



Projet swiss height system

Rapport final du projet INDG 21-04 portant sur la modernisation du système altimétrique suisse

Numéro du contrat : INDG 21-04

Numéro de commande : 5703005849

Titre du contrat : **Introduction du nouveau cadre de référence altimétrique dans la mensuration officielle**

Auteurs : Yves Deillon

Elisa Borlat

Dr Sébastien Guillaume

Date du rapport : 28 novembre 2024

Informations administratives relatives à l'impression

Veillez noter que le présent rapport technique n'adopte pas l'écriture inclusive. Les termes et expressions utilisés ici visent à maintenir la cohérence et la simplicité dans la communication technique.

Photo de couverture : Echelle limnimétrique en fonction dans le lac de Neuchâtel (E. Senn)

Management summary

Ce rapport final du projet swiss height system portant sur la modernisation du système altimétrique suisse comporte principalement un rappel du contexte technique des systèmes altimétriques en Suisse, l'organisation et un résumé des informations administratives du projet et les prestations effectuées tout au long du projet qui s'est déroulé du 1^{er} avril 2021 au 30 septembre 2024.

Au début des années 2000, la Confédération a décidé d'introduire le nouveau cadre de référence planimétrique MN95 en remplacement du cadre MN03 ; l'ensemble des travaux de transformation a été finalisé à fin 2016. Par contre, elle a conservé « temporairement » le cadre de référence altimétrique NF02 basé sur des cheminements de nivellement avec comme origine un unique point matérialisé. Avec le recul d'environ 10 ans, aussi bien les professionnels que les utilisateurs estiment aujourd'hui que ce changement efficient de cadre de référence planimétrique était indispensable, respectivement que la démarche est un succès.

Le projet swiss height system a été une magnifique opportunité de relancer les réflexions et la dynamique pour une modernisation du système de référence altimétrique dans un contexte technologique où les déterminations altimétriques GNSS atteignent progressivement des précisions homogènes de l'ordre du centimètre. Ainsi, il a été possible de mettre en œuvre, en étroite collaboration avec swisstopo, des démarches portant sur :

- l'état des informations altimétriques utilisées en Suisse en 2022,
- l'état de l'art des systèmes de référence altimétrique et des comparaisons internationales,
- la définition des principales orientations techniques du nouveau système de référence de coordonnées verticales cinématique et basé sur des altitudes normales, calculées à partir de cotes géopotentielles,
- un cahier des charges des « Proofs of concept » avec les cantons pour la modernisation du système altimétrique,
- des actions de communication au moyen d'interviews, de vidéos techniques de base sur les notions d'altitudes et de diverses présentations en Suisse et à l'étranger.

La modernisation du système altimétrique en Suisse comportera forcément des réserves de la part des gestionnaires et utilisateurs des systèmes d'information géographique, notamment en raison du risque important de confusion entre les « anciennes » et les « nouvelles » altitudes. Cette préoccupation légitime nécessitera une plus grande rigueur dans la désignation des altitudes en appliquant les conventions de notation du nouveau système. Ainsi, toute altitude devra obligatoirement être accompagnée de la mention du cadre CHVRFxxxx, par exemple 1239.943 m CHVRF2030.

Malgré les risques et coûts liés au changement de système de référence altimétrique, ce changement permettra d'homogénéiser les déterminations altimétriques hybrides : relatives à partir de points de référence et absolues par GNSS. Ainsi, il permettra de diminuer les risques de confusion et de fautes entre les altitudes officielles basées sur NF02 et les altitudes déterminées par des services mondiaux de géopositionnement GNSS.

Dans les années 2000, les décideurs ont appliqué l'adage « d'agir aussi vite que possible, mais aussi lentement que nécessaire ». Aujourd'hui, cette amélioration des références géodésiques suisse, à l'image de nombreuses autres démarches similaires dans d'autres pays, devient nécessaire pour conserver un cadre de référence altimétrique officiel qui soit efficient, adapté aux évolutions technologiques et donc reconnu par les utilisateurs.

Des recommandations à l'attention des décideurs figurent en fin de rapport.

Table des matières

1	Contexte	5
1.1	Généralités	5
1.2	Nouveaux systèmes de référence géographique suisse	5
1.3	Systèmes altimétriques en Suisse	6
1.4	Contexte technique général du projet swiss height system	7
2	Projet swiss height system	7
2.1	Contrat de recherche	7
2.2	Organisation du projet	8
2.2.1	<i>Equipe de projet HEIG-VD</i>	8
2.2.2	<i>Equipe de projet swisstopo</i>	8
2.2.3	<i>Comité de pilotage en tant qu'organe consultatif du projet</i>	8
2.2.4	<i>Mandataires externes</i>	9
2.2.5	<i>Mandataire interne</i>	9
2.3	Adaptation du mandat en cours de réalisation	9
2.4	Résumé des données administratives du projet	9
2.4.1	<i>Heures réalisées sur le mandat</i>	9
2.4.2	<i>Répartition des coûts</i>	9
2.4.3	<i>Bilan financier du mandat</i>	10
2.5	Prestations effectuées	10
2.5.1	<i>Vidéo sur les motivations pour la modernisation du système altimétrique de la Suisse</i>	10
2.5.2	<i>Vidéo scientifique sur les définitions de l'altitude</i>	11
2.5.3	<i>Interview du professeur Rothacher de l'ETHZ sur la détermination des altitudes et les perspectives futures</i>	11
2.5.4	<i>Vidéo scientifique sur la compatibilité des systèmes de référence géodésique et les effets de la tectonique des plaques</i>	12
2.5.5	<i>Vidéo promotionnelle de type « accroche » du projet swiss height system</i>	13
2.5.6	<i>Enquête sur les informations altimétriques utilisées en Suisse</i>	13
2.5.7	<i>Modernisation du système de référence altimétrique, Partie I – Fondamentaux, état de l'art et comparaison internationale</i>	14
2.5.8	<i>Modernisation du système de référence altimétrique, Partie II – Définition des principales orientations techniques du nouveau système altimétrique</i>	15
2.5.9	<i>Cahier des charges des « Proofs of concept » avec les cantons pour la modernisation du système altimétrique</i>	16
2.5.10	<i>Actions de communication</i>	17
3	Conclusions	18
4	Recommandations	19
5	Remerciements	19
	Liste des Figures	20



1 Contexte

1.1 Généralités

Les informations altimétriques jouent un rôle toujours plus important dans les projets et la gestion du territoire, notamment par une approche 3D des systèmes d'information géographique que les évolutions technologiques permettent de traiter de plus en plus aisément. En parallèle, l'acquisition des altitudes devient de plus en plus précise et efficace avec les évolutions des systèmes GNSS¹.

Dans ce contexte, il y a lieu de rappeler que la notion d'altitude n'est pas basée sur une seule définition univoque, absolue et constante dans le temps, comme pourrait l'appréhender dans un premier temps un utilisateur habituel de géodonnées altimétriques, mais elle repose dans la pratique sur plusieurs définitions basées de façon purement géométrique ou de façon physique mais également sur les mouvements de l'écorce terrestre qui peuvent aller, selon les régions de Suisse, jusqu'à 2 mm par an.

