



# MADAME IRMA PRÉDIT LES AVALANCHES, DANS SA BOULE DE DATA

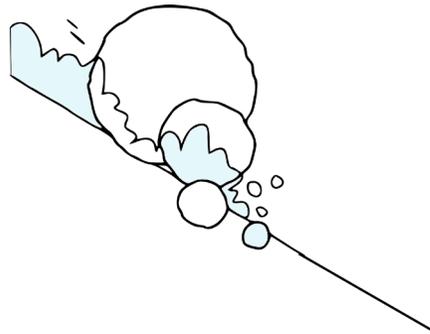
**TECH  
WEEK**



KAIZEN

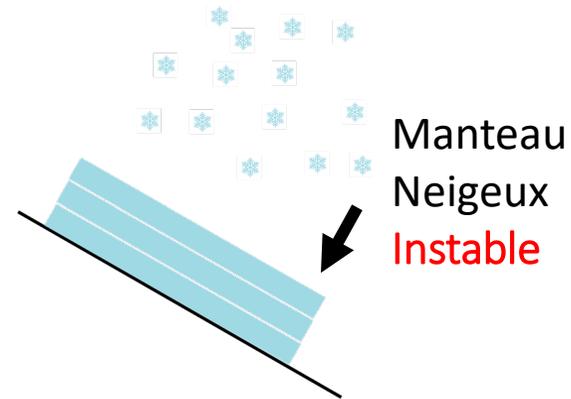


# LES AVALANCHES C'EST QUOI?

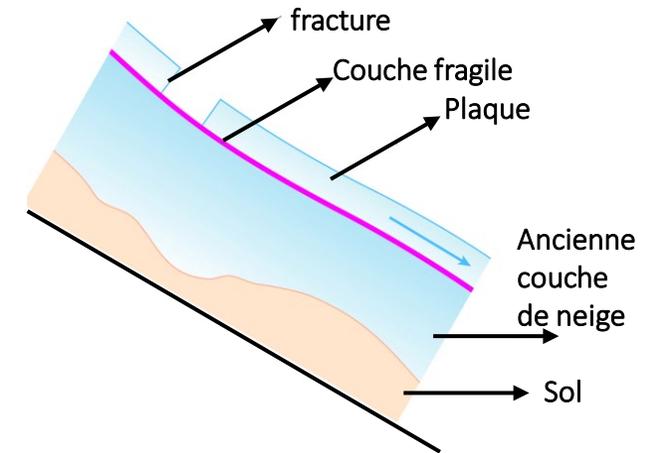


Une avalanche est un écoulement rapide de la neige sur une pente

## COMMENT UNE AVALANCHE SE DÉCLENCHE ?



Quand il neige, des couches successives de neige se forment



La surface du manteau neigeux se rompt.  
Attention Avalanche !!

## FACTEURS D'INSTABILITÉ :



Direction du vent



augmentation température



Forte chute neige



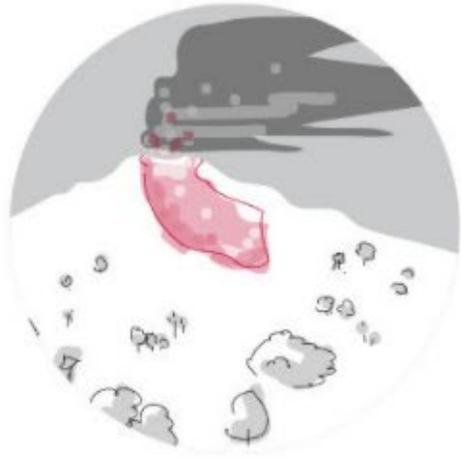
Forte pente



TECH  
WEEK

KAIZEN

# LE RISQUE C'EST QUOI?



Une avalanche est un phénomène naturel.



Si on fait le choix de où s'installer et construire nos infrastructures



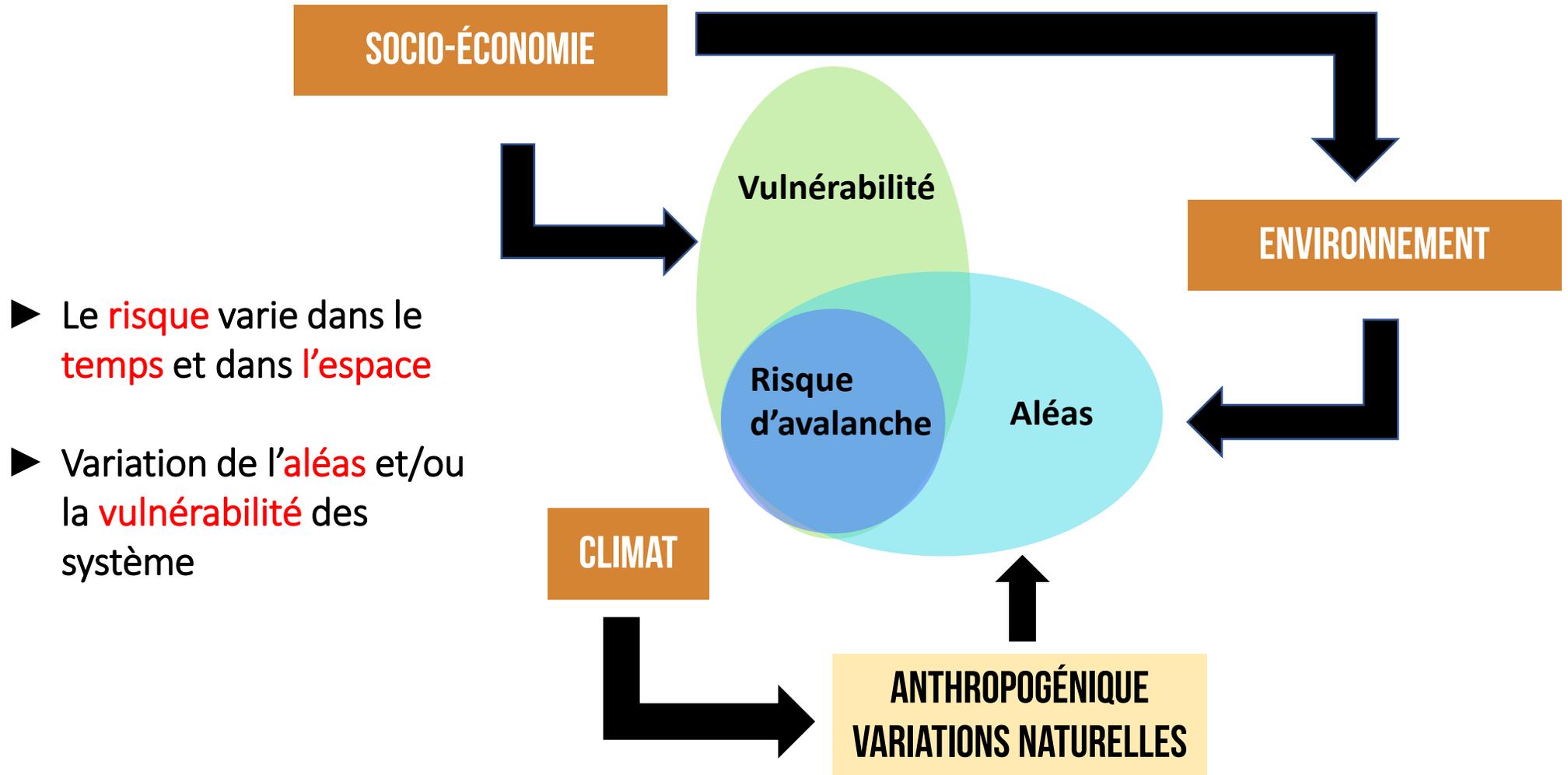
Le phénomène naturel devient un **aléas** et nous devenons **exposé** à cet aléas



**L'aléas** et la **vulnérabilité** détermine **le risque**



# LE SYSTÈME



# LES DONNÉES

## DONNÉES AGRICOLES:

- Ovins
- Bovins
- Agriculteurs
- Terres agricole
- Éleveurs

## DONNÉES D'AVALANCHES:

- Emprise d'avalanches
- Etat des structures des protections
- Données évènements
- Chronologie d'avalanche

## DONNÉES D'OCCUPATION DE SOL:

- Photos aérienne
- Cartes historiques
- Images satellites
- Données topographique exemple:  
MNT, carte de pente, etc.,

## DONNÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES:

- population
- tourisme
- Évolution des habitations secondaires
- Données historiques sur les zones d'études

## DONNÉES CLIMATIQUES:

- Température
- Enneigement
- Précipitation

## TYPE DE DONNÉES :

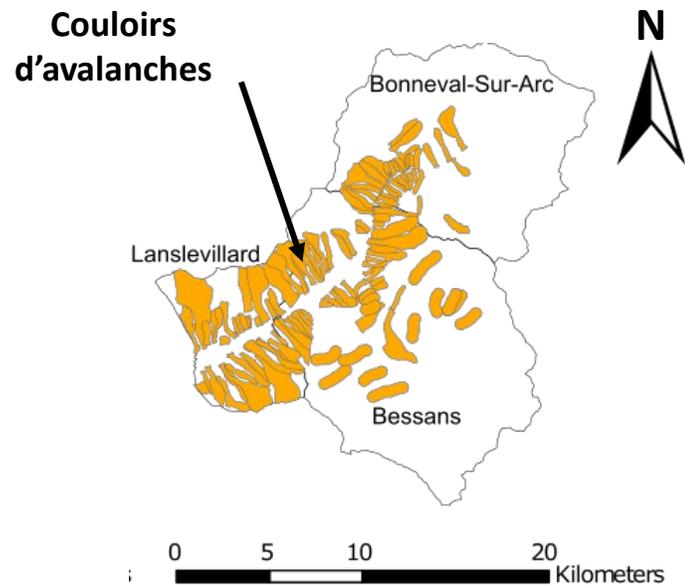
Géospatiales  
Qualitatives  
Quantitatives

**+ AUTRES DONNÉES ...**



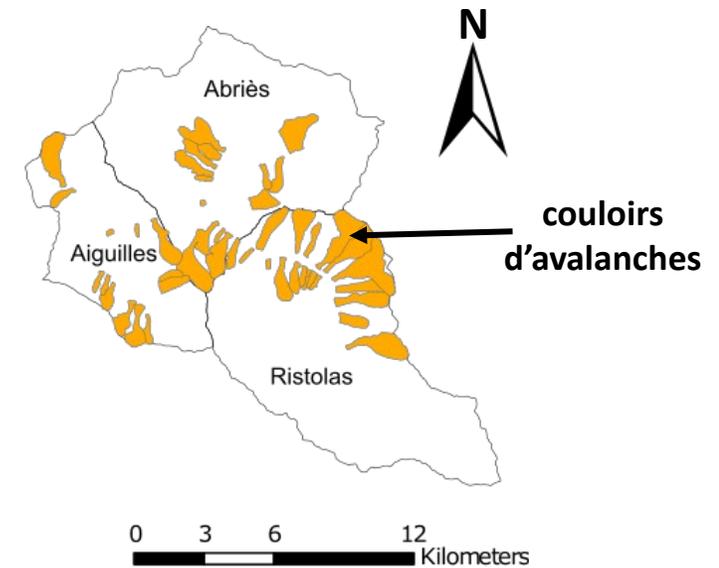
# POUR ILLUSTRER LES ANALYSES, DEUX CAS D'ÉTUDE

