

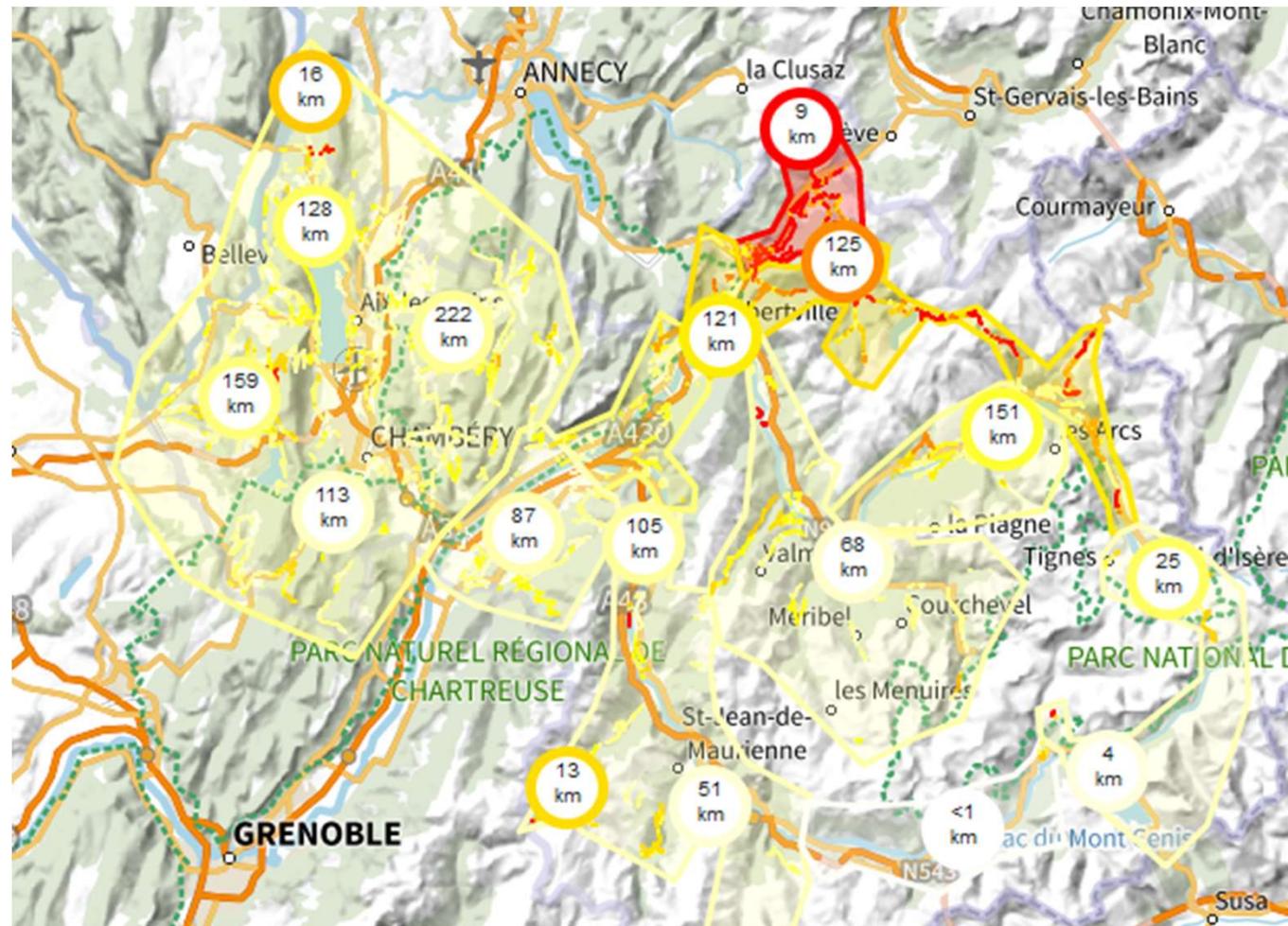
Vendredi 29 septembre - 9h-17h – MACI
Université Grenoble Alpes

Héloïse Cadet

h.cadet@sage-ingenierie.com



Service-web de vigilance des mouvements de terrain à l'échelle d'un département



Vendredi 29 septembre - 9h-17h – MACI
Université Grenoble Alpes

h.cadet@sage-ingenierie.com



Service-web de vigilance des mouvements de terrain à l'échelle d'un département

Contexte

La problématique des aléas gravitaires

- Glissements de terrain
- Chutes de blocs
- Laves torrentielles
- Coulée de boue

2014 : Savoie

Eboulement de 4000 m³



2023 : Savoie– La Praz

Service-web de vigilance des mouvements de terrain à l'échelle d'un département

Enjeux

Anticipation & aide à la décision

- Fermetures préventives
- Déviations
- Déploiements matériels et humains
- Cellules de crise
- Rationaliser les fonds d'urgence
- Partager les connaissances