Seules les altitudes dites physiques – c'est-à-dire celles qui prennent en compte le champ de pesanteur terrestre – répondent aux exigences de la pratique et de la société.

Jusqu'aux années 2000, les déterminations altimétriques d'une précision utile de quelques centimètres à quelques millimètres étaient basées sur des déterminations relatives (nivellements géométriques et trigonométriques locaux) à partir de points fixes altimétriques, en particulier les PFA1, PFA2 et PFA3 des mensurations nationale et officielle. Avec le développement des technologies et des services GNSS basés sur les principaux systèmes de navigation par satellite, soit le GPS (États-Unis d'Amérique), Galileo (Union européenne), GLONASS (Russie) et Beidou (Chine), une précision altimétrique de l'ordre du centimètre, homogène sur l'ensemble de la Suisse, est atteinte. Ainsi, les déterminations altimétriques des objets du territoire résultent toujours plus de mesures hybrides, relatives et absolues, nécessitant d'assurer un haut niveau de compatibilité, en termes de définitions et de modes de détermination entre les systèmes mondiaux et nationaux.

1.2 Nouveaux systèmes de référence géographique suisse

Le système de référence suisse CH1903+ a été défini en 1995 sur la base de mesures par satellites effectuées sur plus de 200 points de référence MN95. Ses principales caractéristiques reposent sur :

- ellipsoïde de Bessel (1841), identique à l'ancien système CH1903,
- point fondamental à la « géostation Zimmerwald », y compris pour l'origine des altitudes dont l'altitude orthométrique $H_0 = 897,9063$ m a été choisie de telle façon que l'altitude orthométrique du « Repère Pierre du Niton » dans la rade de Genève conserve sa valeur de 373,600 m,
- positionnement du système, directement déduit de CHTRS95 par trois translations,
- projection cartographique « Swiss Grid », identique à l'ancien système CH1903.

Au début des années 2000, la Confédération a décidé d'introduire le nouveau cadre de référence planimétrique MN95 pour la mensuration officielle et les géodonnées de la Confédération, donc de manière indirecte, pour les systèmes d'information géographique en Suisse. Par contre, elle a conservé « temporairement » le cadre de référence altimétrique NF02 basé sur des cheminements de nivellement avec comme origine un unique point matérialisé : le Repère de la Pierre du Niton.

¹ GNSS est l'abréviation de « Global Navigation Satellite System » et est le sigle standard pour désigner les principaux systèmes de navigation par satellite (GPS, Galileo, GLONASS et Beidou).

Cette décision se justifiait par la demande de nombreux cantons de dissocier dans le temps les transformations planimétrique et altimétrique ainsi que pour différentes raisons techniques et administratives qui présentaient à l'époque un rapport coûts/avantages insuffisant. Les principaux éléments de l'argumentaire de l'époque étaient les suivants :

- les risques de confusion entre les transformations des coordonnées planimétriques et des altitudes,
- la grande quantité des informations altimétriques qui étaient encore sous forme analogique et pas forcément référencées en planimétrie,
- l'acquisition des altitudes avec une précision de quelques centimètres ou inférieure se faisait encore principalement de manière relative (mesures locales sur la base de points de référence altimétrique).

Dès 2017, uniquement MN95 est considéré comme le cadre de référence planimétrique officiel et l'on peut admettre que la transformation planimétrique des géodonnées MN03 vers MN95 est un succès technique et organisationnel de l'ensemble des acteurs concernés par les systèmes d'information géographique en Suisse.

1.3 Systèmes altimétriques en Suisse

La Suisse possède deux principaux types d'altitude :

- **NF02** : altitude officielle de la Suisse basée sur des altitudes usuelles déterminées il y a plus de cent ans (fin du XIXème / début du XXème siècle) sur la base d'un réseau de nivellements géométriques sur l'ensemble de la Suisse avec une référence altimétrique fixée sur la Pierre du Niton dans la rade de Genève (H : 373,600 m.).
- **RAN95** : altitude orthométrique de type physique, qui n'a jamais été officiellement introduit en Suisse. Ce système a été établi dans le cadre de la nouvelle mensuration nationale MN95. Il est utilisé principalement pour les déterminations d'altitudes par GNSS via le modèle du géoïde CHGeo2004. Une transformation altimétrique RAN95 vers NF02 (HTRANS) a dû être établie afin de pouvoir déterminer des altitudes NF02 à l'aide du GNSS.

Les principales différences entre les altitudes officielles NF02 et un système orthométrique comme RAN95 sont :

- les altitudes usuelles de NF02 sont une forme d'altitude non univoque. C'est-à-dire que l'altitude NF02 d'un point dépend du chemin qui a mené à sa détermination. En outre les différences avec les altitudes orthométriques RAN95 diffèrent d'un facteur d'échelle de l'ordre de 100 ppm sur la dénivelé (1 cm / 100 m de dénivelée).
- les mouvements verticaux de la croûte terrestre (soulèvement des Alpes par rapport au plateau) ne sont pas considérés dans NF02, ce qui induit à des erreurs de l'ordre de 10 à 20 cm depuis le début du XXème siècle,
- les incertitudes de mesures de l'époque ainsi que la disparition progressive des points fixes altimétriques initiaux conduisent à des erreurs supplémentaires de 10 à 20 cm à l'échelle de la Suisse.

Près des lignes de nivellement, on dispose avec NF02 d'une précision relative de l'ordre du mm/km.

Dans ce contexte, l'Office fédéral de topographie swisstopo, désigné ci-après uniquement par swisstopo, a développé une méthode, respectivement un logiciel HTRANS, de transformation altimétrique entre les altitudes RAN95 et NF02. Cette transformation est basée sur les points altimétriques du nivellement fédéral (PFA1). Ainsi, HTRANS permet à proximité des lignes de nivellement fédérales une approximation des différences entre les altitudes RAN95 et NF02 de quelques millimètres.

Dès que l'on s'éloigne de plusieurs kilomètres desdites lignes de nivellement, la transformation HTRANS n'est pas définie et peut laisser apparaître des différences entre NF02 et RAN95 de plusieurs centimètres. Ces différences se constatent notamment lors d'ajustements de réseaux altimétriques, de modèles photogrammétriques ou de nuages de points laser sur de vastes zones.

1.4 Contexte technique général du projet swiss height system

La perspective proche de détermination d'altitude globale par GNSS avec une précision de l'ordre du centimètre nécessite d'envisager l'introduction d'un système et cadre de référence altimétrique rigoureux pour la Suisse – à l'image, notamment, d'initiatives analogues dans d'autres pays européens. Nous proposons au lecteur d'écouter l'interview mené avec le professeur de géodésie de l'ETHZ Markus Rothacher ².