## LA HAUTE MAURIENNE



Alpes du Nord

## LA VALLÉE DU GUIL – LE QUEYRAS



Alpes du Sud

**2 ZONES AVALANCHEUSES  
ÉVOLUTION DU RISQUE DE 1860 À 2017**



**TECH  
WEEK**

  
KAIZEN



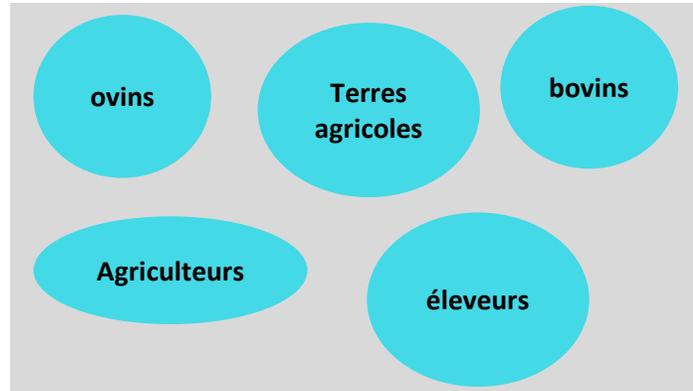
# ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ

1. LES DONNÉES DISPONIBLES
2. LES OUTILS / APPROCHES D'ANALYSE DISPONIBLES
3. EXEMPLE D'APPLICATION SUR LE CAS DE LA HAUTE MAURIENNE ET LA VALLÉE DE GUIL

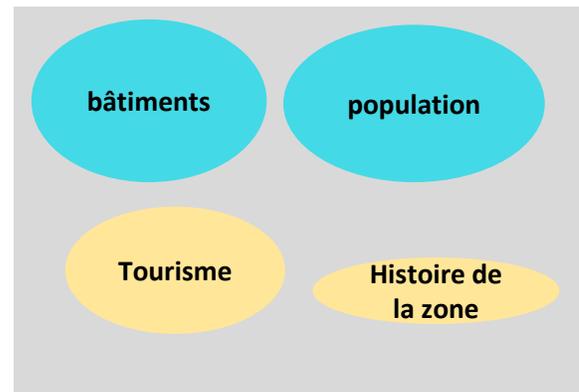
# FACTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES

## LES DONNÉES

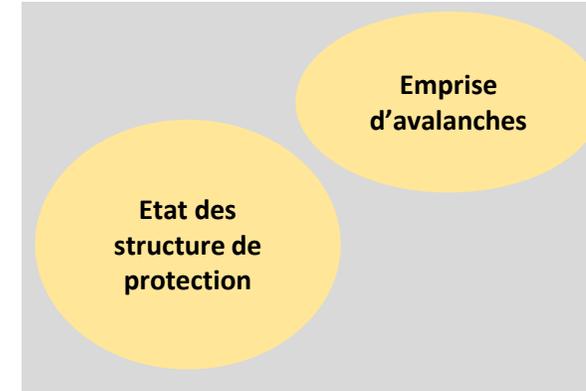
### DONNÉES AGRICOLES :



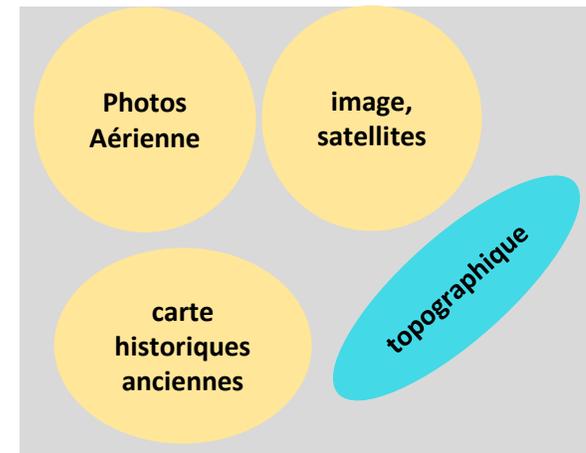
### DONNÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES :



### DONNÉES D'AVALANCHES :

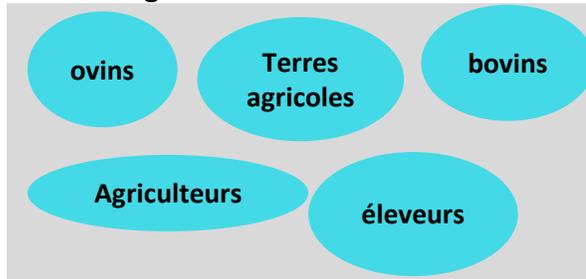


### DONNÉES SUR L'OCCUPATION DE SOL :

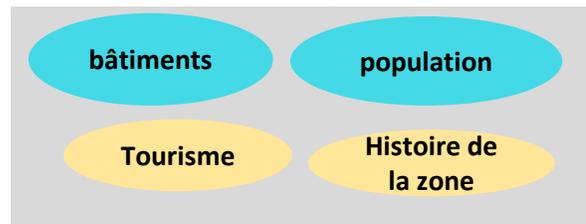


# FACTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES - TRAITEMENT

Données Agricoles :



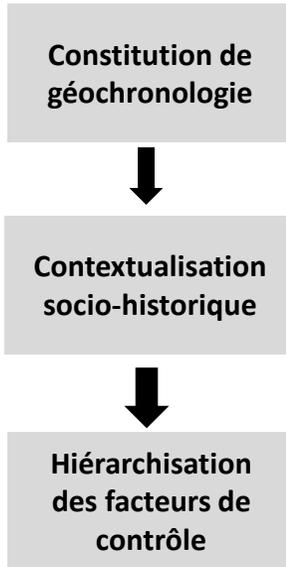
Données socio-économiques :



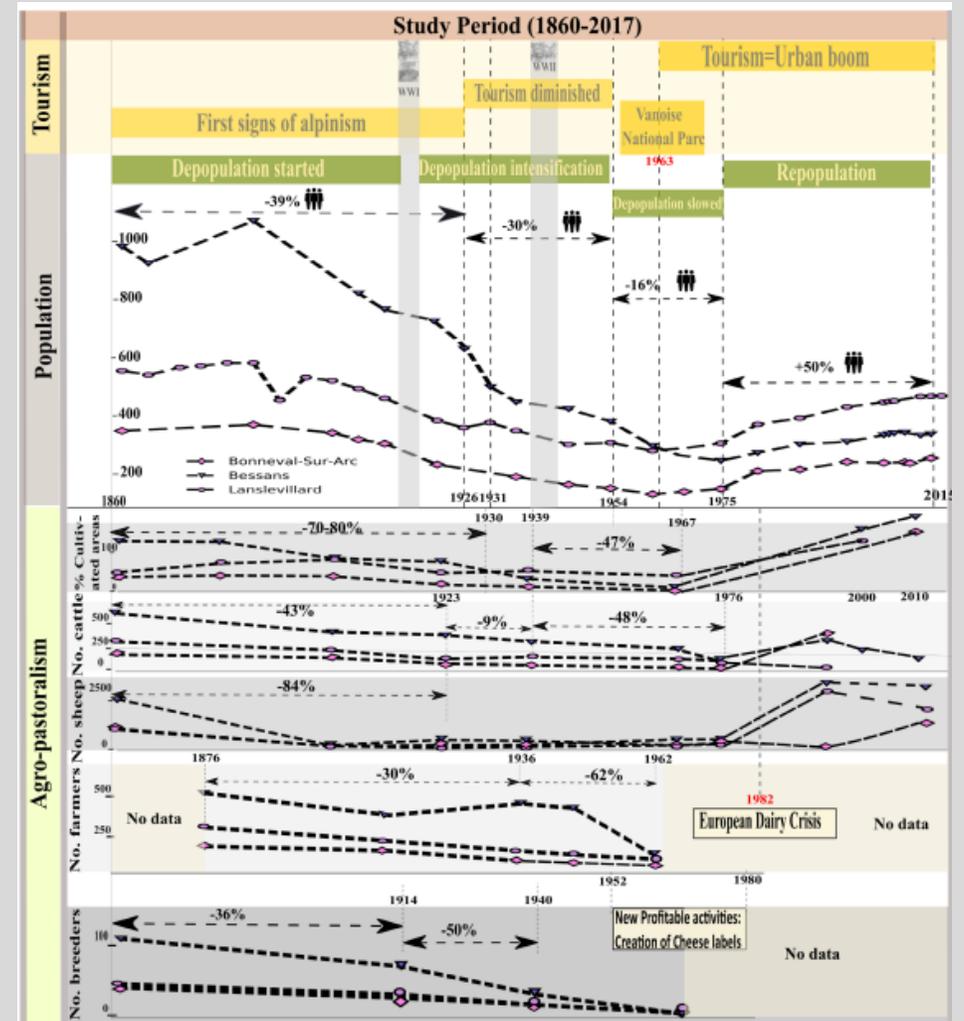
Modélisation géo – historique:

- Analyse qualitative

Permet de visualiser / comprendre l'évolution du système, les enchainements d'évènement

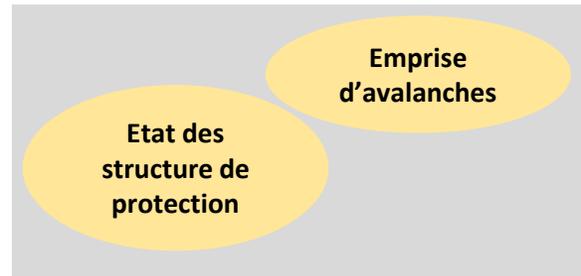


Modèle qualitatif



# FACTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES-TRAITEMENT

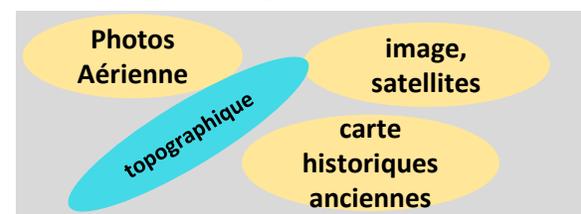
Données d'avalanches:



Statistique spatiales des zones à risques dans l'emprise d'avalanches

Analyses théorique de l'état des structures de protection

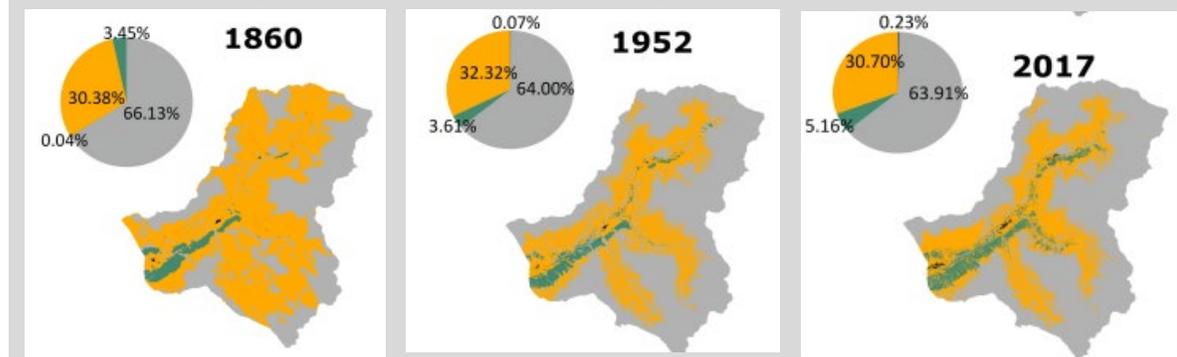
Données sur l'occupation de sol:



Spatial object-based image analysis (OBIA)

