



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de la défense,
de la protection de la population et des sports DDPS
Office fédéral de topographie swisstopo
Géodésie et Direction fédérale des mensurations cadastrales



Mensuration officielle

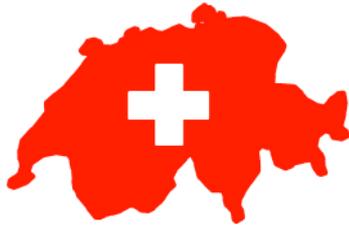
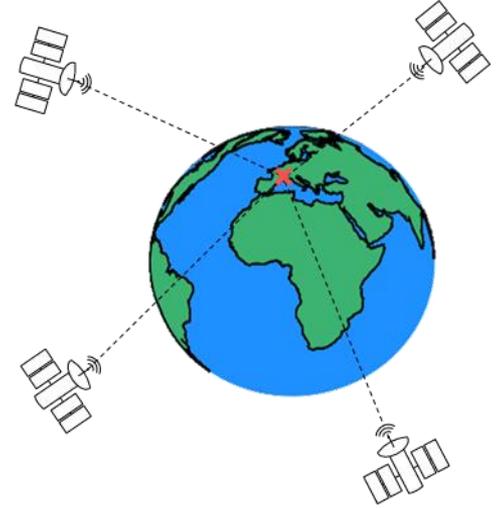
Réflexions sur un nouveau système de référence altimétrique pour la MO

Veille géomatique 2022

E. Borlat et Y. Deillon (heig-vd) et D. Willi (Swisstopo)

Contenu de la présentation

- Rappels des principes et définitions relatifs à la notion d'altitude (Elisa Borlat, ingénieure HES en géomatique et assistante de recherche – HEIG-VD).
- Réflexions scientifiques sur un nouveau système de référence altimétrique pour la Suisse (Dr. Daniel Willi, responsable de la mensuration géodésique nationale – swisstopo).



- Présentation du projet de nouveau système de référence altimétrique pour la mensuration officielle (Yves Deillon, professeur HES – HEIG-VD).



HE^{VD}
IG

Rappels des principes et définitions relatifs à la notion d'altitude

(Elisa Borlat, ingénieure HES en géomatique et
assistante de recherche – HEIG-VD)

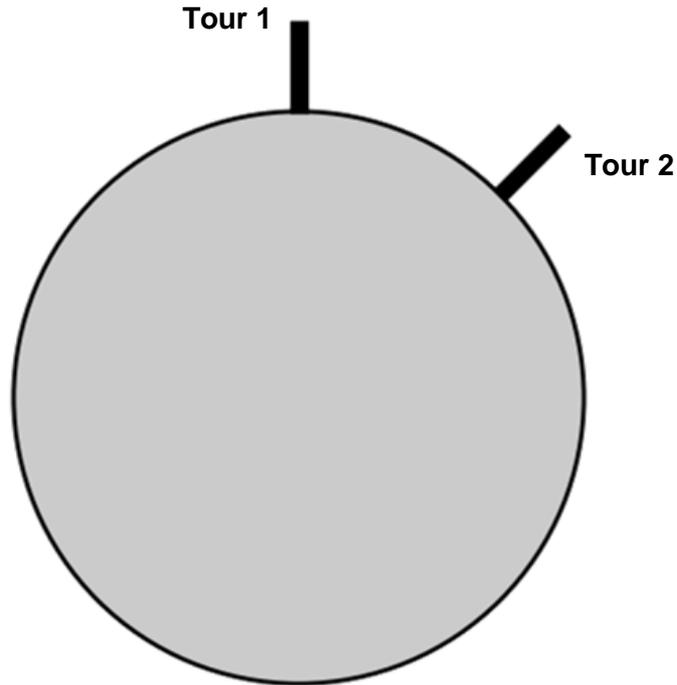


Yverdon-les-Bains,
le 16 juillet 2021



**Barrage de Montsalvens,
été 2020**

Bases scientifiques



Question :

Quels sont les points qui se trouvent à la même énergie* que le sommet de la tour 1 ?

Hypothèses de base :

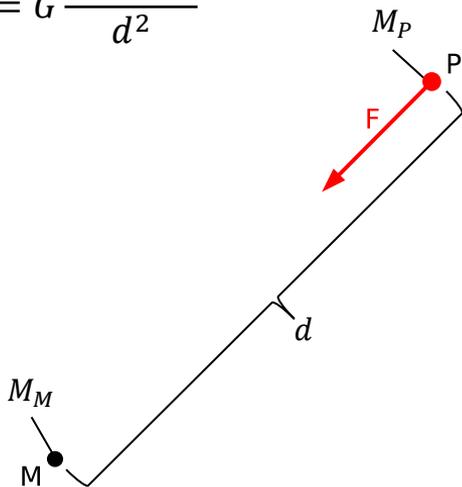
- 1) Terre sphérique
- 2) Terre homogène

*énergie potentielle de gravité

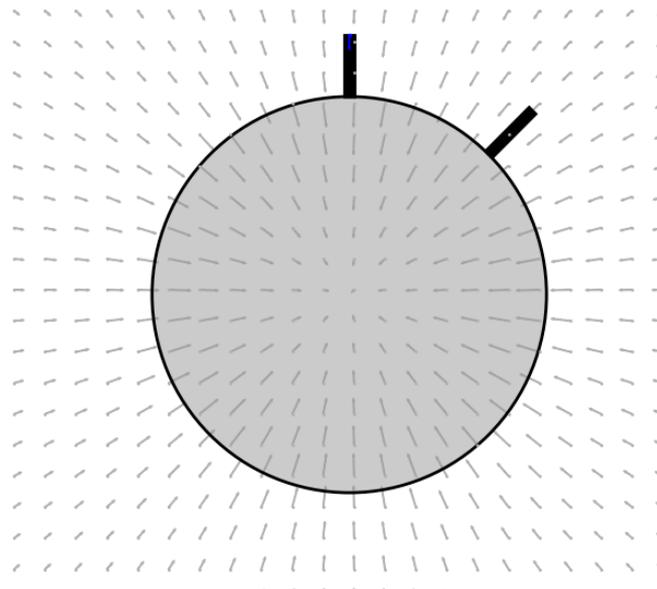
Bases scientifiques

Loi de la gravitation universelle
(Newton 1687)

