



HAL
open science

Révision de l'inventaire des glaciers rocheux des Alpes françaises

Xavier Bodin

► **To cite this version:**

Xavier Bodin. Révision de l'inventaire des glaciers rocheux des Alpes françaises. EDYTEM, Université de Savoie Mont-Blanc, UMR 5204 CNRS. 2024. hal-04706958

HAL Id: hal-04706958

<https://hal.science/hal-04706958v1>

Submitted on 24 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Révision de l'inventaire des glaciers rocheux des Alpes françaises

Xavier Bodin

2024-02-12

Contents

1 Objectifs	1
1.1 Contexte général	1
1.2 Déroulement	2
2 Démarche méthodologique	2
2.1 Préparation des données	2
2.2 Révision des données	6
2.3 Consolidation des données	6
3 Produits obtenus	8

1 Objectifs

1.1 Contexte général

Piloté par le RTM et supervisé scientifiquement par les laboratoires EDYTEM et PACTE, l'inventaire des glaciers rocheux des Alpes françaises a été entrepris entre 2009 et 2016. Le travail a consisté à cartographier manuellement sur SIG l'emprise des glaciers rocheux, département par département, et à évaluer, en général par l'observation d'indices géomorphologiques sur des ortho-photo, leur niveau d'activité. L'ensemble des données (consistant en des fichiers *shapefile*) a par la suite été utilisé d'une part par les services RTM à des fins opérationnelles de gestion des risques, et d'autre part par nos équipes de recherche, en particulier lors de la thèse de Marco Marcer (2015 - 2018).

Dans la mesure où, d'une part, le travail d'inventaire initial avait été réalisé par des opérateurs souvent insuffisamment formés (en particulier à la lecture géomorphologique du paysage, ce qui, pour le cas des glaciers rocheux, peut demander quelques années de pratique), et où, d'autre part, les données disponibles à ce moment-là n'étaient pas d'une qualité suffisante pour une reconnaissance optimale des glaciers rocheux, **il nous a semblé pertinent d'entamer la révision complète de l'inventaire des glaciers rocheux des Alpes françaises.**

1.2 Déroulement

Fin 2022, nous avons engagé la révision de l’inventaire, avec deux paliers d’achèvement envisagés : 1) **la vérification de la géométrie et de la présence/absence des glaciers rocheux**, et 2) **la r -évaluation du niveau d’activité pour chaque glacier rocheux**. Un troisième palier d’achèvement, extérieur a priori aux attentes des services RTM, concerne **la mise aux standards du groupe d’action “Rock glacier inventories and kinematics (RGIK)”**.

Le travail a été mené par une équipe de 6 personnes (PACTE : Julia Agziou et Philippe Schoeneich ; EDYTEM : Xavier Bodin et Thibaut Duvanel ; ISTerre : Diego Cusicanqui ; CARTODIA : Thomas Echelard), toutes bénéficiant d’une expérience suffisante (en géomorphologie périglaciaire alpine, et en SIG) sur le sujet pour entreprendre le travail de révision. L’ensemble du travail cartographique a été mené sur un même projet **QGIS**.

Une première version du travail a été présentée lors de la *Conférence européenne sur le permafrost*, en juin 2023 (voir la présentation à [ce lien](#)). La révision géométrique (palier d’achèvement 1) a été finalisée fin 2023. La r -évaluation du niveau d’activité est en cours (avec l’inclusion de données nouvelles) mais ne pourra pas être finalisée dans l’immédiat du fait du temps de travail que cela représente.

2 Démarche méthodologique

Le travail s’est décomposé en 3 phases principales : 1) la préparation des données ; 2) la révision proprement dite ; 3) la consolidation des données révisées, dont une description est fournie ci-après.

2.1 Préparation des données

Cette phase du travail a consisté à rassembler, vérifier, au besoin adapter, et mettre à disposition de l’équipe de travail, dans un projet SIG, les jeux de données utiles pour la révision. Il s’agissait à la fois de données “internes” (des services RTM ou des laboratoires de recherche) et externes, notamment les couvertures géographiques nationales distribuées par l’IGN.