Correction temporelles des cartes d'occupation de sols: Statistiques paysagères

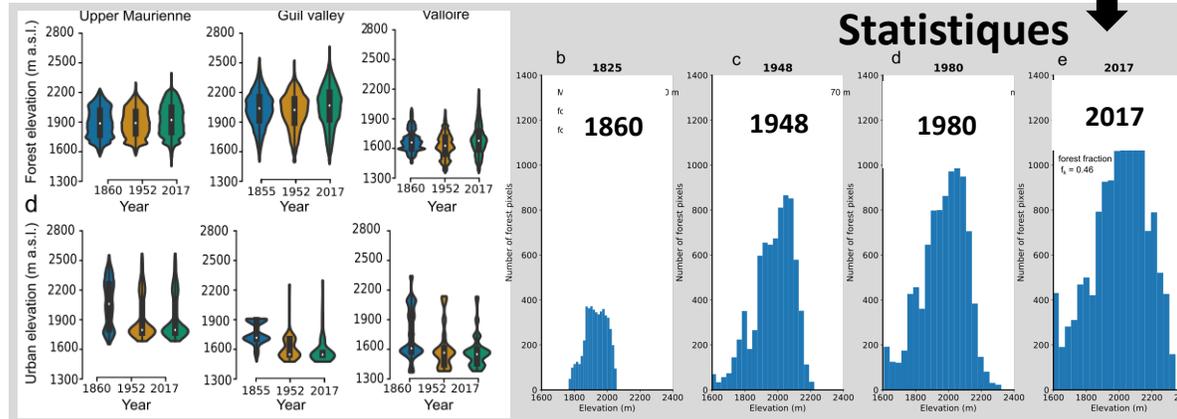
## Série temporelles cartes occupations de sols



## ANALYSE GÉOSPATIALES:

- Télédétection
- Orthorectification
- Statistiques paysagères

Permet de visualiser / comprendre l'évolution temporelles de l'occupations des sols dans la vallées et dans les couloirs d'avalanches



# FACTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES *HAUTE MAURIENNE*

AGRO-PASTORALISME

~ 1950  
**TRANSITION**

SERVICE

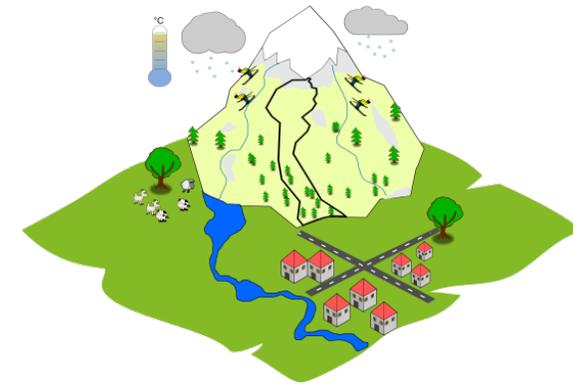
~ 1860



**Déprise agricole**

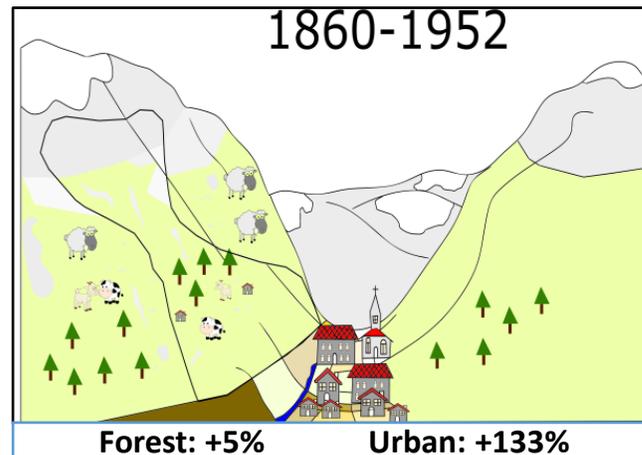
- Population ↓ 63%
- Zone pâturage ↓ 6%
- Bétails, éleveurs, et zones de culture ↓ 80%

~ 2017

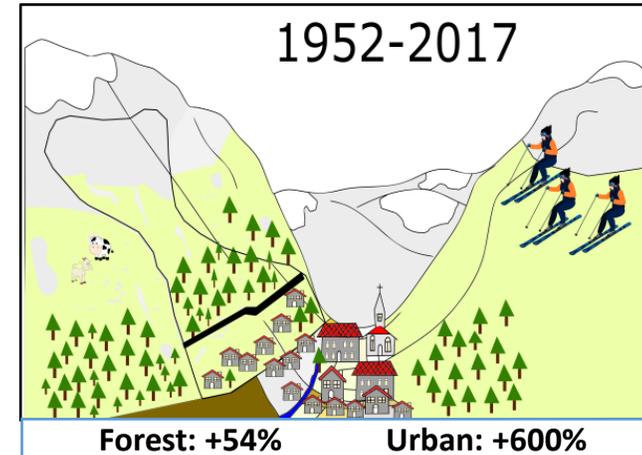


- Population ↑ 50%
- Zone pâturage ↓
- Tourisme ↑

1860-1952



1952-2017



Vulnérabilité

Risque avalanche

Aléas

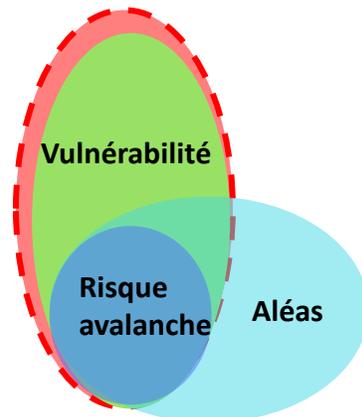
**VULNÉRABILITÉ AUGMENTE**

# FACTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES

## VALLÉE DU GUIL

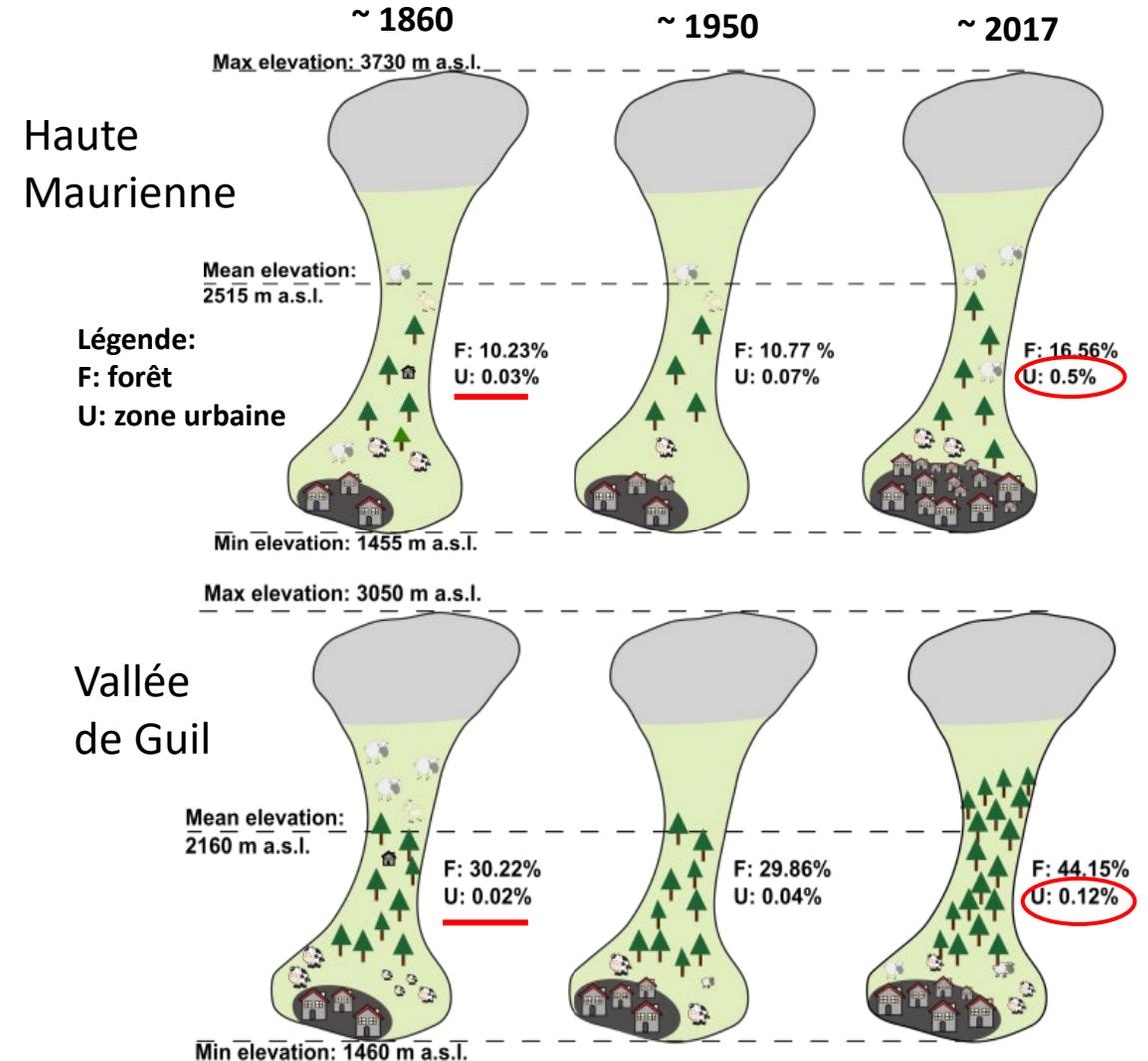
Même transition que la Haute Maurienne

- ▶ Tourisme hivernal plus tardif
- ▶ Plusieurs hivers avec très peu de neige: 1963-64/1988-90
- ▶ Activité touristique plus modéré que la haute maurienne



**VULNÉRABILITÉ AUGMENTE, PLUS MODÉRÉ QUE HAUTE MAURIENNE**

Représentation de l'évolution des couloirs d'avalanches



TECH WEEK



Source: Zgheib et al, 2020

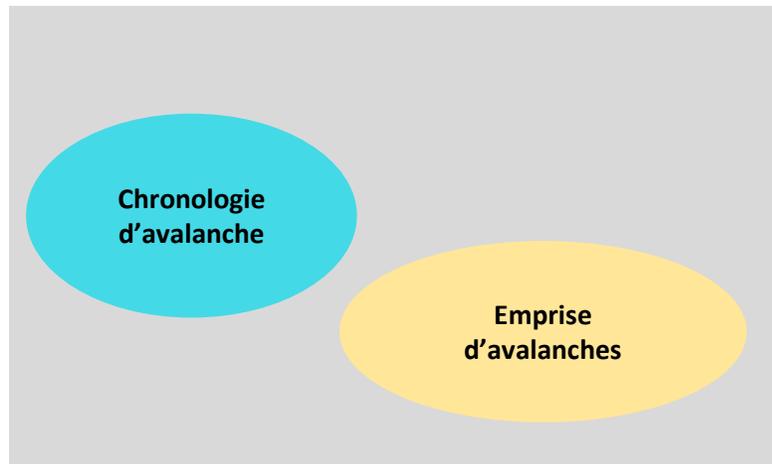


# ANALYSE DE L'ALÉA

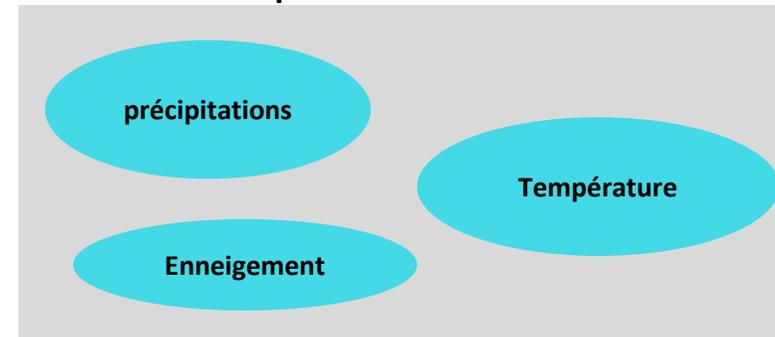
1. ANALYSE DE L'EFFET DU CLIMAT SUR L'ALÉA
2. ANALYSE DE L'EFFET DE LA FORÊT SUR L'ALÉA