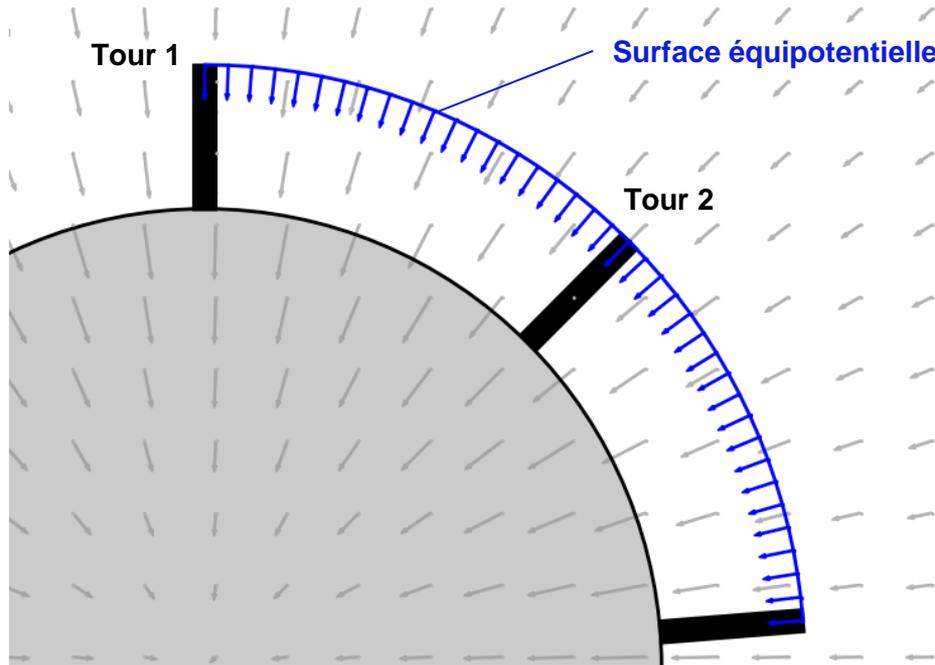
$$F = G \frac{M_P \cdot M_M}{d^2}$$



Champ gravitationnel de notre Terre
sphérique et homogène



Bases scientifiques



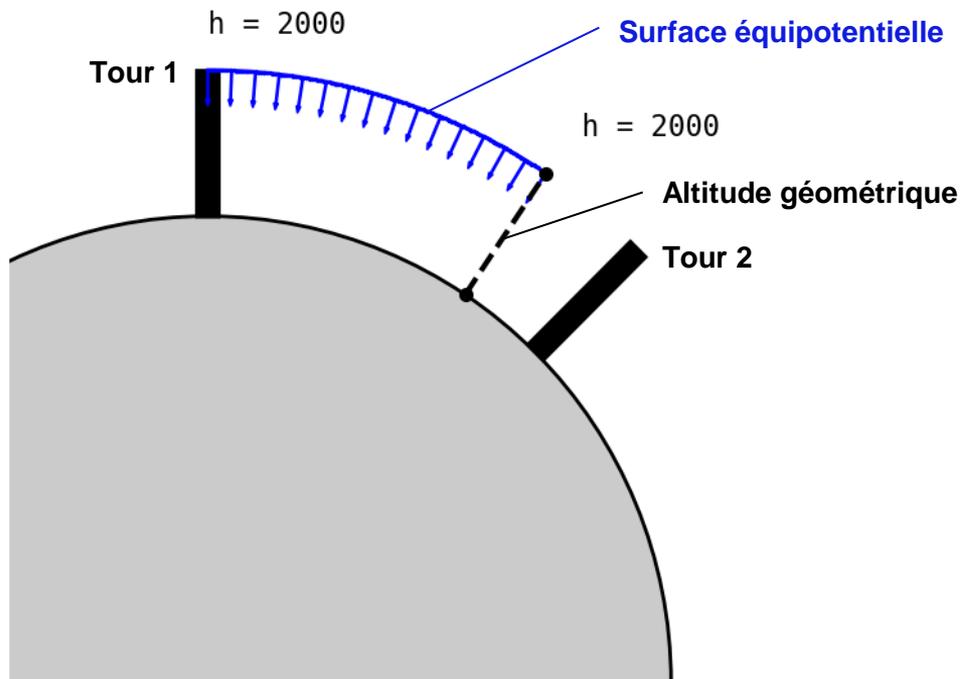
Question :

Quels sont les points qui se trouvent à la même énergie que le sommet de la tour 1 ?

Propriété du champ gravitationnel :

Les surfaces à la même énergie (même potentiel) sont perpendiculaires au champ de la force gravitationnelle.

Bases scientifiques

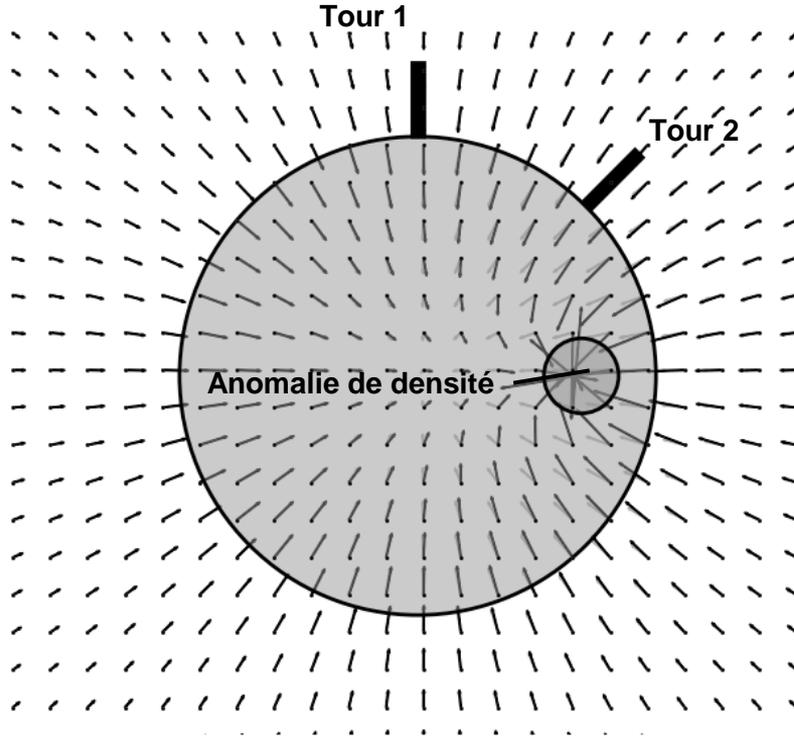


Surface équipotentielle

=

Surface à la même altitude
géométrique

Bases scientifiques



Ajoutons une anomalie de densité

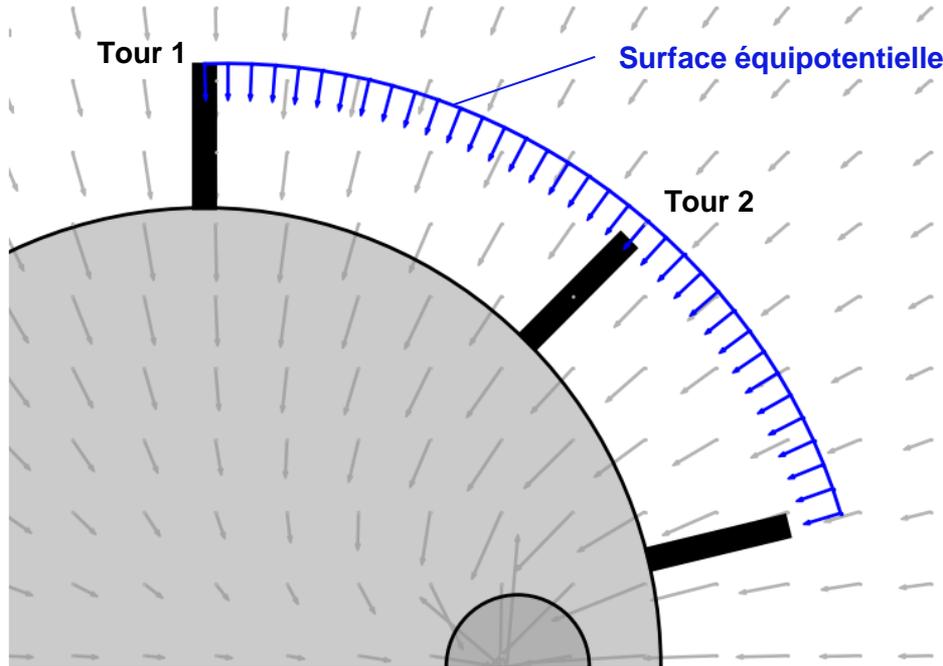
Nouvelles hypothèses :

- 1) Terre sphérique
- 2) Terre **inhomogène**

Question :

L'altitude géométrique est-elle toujours pertinente pour identifier les points à la même énergie (potentiel) ?

