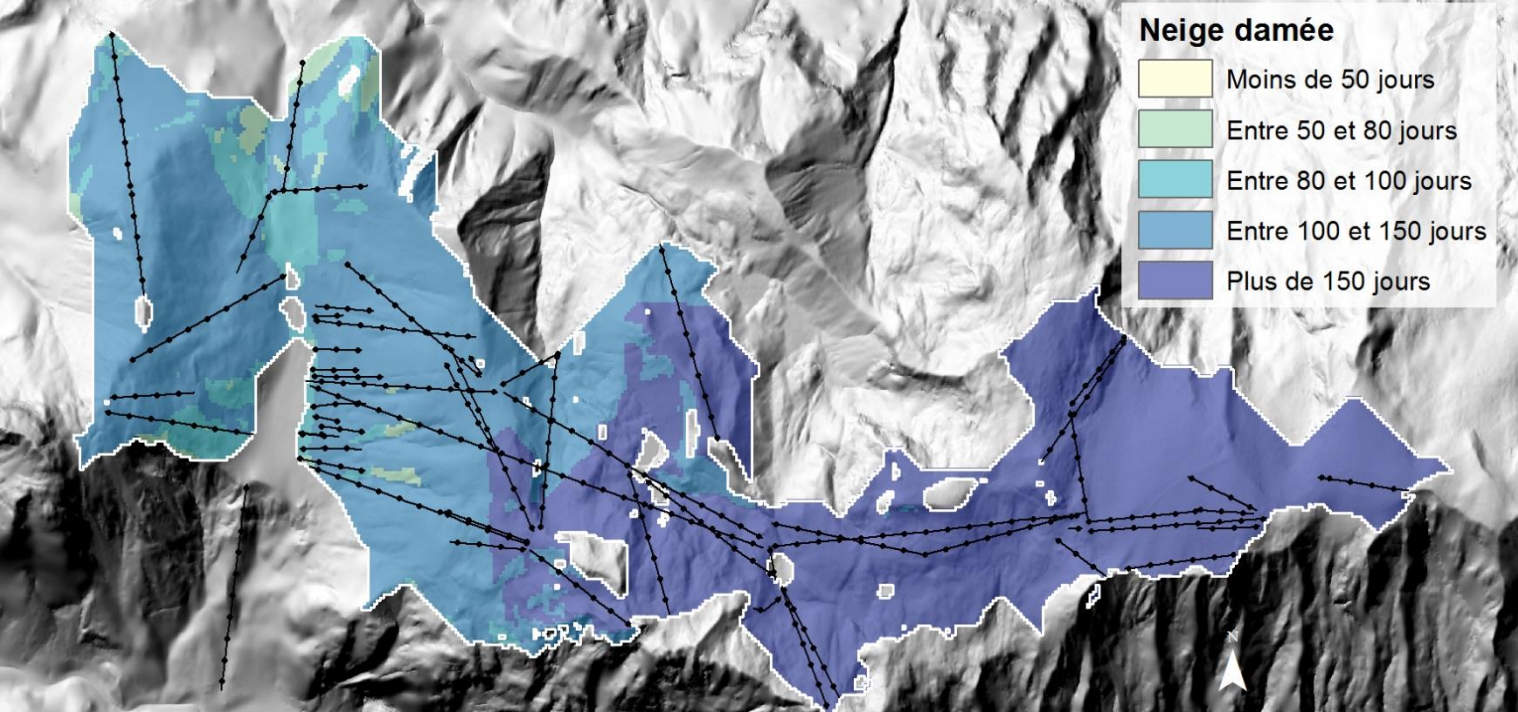
**190 jours** pour les « bonnes » années (+ 41 jours)

### Ratio d'équipement

Simulé 20%

Déclaré 13%





# Perspectives

- **Intégration des méthodes de gestion de neige à l'échelle « Alpes »**
- **Mise en cause des indicateurs actuels**
- **Etude de vulnérabilité en projection climatique**

# Observation et modélisation de l'organisation structurelle et des impacts physiques de la gestion de la neige dans les domaines skiables français