# ALÉAS ET CLIMAT - DONNÉES

## Données d'avalanches:

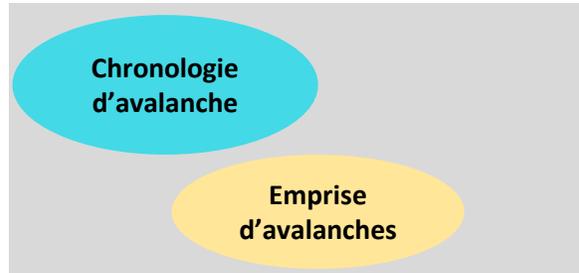


## Données climatiques



# IMPACT CLIMAT SUR L'ALÉAS-TRAITEMENT

Données d'avalanches:

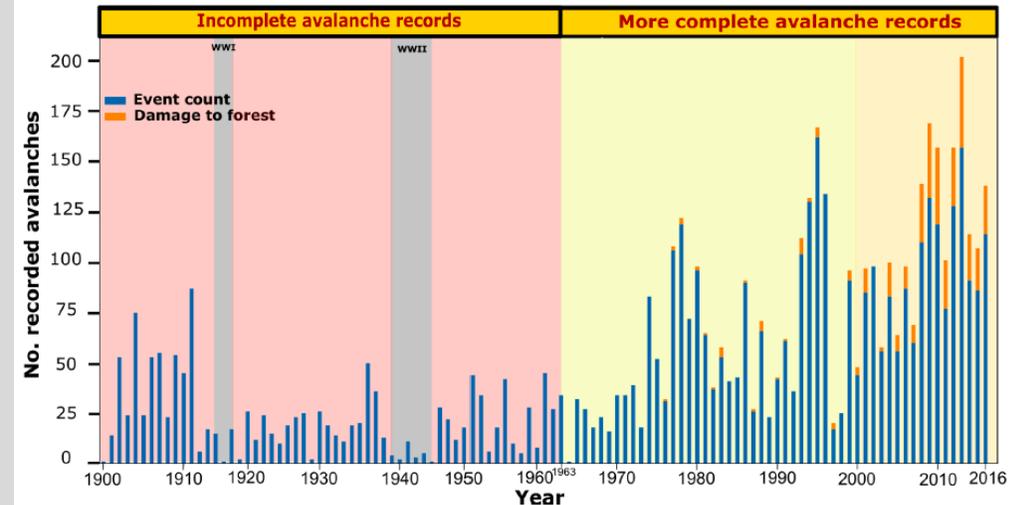


Analyse qualitative:

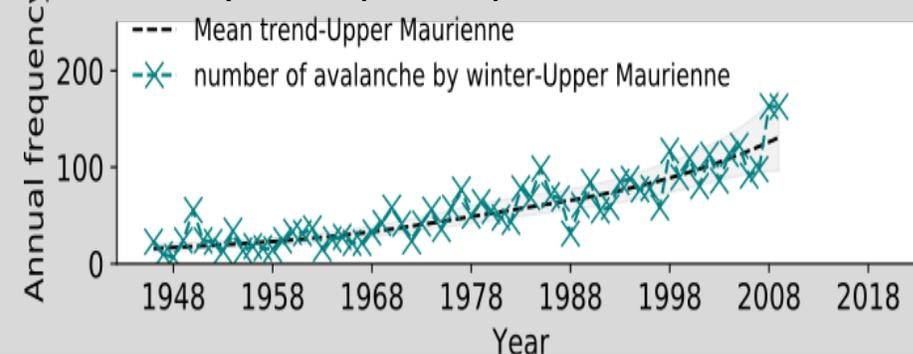
- Séries temporelles des évènements d'avalanches
- Modélisation statistiques de la fréquence annuelles moyennes

Permet d'analyser la fréquences moyenne annuelles des avalanches sur un territoire

Série temporelles



Modélisation bayésienne spatio-temporelles



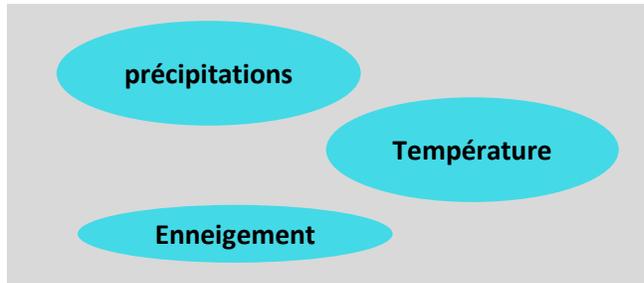
TECH  
WEEK



KAIZEN

# IMPACT CLIMAT SUR L'ALÉAS-TRAITEMENT

## Données climatiques

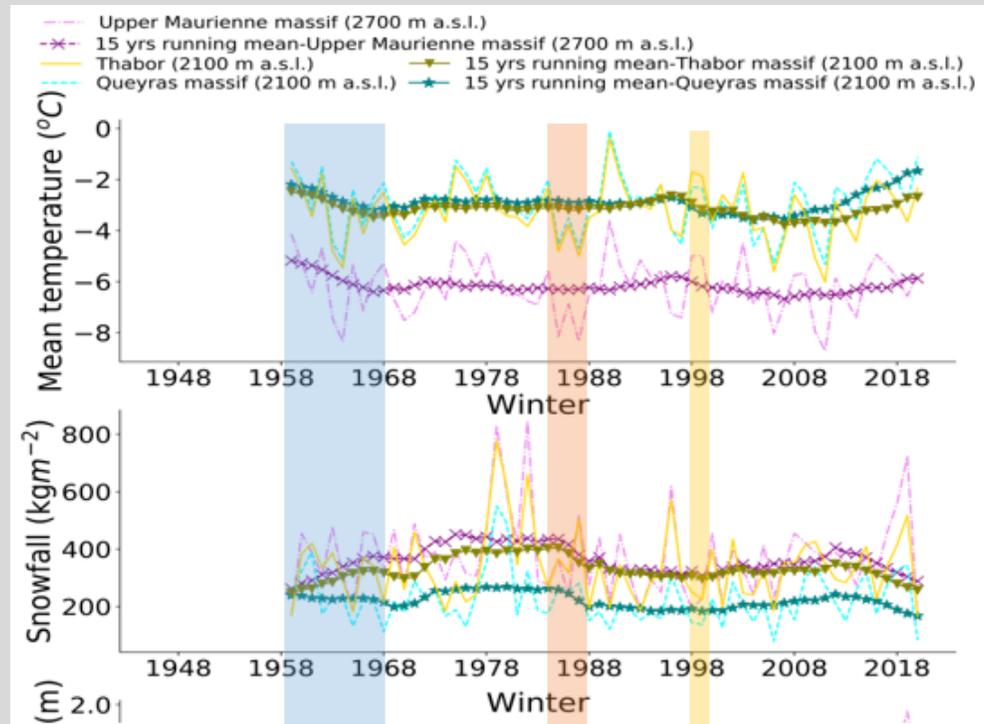


## Analyse qualitative:

- ▶ Séries temporelles de températures, précipitation, enneigement

Permet d'analyser l'évolution des facteurs climatiques et inférer leur lien avec l'évolution de la fréquence moyenne de l'aléas.

## Analyses statistiques des séries temporelles



# CLIMAT ET ALÉAS = MOINS D'AVALANCHE NON ?

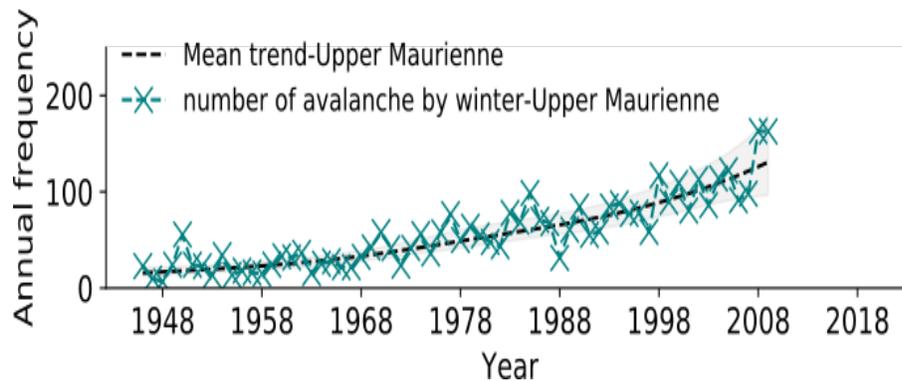
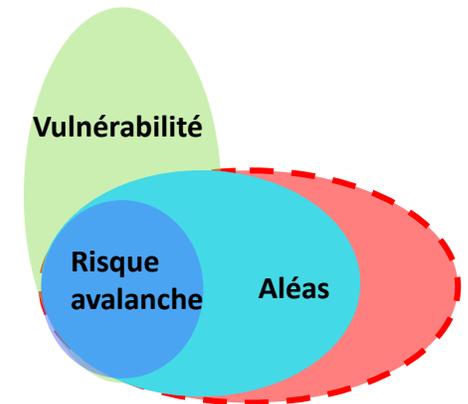
Dans les Alpes françaises : l'augmentation de la température moyenne annuelle a atteint près de 2°C depuis le début du XXe siècle.