Bases scientifiques



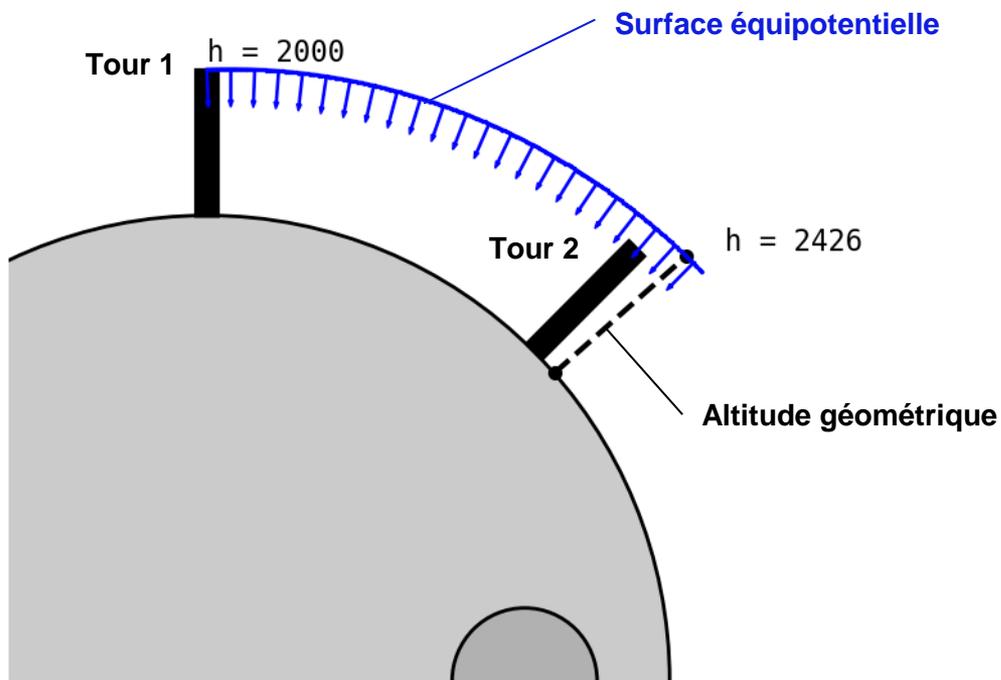
Question :

Quels sont les points qui se trouvent à la même énergie que le sommet de la tour 1 ?

Propriété du champ gravitationnel :

Les surfaces à la même énergie (même potentiel) sont perpendiculaires au champ de la force gravitationnelle.