En effet, dans le contexte précité, le maintien du système NF02 pourrait conduire à :

- un risque toujours plus marqué d'erreurs liées à des déterminations altimétriques hybrides globale par GNSS et relative par nivellement géométrique en raison de la « démocratisation » des mesures GNSS,
- l'introduction d'un système de référence altimétrique rigoureux imposé de facto par des services mondiaux de géopositionnement GNSS, largement diffusés et utilisés par les professionnels de la géomatique et la société civile, vu leur précision progressivement suffisante et leur grande efficacité par rapport à des mesures relatives,
- un manque de préparation pour la définition d'un nouveau système et cadre de référence altimétrique pour la Suisse, un manque de sensibilisation des professionnels et utilisateurs de géodonnées altimétriques,
- un manque d'anticipation pour la modélisation et la transformation des géodonnées altimétriques existantes et de formalisation des nouvelles bases légales au niveau de la Confédération et des cantons,
- un risque de la prolifération de systèmes d'altitude locaux précis et homogène mais peu compatible entre eux,
- à terme, un fort risque de confusion et de fautes entre les altitudes officielles basées sur NF02 et les altitudes déterminées par des services mondiaux de géopositionnement GNSS.

Dans le contexte précité, la Haute Ecole d'Ingénierie et de gestion du canton de Vaud, désigné ci-après uniquement par HEIG-VD, par son institut d'ingénierie du territoire, en étroite collaboration avec swisstopo, a lancé une étude sur la modernisation du système et du cadre de référence altimétrique en Suisse, dénommée **swiss height system** ³.

2 Projet swiss height system

2.1 Contrat de recherche

Un contrat de recherche a été conclu en mai 2021 entre l'INDG et la HEIG-VD portant, notamment, sur le traitement des éléments suivants :

- les aspects techniques et normatifs à définir pour permettre le changement de système de référence altimétrique,
- les conditions, les développements et les moyens techniques d'accompagnement à mettre en place pour gérer les deux cadres de référence altimétrique durant plusieurs années, notamment de passer d'un référentiel à l'autre de manière aisée,
- le rapport coûts/avantages de ce changement par une analyse économique,
- les mesures d'accompagnement à réaliser touchant les démarches participatives des acteurs concernés, les questions juridiques et la communication.

2 <https://swiss-height-system.heig-vd.ch/video3-fr/>

3 <https://swiss-height-system.heig-vd.ch/>

La démarche du projet devra reposer sur une étroite collaboration entre la HEIG-VD et swisstopo en associant les autres acteurs concernés comme la Conférence des services cantonaux de la Géoinformation et du Cadastre (CGC), l'Union des Villes Suisses (UVS), les associations professionnelles, etc.

2.2 Organisation du projet

L'organisation du projet repose principalement sur les organes et personnes suivants :

2.2.1 Equipe de projet HEIG-VD

- Mme Elisa Borlat, ingénieure HES en géomatique et assistante de recherche (elisa.borlat@heig-vd.ch)
- M. Dr Sébastien Guillaume, professeur HES en géodésie, GNSS et méthodes d'estimation (sebastien.guillaume@heig-vd.ch)
- M. Yves Deillon, professeur HES en maîtrise foncière et systèmes cadastraux (yves.deillon@heig-vd.ch)

Missions :

- Conduite administrative et technique du projet
- Réalisation des concepts, des études et des produits selon contrat
- Etablissement des rapports, respectivement collaboration aux rapports de swisstopo sur la modernisation du système et cadre de référence altimétrique en Suisse et du cahier des charges des « Proofs of Concept » pour la modernisation du système altimétrique

2.2.2 Equipe de projet swisstopo

- M. Dr Daniel Willi, responsable du processus Mensuration géodésique nationale et suppléant du responsable du domaine Géodésie et direction fédérale des mensurations cadastrales (daniel.willi@swisstopo.ch)
- M. Dr Andreas Schlatter, géodésien et responsable des points fixes à la Mensuration géodésique nationale ainsi que suppléant du responsable du processus (andreas.schlatter@swisstopo.ch)
- M. Dr Urs Marti, géodésien et spécialiste des systèmes et cadres de référence planimétrique et altimétrique à la Mensuration géodésique nationale (urs.marti@swisstopo.ch)
- M. Jérôme Carrel, coordinateur des cadres de référence géodésiques à la Mensuration géodésique nationale (jerome.carrel@swisstopo.ch)

Missions :

- Collaboration étroite aux réalisations de l'équipe de projet HEIG-VD
- Etablissement des deux rapports sur la modernisation du système et cadre de référence altimétrique en Suisse
- Etablissement du cahier des charges des « Proofs of Concept » pour la modernisation du système altimétrique

2.2.3 Comité de pilotage en tant qu'organe consultatif du projet

- M. Marc Nicodet, responsable du domaine Géodésie et direction fédérale des mensurations cadastrales (marc.nicodet@swisstopo.ch)
- M. Marius Schaeuble, responsable du domaine Géomatique aux CFF (marius.schaeuble@sbb.ch)
- M. François Gigon, géomètre cantonal du canton de Fribourg (francois.gigon@fr.ch)
- M. Hansjürg Fischer, chef de projet de mensuration officielle au canton des Grisons (hansjuerg.fischer@alg.gr.ch)



Missions :

- Force de proposition, d'orientation et d'observations par rapport aux concepts, études, produits et rapports des équipes de projet HEIG-VD et swisstopo.

Le comité de pilotage (COFIL) s'est réuni à 8 reprises entre février 2021 et décembre 2023.

Vu la bonne acceptation du projet de manière générale et sa perspective concrète tout de même assez éloignée, le COFIL a été relativement peu sollicité. Dès le deuxième semestre 2024, swisstopo poursuit la conduite du projet avec le COFIL.

2.2.4 Mandataires externes

- Mme Eve Senn, chemin de l'Aregny, CH-1682 Lovatens – Vidéo production.
- edprojects AG, Grubeweg 54, CH-3280 Murten – Vidéo production.
- Simon Brunet Production, rue de la Boverie 36, CH-1530 Payerne – Vidéo production
- M. Olivier Reis, rue des champs 5, F-57200 Sarreguemines – Traducteur.
- Scribe GmbH, Unterer Quai 23, CH-2502 Biel – Traducteur.

2.2.5 Mandataire interne

- HEIG-VD – Reprographie, Route de Cheseaux 1, CH-1401 Yverdon-les-Bains – Reprographie.

2.3 Adaptation du mandat en cours de réalisation

En cours de réalisation du mandat et d'entente entre la HEIG-VD et swisstopo, il a été décidé de ne pas lancer un mandat sur l'analyse du rapport coûts/avantages du changement de système et de cadre de référence altimétrique en Suisse. En effet, les éléments objectifs, notamment quantitatifs, des conséquences de ce changement devaient s'appuyer préalablement sur réalisations concrètes issues des « Proofs of Concept » avec quelques cantons. La priorité a donc été mise sur le développement du cahier des charges des « Proofs of Concept ».