Service-web de vigilance des mouvements de terrain à l'échelle d'un département

Le projet SIGALE

Systeme d'Information Géographique des ALEas gravitaires
2021-2022



Service-web de vigilance des mouvements de terrain à l'échelle d'un département

Le projet SIGALE

Systeme d'Information Géographique des ALEas gravitaires
2021-2022

Glissement de terrain et chute de bloc



Service-web de vigilance des mouvements de terrain à l'échelle d'un département

Le projet SIGALE

Systeme d'Information Géographique des ALEAs gravitaires
2021-2022

Glissement de terrain et chute de bloc
Infrastructures de la Savoie



Service-web de vigilance des mouvements de terrain à l'échelle d'un département

Le projet SIGALE

Systeme d'Information Géographique des ALEAs gravitaires
2021-2022

Glissement de terrain et chute de bloc

Infrastructures de la Savoie

Outil d'anticipation & aide à la décision, basé sur données
traitées par IA,

=> niveau de vigilance



LE DÉPARTEMENT



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes

AMI
Résilience

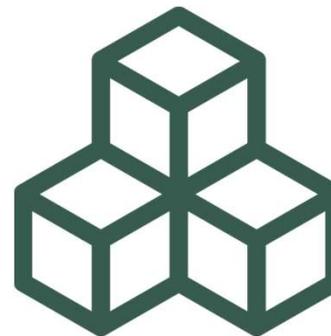
Structure du projet SIGALE



Données historiques



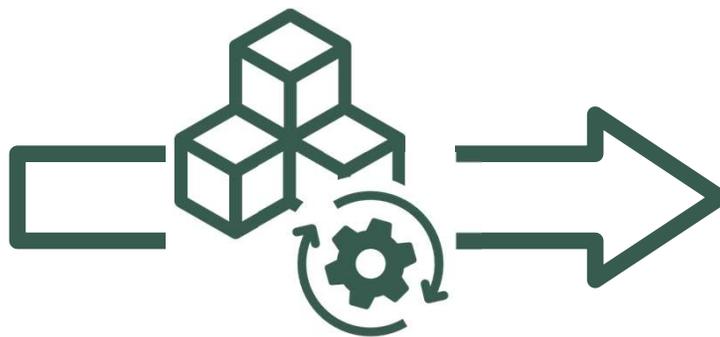
Apprentissage par
intelligence artificielle



Modèle



Nouvelles données



Application du modèle



WWW

Structure du projet SIGALE

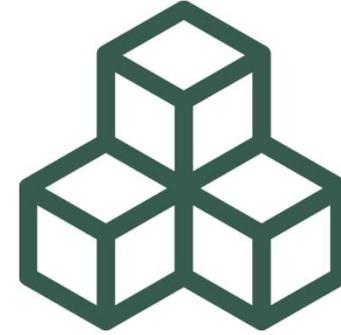


Données historiques

Les données



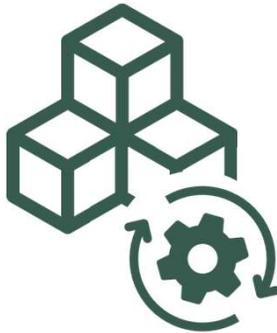
Apprentissage par
intelligence artificielle



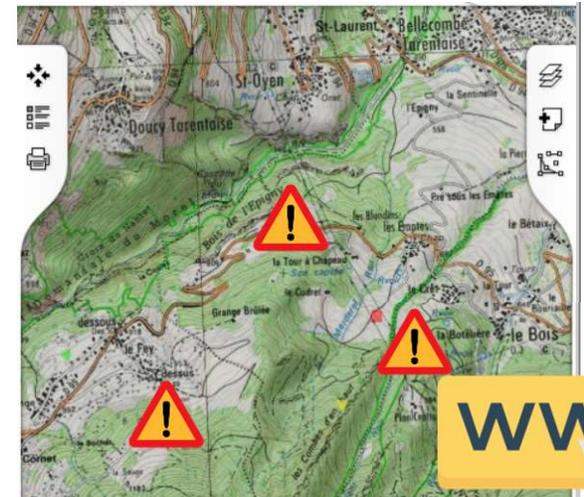
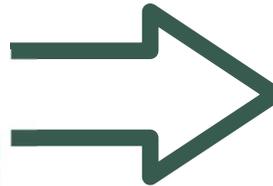
Modèle