Bases scientifiques



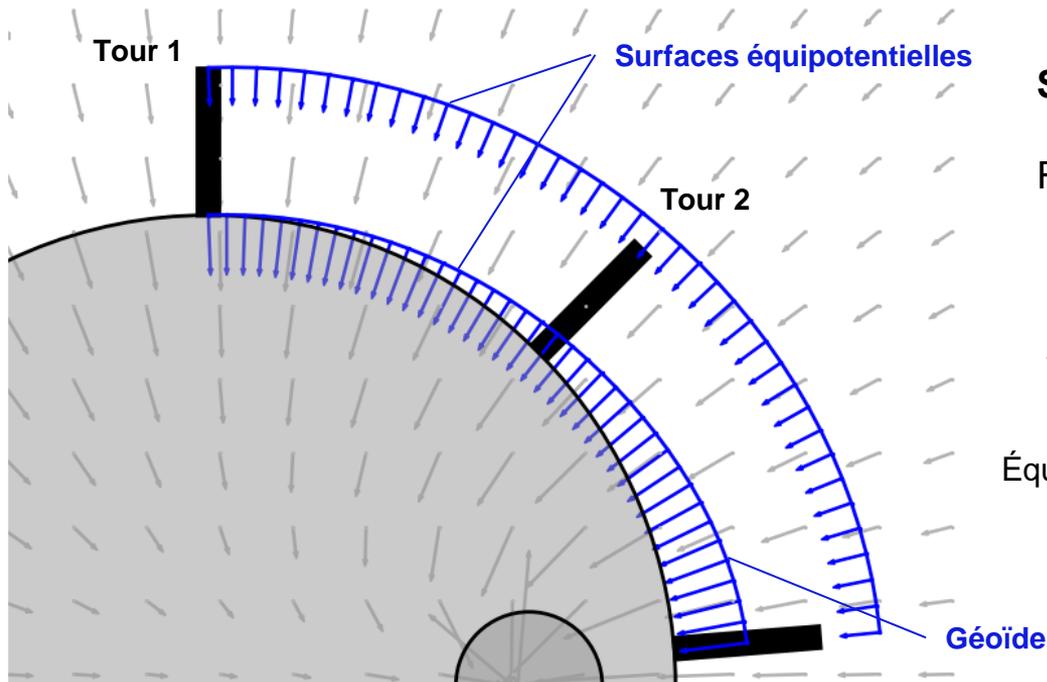
Surface équipotentielle

≠

Surface à la même altitude géométrique

→ Nécessité d'un nouveau type d'altitude

Bases scientifiques



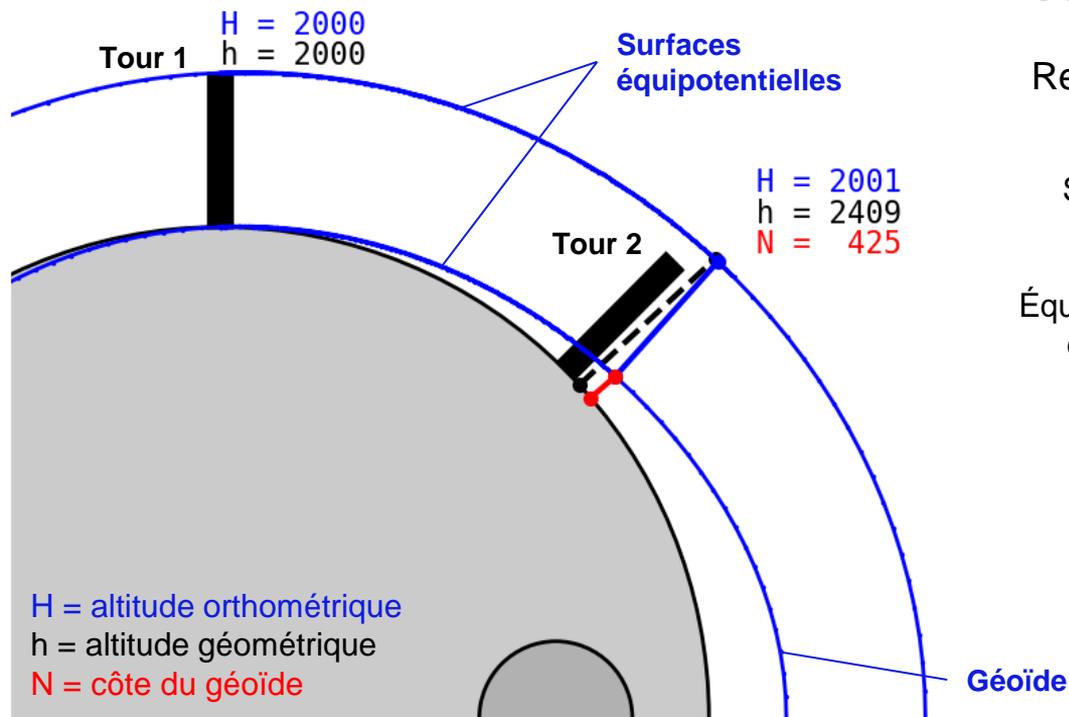
Solution possible :

Redéfinir la surface de référence

Surface de la Terre sphérique → altitude géométrique

Équipotentielle au niveau de la mer (géoïde) → altitude orthométrique

Bases scientifiques



Solution possible :

Redéfinir la surface de référence

Surface de la Terre sphérique → altitude géométrique

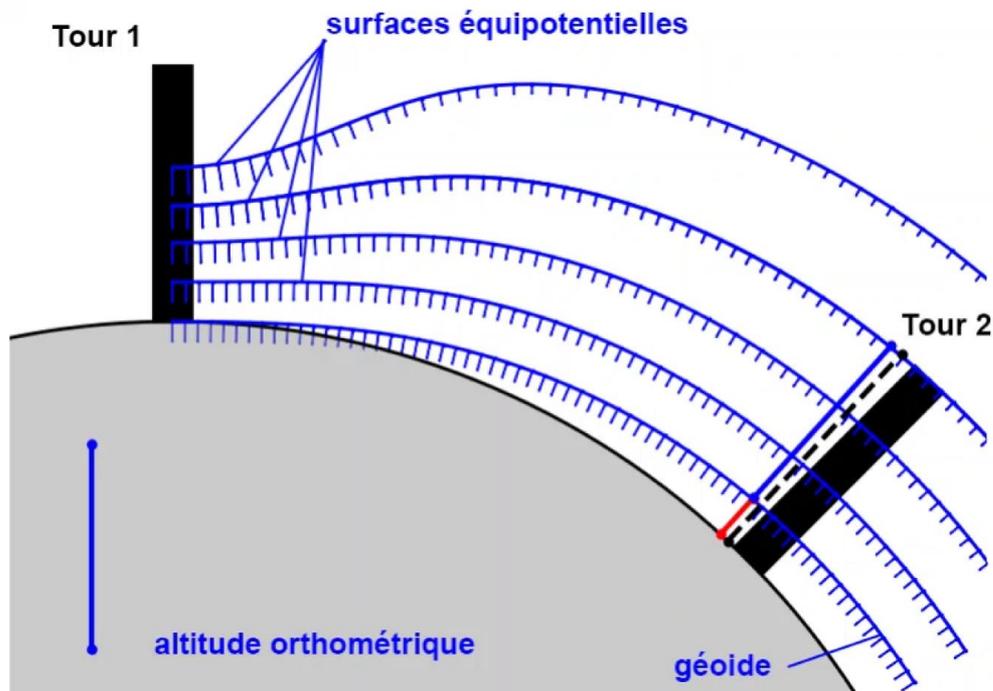
Équipotentielle au niveau de la mer (géοide) → altitude orthométrique

Points à la même énergie

≈

Points à la même altitude orthométrique

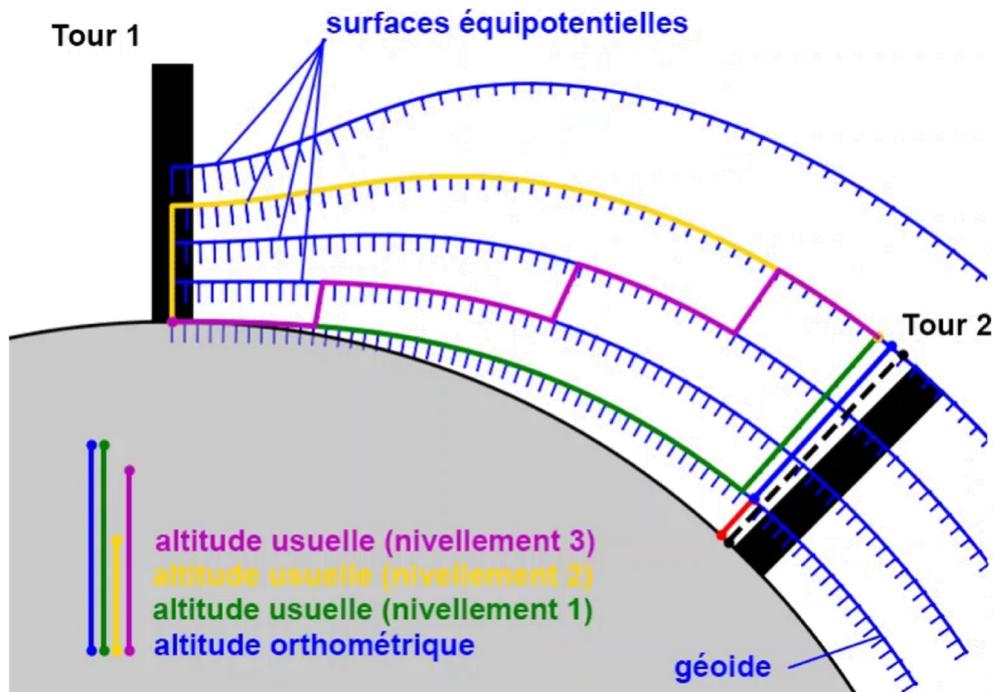
Bases scientifiques



Détermination de l'altitude orthométrique :

- 1) Par GNSS
 $H = h - N$

Bases scientifiques



Détermination de l'altitude orthométrique :

- 1) Par GNSS
 $H = h - N$
- 2) Par nivellement géométrique
→ dépendance du chemin*

Exemple : différence entre l'altitude orthométrique et l'altitude usuelle d'un cheminement entre Brig et Zermatt ≈ 15 cm.