2.4 Résumé des données administratives du projet

2.4.1 Heures réalisées sur le mandat

Personne	Nombre d'heures	Taux horaire
Elisa Borlat	2'721.13	CHF 60.00
Sébastien Guillaume	312.00	CHF 110.00
Yves Deillon	245.00	CHF 110.00
Autres	234.25	CHF 60.00
Total :	3'512.47	-----

2.4.2 Répartition des coûts

Type de coûts	Montant HT [CHF]	Répartition [%]
Coûts personnel	238'598.00	85.8
Mandats externes	34'244.45	12.3
Mandats internes (reprographie)	765.00	0.3
Vacations pour déplacement	4629.45	1.7
Total :	278'236.90	100.0

2.4.3 Bilan financier du mandat

	Montant HT [CHF]
Mandat selon contrat	278'551.00
Coûts du mandat pour HEIG-VD	278'236.90
Factures débiteurs swisstopo	278'127.96

2.5 Prestations effectuées

2.5.1 Vidéo sur les motivations pour la modernisation du système altimétrique de la Suisse

No	Prestation	Liens internet sur les produits
1	<p>Objectifs : Sensibiliser les utilisateurs de géodonnées, les professionnels et les personnes intéressées sur la situation actuelle des systèmes de référence altimétrique en Suisse, les problématiques techniques induites en raison des déterminations hybrides absolues et relatives, ainsi que sur la nécessité d'envisager une modernisation du système altimétrique.</p> <p>Diffusion : Transmission du lien sur la vidéo par plusieurs courriels, présentations et articles, ainsi que sur le site web du projet : https://swiss-height-system.heig-vg.ch/.</p> <p>Date de réalisation : Janvier 2022</p>	<p>Video 1 - Projektmotivationen (d) : https://swiss-height-system.heig-vg.ch/?page_id=3076&lang=de</p> <p>Vidéo 1 – Motivations du projet (f) : https://swiss-height-system.heig-vg.ch/?page_id=3071</p>

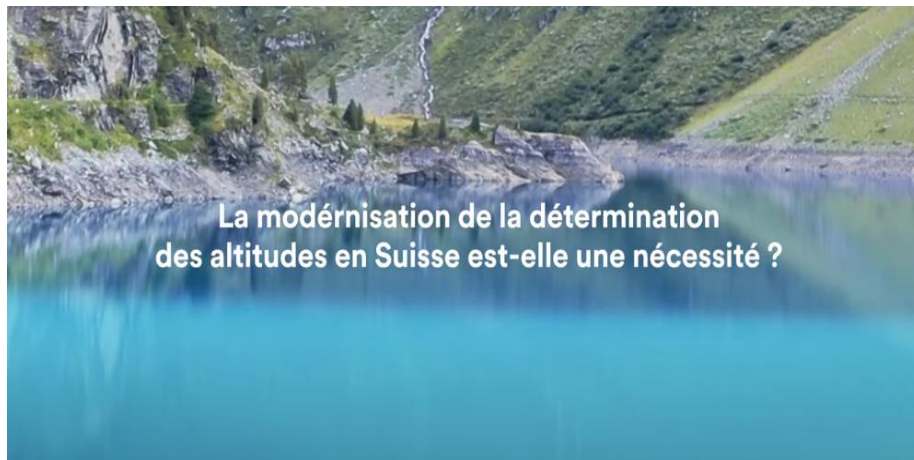


Figure 1 : Extrait de la vidéo sur les motivations pour la modernisation du système altimétrique de la Suisse



2.5.2 Vidéo scientifique sur les définitions de l'altitude

No	Prestation	Liens internet sur les produits
2	<p>Objectifs : Sensibiliser les utilisateurs de géodonnées, les professionnels et les personnes intéressées sur les différentes définitions géométriques et physiques de l'altitude, ainsi que les principes de détermination.</p> <p>Diffusion : Transmission du lien sur la vidéo par plusieurs courriels, présentations et articles, ainsi que sur le site web du projet : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/. De plus, les étudiants sont également sensibilisés à ces définitions.</p> <p>Date de réalisation : Janvier 2022</p>	<p>Vidéo 2 - Höhendefinitionen (d) : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/?page_id=3078&lang=de</p> <p>Vidéo 2 – Définition de l'altitude (f) : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/?page_id=3074</p>

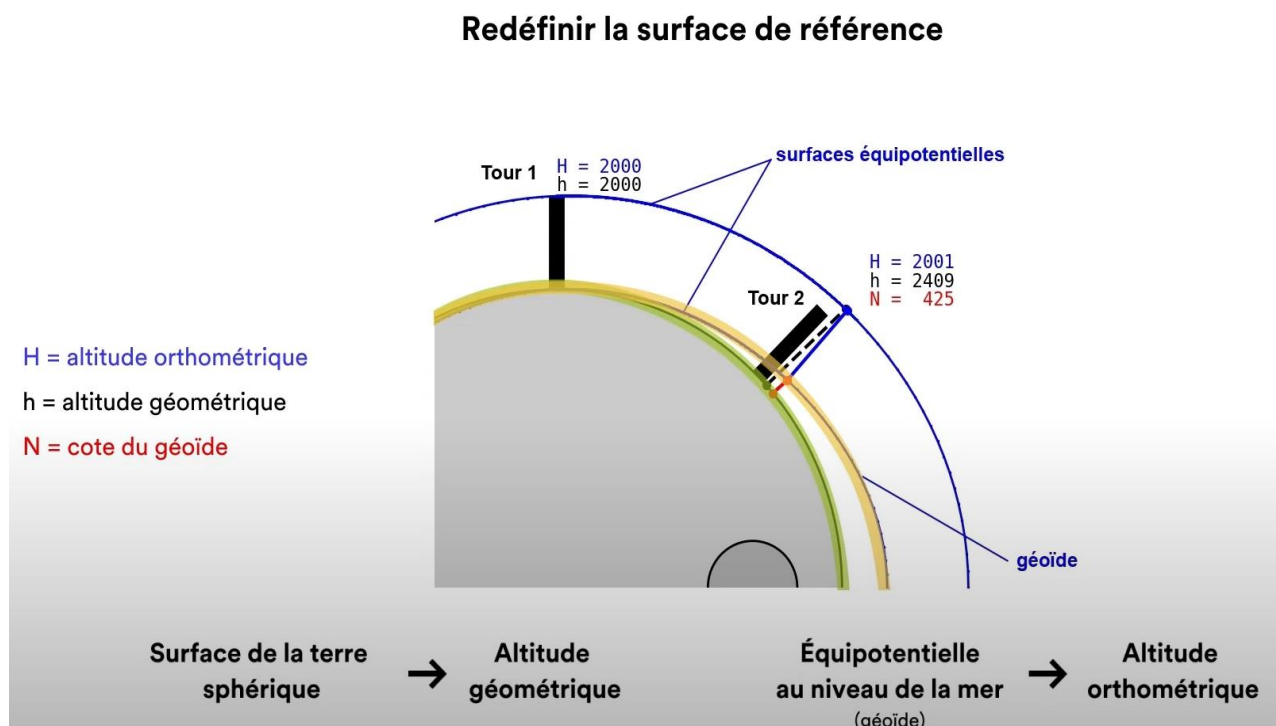


Figure 2 : Extrait de la vidéo sur les définitions des altitudes

2.5.3 Interview du professeur Rothacher de l'ETHZ sur la détermination des altitudes et les perspectives futures

No	Prestation	Liens internet sur les produits
3	<p>Objectifs : Informar les utilisateurs de géodonnées, les professionnels et les personnes intéressées sur les bases techniques de la détermination altimétrique relative et absolue, les perspectives de précision des déterminations altimétriques par GNSS, la position des géants du numérique par rapport au système de référence altimétrique, ainsi que sur l'uniformisation des systèmes altimétriques dans la communauté scientifique.</p> <p>Diffusion : Transmission du lien sur l'interview par plusieurs courriels, ainsi que sur le site web du projet : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/.</p> <p>Date de réalisation : Janvier 2022</p>	<p>Interview des Prof Rothacher : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/?page_id=3118&lang=de</p> <p>Interview Prof Rothacher : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/?page_id=3124</p>