2.1.1 Données à disposition

A - Inventaire initial des glaciers rocheux – Comme évoqué précédemment, deux fichiers existent, très proches car provenant du même fichier initialement (2017) mais, depuis, manipulés, modifiés et exploités de façon différente par les services RTM d’une part et par les équipes de recherche d’autre part :

- données RTM = /DONNEES_RT/Shapes RTM_GR_Alpes_final/V2_20210623/gr.shp, contenant 3279 polygones et 15 champs attributaires (*Id_glacier*, *Depart*, *Commune*, *Insee*, *Massif*, *Source*, *Activite*, *Orientalio*, *Longueur_m*, *Largeur_m*, *Surface_m2*, *Alti_min_m*, *Alti_max_m*, *Pente_deg*, *geometry*)
- données labos = /DONNEES_PACTE_EDYTEM/Complete_Inventory_Final.shp, contenant 3292 polygones et 13 champs attributaires (*Source*, *Source.1*, *X*, *Y*, *Id_glacier*, *ID_complet*, *Activity*, *Risk*, *MM_Comment*, *MM_hazard*, *Dest_Index*, *AREA*, *geometry*).

Afin de ne pas allonger le temps de travail, **le front des glaciers rocheux, cartographié dans l’inventaire RTM, n’a pas été considéré dans le présent travail de révision**. Il conviendra donc, au besoin, de vérifier que la géométrie des fronts correspond bien à celle des polygones glaciers rocheux, lesquels incluent le front (*figure 1*).

Une vérification spatiale a été faite pour détecter les polygones dupliqués entre les deux inventaires : seuls 14 polygones n’étaient pas communs. Par ailleurs, les géométries invalides de 23 polygones ont été détectées, puis corrigées (soit avec l’outil Corriger la géométrie, de QGIS, soit manuellement).

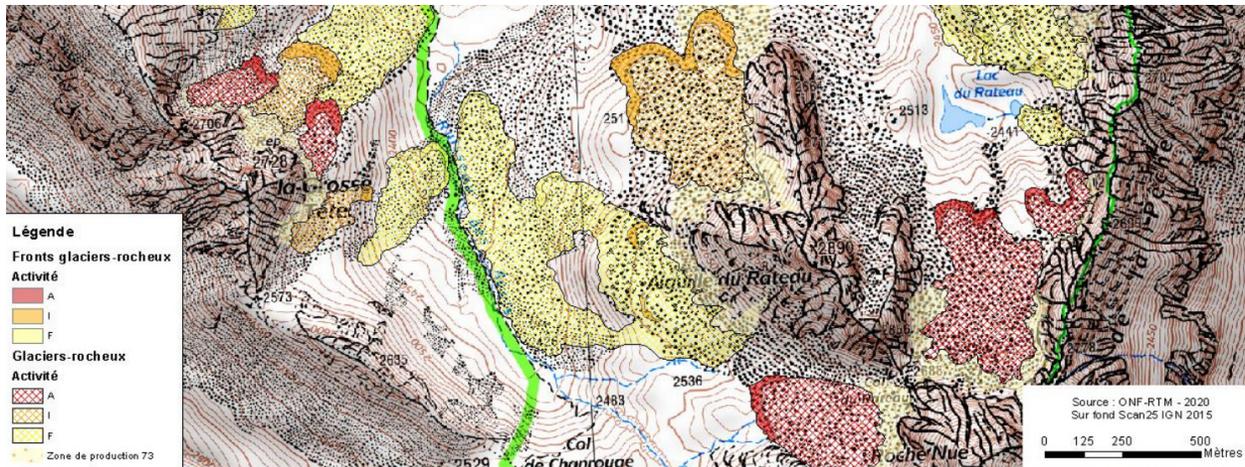


Figure 1: Cartographie RTM des glaciers rocheux sur un secteur de la Vanoise

B - Données servant à l'interprétation

Morphologie – Ces jeux de données ont permis de confirmer/infirmier la présence des glaciers rocheux et de préciser leurs contours :