Nouvelles données



Application du modèle



WWW

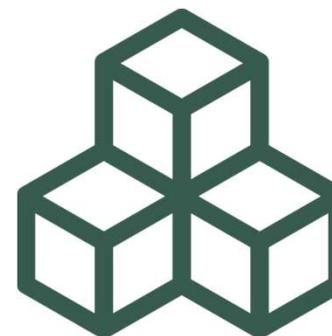
Structure du projet SIGALE



Données historiques



Apprentissage par
intelligence artificielle

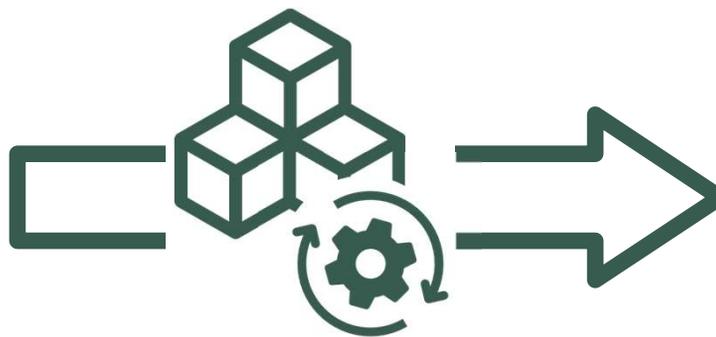


Modèle

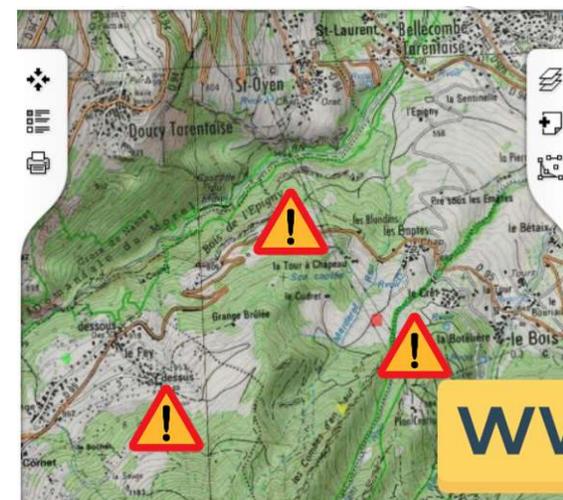
Les modèles
niveau de
vigilance



Nouvelles données



Application du modèle



WWW

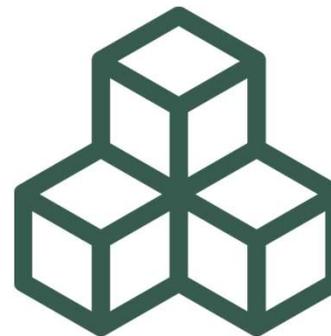
Structure du projet SIGALE



Données historiques



Apprentissage par
intelligence artificielle

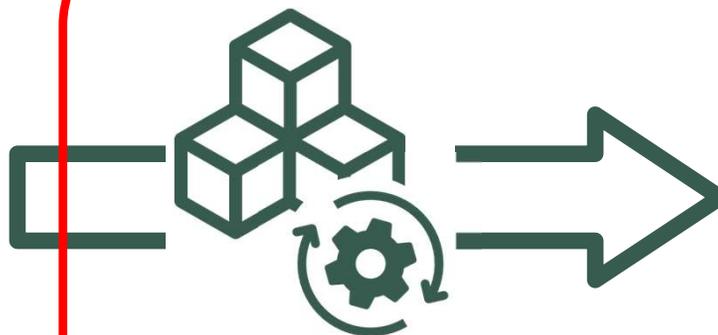


Modèle

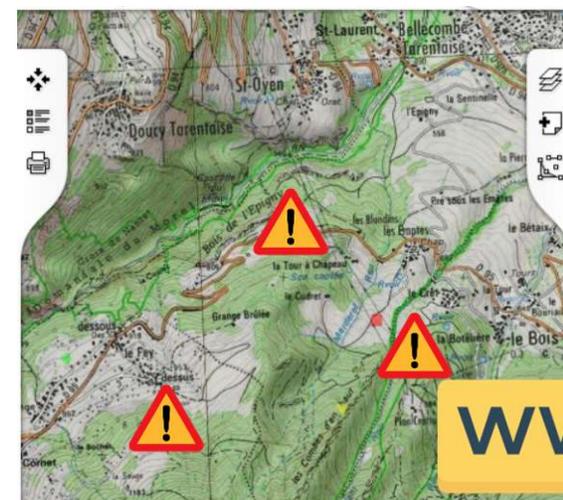
Niveau de vigilance
via web-service



Nouvelles données



Application du modèle



WWW

Les données

Spatiales

3 300 km
~37 000 points



Géologies simplifiées (source : BRGM)
Topographie (à 1 m et produits dérivés)
Couverture des sols (Corine Land Cover)

Spatio-temporelles

Données historiques



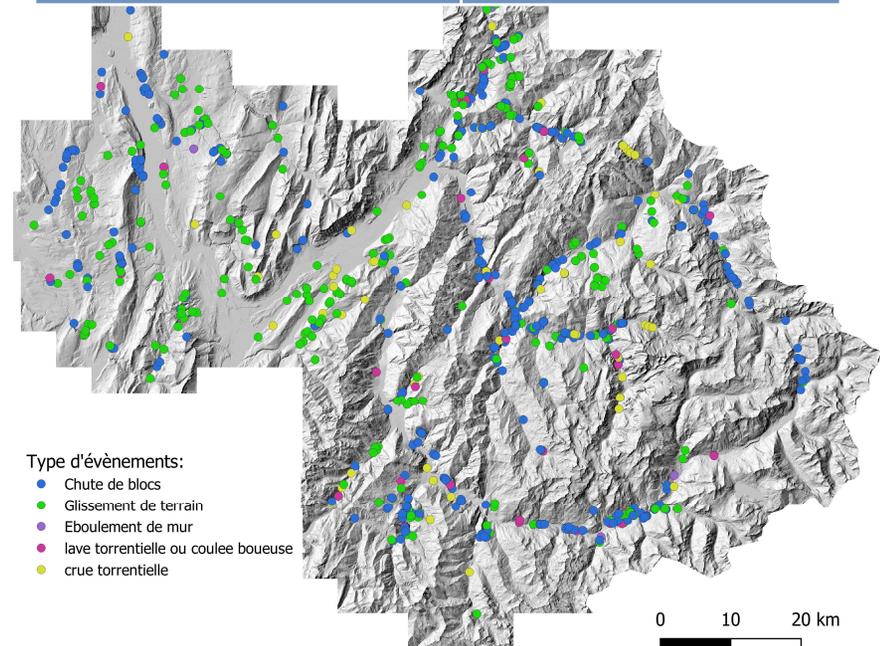
1451 événements datés
Températures et précipitations
2008 à 2020 (ANTILOPE)

Nouvelles données



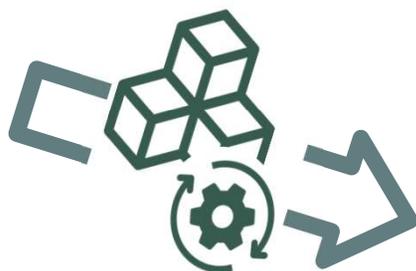
Prévisions météorologiques
AROME

Type d'aléa	nb d'aléa par type
Chute de blocs	863
Glissement de terrain	481
lave torrentielle	107