Figure 3 : Extrait de l'interview du professeur Rothacher de l'ETHZ

2.5.4 Vidéo scientifique sur la compatibilité des systèmes de référence géodésique et les effets de la tectonique des plaques.

No	Prestation	Liens internet sur les produits
4	<p>Objectifs : Sensibiliser les utilisateurs de géodonnées, les professionnels et les personnes intéressées sur les différents systèmes et cadres de référence terrestre internationaux et nationaux, les objectifs de ces différents systèmes ainsi que les effets de la tectonique des plaques dans le temps, respectivement sur les aspects cinématiques du géoréférencement.</p> <p>Diffusion : Transmission du lien sur la vidéo par plusieurs courriels, présentations et articles, ainsi que sur le site web du projet : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/ et sur cadastre.ch.</p> <p>Date de réalisation : Janvier 2024</p>	<p>Video 3 - Kompatibilität von Bezugssystemen (d) : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/?page_id=3592&lang=de</p> <p>Vidéo 3 – Compatibilité des systèmes de référence (f) : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/?page_id=3589</p>

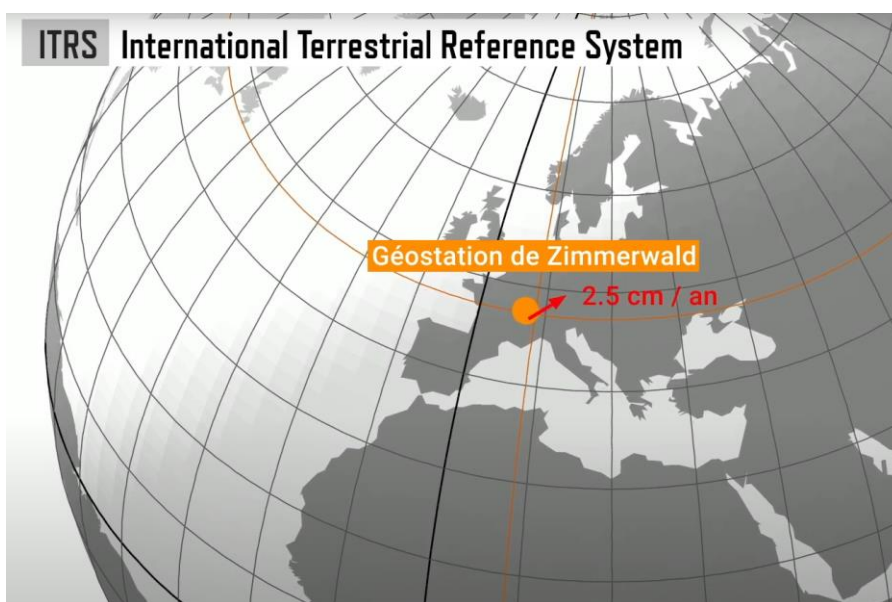


Figure 4 : Extrait de la vidéo sur les définitions des altitudes

2.5.5 Vidéo promotionnelle de type « accroche » du projet swiss height system

No	Prestation	Liens internet sur les produits
5	<p>Objectifs : Promouvoir les trois vidéos réalisées dans le cadre du projet Swiss Height System auprès des utilisateurs de géodonnées, des professionnels et des étudiants. Mettre en avant les initiatives et les activités menées par la HEIG-VD et swisstopo dans ce projet. Susciter la curiosité et informer sur les enjeux liés aux altitudes.</p> <p>Diffusion : Diffusion en commun de la vidéo sur les réseaux sociaux de l'HEIG-VD (TikTok, Intragram, LinkedIn) et de swisstopo (Instagram et LinkedIn), ainsi que sur le site web du projet : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/.</p> <p>Date de réalisation : Novembre 2024</p>	Vidéo 4 - L'effet d'un gisement d'or sur la surface des océans (f)



Figure 5 : Extrait de la vidéo promotionnelle du projet swiss height system

2.5.6 Enquête sur les informations altimétriques utilisées en Suisse

No	Prestation	Liens internet sur les produits
6	<p>Objectifs : Etablir les caractéristiques principales des informations altimétriques, analogiques et digitales existantes, liées à un éventuel changement de système et de cadre de référence altimétrique en Suisse, en établissant un questionnaire technique qui vise l'ensemble des utilisateurs d'informations altimétriques en Suisse, respectivement les acteurs concernés par la problématique en question.</p> <p>Principaux constats :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ plus de 90% des géodonnées altimétriques utilisées se trouvent sous forme numérique, ▪ plus de 90% des géodonnées altimétriques sont traitées et gérées dans le cadre de référence altimétrique officiel NF02, ▪ environ 40% des géodonnées altimétriques sont acquises aujourd'hui, éventuellement mises à jour, à partir de dispositifs globaux comme les systèmes GNSS puis « dégradées » dans le cadre de référence altimétrique NF02, ▪ pour plus de 80% des produits altimétriques, une précision altimétrique supérieure au cm est suffisante, valeur dont l'ordre de grandeur correspond à la précision altimétrique probable des dispositifs GNSS, ces prochaines années. 	<p>Fragen der Umfrage (d) : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/wp-content/uploads/2022/07/umfrage-de-imp-20220706-1.pdf</p> <p>Bericht mit den detaillierten Ergebnissen dieser Umfrage (d) : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/wp-content/uploads/2023/09/bericht-ergebnisse-umfrage-de.pdf</p> <p>Questions de l'enquête (f) : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/wp-content/uploads/2022/07/questionnaire-fr-imp-20220706.pdf</p> <p>Rapport sur les résultats détaillés de cette enquête (f) : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/wp-content/uploads/2023/09/rapport-resultat-questionnaire-fr.pdf</p>

No	Prestation	Liens internet sur les produits
	<p>De plus, l'enquête permet de disposer d'un inventaire des types de problèmes attendus par les gestionnaires et utilisateurs de géodonnées altimétriques en cas d'introduction d'un nouveau système de référence altimétrique en Suisse.</p> <p>Statut du rapport : version définitive.</p> <p>Diffusion : Transmission du lien sur le rapport à tous les acteurs sollicités par plusieurs courriels, présentations et articles, ainsi que sur le site web du projet : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/ et sur cadastre.ch.</p> <p>Date de réalisation : Septembre 2022</p>	