**Changement climatique = moins d'avalanche ?**

**BASSE ET MOYENNE MONTAGNE : OUI ! MOINS D'AVALANCHES ET MOINS DE NEIGES**

**HAUTE MONTAGNE : NON ! C'EST PLUS COMPLIQUÉ QUE ÇA!**

↳ Mutation: Plus avalanche de neige humide

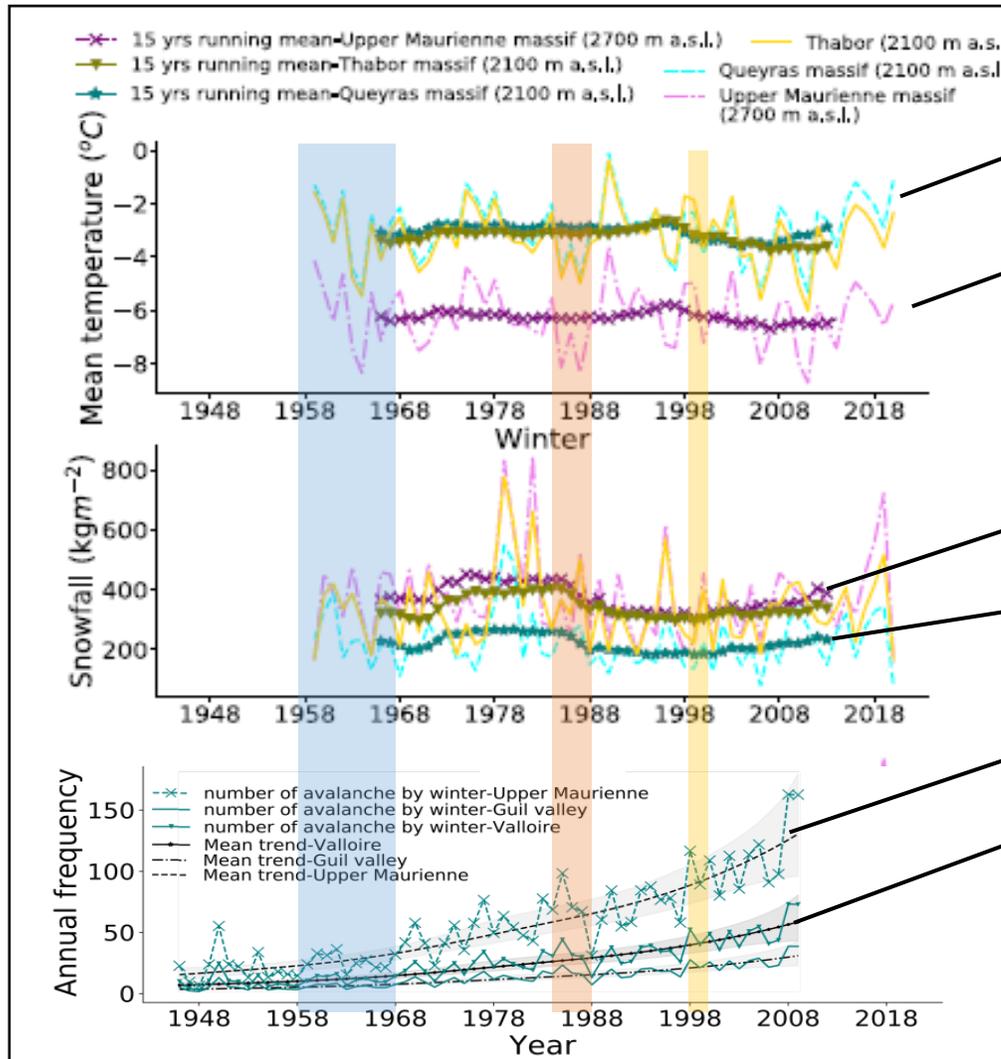


TECH  
WEEK



KAIZEN

# CLIMAT ET ALÉAS VALLÉE DE GUIL



Vallées de Guil

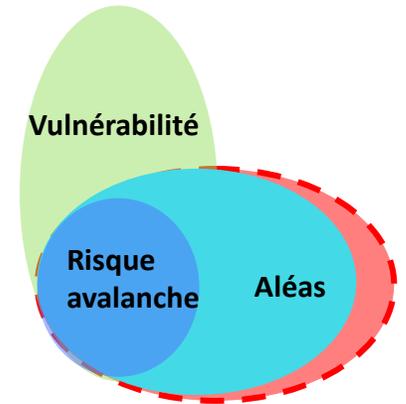
Haute Maurienne

Haute Maurienne

Vallées de Guil

Haute Maurienne

Vallées de Guil



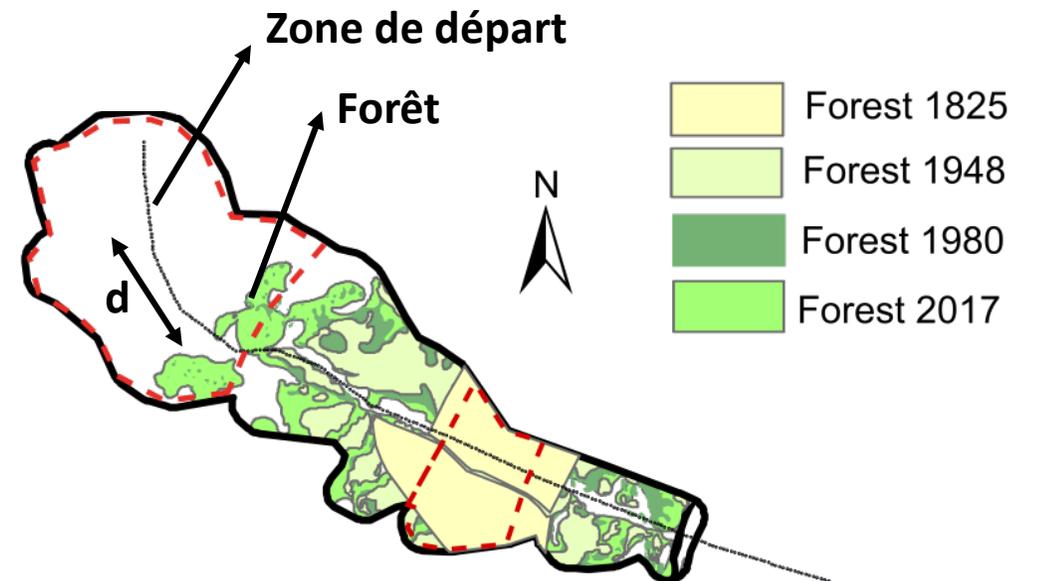
Aléas légèrement augmente



# LES FORÊTS: UN BOUCLIER CONTRE LES AVALANCHES

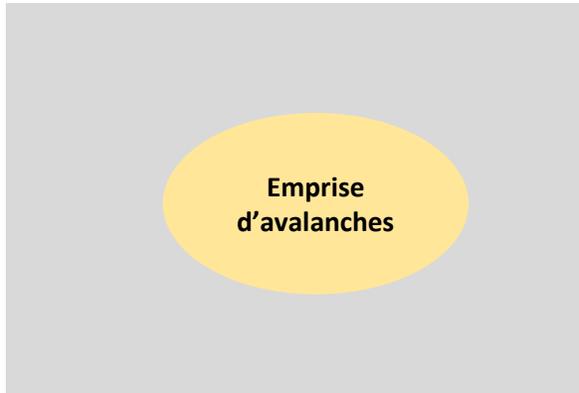
## LES FORÊTS PROTÈGENT CONTRE LES AVALANCHES

- ▶ Stabilise le manteau neigeux et empêchent le déclenchement des avalanches
- ▶ Ralentissent les avalanches déjà déclenchées

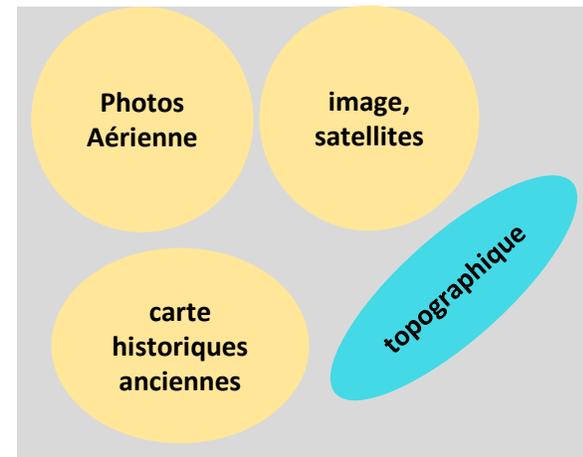


# FORÊT ET ALÉAS - DONNÉES

Données d'avalanches:

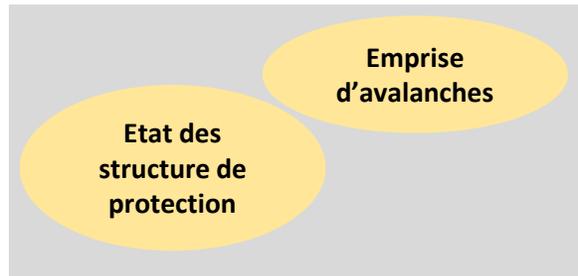


Données sur l'occupation de sol:



# FORÊT ET ALÉAS-TRAITEMENT DE DONNÉES

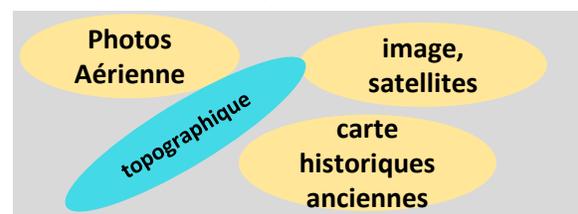
Données d'avalanches:



Statistique spatiales des zones à risques dans l'emprise d'avalanches

Analyses théorique de l'état des structures de protection

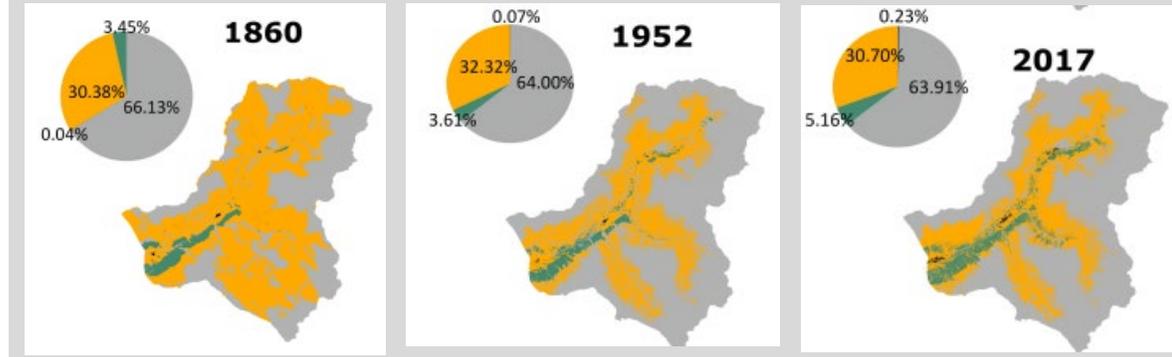
Données sur l'occupation de sol:



Spatial object-based image analysis (OBIA)

Correction temporelles des cartes d'occupation de sols: Statistiques paysagères

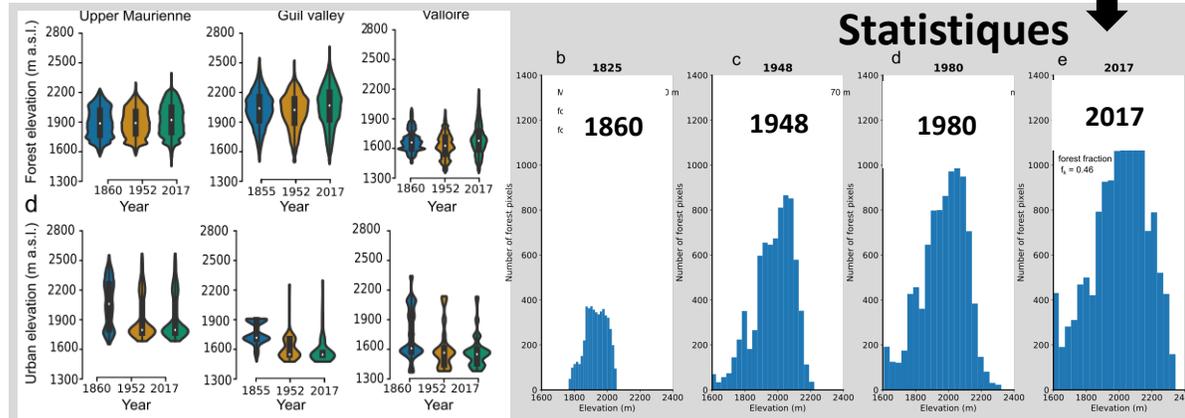
## Série temporelles cartes occupation de sols