* sans correction orthométrique

Bases scientifiques

Altitude géométrique (altitude ellipsoïdale)

- Mesurée directement avec GNSS
- Même altitude \neq même potentiel
- Altitude univoque
- CH : CH1903+, ellipsoïde de Bessel

Altitude orthométrique

- Mesurée avec GNSS + côte du géoïde
- Même altitude \approx même potentiel
- Altitude univoque
- CH : RAN95

Altitude usuelle

- Mesurée par nivellement géométrique
- Même altitude \approx même potentiel
- Altitude **pas univoque** (dépendante du cheminement)
- CH : NF02



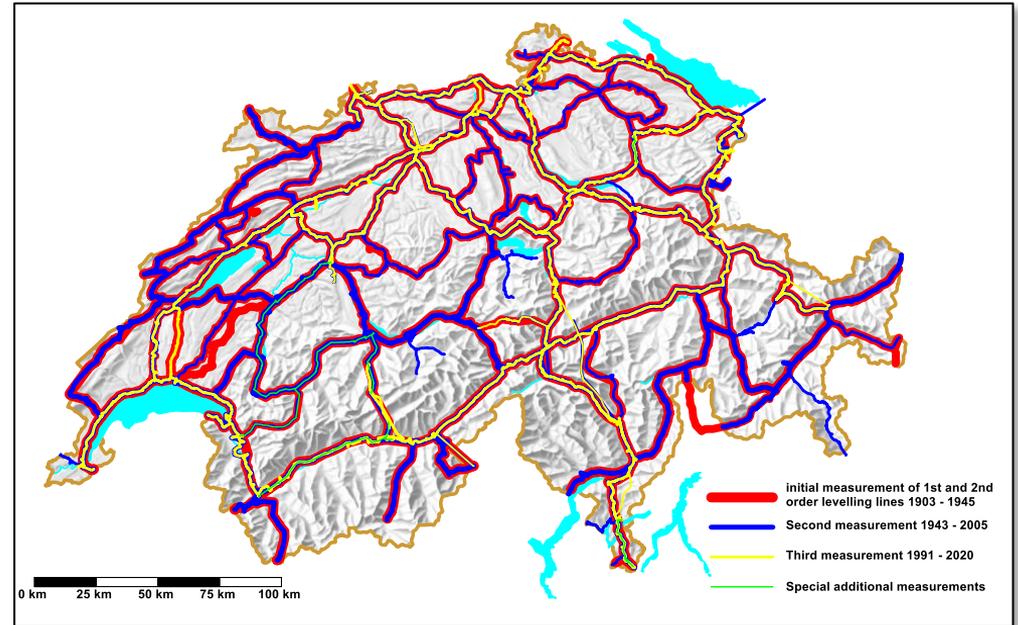
HE^{VD}
IG

Réflexions scientifiques sur un nouveau système de référence altimétrique pour la Suisse

(Dr. Daniel Willi, responsable de la mensuration géodésique nationale – swisstopo)

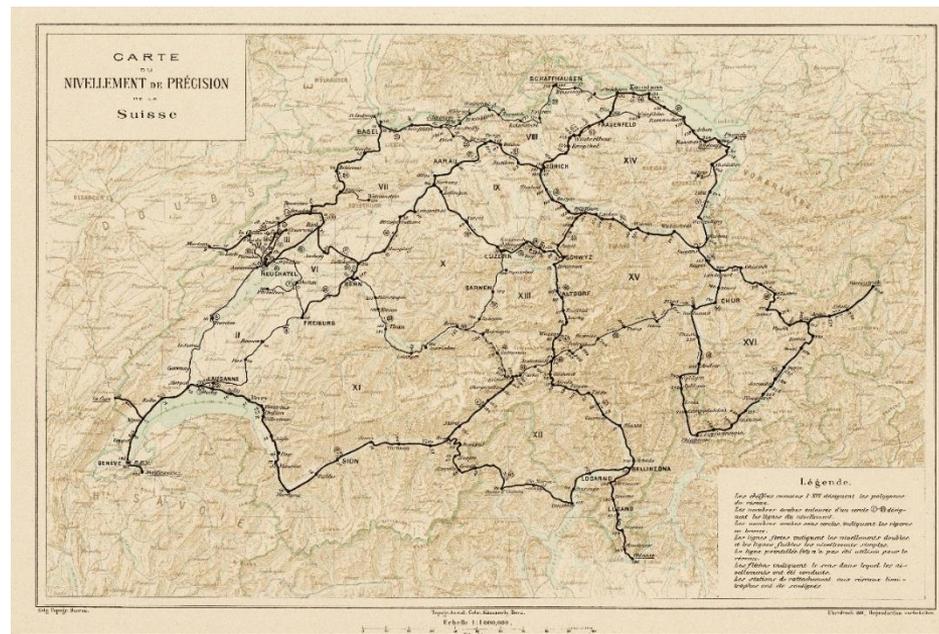
Base du système altimétrique actuel

- NF02 = Nivellement fédéral 1902
- Système statique
- Corrections à l'aide de mesures gravimétriques non prises en compte
- Système dit «usuel» = système non rigoureux



Origine encore plus ancienne...

- Nivellement de la Commission Géodésique Suisse (CGS), fondée en 1861
- Les mesures datent de la deuxième moitié du 19^{ème} Siècle
- Aujourd'hui encore, la base des l'altitudes suisses



Réseau altimétrique 1995 (RAN95)

- Système altimétrique rigoureux (orthométrique)
- Cadre de référence partiellement cinématique