- *ortho-photographies IGN*, servies par les flux WMS (HR.ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS, ORTHOIMAGERY. ORTHOPHOTOS2011-2015, ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS2006-2010, ORTHOIMAGERY. ORTHOPHOTOS2000-2005), à 25 ou 50 cm de résolution, parfois combinées avec les mosaïques SPOT annuelles de l'IGN ;
- *modèle numérique de terrain stéréo-photogrammétrique IGN* (à partir de couverture photo datant de 2016, 2016 ou 2018 selon les secteurs), distribué dans le cadre d'une convention avec les services RTM. Les données initiales, trop lourdes pour être manipulées aisément, ont été découpées sur les zones d'intérêt et ré-échantillonnées à 1m. Le MNT ombré et les courbes de niveau à 5 m ont en général été utilisés (*figure 2*).

Mouvement – Les jeux de données suivants, issus de travaux menés par nos équipes de recherche, ont été utilisés à la fois pour évaluer le niveau d'activité des glaciers rocheux et pour détecter (principalement grâce aux données InSAR) des formes qui n'avaient pas été inventoriées initialement :

- /DONNEES_PACTE_EDYTEM/rock_glaciers_centroids.gpkg = vitesses de 308 glaciers rocheux, obtenues par pointage de blocs (données publiées dans Marcer et al. 2021), sur la période 2008-2009 - 2015-2017 ;
- /DONNEES_ISTERRE/InSAR_FLATSIM_MovingAreas_FrenchAlps_L93.gpkg = détection des motifs de déplacement de surface à partir d'interférogrammes acquis au cours des étés 2017 et 2018 (1532 polygones) ;
- /DONNEES_PACTE_EDYTEM/indice_destabilisation_GR_Alpes_FR.gpkg = valeur de l'indice de déstabilisation (allant de 0 à 4) des glaciers rocheux, établie d'après des critères géomorphologiques observés sur le terrain ou sur les ortho-images (données publiées Marcer et al. 2019)). Sur 494 glaciers rocheux étudiés, 132 présentent un indice supérieur à 2, significatif d'une déstabilisation probablement avérée.