Les modèles

- ✓ Pente
- ✓ Géologie
- ✓ Couvert végétal



Modèles statistiques

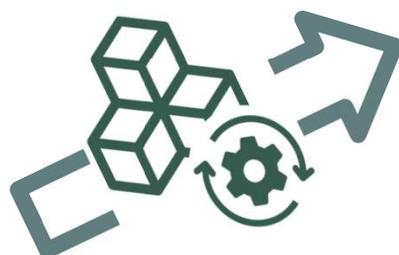
Spatial

Indice « terrain »
de susceptibilité
à l'aléa



**Niveau de
vigilance
journalier
par zone**

- ✓ Cumuls de précipitations de 2 à 45 jours
- ✓ Proxies de température



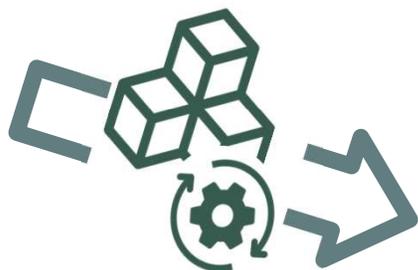
Modèles IA
Random Tree Forest
XGboost

Prévision

Temporel

Les modèles

- ✓ Pente
- ✓ Géologie
- ✓ Couvert végétal



Modèles statistiques

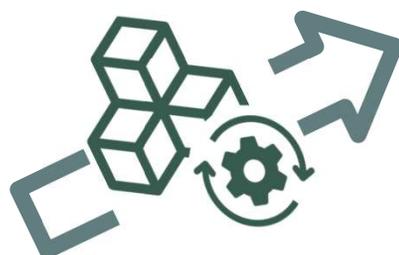
Spatial

Indice « terrain »
de susceptibilité
à l'aléa



**Niveau de
vigilance
journalier
par zone**

- ✓ Cumuls de précipitations de 2 à 45 jours
- ✓ Proxies de température



Modèles IA
Random Tree Forest
XGboost

Prévision

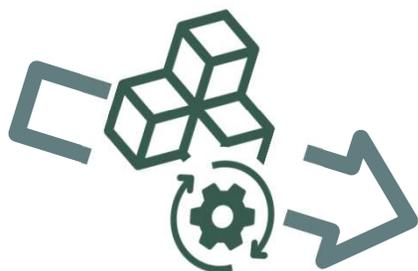
Temporel

Les modèles

Cadet H., Rouquet D. et Lescurier A. (2022)

 Gravitational hazard (landslide and rockfall) susceptibility indexes for the Savoie Department infrastructure; JAG-2022

- ✓ Pente
- ✓ Géologie
- ✓ Couvert végétal



Modèles « statistiques »

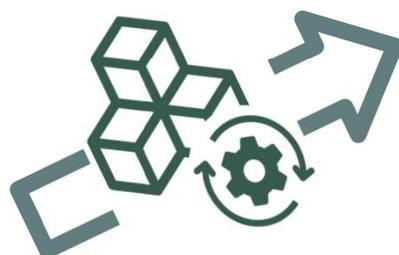
Spatial

Indice « terrain » de susceptibilité à l'aléa



Niveau de vigilance journalier par zone

- ✓ Cumuls de précipitations de 2 à 45 jours
- ✓ Proxies de température



Modèles IA
 Random Tree Forest
 XGboost

Prévision

Temporel

Les modèles

Spatial

Indice « terrain » de susceptibilité à l'aléa

Glissement de terrain:

LSI

Landslide Susceptibility Index

$$LSI(i) = \sum_{j=1}^3 \omega_j x_{ij}$$

- ✓ Pente
- ✓ Géologie
- ✓ Couvert végétal

→ ~ 6 000 secteurs

Chute de bloc:

RSI

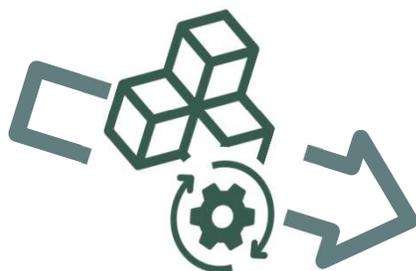
Rockfall Susceptibility Index

- ✓ Zone de départ
- ✓ Propagation avec flow-R

→ ~ 3 000 secteurs

Les modèles

- ✓ Pente
- ✓ Géologie
- ✓ Couvert végétal



Modèles statistiques

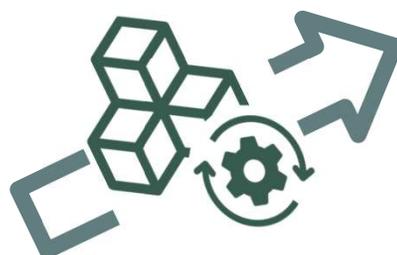
Spatial

Indice « terrain »
de susceptibilité
à l'aléa



**Niveau de
vigilance
journalier
par zone**

- ✓ Cumuls de précipitations de 2 à 45 jours
- ✓ Proxies de température



**Modèles IA
Random Tree Forest
XGboost**

Prévision

Temporel

Les modèles

Temporel Évaluation des modèles de prévision Glissement de terrain

Test-set (sous-échantillonnage)
Forêt d'arbres aléatoires
4 paramètres d'entrée :
rain3, rain8, rain30

		Réal		Prévision
		Pas d'événement	Glissement	
prévisions	Pas d'événement			104
	Glissement			81
réel		82	103	185

Les modèles

Temporel Évaluation des modèles de prévision Glissement de terrain

Test-set (sous-échantillonnage)
Forêt d'arbres aléatoires
4 paramètres d'entrée :
rain3, rain8, rain20 et rain45

Les métriques:

Rappel

=> tous les évènements sont-ils prévus?