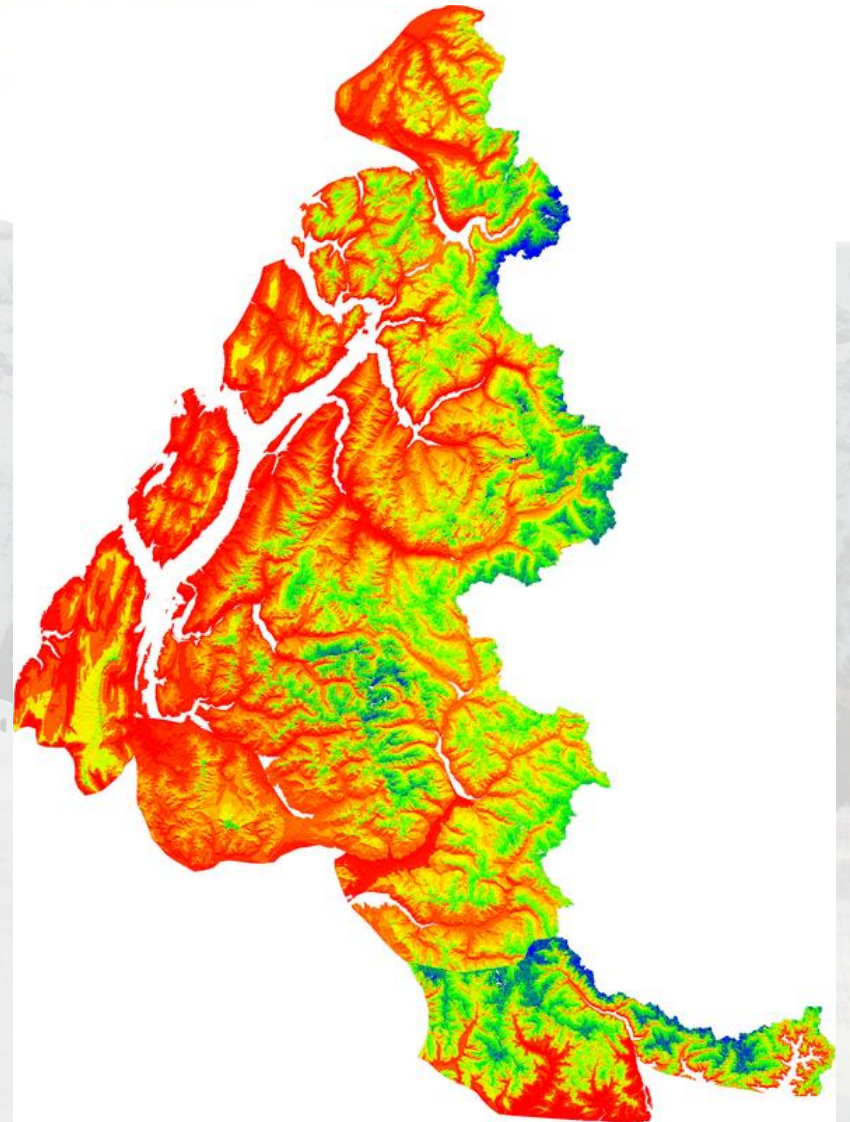
Spandre P.<sup>1,2,\*</sup>, Morin S.<sup>1</sup>, George-Marcelpoil E.<sup>2</sup>,  
François H.<sup>2</sup>, Lafaysse M.<sup>1</sup>, Lejeune, Y.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Météo-France - CNRS, Centre d'Etudes de la Neige

<sup>2</sup> Université Grenoble Alpes, Irstea,

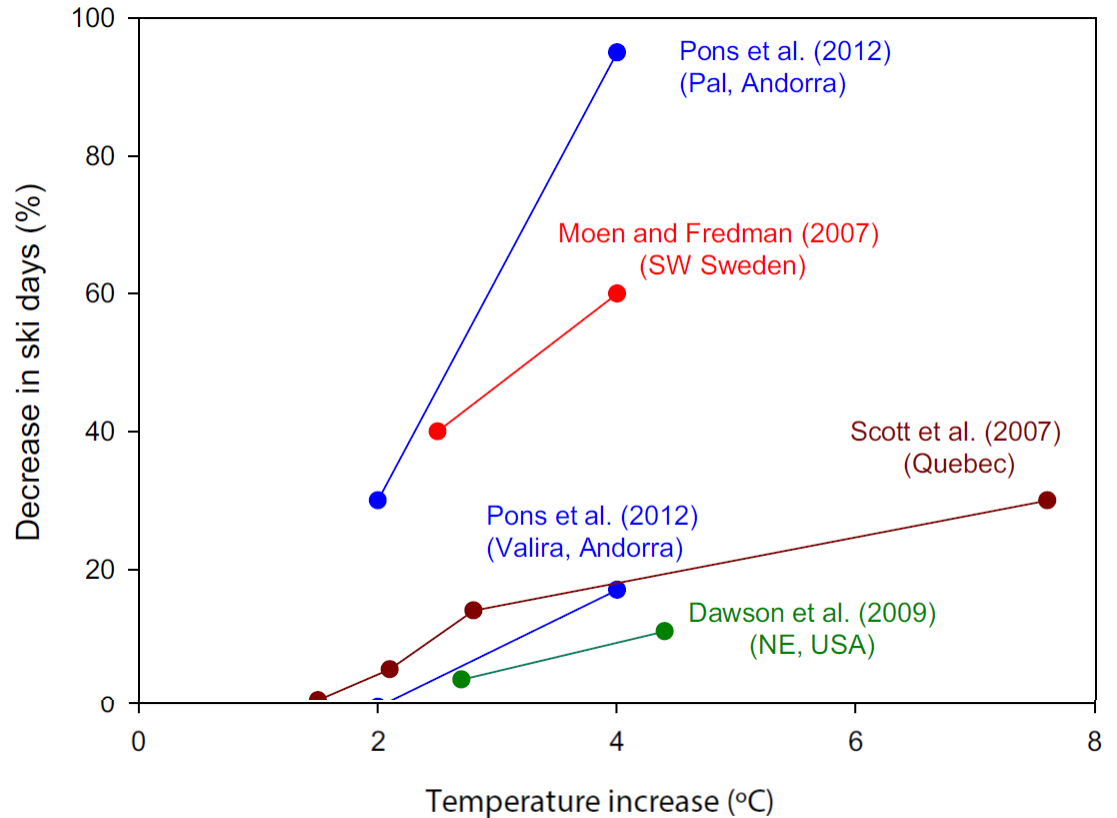
\* pierre.spandre@irstea.fr

# MERCI!





# Pourquoi gérer la neige?



## Pour aller plus loin

Gilaberte-Búrdalo, M.; López-Martin, F.; Pino-Otin, M. & López-Moreno, J. I. Impacts of climate change on ski industry *Environmental Science & Policy, Elsevier*, 2014, 44, 51-61