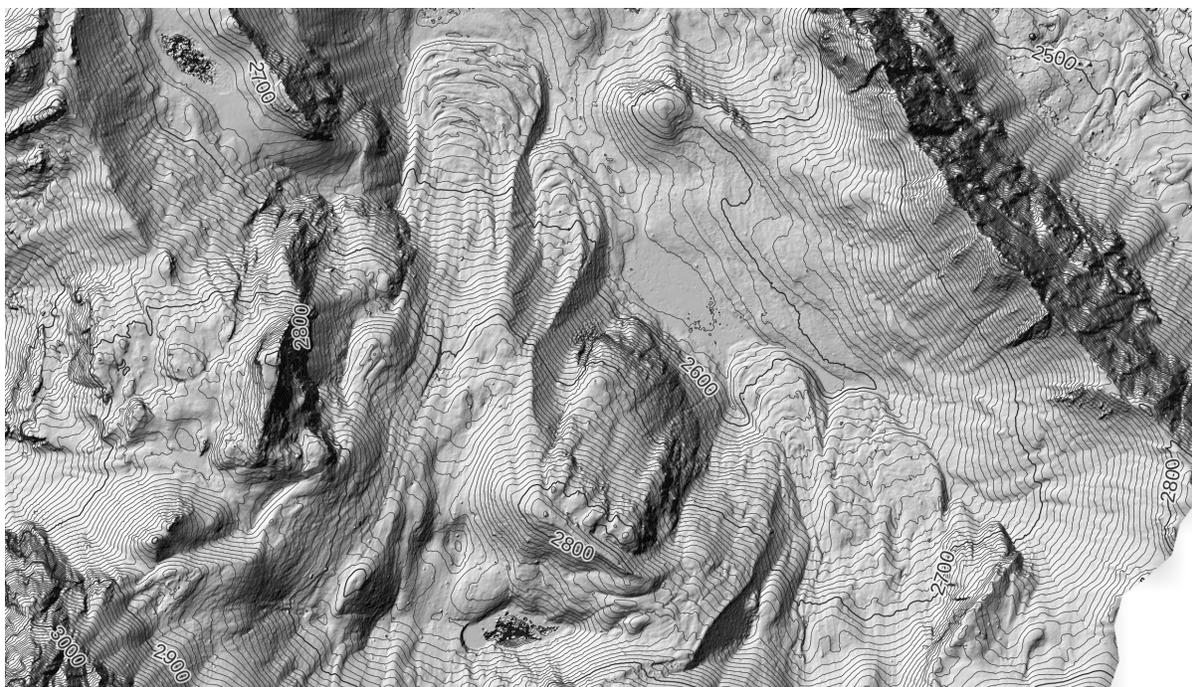


Figure 2: Modèle numérique de terrain (MNT, en ombrage + courbes de niveau à 5 m d'équidistance) de l'IGN, à 1 m de résolution : exemple du secteur du Marinnet (Alpes de haute Provence)

2.1.2 Données supplémentaires créées

A - Attribution aléatoire des glaciers rocheux par bassin – Afin de distribuer de façon aléatoire l'ensemble des glaciers rocheux tout en conservant un minimum d'unité géographique, l'ensemble des polygone a été re-distribué selon un tirage aléatoire de bassin-versant (112 bassins au total ; voir extrait dans la *figure 3*). Chaque opérateur avait ainsi, initialement, entre 510 et 590 glaciers rocheux à réviser.

B - Fichier final prêt à être révisé – Outre la vérification des duplicats et les corrections de géométries invalides, des champs supplémentaires ont été ajoutés au fichier à réviser, notamment pour pouvoir disposer des données de mouvements. Par ailleurs, pour éviter les erreurs de saisie et faciliter la manipulation lors de la révision, un formulaire d'attributs a été mis en place (voir la *figure 4*).

Sur la base de ces données, les champs informatifs supplémentaires qui ont été inclus (par l'outil *Joindre les attributs par localisation* de QGIS) dans le fichier utilisé pour réaliser la révision sont :

- `rev_dest_rate` : indice de déstabilisation des formes sur lesquelles des observations sont disponibles ;
- `velocity_2008_2017` : vitesse de déplacement moyen maximale (car calculée sur les blocs les plus visiblement en mouvement) en surface sur la période 2008 - 2017 ;

Les champs à renseigner étaient les suivants (pas tous conservés dans la version diffusée au RTM) :

- `rev_polyg_modif` (booléen) : spécifie si le polygone a été modifié par l'opérateur (des détails sont éventuellement fournis dans le champs `rev_comments`) ;
- `rev_polyg_new` (booléen) : spécifie si le polygone a été créé par l'opérateur ;