		Réal		Prévision
		Pas d'événement	Glissement	
prévisions	Pas d'événement	[Large empty cell]		104
	Glissement			16 9%
réel		[Large empty cell]		103 63%

Les modèles

Temporel Évaluation des modèles de prévision Glissement de terrain

Test-set (sous-échantillonnage)
Forêt d'arbres aléatoires
4 paramètres d'entrée :
rain3, rain8, rain20 et rain45

Les métriques:

Rappel

=> tous les évènements sont-ils prévus?

Précision

=> fausse alerte?

		Réal		Prévision
		Pas d'événement	Glissement	
prévisions	Pas d'événement	[Large empty cell]		104
	Glissement			16 9%
réel		[Large empty cell]		103 63%

Les modèles

Temporel

Évaluation des modèles de prévision

Glissement de terrain

Test-set (sous-échantillonnage)

Forêt d'arbres aléatoires

4 paramètres d'entrée :

rain3, rain8, rain20 et rain45

Les métriques:

Rappel

=> tous les évènements sont-ils prévus?

Précision

=> fausse alerte?

		Réal		Prévision
		Pas d'événement	Glissement	
prévisions	Pas d'événement	66 36%	38 20%	104 63%
	Glissement	16 9%	65 35%	81 80%
réel		82 80%	103 63%	185 71%

Les modèles

Temporel Évaluation des modèles de prévision Glissement de terrain

Test-set (sous-échantillonnage)
 XGboost

3 paramètres d'entrée :
 rain2, rain12 et rain45

Les métriques:

Rappel

=> tous les évènements sont-ils prévus?

Précision

=> fausse alerte?

		Réal		Prévision
		Pas d'événement	Glissement	
prévisions	Pas d'événement	51 28%	12 7%	63 81%
	Glissement	40 22%	79 43%	119 66%
réel		91 56%	91 87%	182 71%

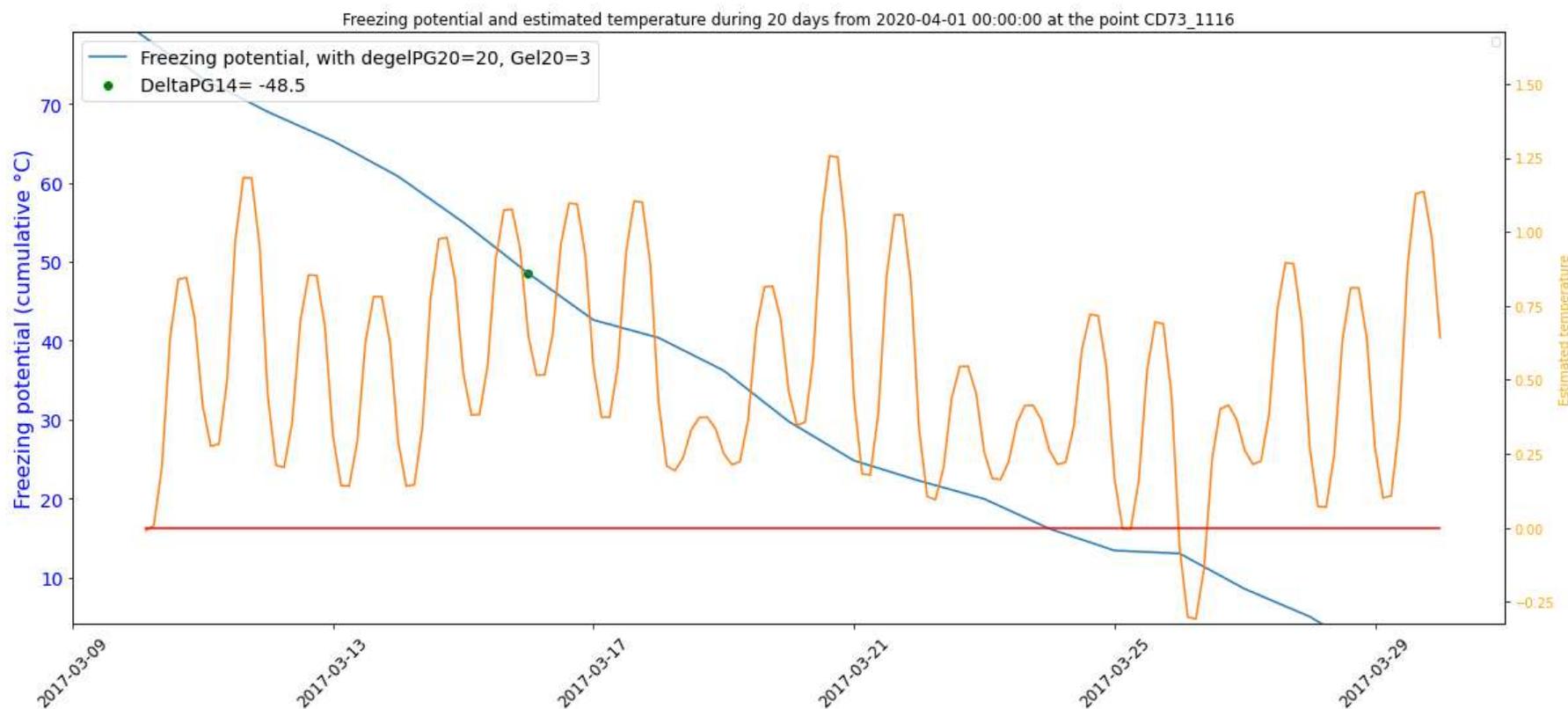
Les modèles

Temporel Évaluation des modèles de prévision Chute de bloc

6 paramètres d'entrée sélectionnés:
 rain2, rain8, rain20, deltaPG14, degelPG20 et G20

$$FP = \sum -T$$

avec $0 \leq FP \leq 1000$



Les modèles

Temporel

Évaluation des modèles de prévision

Chute de bloc

Test-set (sous-échantillonnage)

Forêt d'arbres aléatoires

6 paramètres

d'entrée sélectionnés:

rain2, rain8, rain20,
 deltaPG14, degelPG20 et G20

Rappel

=> tous les évènements sont-ils prévus?