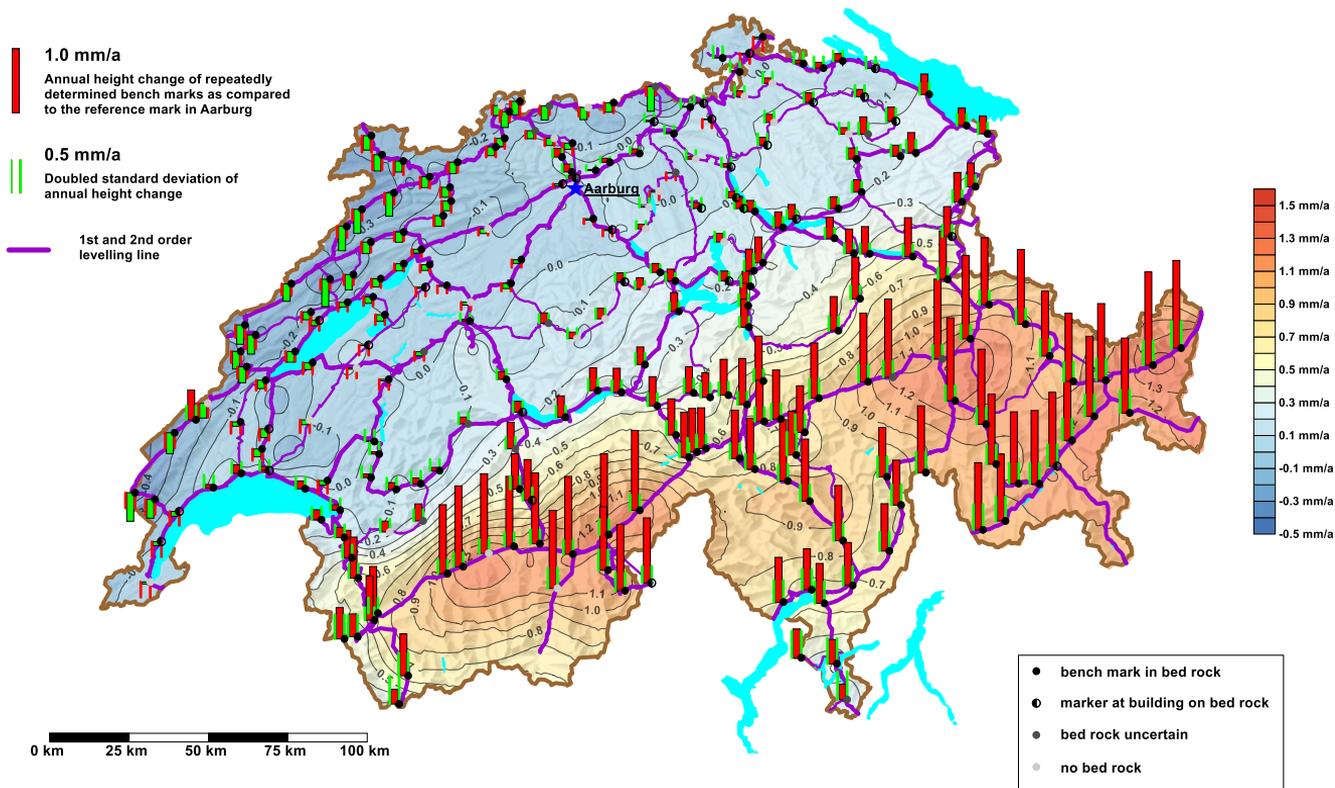
Utilisation

- Utilisation interne à swisstopo (p.ex. stockage interne des modèles altimétriques comme swissAlti3D)
- Utilisation implicite par tous les utilisateurs GNSS
- NF02 reste le système officiel

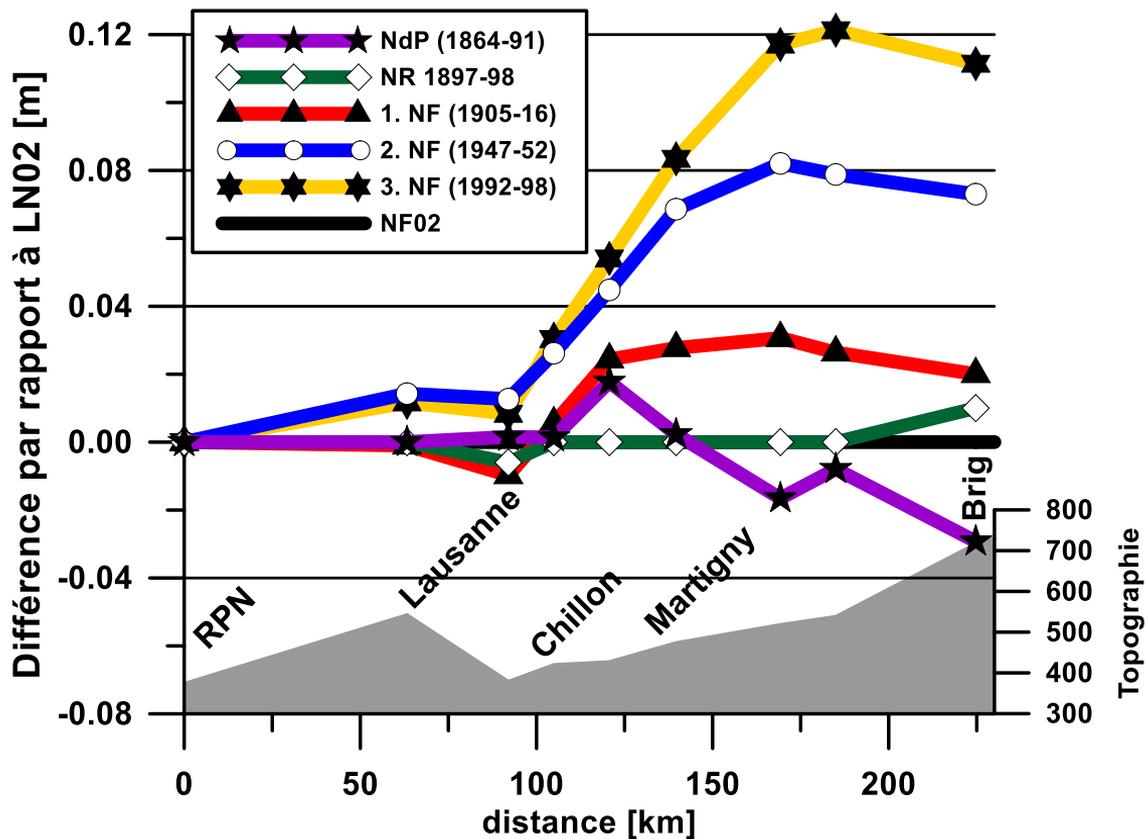
Potentielles améliorations de RAN95

- Pas de gestion des époques
- Rattachement au systèmes supérieurs

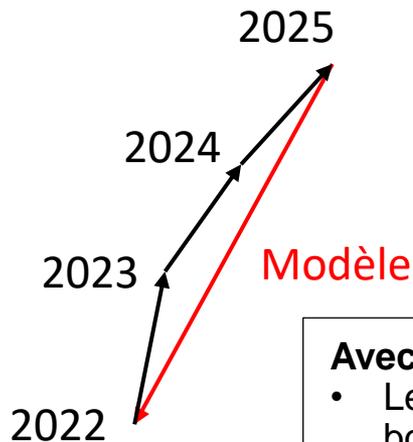
Cinématique du cadre altimétrique



Cinématique du cadre altimétrique II

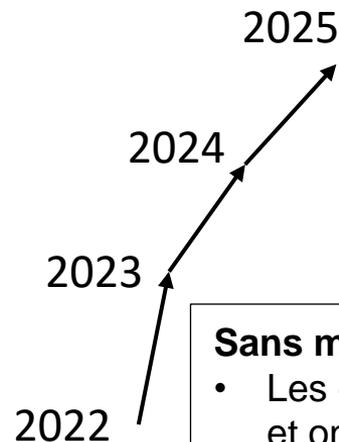


Pourquoi un cadre cinématique ?



Avec modèle

- Les coordonnées ne bougent pas
- Les coordonnées n'ont pas d'époque
- Les mesures (si conservées) ont une époque



Sans modèle

- Les coordonnées changent et ont une époque
- OU**
- Introduction involontaire de biais
 - Dégradation avec le temps



Développements internationaux

European Vertical Reference Frame EVRF

- Système de référence altimétrique européen
- Basé sur des résultats de nivellement
- Chaque pays livre des mesures de nivellement
- Calcul centralisé auprès d'EUREF

International Height Reference System IHRS

- Basé sur des modèles globaux du géoïde
- Ensemble des standards et de conventions numériques
- Implémentation indépendante dans chaque pays

Transformation et introduction

- Stratégie de transformation non élaborée
 - En attente des résultats de l'enquête
- Probable stratégie duale
 - Données dérivées du GNSS
 - Données de la mensuration officielle
- Au bénéfice des expériences du changement planimétrique
- Établissement de la transformation en collaboration avec les cantons

Questions ouvertes

- Qualité des données altimétriques hors des lignes de nivellement
- Agenda de l'introduction (202x – 203x ?)