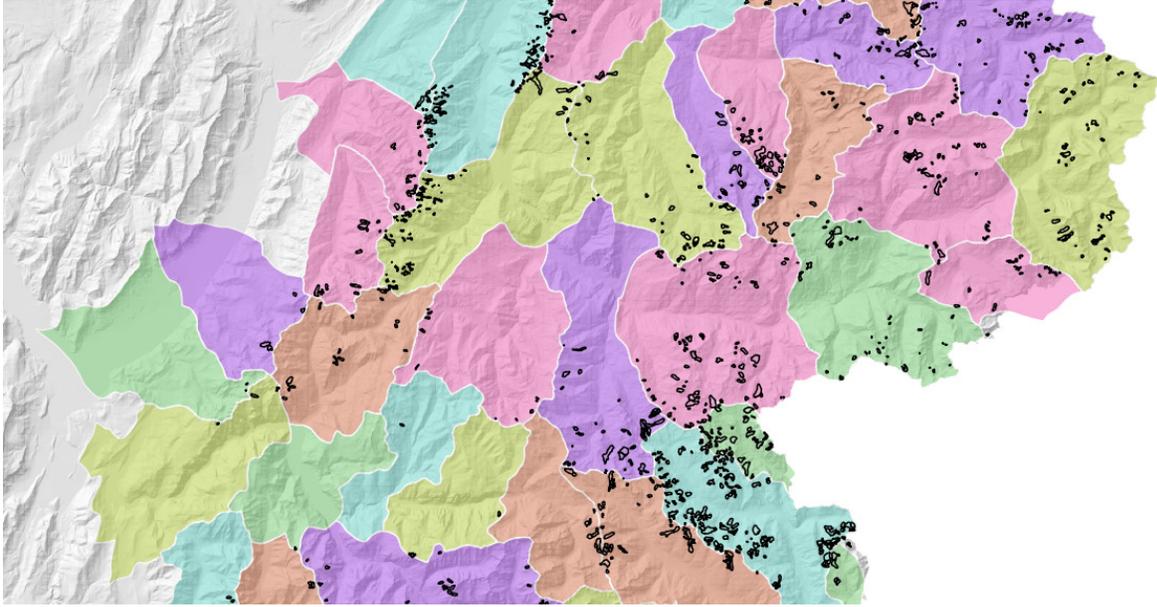


Figure 3: Extrait de carte montrant la distribution des bassins par auteur WESH

- **rev_cert_geomorph** (texte) : spécifie les incertitudes éventuelles sur la forme (“*Not sure it is a RG*” et “*Not a RG*”).

Attribut	Valeur
fid	898
activity_labos	I
comment_labos	NULL
ID_new	946 107_6 465 025
rev_dest_rate	NULL
rev_polyg_modif	<input checked="" type="checkbox"/>
rev_compl	<input checked="" type="checkbox"/>
rev_polyg_new	<input type="checkbox"/>
rev_cert_geomorph	Not a rock glacier
rev_comments	NULL
velocity_2008_2017	NULL
author	Diego
rev_img_source	Ortho-mosaïque 2006-2010
Geom_a_revoir	<input type="checkbox"/>
activity_rtm	F
comments_labos	NULL
layer	B (Diego)

Figure 4: Formulaire d'attributs utilisé pour la révision

2.2 Révision des données

Cette phase du travail est celle qui a demandé le plus de temps, sachant qu'un des opérateurs n'ayant pu faire sa révision. La répartition finale des glaciers rocheux révisés par opérateur est la suivante :

Opérateur	Nombre de glaciers rocheux révisés
A	595
B	883
C	924
D	698
E	557

En comptant approximativement 20 à 25 glaciers rocheux révisés par heure, entre 22-28 et 37-46 heures par opérateur, soit au total 146-183 heures, ont été consacrées à cette phase du travail.

2.2.1 Principes généraux de la procédure de révision

Comme indiqué précédemment, chacun des opérateurs a donc procédé à la révision d'un sous-échantillon de l'inventaire initial, pour chacun des bassins qui lui avait été attribués de façon aléatoire. S'agissant de la phase 1 de la révision (géométrie et présence/absence), l'effort a porté 1) sur **la vérification des contours des formes**, en s'appuyant en priorité sur les ortho-images et sur le MNT, et plus particulièrement sur les racines des glaciers rocheux, 2) sur la **détection de glaciers rocheux non-cartographiés** et 3) sur la **vérification de la nature des formes (glacier rocheux ou autre chose)**.

A - Vérification des contours – La problématique de délimitation cartographique du contour des glaciers rocheux recouvre plusieurs aspects : le tracé de toute la surface considérée comme étant constitutive de la forme d'une part, la discrétisation éventuelle des différentes unités lorsque plusieurs glaciers rocheux se chevauchent ou se jouxtent d'autre part, et enfin la détermination de sa zone d'alimentation.