Précision

=> fausse alerte?

		Réal		prévision
		Pas d'événement	cdb	
prévisions	Pas d'événement	115 33%	57 16%	172 67%
	cdb	65 19%	113 32%	178 63%
réel		180 64%	170 67%	350 65%

Prototype de service web

The image shows a prototype of a web dashboard titled "Tableaux de bord". It features a search bar and navigation icons (hamburger menu and plus) in the top right. The dashboard is divided into three main sections, each with a title, status indicators, and a "Voilà" button:

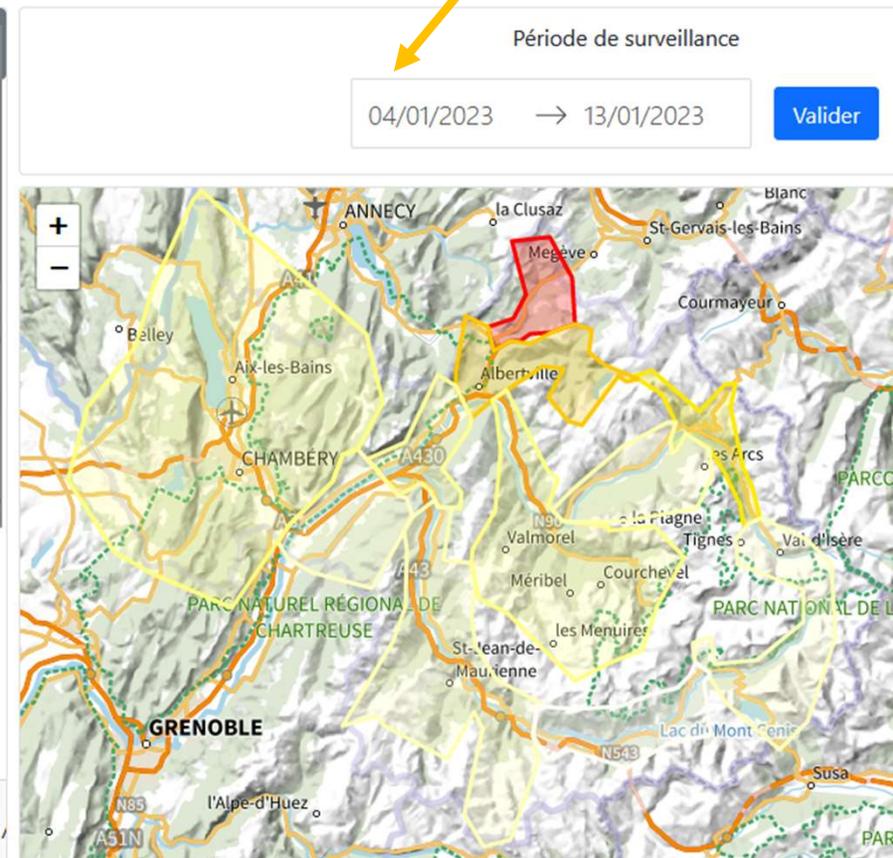
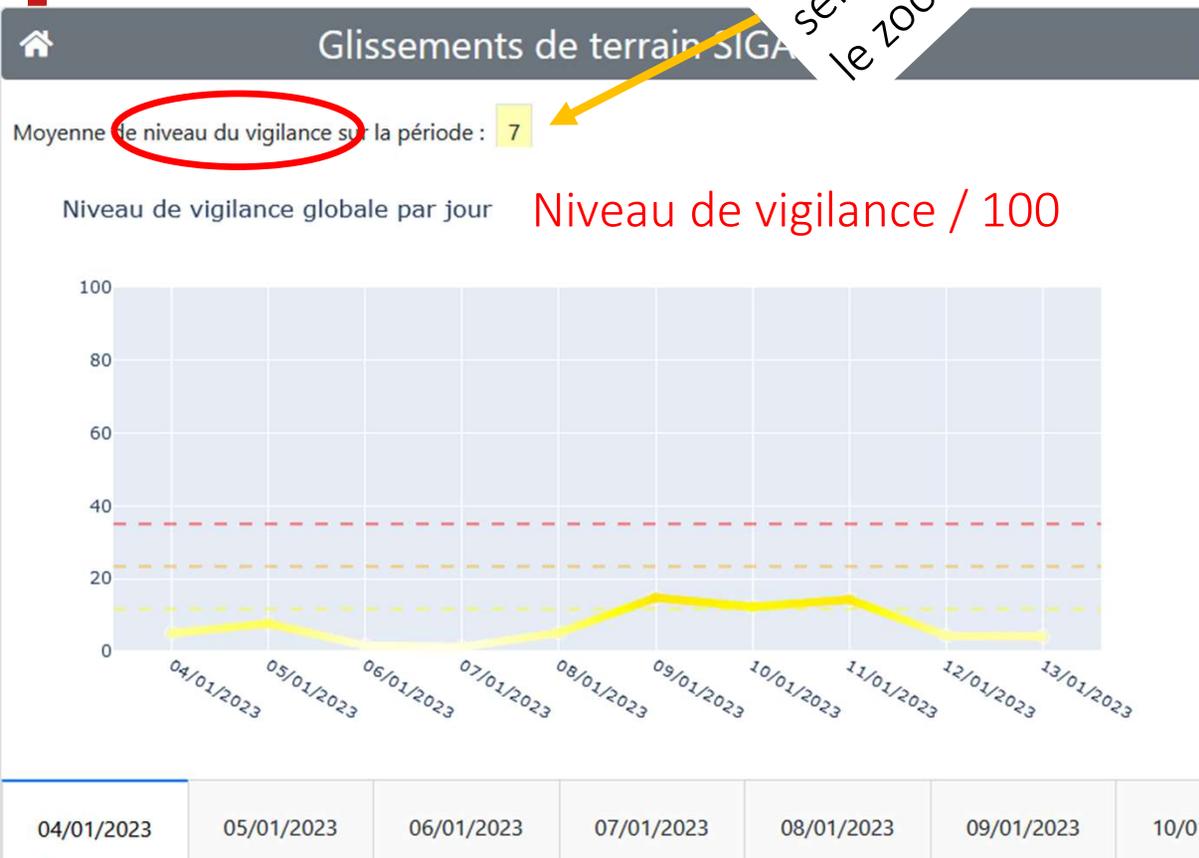
- 1 - Vigilance glissements SIGALE**: Includes "Publié" and "Créer" status icons. The main content area shows a blue icon of a landslide with a warning triangle and the word "PROTOTYPE" in a red box. Below the icon are buttons for "Lien public" and "Modifier".
- 2 - Vigilance chutes de blocs SIGALE**: Includes "Publié" and "Créer" status icons. The main content area shows a blue icon of falling rocks with a warning triangle and the word "PROTOTYPE" in a red box. Below the icon are buttons for "Lien public" and "Modifier".
- 3 - Historique d'événements SIGALE**: Includes "Publié" and "Créer" status icons. The main content area shows a blue icon of a calendar and a map with the word "PROTOTYPE" in a red box. Below the icon are buttons for "Créer un lien public" and "Modifier".