HE^{VD}
IG

Présentation du projet de nouveau système de référence altimétrique pour la mensuration officielle

(Yves Deillon, professeur HES – HEIG-VD)

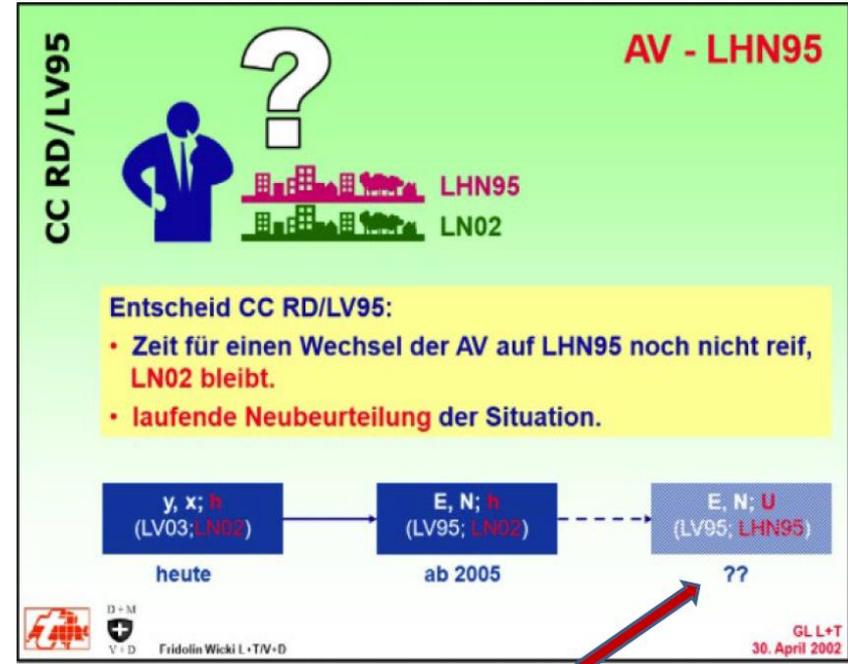


Objectifs du groupe de travail swisstopo

- Définition du nouveau système altimétrique
- Comprendre l'état de l'art en terme de détermination altimétrique
- Propriétés du nouveau système :
 - Définition rigoureuse
 - Compatibilité avec le GNSS
 - Compatibilité européen et internationale
 - Longévité du cadre
 - Entretien efficace
- Pour l'instant, considérations indépendantes de RAN95

Contexte

- Introduction d'un nouveau cadre de référence planimétrique (MN95) en 2006 (→ 2016)
- On renonce alors à introduire un nouveau système altimétrique; RAN95 joue tout de même un rôle important car il s'agit d'une étape intermédiaire.





HE
IG^{VD}

- Arguments principaux :
 - Risque de confusion entre transformations des coordonnées et altitudes
 - Grande quantité de données altimétriques analogues ou sans coordonnées
 - Bénéfice coûts / avantages limité (mesures principalement locales)

Le système d'altitudes usuelles NF02 reste donc en vigueur

Réévaluation de la situation

- Depuis, l'utilisation du GNSS a fortement augmenté
- La quantité d'information géographique a explosé
- La 3D (information altimétrique) gagne en importance
 - Cadastre 3D
 - Cadastre souterrain
 - LiDAR
 - ...
- La détermination altimétrique par GNSS conduit déjà aujourd'hui à des contraintes et des inconsistances



=> Une réévaluation de la situation s'impose

Organisation du projet

Projet financé par l'INDG, avec l'HEIG-VD et swisstopo comme partenaires principaux

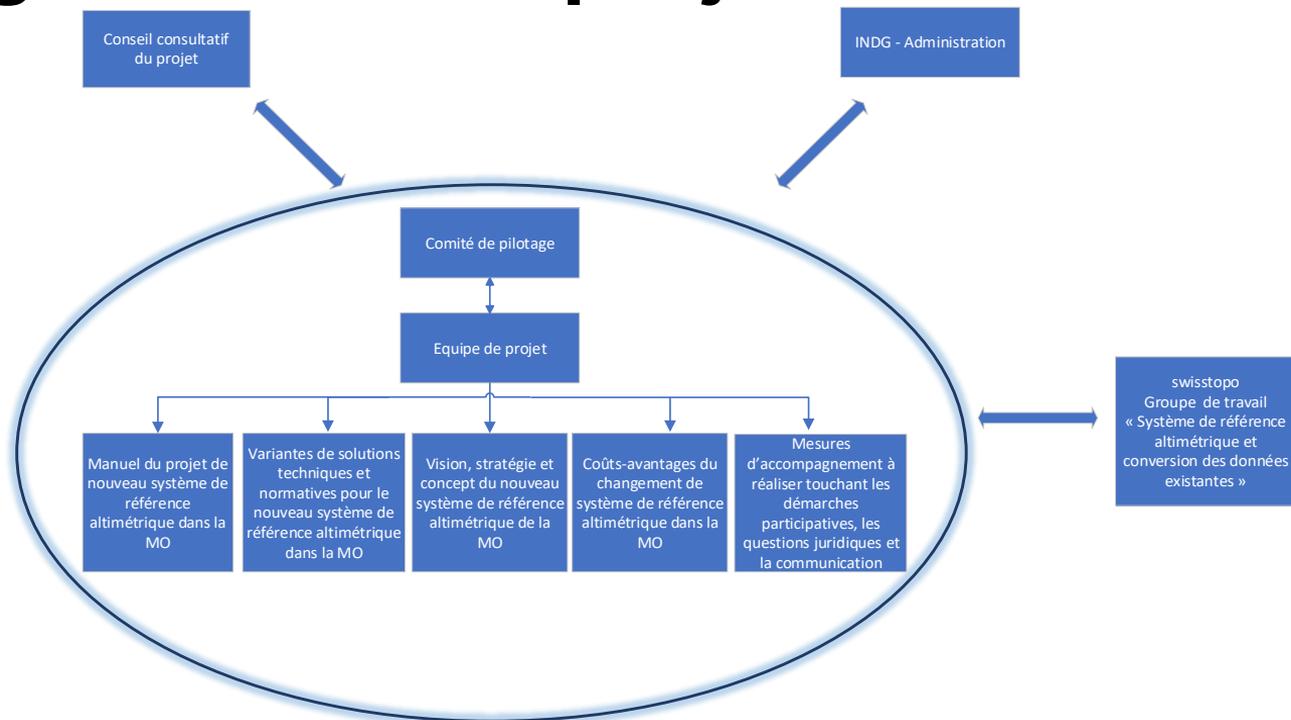
HEIG-VD

- Conduite générale du projet (Yves Deillon)
- Communication
- Étude des aspects administratifs, organisationnels et légaux

swisstopo

- Aspects techniques et scientifiques
- Groupe de travail «Système de référence altimétrique»

Organisation du projet INDG



Périmètre projet INDG 21-04

Objectifs principaux

- «Get the big picture» - obtenir un inventaires des données altimétriques
 - Outil : enquête / questionnaire en ligne
- Sensibilisation et démarches participatives des utilisateurs à la nécessité de disposer d'un système de référence altimétrique rigoureux (global)
 - Outil : vidéo, article, présentation du projet, démarches participatives
- Réévaluer l'opportunité ou non de changer de système
 - Outil : analyse coût-bénéfice
- Clarification des implications juridiques
 - Outil : étude juridique