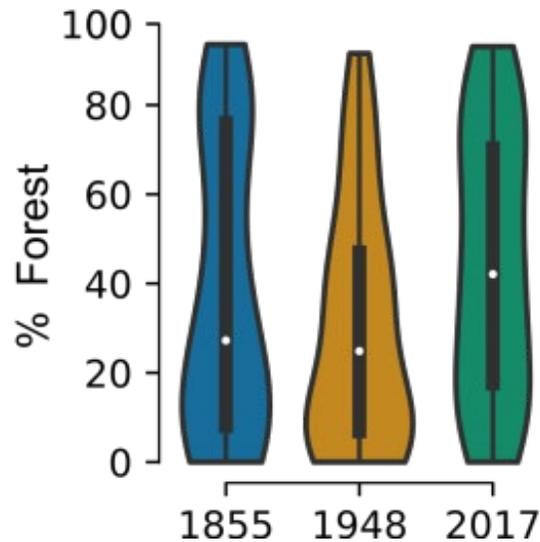
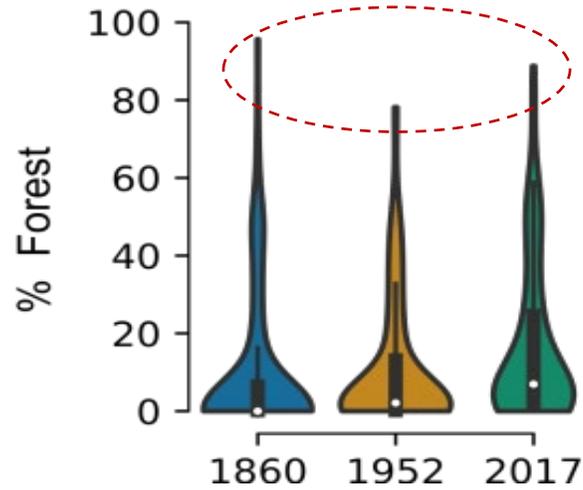
Analyse géospatiales:

- Télédétection
- Orthorectification
- Statistiques paysagères

Permet de visualiser / comprendre l'évolution temporelles de l'occupations des sols dans la vallées et dans les couloirs d'avalanches



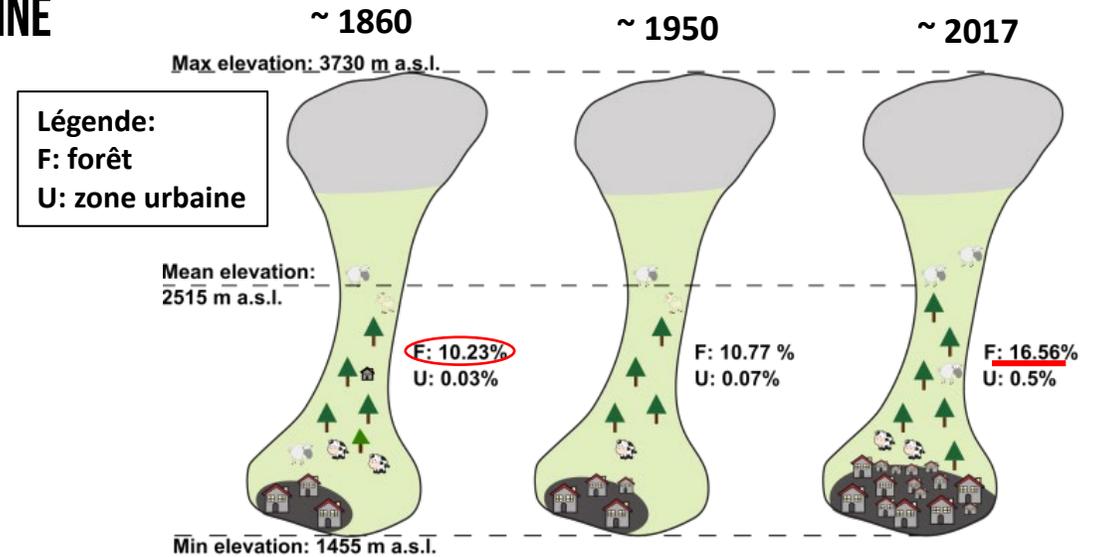
# FORÊT ET ALÉAS - RÉSULTATS



## HAUTE MAURIENNE

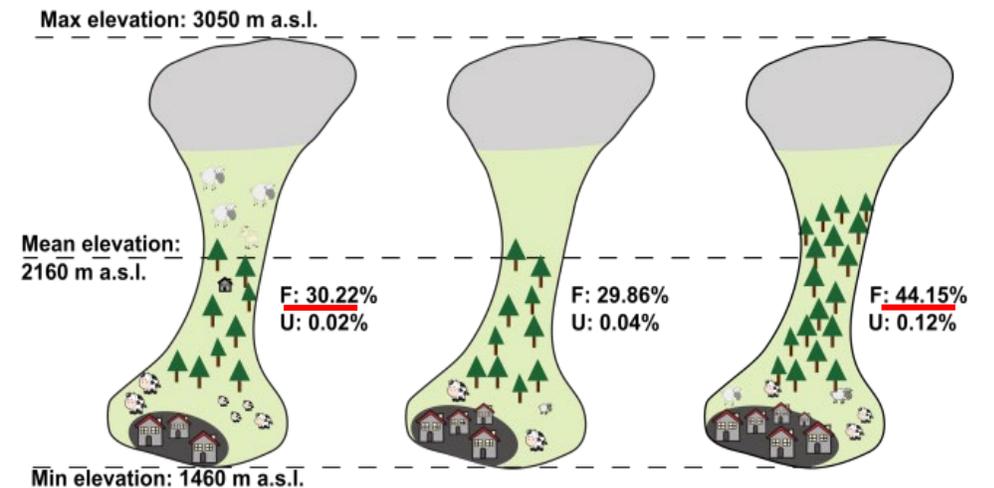
NON !

### Représentation de l'évolution des couloirs d'avalanches

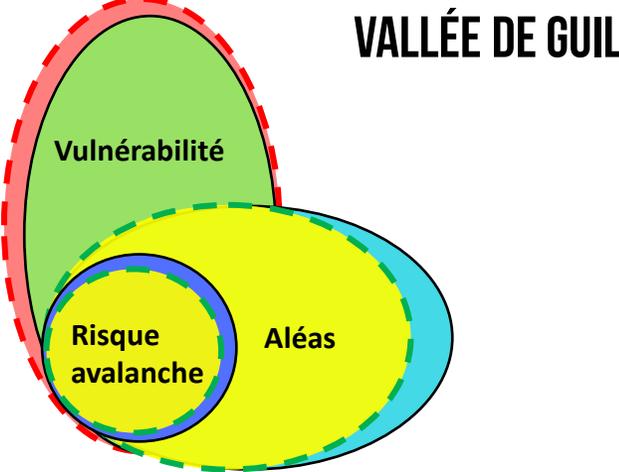
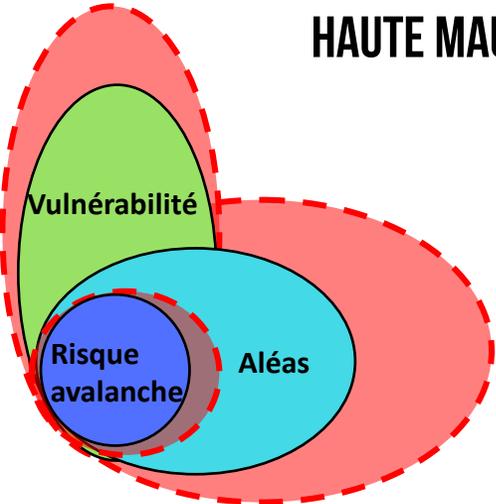


## VALLÉES DE GUIL

OUI !



# EVOLUTION RISQUE



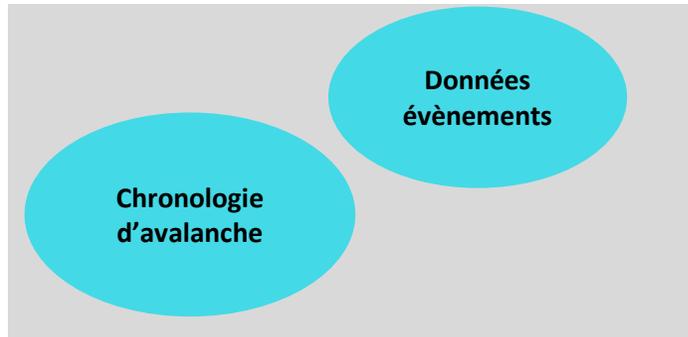


# ANALYSE DE RISQUE QUANTITATIVE

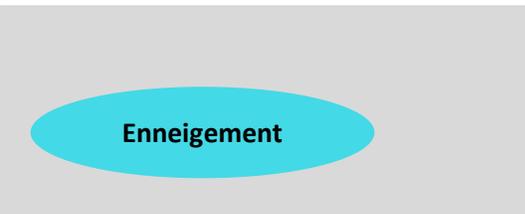
1. LES DONNÉES
2. LES APPROCHES
3. RÉSULTAT SUR LA HAUTE MAURIENNE ET VALLÉE DE GUIL

# MODÈLE DE RISQUE- DONNÉES

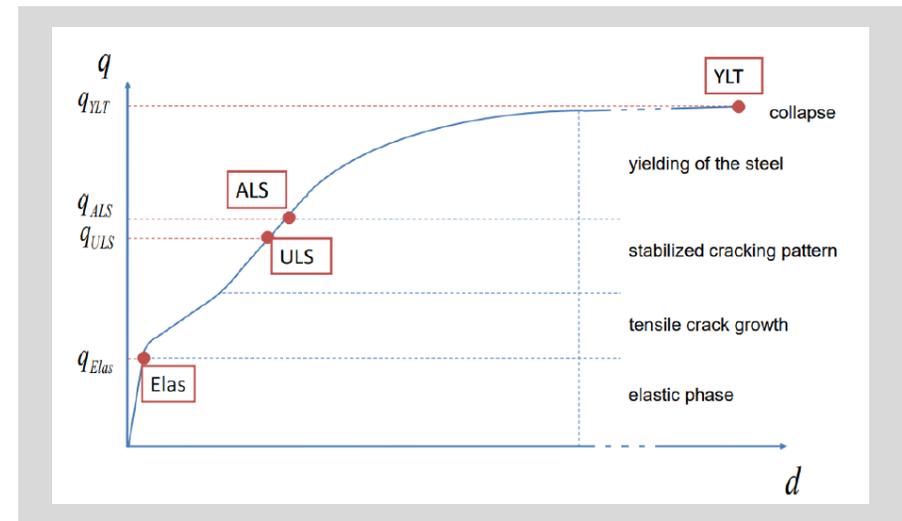
## Données d'avalanches:



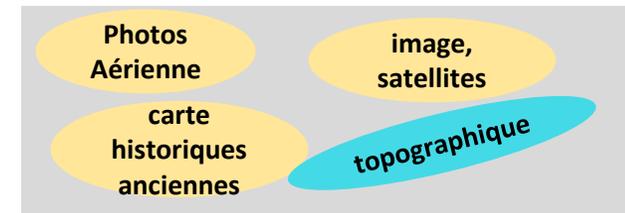
## Données climatiques



## Donnée sur la défaillance des bâtiments en béton armé



## Données sur l'occupation de sol:

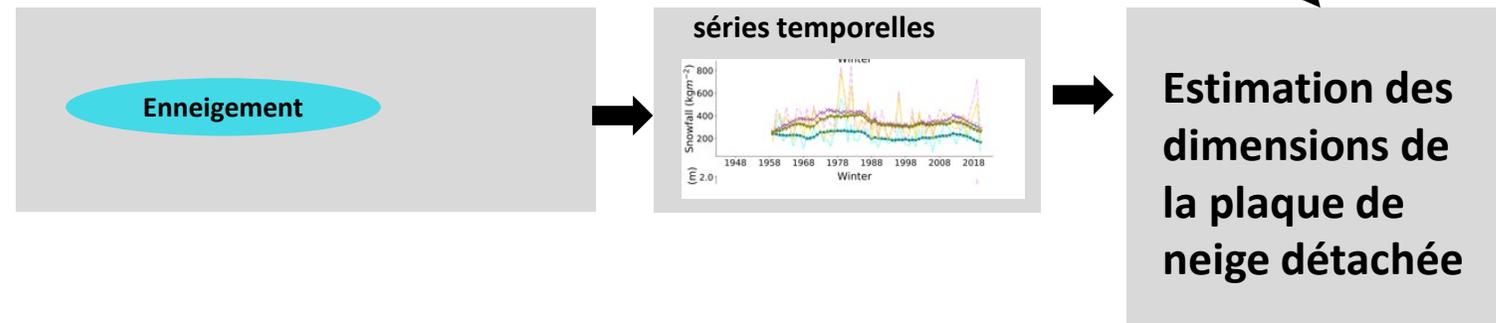


# ANALYSE DE ALÉAS-TRAITEMENT

Données sur l'occupation de sol:



Données climatiques



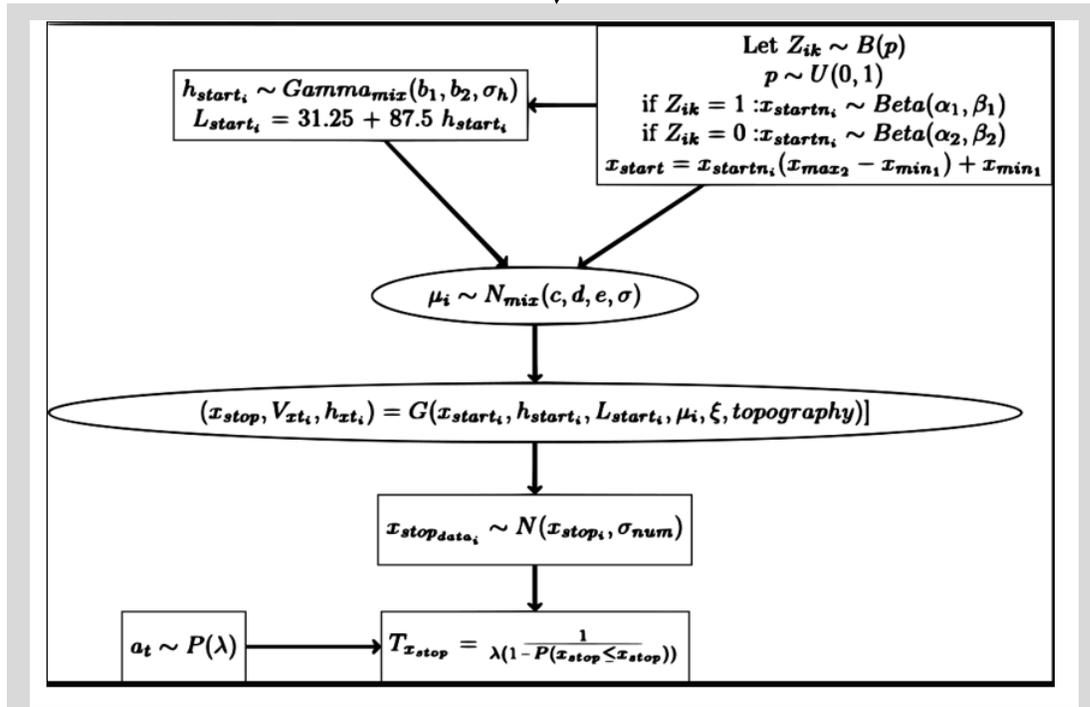
Evolution temporels des forêts dans les couloirs d'avalanches



# ANALYSE D'ALÉAS-TRAITEMENT

Evolution temporels des forêts dans les couloirs d'avalanches

Estimation des dimensions de la plaque de neige détachée



Modèle bayésien statistico-dynamique

## EQUATION DE SAINT VENANT

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hv)}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(hv^2 + g\frac{h^2}{2})}{\partial x} = h(g\sin\phi - F)$$

## MODÈLE DE VOELLMY (FROTTEMENT)

$$F = \mu g \cos\phi + \frac{g}{\xi h} v^2$$

$$\mu \sim N(c + dx_{start_{norm}} + eh + g(f_k - \bar{f}), \sigma)$$

$$\xi = \hat{\xi} b(f_k - \bar{f})$$

## VARIABILITÉ DE L'AVALANCHE

$$p(y, a | \theta_M, \lambda) = \underbrace{p(y | \theta_M)}_{\text{ampleur}} \underbrace{p(a | \lambda)}_{\text{Fréquence}}$$

Moyenne annuelle nombre avalanche

$$\theta_M = (\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, p, b_1, b_2, \sigma_h, c, d, e, \sigma, \xi)$$

Echantillonnage aléatoire: Metropolis-Hastings/MCMC



# ANALYSE DU RISQUE-TRAITEMENT

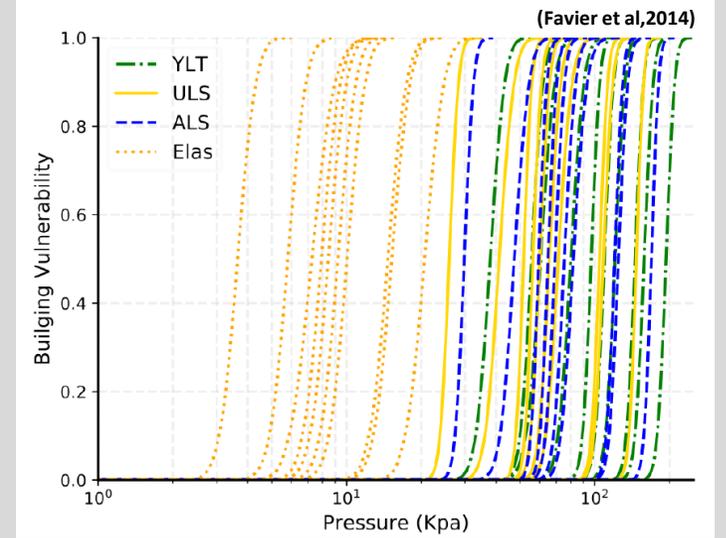
Risque: Degré de dommage résultant de l'interaction entre un **aléas** et **une entité exposé vulnérable**

$$r_z(x_b) = \lambda \int p(P|x_b \leq x_{stop})p(x_b \leq x_{stop}) \times V_z(P)dP.$$

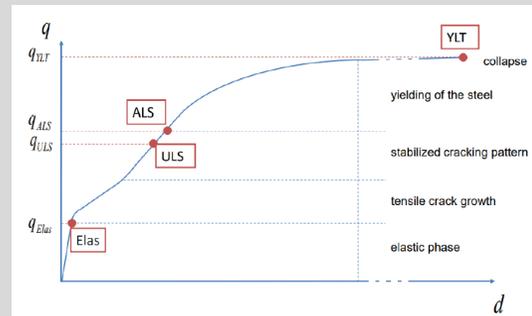
Vulnérabilité

Aléas  
(distribution jointe des distance d'arrêt  
et des pressions d'impacts)

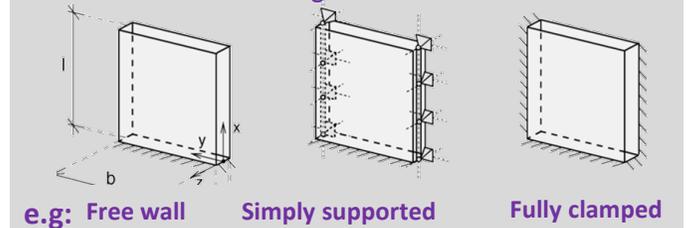
Courbe de fragilité



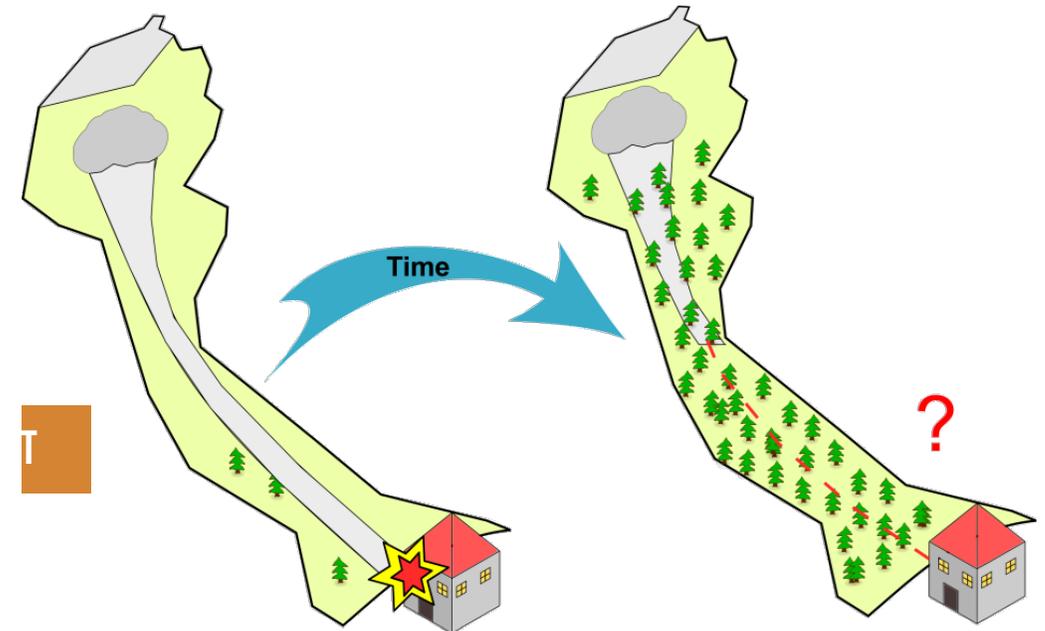
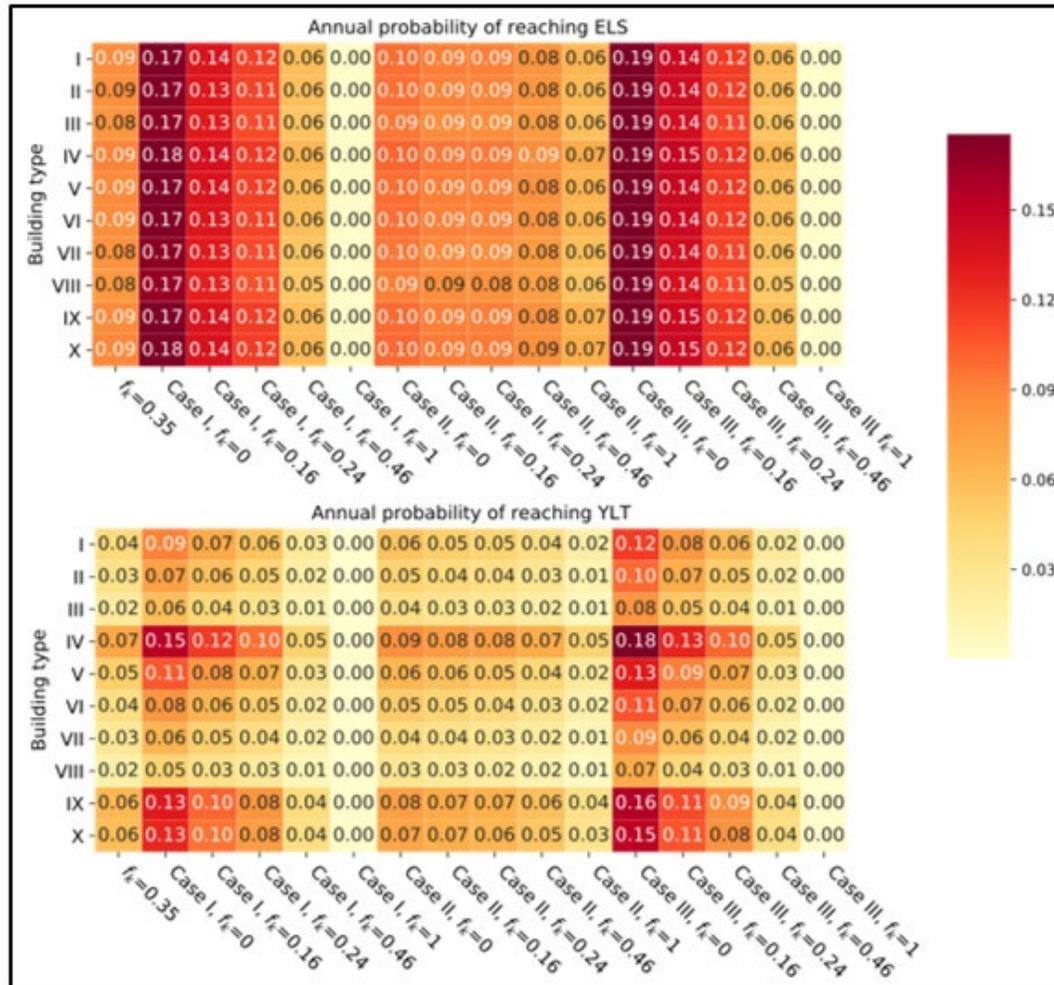
la défaillance des bâtiments en béton armé