Prototype de service web

ZOOM 0: La Savoie

moyenne sur la
période
sélectionnée et
le zoom choisi

Sélectionner
une période



ATTENTION: Échéance de prévision à 1 jour

Prototype de service web

ZOOM 1: zone prioritaire

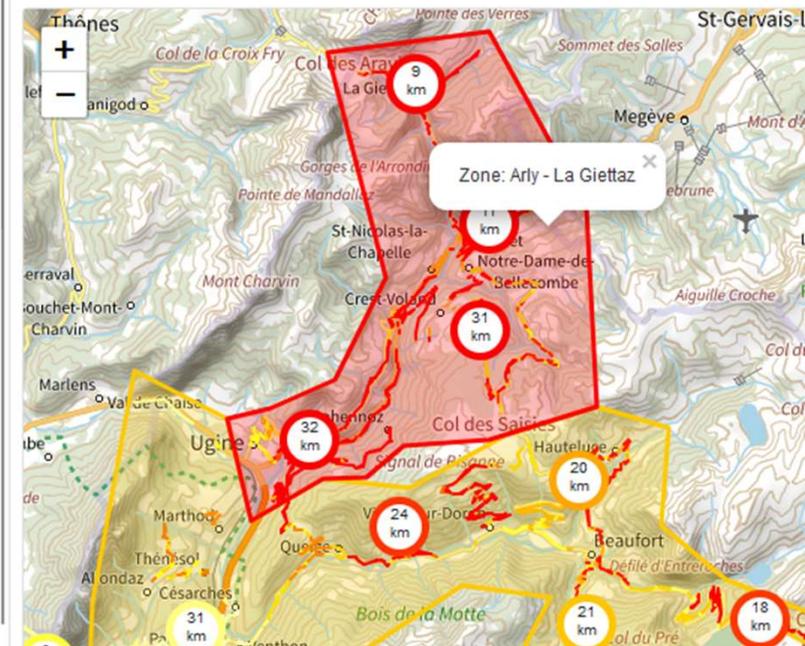
Zone Arly - La Giettaz entre le 04/01/2023 et le 13/01/2023

Période de surveillance

04/01/2023 → 13/01/2023

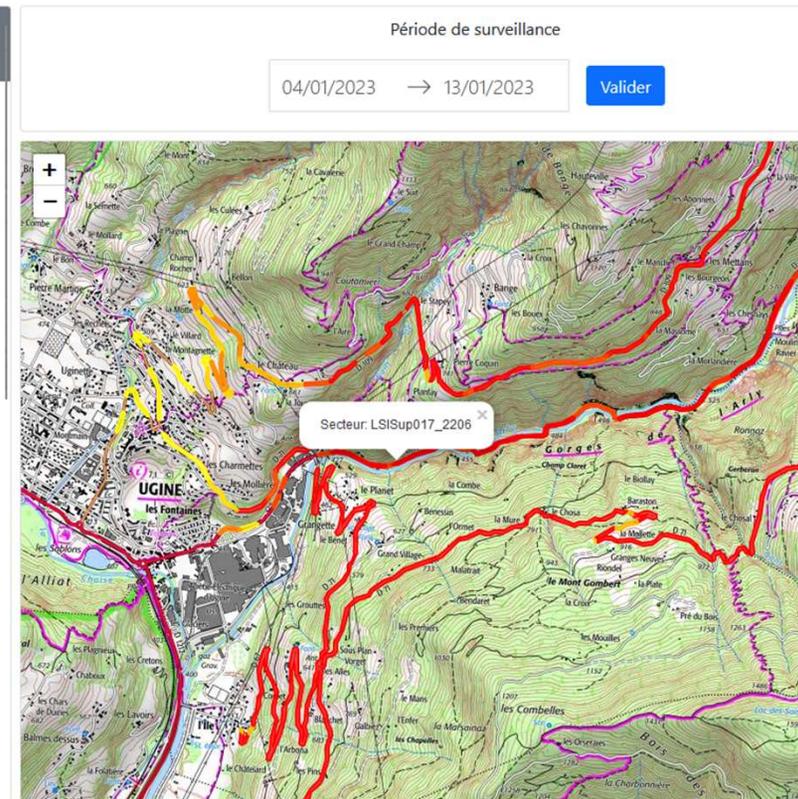
Moyenne de niveau du vigilance sur la période : **41**