Concernant cette dernière, suivant les préconisations du groupe de travail *RGIK*, l'extension des zones d'alimentation (ou racines) des glaciers rocheux a été réduite aux seules surfaces certaines, c'est-à-dire, en général (mais pas uniquement) les pieds d'éboulis où commence à se percevoir la morphologie typique liée au fluage du permafrost. Lorsque la délimitation n'est pas évidente, un tracé "grossier", rectiligne ou peu détaillé, peut être employé pour manifester l'incertitude sur le tracé des racines.

B - Détection des glaciers rocheux non-cartographiés – Du fait de la qualité et du faible nombre d'images utilisées en 2009-2016 (problème d'ombres, d'enneigement...), des glaciers rocheux n'ont pas été cartographiés dans l'inventaire initial. Pour y remédier, les données supplémentaires (ortho-images, MNT et détections InSAR) ont permis de détecter ces glaciers rocheux "oubliés", soit par l'observation de mouvement (sur les détections InSAR) soit par la visualisation des morphologies (sur le MNT ombré).

C - Vérification de la nature des formes Pour des raisons similaires, des formes qui ne sont pas des glaciers rocheux ont également été cartographiées : les mêmes données ont également permis de résoudre ces ambiguïtés.

2.3 Consolidation des données

La dernière phase du travail a consisté à rassembler les fichiers de données (7 au total), vérifier la qualité relative (entre opérateur et au regard des consignes) des données produites et corriger certaines erreurs, inhomogénéités ou oublis.