4 modes de défaillances structurales  
10 configurations



# IL SUFFIT DE PLANTER PARTOUT ?



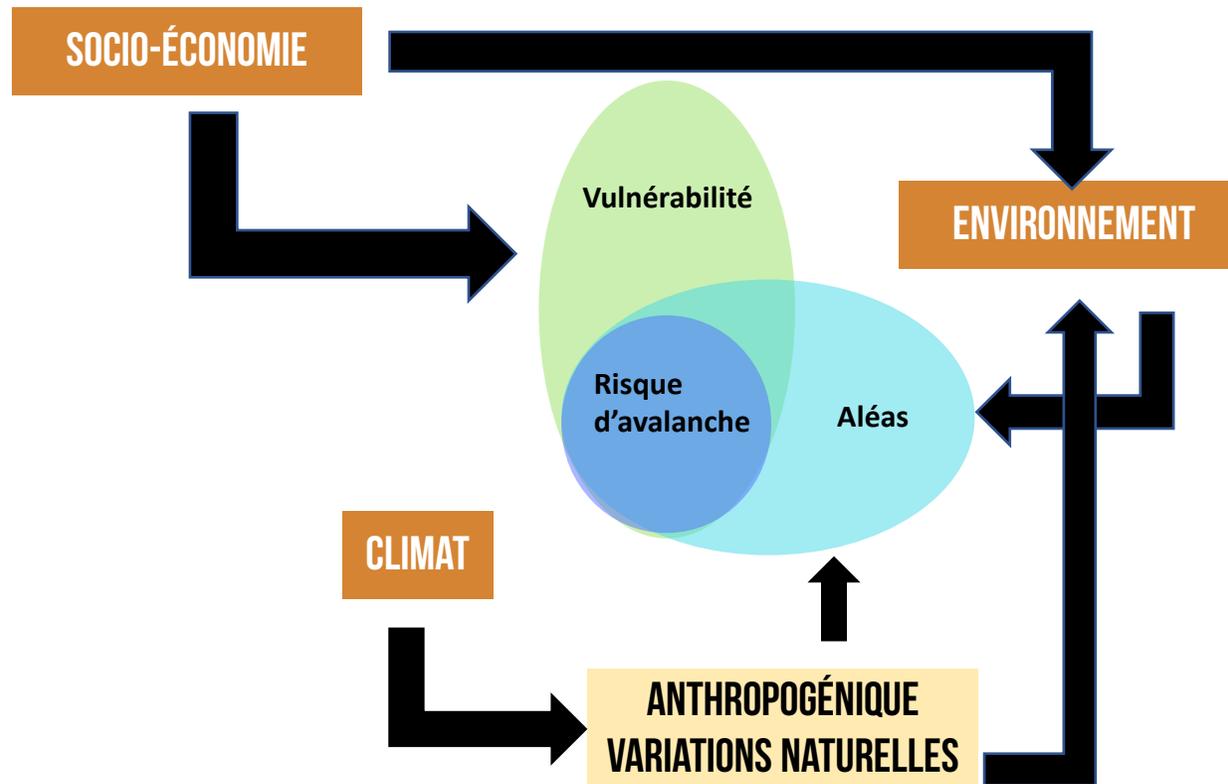
**DÉFORESTATION** → **REFORESTATION**

**Risque avalanche diminue en moyenne de 80%**

- ▶ Impact du changement climatique sur les forêts :
  - Perturbations forestières
  - Déracinement par le vent
  - Feu de forêts , maladies, etc...
- ▶ Santé générale, âge, densité, etc...

# CONCLUSION

GÉRER LE RISQUE C'EST GÉRER LE SYSTÈME ET LES INTERACTIONS ENTRE CES COMPOSANTES ET LES FACTEURS QUI LES INFLUENCENT



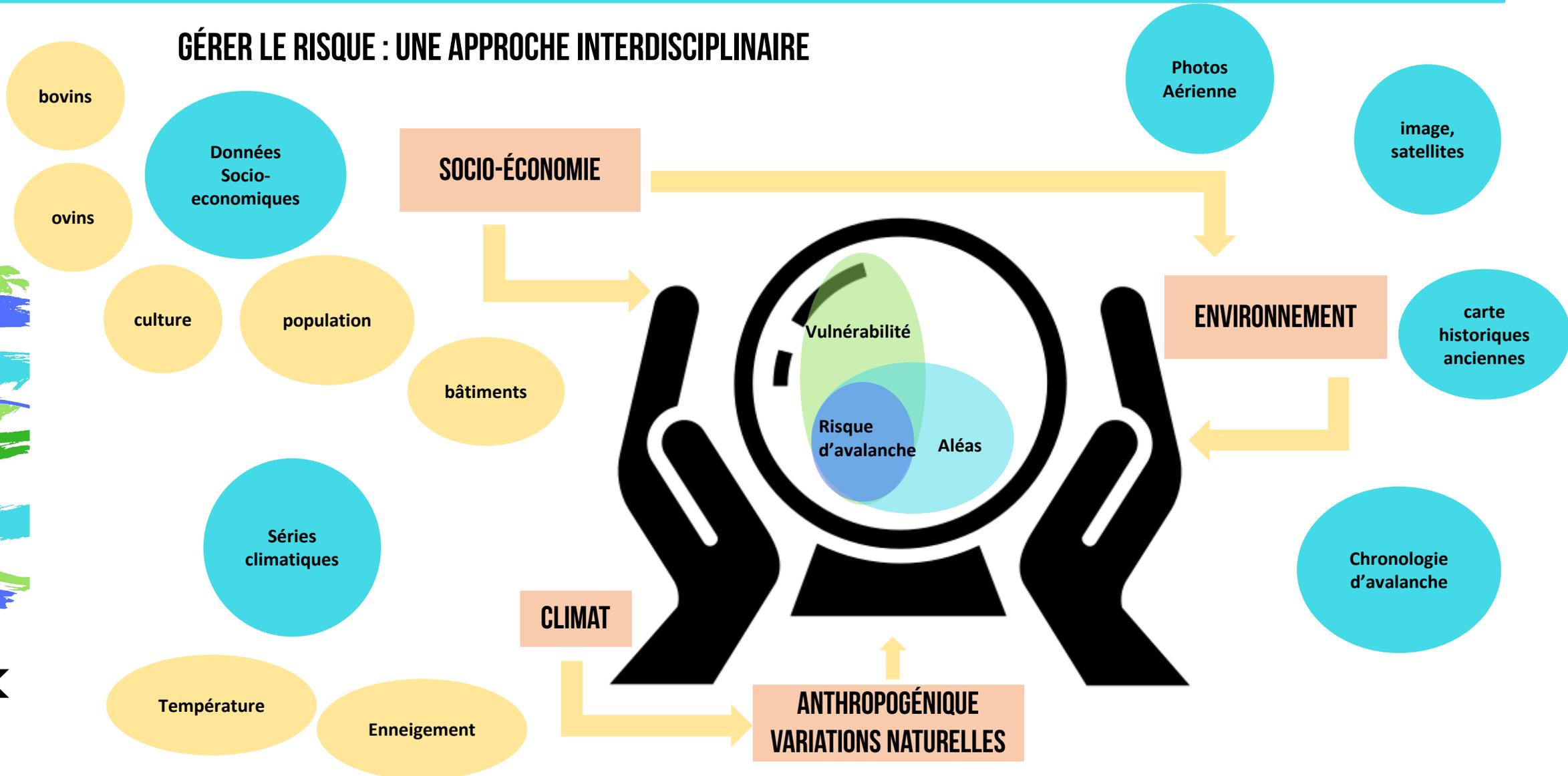
TECH  
WEEK



KAIZEN

# CONCLUSION

## GÉRER LE RISQUE : UNE APPROCHE INTERDISCIPLINAIRE

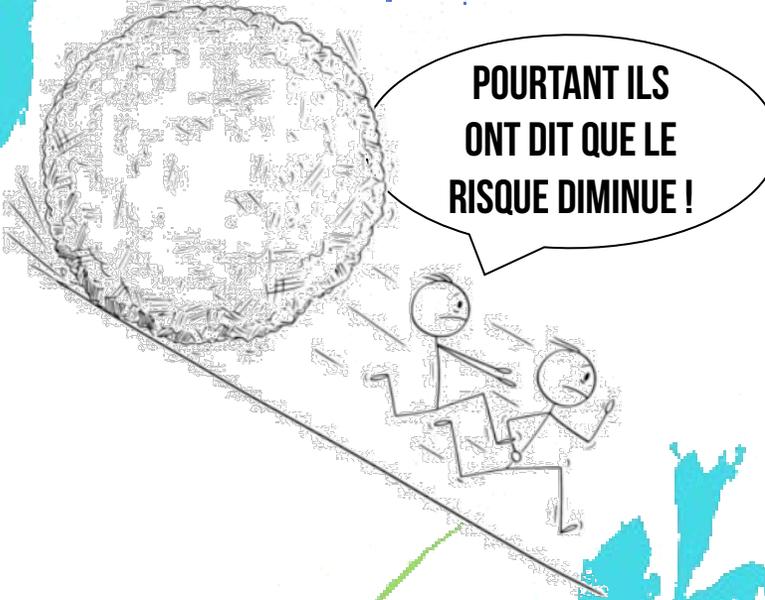


# CONCLUSION

---

1. La science des données est le **FUTUR** et le futur c'est **MAINTENANT**
2. La science des données est un domaine **INTERDISCIPLINAIRE**
3. Elle s'appuie sur des outils mathématiques, de statistiques, d'informatique et de visualisation de données
4. L'objectif : résoudre les problèmes en utilisant des données.  
Par exemple : améliorer les produits





POURTANT ILS  
ONT DIT QUE LE  
RISQUE DIMINUE !

# MERCI

# DE VOTRE ATTENTION

TECH  
WEEK



KAIZEN

TALINE ZGHEIB