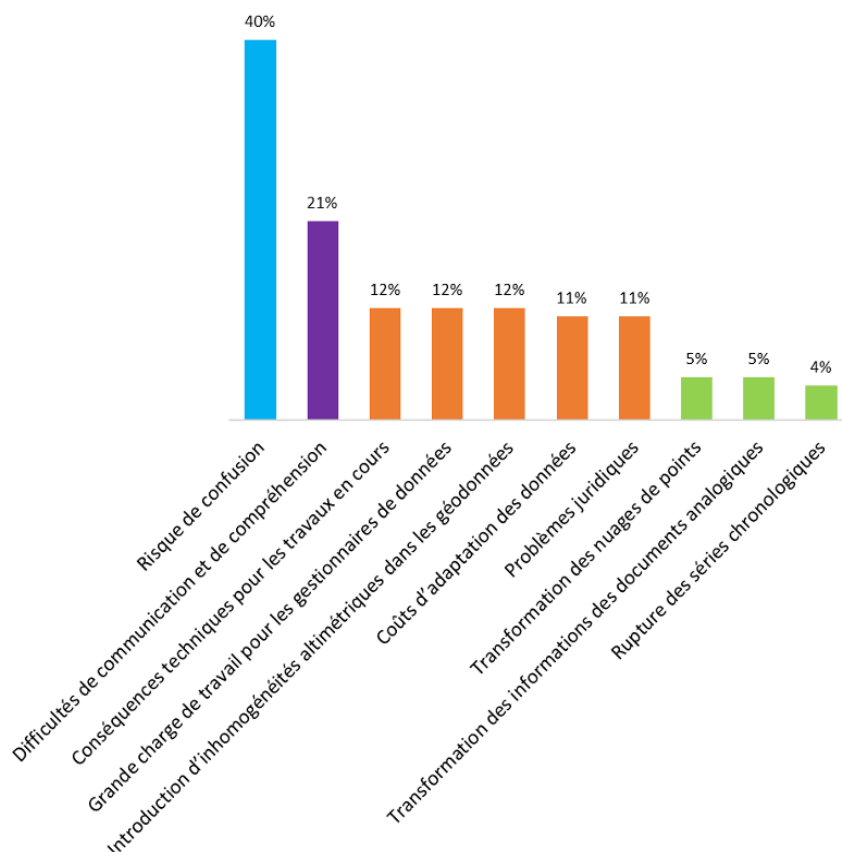


Figure 6 : Extrait du rapport sur les types de problèmes liés à la modernisation du système altimétrique

2.5.7 Modernisation du système de référence altimétrique, Partie I – Fondamentaux, état de l'art et comparaison internationale

No	Prestation	Liens internet sur les produits
7	<p>Objectifs : Donner l'impulsion et collaborer avec swisstopo pour établir une analyse de l'état de l'art en matière de systèmes de référence altimétrique basée sur les définitions théoriques des fondamentaux et une comparaison internationale des systèmes altimétriques en vigueur dans plusieurs pays choisis (rapport de swisstopo).</p> <p>Principaux constats : Un certain nombre de pays ont récemment changé de système de référence altimétrique ou de cadre de référence altimétrique. Les objectifs de ces changements sont l'unification et l'amélioration de la précision. La majorité des pays ayant récemment changé opte pour des altitudes normales.</p>	<p>Bericht : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/wp-content/uploads/2023/03/neuesschweizerhohensystem-report22-07-swisstopo-teil1-DE.pdf</p> <p>Rapport : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/wp-content/uploads/2023/03/nouveausystemealtimetricque-report22-07-swisstopo-partie1-FR.pdf</p>



No	Prestation	Liens internet sur les produits
	<p>Un modèle cinématique, sous une forme ou une autre, est également considéré par la plupart des pays ayant récemment passé à un nouveau système ou cadre. Soit un modèle cinématique s'est imposé naturellement à cause de la forte cinématique, comme dans les pays nordiques, soit des arguments de longévité du cadre de référence sont mis en avant.</p> <p>Statut du rapport : version définitive</p> <p>Diffusion :</p> <p>Transmission du rapport sous forme analogique et du lien sur le rapport numérique aux principaux acteurs de la géomatique en Suisse.</p> <p>Date d'établissement : Juillet 2022</p>	

Pays	Système	Référence / marégraphe	Système des marées	Type d'altitudes	Réalisation	Modèle cinématique	Modèle du géoïde / quasi-géoïde	Dissémination	Compatibilité
États-Unis	NAPGD2022	Wo fixé	Tide-free	Orthométriques	Géoïde gravitationnel, y compris par aérogravimétrie	Oui, y compris un géoïde cinématique	Géoïde gravitationnel	Uniquement par GNSS	-
Norvège	NN2000	Amsterdam	Zero-tide	Normales	Nivellement	Oui, modèle de rebond postglaciaire NKG2005LU	HREF ¹	Points fixes et GNSS	RH2000, N2000
Allemagne	DHHN2016	Amsterdam	Mean-tide	Normales	Nivellement	Non	GCG2016 (HREF ¹)	Points fixes et GNSS	EVRF2000
France	NGF-IGN69	Marseille	Non définies (Mean-tide)	Normales	Nivellement, mise à jour par GNSS/quasi-géoïde	Non	RAF2018b (HREF ¹)	Points fixes et GNSS	-
Autriche	IGM	Trieste	Non définies (Mean-tide)	Normales orthométriques	Nivellement	Les informations concernant les mouvements verticaux sont disponibles, mais elles ne sont pas utilisées pour les altitudes officielles.	Geoid 2008 (GEOAUT) et HREF ¹ pour les altitudes usuelles	Points fixes et GNSS	-
Italie	GE42 (2019)	Gênes	Non définies (Mean-tide)	Usuelles	Nivellement	Non	Géoïde gravitationnel Ital-Geo2005 et HREF ¹	Point fixes et GNSS	-
Nouvelle-Zélande	NZVD2016	NZGeoid2016	Non définies (Mean-tide)	Normales orthométriques ²	Géoïde gravitationnel, y compris par aérogravimétrie	Hypothèse d'un géoïde statique, les points n'ont pas d'altitude fixe	Quasi-géoïde gravitationnel	Uniquement par GNSS	-
Suède	RH2000	Amsterdam	Zero-tide	Normales	Nivellement	Oui, modèle de rebond postglaciaire NKG2005LU	SWEN 05LR (HREF ¹)	Points fixes et GNSS (pas de mention explicite dans le rapport)	EVRF2000

¹HREF = Height Reference Surface = géoïde ou quasi-géoïde non purement gravitationnel (souvent adapté à des mesures de nivellement).

²Localement, les différences avec des altitudes normales (issues du quasi-géoïde) sont négligeables (selon les auteurs).