Niveau de vigilance globale par jour



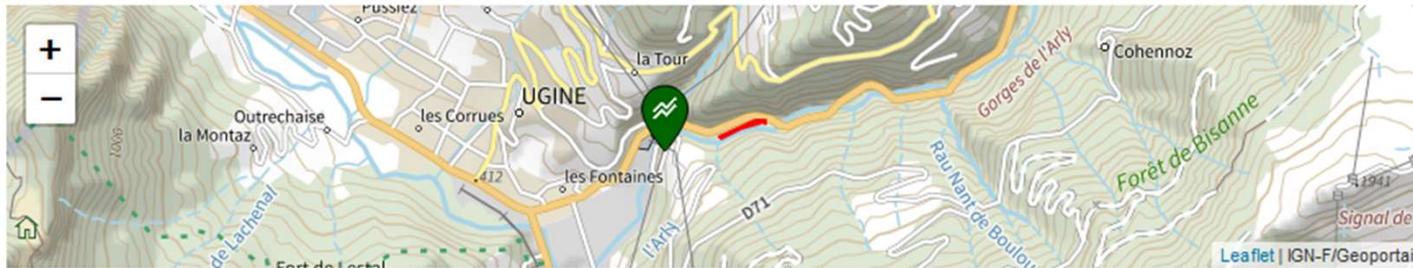
Prototype de service web

ZOOM 2: Un secteur

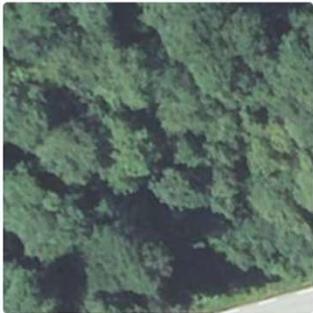


Prototype de service web

ZOOM 2 bis: Comparaison avec l'historique



Secteur LSISup017_2206 entre le 04/01/2023 et le 13/01/2023



Id : LSISup017_2206, Coordonnées : 45.752, 6.443

Altitude : 441 m, longueur du secteur: 0.4 km

Pente à 10 mètres : 14°

Géologie : ALLUVIONS et SABLES

Couverture du sol : Forêts de feuillus

LSI : 0.23

Précipitations 45 jours avant le 13/01/2023

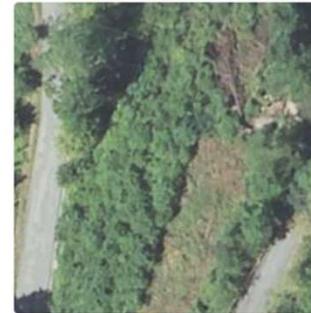


Cumul sur 3 jours
15 mm

Cumul sur 8 jours
49 mm

Cumul sur 30 jours
210 mm

Glissements de terrain le 17/08/2012



Id : CD73269, Coordonnées : 45.75, 6.435

Altitude : 467 m

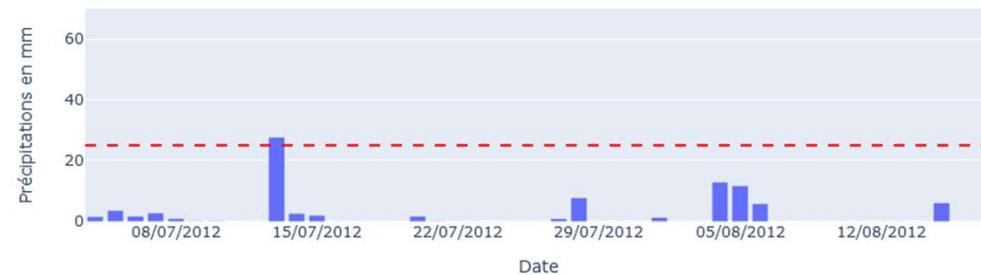
Pente à 10 mètres : 38°

Géologie : GRES et CONGLOMERATS

Couverture du sol : Systèmes culturaux et parcellaires complexes

LSI : 0.072

Précipitations 45 jours avant le 17/08/2012



Cumul sur 3 jours
6 mm

Cumul sur 8 jours
6 mm

Cumul sur 30 jours
48 mm

Conclusion

Résultats

- ✓ Un territoire test
- ✓ Des modèles spatiaux de susceptibilité aux aléas
- ✓ Des modèles de prévision basés sur l'IA
- ✓ Un prototype en ligne d'aide à la décision

Perspectives

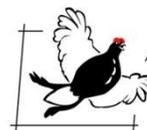
- ✓ Extension à d'autres territoires: base de données !
- ✓ Mise à jour et automatisation des modèles (susceptibilité et IA) avec d'autres événements
- ✓ Développement des méthodologies d'évaluation des modèles IA (métriques)
- ✓ Expertise des données météorologiques (prédiction à 4 jours)
- ✓ Evolution du prototype de service-web vers l'opérationnel

Projet : VigiMouv

Partenaires:



TETRAS
LIBRE



INRAE



Déposé: France 2030 Projets collaboratifs I-DEMO régionalisé

Contact: h.cadet@sage-ingenierie.com