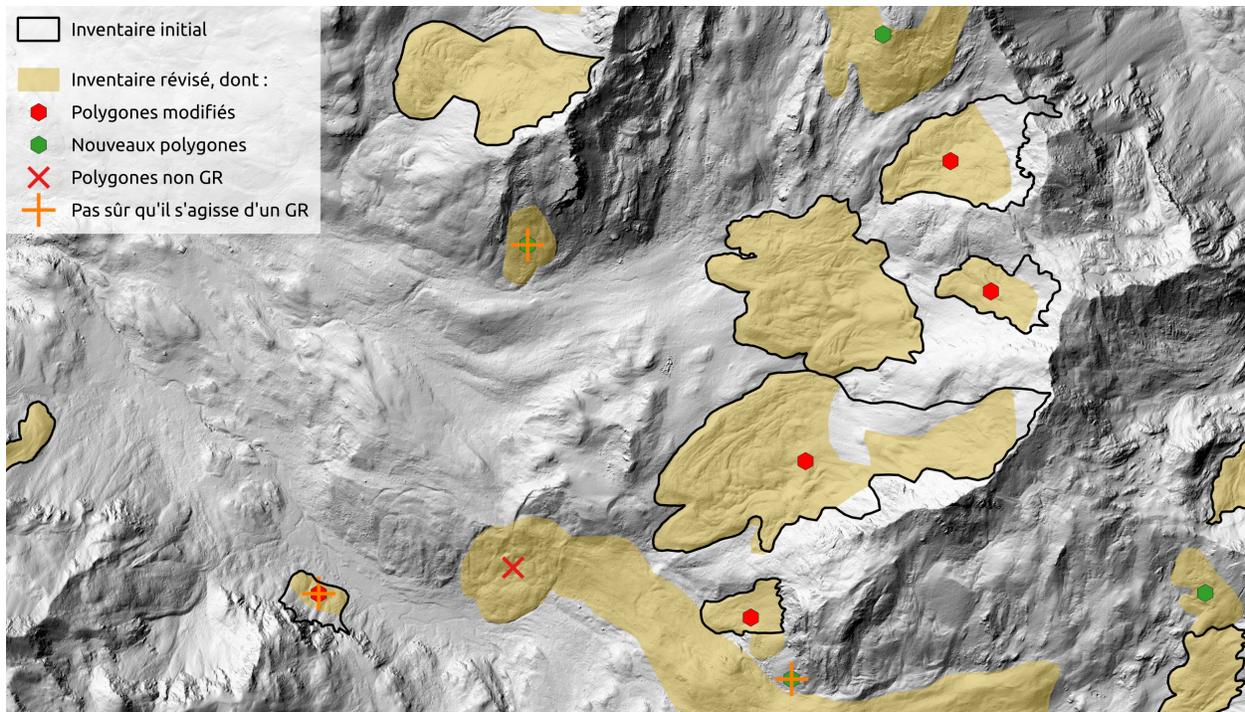


Figure 5: Extrait de la cartographie révisée

2.3.1 Corrections apportées

Vu l'ampleur potentielle du travail de vérification, nous nous sommes focalisés sur les polygones marqués comme "rev_polyg_new" = true, c'est-à-dire les glaciers rocheux qui n'étaient pas cartographiés dans l'inventaire initial. Cela a notamment permis de corriger certaines erreurs d'attributs ou de certains contours, mais cela a aussi mis en avant le fait qu'il reste encore, dans l'inventaire révisé, des biais ou des erreurs : une vérification en profondeur, par une vérification croisée (entre opérateurs) par exemple, exigerait un nouveau temps de travail conséquent, qu'il n'est pas possible de consacrer actuellement. Par ailleurs, la subjectivité des opérateurs, difficilement corrigable, resterait probablement quoiqu'il en soit : il est sans doute plus pertinent d'envisager des corrections au fil de l'eau par les personnes utilisant l'inventaire révisé (il faudrait alors trouver une façon de partager ces modifications dans l'inventaire).

2.3.2 Champs attributaires

Les champs initiaux (provenant de l'un ou de l'autre des 2 versions initiales) fournis dans la version révisée de l'inventaire sont les suivants :

- activity__labos = niveau d'activité d'après la révision par Marcer et al. 2017 ;
- activite__RTM = niveau d'activité d'après la révision par les services RTM ;
- comment__labos = commentaires par Marcer et al. 2017 ;
- id_glacier__RTM = identifiant numérique unique des glaciers rocheux, établi par le RTM.

Les champs provenant des données complémentaires sont :

- rev_dest_rate = indice de déstabilisation d'après Marcer et al. 2019 ;
- velocity_2008_2017 = vitesse maximale d'après Marcer et al. 2021.

Et les champs nouveaux, issus de la révision :

- `ID_new` = identifiant numérique unique établi pour la révision (d'après les coordonnées en Lambert 93 du centroïde du glacier rocheux) ;
- `rev_polyg_modif` = indique si la géométrie du polygone a été modifiée ;
- `rev_polyg_new` = indique si le polygone n'existait pas dans l'inventaire initial ;
- `rev_cert_geomorph` = qualifie l'incertitude sur la nature géomorphologique de la forme ;
- `rev_comments` = commentaires additionnels.

3 Produits obtenus

En plus des deux versions de l'inventaire initial (`inv_init_version_labos__Complete_Inventory_Final` et `inv_init_version_RTM__V2_20210623_gr`), trois jeux de données sont livrés, dans le Geopackage `inv_rev_janv24_version_diffusable.gpkg` :

- `not_a_RG` : comprend uniquement les 225 glaciers rocheux caractérisés, lors de la révision, comme n'étant pas des glaciers rocheux (des détails sont éventuellement fournis dans le champs `rev_comment`) ;
- `tableau_complet`: comprend les 3422 polygones identifiés comme glacier rocheux avec l'ensemble des champs attributaires décrits dans la section précédente ;
- `tableau_simple`: version simplifiée de `tableau_complet`, avec les seuls champs `ID_new`, `id_glacier__RTM`, `rev_polyg_new`, `rev_cert_geomorph`.

En attendant une éventuelle distribution des données élargie (qui reste à décider et à organiser), les données sont disponibles à ce lien (serveur de stockage de l'Observatoire du permafrost PermaFRANCE) :

<https://nextcloud.osug.fr/index.php/s/9F528W7sFSyjKJY>