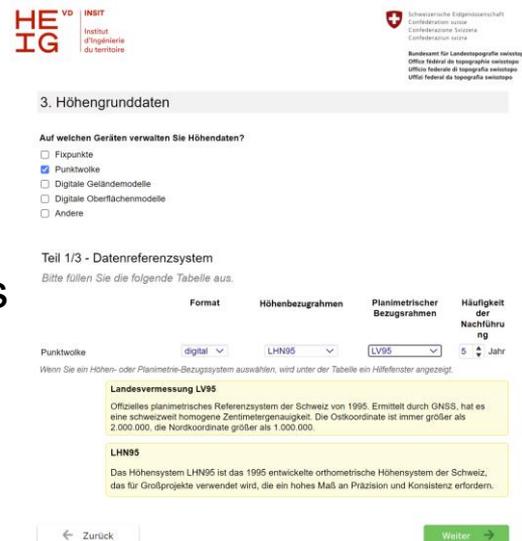
HEIG^{VD}

Travaux en cours du projet INDG au premier semestre 2022

- Questionnaire en ligne (d, fr, it) pour l'établissement d'un inventaire des informations altimétriques existantes sous forme analogique et numérique.
- Etablissement d'une ou deux vidéos de sensibilisation des utilisateurs à la nécessité de disposer d'un système de référence altimétrique rigoureux.
- Premières actions de communication, de sensibilisation et d'écoute (participation à la veille technologique IGSO, article dans Cadastre, ...).

Questionnaire en ligne

- **Objectif principal:** inventaire des informations altimétriques existantes (analogique et numérique) afin de disposer d'éléments quantitatifs et qualitatifs pour l'analyse coûts / avantages d'un changement de système de référence altimétrique
- **Objectifs secondaires :**
 - Sensibilisation à un système altimétrique rigoureux (avantages)
 - Récolte des éventuelles difficultés des utilisateurs en cas de changement de système
- **Public cible :** ensemble des utilisateurs d'information altimétrique en Suisse (env. 3'000 à 5'000 envois).



3. Höhengrunddaten

Auf welchen Geräten verwalten Sie Höhendaten?

Fixpunkte
 Punktwolke
 Digitale Geländemodelle
 Digitale Oberflächenmodelle
 Andere

Teil 1/3 - Datenreferenzsystem
 Bitte füllen Sie die folgende Tabelle aus.

	Format	Höhenbezugsrahmen	Planimetrischer Bezugsrahmen	Häufigkeit der Nachführung
Punktwolke	digital	LHN95	LV95	5 Jahr

Wenn Sie ein Höhen- oder Planimetrie-Bezugssystem auswählen, wird unter der Tabelle ein Hilfenfenster angezeigt.

Landesvermessung LV95

Offizielles planimetrisches Referenzsystem der Schweiz von 1995. Ermittelt durch GNSS, hat es eine schweizweit homogene Zentimetergenauigkeit. Die Ostkoordinate ist immer größer als 2.000.000, die Nordkoordinate größer als 1.000.000.

LHN95

Das Höhensystem LHN95 ist das 1995 entwickelte orthometrische Höhensystem der Schweiz, das für Großprojekte verwendet wird, die ein hohes Maß an Präzision und Konsistenz erfordern.

← Zurück Weiter →



HEIG^{VD}

- **Planning :**
 - Février 2022 -> envoi à env. 20 « testeurs »
 - Avril 2022 -> finalisation du site internet
 - Mai 2022 -> envoi du questionnaire
 - Fin 2022 -> fin de l'analyse et mise en valeur des résultats

3. Données altimétriques de base

Dans quel type de dispositifs, gérez-vous des données altimétriques ?

- Points fixes
- Nuages de points
- Modèles numériques de terrain
- Modèles numériques de surface
- Autre-s

Partie 1/3 - Référentiel des données

Veuillez compléter le tableau suivant.

	Format	Référentiel altimétrique	Référentiel planimétrique	Fréquence de mise à jour
Modèles numériques de terrain	numérique ▼	RAN95 ▼	MN95 ▼	3 ▲/▼ ans

Lorsque vous sélectionnez un référentiel altimétrique ou planimétrique, une fenêtre d'aide apparaît sous le tableau.

Mensuration nationale MN95

Cadre de référence planimétrique officiel de la Suisse de 1995. Déterminé par GNSS, il a une précision homogène centimétrique sur tout le territoire Suisse. La coordonnée Est est toujours supérieure à 2'000'000, celle du Nord est supérieure à 1'000'000.

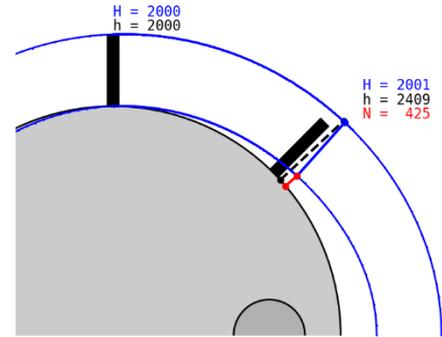
RAN95

Le système d'altitude RAN95 est le système d'altitude orthométrique Suisse développé en 1995 et utilisé pour les projets de grande envergure nécessitant un fort besoin de précision et d'homogénéité.

← Précédent

Suivant →

Vidéo de sensibilisation



- **Objectifs :**
 - Mise en évidence de problématiques concrètes avec le système altimétrique actuel (altitude usuelle).
 - Rappeler les principales bases des définitions de l'altitude.
 - Présenter les grandes lignes de l'étude sur un nouveau système de référence altimétrique pour la mensuration officielle.
 - Donner la vision d'une à deux personnes de référence en Suisse ou à l'étranger sur le devenir de la gestion altimétrique à future.
- **Finalisation :** mai 2022

Quelques dates clés (situation au 23.12.2021)

<i>Dates clés</i>	<i>Points marquants du projet</i>
<i>Avril 2021</i>	Début officiel du projet.
<i>Mai 2022</i>	Lancement d'une enquête sur les données numériques altimétriques déterminées, respectivement utilisées, dans les principales organisations gérant des systèmes d'information géographique en Suisse.
<i>Mai – juin 2022</i>	Publication d'un article sur le projet dans Cadastre.
<i>Décembre 2022</i>	Analyse et valorisation des résultats de l'enquête
<i>Deuxième semestre 2022</i>	Finalisation du projet de rapport « Vision et stratégie du nouveau cadre de référence altimétrique de la mensuration officielle ».
<i>Début 2023</i>	Définition du nouveau système altimétrique suisse
<i>Premier semestre 2023</i>	Début des analyses économiques et juridiques.
<i>Deuxième semestre 2023</i>	Début des consultations généralisées et établissement d'un plan de communication
<i>Juin 2024</i>	Livraison de l'ensemble de la documentation et fin du projet.

Merci pour votre attention !



D'autres questions ?

Vous pouvez nous contacter à l'adresse e-mail suivante :



swiss_height_system@heig-vd.ch