Figure 7 : Extrait du rapport portant sur un résumé des systèmes de référence altimétrique analysés

2.5.8 Modernisation du système de référence altimétrique, Partie II – Définition des principales orientations techniques du nouveau système altimétrique

No	Prestation	Liens internet sur les produits
8	<p>Objectifs :</p> <p>Donner l'impulsion et collaborer avec swisstopo pour définir dans un document cadre les principales caractéristiques du nouveau système altimétrique suisse (CHVRS).</p> <p>Contenu :</p> <p>Le rapport contient les principales définitions du CHVRS, son concept de réalisation, l'application d'un modèle cinématique, une proposition de modélisation en INTERLIS et le concept de transformation des géodonnées altimétriques existantes. La démarche est guidée par les principes et les objectifs suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Compatibilité internationale : le nouveau système altimétrique est compatible avec les conventions et les standards européens et internationaux ; pour des raisons de faisabilité ou de spécificités suisses, on pourra déroger à cette règle. ▪ Compatibilité avec la géodésie spatiale : à l'ère de la géodésie spatiale, le nouveau système altimétrique Suisse sera compatible avec les techniques de géodésie spatiale, en particulier avec le GNSS. ▪ Introduction généralisée : le nouveau système altimétrique suisse est introduit comme nouveau système officiel ; ainsi, il répond aux exigences de la mensuration nationale, de la mensuration officielle, de la géoinformation et aux exigences des autres utilisateurs. 	<p>Bericht : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/wp-content/uploads/2024/06/neuesschweizerhohensystem-report24-04-swisstopo-teil1-DE-Konsultation.pdf</p> <p>Rapport : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/wp-content/uploads/2024/05/nouveausystemealtimetric-emealtimetric-report24-04-swisstopo-partie2-FR-enconsultation.pdf</p>

No	Prestation	Liens internet sur les produits
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pérennité : le nouveau système altimétrique sera en vigueur pendant plusieurs décennies ; il n'a, à priori, pas de fin de vie nominale et donc une durée de vie potentiellement illimitée. <p>Statut du rapport : finalisation suite à une mise en consultation.</p> <p>Diffusion : Transmission du rapport numérique pour consultation par lien internet aux principaux acteurs de la géomatique en Suisse et à différents experts nationaux et internationaux.</p> <p>Date d'établissement : Juin 2024</p>	

Définition 1 – Le nouveau système altimétrique est basé sur des cotes géopotentielles (C), à partir desquelles des altitudes normales et des altitudes orthométriques sont calculées.

Figure 8 : Extrait du rapport portant sur les définitions du nouveau système de référence altimétrique

2.5.9 Cahier des charges des « Proofs of concept » avec les cantons pour la modernisation du système altimétrique

No	Prestation	Liens internet sur les produits
9	<p>Objectifs :</p> <p>Etablir un projet de cahier des charges des « Proofs of concept » (PoC) à l'attention de swisstopo afin qu'il puisse solliciter les cantons avec les objectifs principaux suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Déterminer la qualité des altitudes NF02 des points fixes (points fixes altimétriques et planimétriques) hors des lignes de nivellement fédéral. ▪ Déterminer la qualité des géodonnées existantes. ▪ Développer un algorithme de transformation bidirectionnel et univoque des géodonnées. ▪ Définir des exigences de précision pour la transformation altimétrique. ▪ Définir la densité nécessaire de points d'appui à la transformation altimétrique (PAT) et de points de contrôle. ▪ Évaluer les différentes méthodes de mesure GNSS RTK et GNSS statique pour la détermination altimétrique. <p>Statut du rapport : le projet du cahier des charges des PoC a été repris par swisstopo qui a établi une version finale et lancé un appel aux cantons à la participation aux PoC selon les liens mentionnés dans cette rubrique.</p> <p>Diffusion : Aux cantons par swisstopo.</p> <p>Date d'établissement : Septembre 2024</p>	<p>AV-Express 2024/09 : https://backend.cadastre-manual.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-cadastremanch-files/files/2024/09/27/8b75ffc2-619b-40e1-b3ed-04bdc5c39c0e.pdf</p> <p>Pflichtenheft: https://backend.cadastre-manual.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-cadastremanch-files/files/2024/09/27/ed3c4346-6e12-4a9a-a505-bdf39c49bc32.pdf</p> <p>MO-Express 2024/09 : https://backend.cadastre-manual.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-cadastremanch-files/files/2024/09/27/ffb7cce6-a6bc-4f5e-926c-4020e6a06c04.pdf</p> <p>Cahier des charges: https://backend.cadastre-manual.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-cadastremanch-files/files/2024/09/27/47dcf4b0-d366-471b-aa3e-63b825d91dd7.pdf</p>

Nombre de cantons	2
Nombre de communes par canton	1 – 2
PAT par commune	6 – 10
Points de contrôle GNSS statique	4 – 6
Points de contrôle GNSS RTK	20 – 30

Figure 9 : Extrait du cahier des charges portant sur l'étendue des PoC



2.5.10 Actions de communication

No	Actions	Période
10	<ul style="list-style-type: none"> Mise en place d'un site internet pour le projet swiss height system au sein de la HEIG-VD : https://swiss-height-system.heig-vd.ch/ 	Durant toute la durée du projet
	<ul style="list-style-type: none"> Différentes présentations de l'état d'avancement du projet swiss height system à la Direction de swisstopo à Wabern. 	Durant toute la durée du projet
	<ul style="list-style-type: none"> Présentation à deux reprises du projet swiss height system pour la modernisation du système de référence altimétrique en Suisse à la veille géomatique de l'IGSO à Yverdon-les-Bains. 	Février 2022 et février 2024
	<ul style="list-style-type: none"> Présentation à deux reprises du projet swiss height system pour la modernisation du système de référence altimétrique en Suisse à la Conférence des services cantonaux de la géoinformation et du cadastre (CGC) à Berne. 	Février 2023 et février 2024
	<ul style="list-style-type: none"> Article dans cadastre no 39 sur le lancement du projet swiss height system en vue d'une modernisation du système de référence altimétrique en Suisse. 	Août 2022
	<ul style="list-style-type: none"> Présentation du projet swiss height system pour la modernisation du système de référence altimétrique en Suisse à la Commission géodésique suisse. 	Novembre 2022
	<ul style="list-style-type: none"> Article dans cadastre no 41 sur la modernisation du système et du cadre de référence altimétrique en Suisse, partie I - Fondamentaux, état de l'art et comparaison internationale. 	Avril 2023
	<ul style="list-style-type: none"> Présentation du projet swiss height system pour la modernisation du système de référence altimétrique en Suisse au Swiss Geoscience Meeting. 	Novembre 2023
	<ul style="list-style-type: none"> Article dans cadastre no 43 sur les résultats de l'enquête sur les informations altimétriques utilisées en Suisse. 	Décembre 2023
	<ul style="list-style-type: none"> Présentation du projet swiss height system à GeoSummit à la FHNW à Muttenz. 	Mai 2024
<ul style="list-style-type: none"> Présentation du projet swiss height system au symposium international GGHS 2024 à Thessalonique en Grèce. 	Septembre 2024	



Figure 10 : Présentation du projet swiss height system à la GGHS 2024 à Thessalonique (Grèce)

3 Conclusions

Le projet swiss height system a permis par ses analyses, propositions d'orientations techniques et actions de communication de relancer la démarche de la modernisation du système altimétrique en Suisse. Il a porté, notamment, sur :

- l'état des lieux des géodonnées altimétriques existantes en Suisse,
- la collaboration avec swisstopo à l'identification des fondamentaux, l'état de l'art et la comparaison internationale des systèmes de référence altimétrique,
- la collaboration avec swisstopo à la définition des principales orientations techniques d'un nouveau système de référence suisse de coordonnées verticales cinématique CHVRS, basé sur des altitudes normales et calculées à partir de cotes géopotentielle,
- la réalisation de matériels et d'actions de communication sur les différentes définitions des altitudes, la compatibilité entre les systèmes de référence altimétrique nationaux et internationaux ainsi que sur les effets de la tectonique des plaques et autres impliquant une vision cinématique des altitudes pour assurer la longévité du nouveau cadre de référence altimétrique,
- la sensibilisation des professionnels de la géomatique, gestionnaires et utilisateurs de géodonnées aux limites techniques du système officiel actuel d'altitudes usuelles NF02.

Les diverses présentations, publications et consultations ont reçues globalement un très bon accueil, sans remise en question des orientations techniques proposées.

Il y a lieu de relever que les gestionnaires et utilisateurs de géodonnées pointent expressément le risque important de confusion entre les « anciennes » et les « nouvelles » altitudes. Cette préoccupation est légitime et nécessitera une plus grande rigueur dans la désignation des altitudes en appliquant les conventions de notation du nouveau système. Ainsi, toute altitude CHVRFxxxx devra obligatoirement être accompagnée de la mention du cadre CHVRFxxxx, par exemple 1239.943 m CHVRF2030.

Le succès du changement de système de référence altimétrique reposera également sur une communication régulière des enjeux techniques et organisationnels. Il s'agit d'un effort constant de tous les acteurs des systèmes d'information géographique, notamment de swisstopo et des cantons en charge de la mensuration nationale et des systèmes cadastraux.

L'introduction d'un système de référence altimétrique rigoureux pour la Suisse permettra de :

- assurer la cohérence entre les systèmes de référence altimétriques mondiaux et nationaux et donc d'assurer la cohérence entre les informations des services mondiaux de géopositionnement GNSS et les altitudes officielles en Suisse, respectivement la cohérence entre les déterminations relatives et absolues (mesures hybrides),
- anticiper les évolutions technologiques dans le positionnement satellitaire toujours plus précis et efficient, en profitant pleinement de ces nouvelles possibilités,
- diminuer fortement les risques d'erreurs et de confusion entre les mesures altimétriques relatives et les mesures GNSS altimétriques absolues, de plus en plus courantes dans la pratique,
- introduire la composante cinématique dans la définition du nouveau système altimétrique permettant de gérer les époques des mesures altimétriques et donc la longévité du cadre de référence altimétrique suisse,
- éviter la prolifération de systèmes altimétriques locaux précis et homogènes, mais incompatibles entre eux et les systèmes altimétriques supérieurs.



4 Recommandations

Le groupe du projet swiss height system de la HEIG-VD formule à l'attention de swisstopo les recommandations suivantes :

- 1 Réaliser au sein de swisstopo les bases techniques et organisationnelles ainsi que les outils logiciels permettant de mettre en œuvre le nouveau système de référence altimétrique CHVRS basées sur les travaux déjà réalisés pour le système RAN95 (altitudes orthométriques).
- 2 Réaliser quelques PoC avec les cantons pour tester et améliorer le concept de transformation et les outils logiciels nécessaires ainsi que pour identifier les principales difficultés des transformations des géodonnées altimétriques.
- 3 Poursuivre les actions de communication et de sensibilisation auprès des professionnels de la géomatique, gestionnaires et utilisateurs de géodonnées.
- 4 Assurer une veille technologique spécifique sur les systèmes altimétriques, la transformation des altitudes entre NF02 et CHVRFxxxx et les différentes situations cantonales en étroite collaboration avec les cantons.
- 5 Réaliser à la fin des PoCs avec les cantons une étude financière des coûts et avantages d'un changement de système altimétrique pour l'ensemble de la Suisse.
- 6 Proposer au Conseil fédéral le nouveau système de référence suisse de coordonnées verticales cinématique CHVRS sur la base des résultats des PoCs et de l'étude financière des coûts et avantages, sous réserve que ces analyses confirment la faisabilité technique et les avantages d'une modernisation du système altimétrique.
- 7 Mettre en œuvre le nouveau cadre de référence altimétrique CHVRFxxxx sur l'ensemble de la Suisse dans un délai maximum de 10 ans en étroite collaboration avec les cantons selon un modèle organisationnel inspiré de celui qui a permis la transformation des coordonnées planimétriques MN03 vers MN95.

5 Remerciements

L'équipe de projet de la HEIG-VD adresse ses remerciements les plus sincères au comité de l'INDG, à la direction de swisstopo ainsi qu'aux collaborateurs et partenaires qui ont contribué à la réussite de ce projet. Nous tenons en premier lieu à exprimer notre gratitude envers Daniel Willi, Andreas Schlatter, Urs Marti et Jérôme Carrel de l'équipe de projet swisstopo, ainsi que Sébastien Condamine, pour leur précieuse collaboration et leur engagement.

Nos remerciements vont également à Marc Nicodet, Marius Schaeuble, François Gigon et Hansjürg Fischer du comité de pilotage, qui ont joué un rôle essentiel en tant qu'organe consultatif.

Enfin, nous remercions particulièrement Andreas Schlatter, Fridolin Wicki, Markus Rothacher et Hanspeter Hodel pour leur disponibilité et leurs contributions aux interviews réalisées pour les vidéos du projet.

Liste des Figures

Figure 1 : Extrait de la vidéo sur les motivations pour la modernisation du système altimétrique de la Suisse	10
Figure 2 : Extrait de la vidéo sur les définitions des altitudes	11
Figure 3 : Extrait de l'interview du professeur Rothacher de l'ETHZ	12
Figure 4 : Extrait de la vidéo sur les définitions des altitudes	12
Figure 5 : Extrait de la vidéo promotionnelle du projet swiss height system	13
Figure 6 : Extrait du rapport sur les types de problèmes liés à la modernisation du système altimétrique	14
Figure 7 : Extrait du rapport portant sur un résumé des systèmes de référence altimétrique analysés.....	15
Figure 8 : Extrait du rapport portant sur les définitions du nouveau système de référence altimétrique.....	16
Figure 9 : Extrait du cahier des charges portant sur l'étendue des PoC.....	16
Figure 10 : Présentation du projet swiss height system à la GGHS 2024 à Thessalonique (Grèce)	17