



Elaboration du FRENyx16  
Rapport final

*Fribourg, le 9 novembre 2017*

Rapport explicatif sur l'élaboration du FRENyx16

## Table des matières

1. Identification des lots – Création d'une base de connaissance .....	2
2. Elimination des tensions directement dans la BDMO – Gestion des périmètres.....	3
3. Analyse des zones susceptibles de contenir des tensions – Elaboration d'un questionnaire .....	3
4. Lever des points fixes.....	5
5. Elaboration du FRENyx16.....	6
5.1. Etude des phénomènes provoquant des tensions géométriques.....	6
5.2. Contact avec les Cantons voisins – Bern, Vaud et Neuchâtel.....	6
5.3. Création des outils pour l'élaboration du maillage triangulaire FRENyx16 .....	7
5.4. Formation du maillage triangulaire FRENyx16.....	7
5.4.1. Identification des points de rupture.....	7
5.4.2. Délimitation des secteurs MN95 et des limites cantonales .....	9
5.4.3. Densification du maillage pour réduire les tensions .....	9
6. Considérations financières .....	11

Depuis 2006, le SCG a intégré le nouveau cadre de référence MN95, matérialisé par le maillage triangulaire CHENyx06, dans les mandats de numérisation de la mensuration officielle. Grâce à cette décision, le Canton de Fribourg compte environ 40% de la surface de son territoire mesurée dans le cadre de référence MN95.

Le solde du territoire cantonal, soit environ 60 %, comporte des numérisations de données géométriques réalisées dans le cadre de référence MN03. Le présent rapport s'intéresse à l'avancement de l'élaboration du maillage triangulaire FRENyx16 qui améliorera la qualité géométrique de l'œuvre cadastrale.

Depuis 2012, le SCG a lancé différentes étapes pour parvenir à cet objectif. Ce rapport liste les travaux entrepris et précise la démarche technique appliquée pour l'élaboration du FRENyx16.

## 1. Identification des lots – Création d'une base de connaissance

Avant 2012, le SCG ne s'intéressait pas aux lots exécutés. Les données chargées dans la base de données de la mensuration officielle BDMO n'étaient ainsi pas suffisamment documentées. Il était difficile de différencier la provenance et la qualité des données géométriques et attributives si bien qu'il était ardu de déterminer avec certitude les zones MN95 des zones MN03.

Pour les besoins du projet, le SCG a rassemblé toutes les informations contenues dans les archives de la Confédération et du Canton pour constituer une base de connaissance pour environ 500 lots de type :

- MCA: mensuration cantonale ancienne (de 1840 à 1912)
- MFA : mensuration fédérale ancienne (de 1912 à 1950)
- MFN : mensuration fédérale nouvelle (de 1950 à 1980)
- MFN-G : mensuration fédérale nouvelle sous GEOS (de 1980 à 1995)
- MO93 : mensuration au standard MO93 (de 1995 à nos jours)

## 2. Elimination des tensions directement dans la BDMO – Gestion des périmètres

De 2012 à 2014, un travail intensif a eu lieu entre le SCG et les bureaux de géomètres sur les lots en cours de numérisation afin d'éliminer directement les tensions dans la BDMO. Un projet pilote a été lancé pour l'étude du renouvellement de très anciennes mensurations (Commune de Ponthaux).

Le SCG s'est ensuite occupé de l'intégration géométrique en MN95 des numérisations de mensurations plus récentes calées sur les réseaux de PFP1 et 2 en MN03 (zones bâties de Charmey, Jaun, Albeuve, ainsi que la zone « Montagne de Lussy »).

L'intégration des données dans une base centralisée facilite grandement les processus. La géométrie des périmètres de lots a cependant souffert de cette intégration.

La règle de base appliquée pendant des dizaines d'années est : **le périmètre d'un lot intégré dans la BDMO prime sur ceux des lots voisins qui viennent ensuite, quelle que soit leur qualité.**

Il convient de rétablir l'intégrité géométrique des périmètres des lots lors du changement de cadre de référence. Le SCG exige que le maillage cantonal FRENyx16 réponde à ce besoin. Les informations à disposition ne permettent pas de réaliser cette tâche dans le cadre du traitement automatique du FRENyx16. Monsieur Olivier Buchs du SCG s'est donc employé à former les triangles afin de traiter les zones proches des périmètres de la limite cantonale et des lots MN95. Ce travail itératif a nécessité environ 4 mois de travail. Il se basait sur les connaissances acquises de l'intégration des données dans la BDMO.

### Remarques particulières :

Dans le cadre du projet pilote de Ponthaux, de grandes différences géométriques ont été constatées avec les secteurs de Grolley et Noréaz, déjà chargés dans la BDMO, ainsi que celui de Léchelles en cours de chargement.

Le SCG a détecté des tensions géométriques allant jusqu'à 90 cm suite à une mauvaise utilisation du programme TRANSINT dans les numérisations de Noréaz, Léchelles et Grolley. La procédure appliquée pour ces numérisations a été celle du « TRANS » et non « TRANS-INT » : transformation d'Helmert sans interpolation ou interpolation « light ». Cette procédure ne permet pas de tenir compte de l'environnement local.

Ce problème de plusieurs dizaines de centimètres, apparemment cantonné à ce secteur du Canton, a été résolu immédiatement aux périmètres sans attendre la constitution du maillage FRENyx16. On corrige des fautes ; on n'élimine pas des tensions locales non négligeables.

## 3. Analyse des zones susceptibles de contenir des tensions – Elaboration d'un questionnaire

Le questionnaire récolte les informations du terrain auprès des bureaux de géomètres. On identifie plus facilement les zones problématiques d'un lot. De plus, on sait à quel type de tensions il faut s'attendre. Le questionnaire est publié sur l'ensemble du territoire cantonal présentant des tensions locales non négligeables à l'exception de la ville de Fribourg. Le Service du cadastre de la Ville de Fribourg a directement participé au projet cantonal en fournissant toutes les informations nécessaires sans passer par le questionnaire.

Quelques 294 lots ont été identifiés, auxquels il convient d'ajouter 18 lots pour la Ville de Fribourg. Pour chacun de ces lots, le SCG a demandé une numérisation du canevas polygonométrique, ainsi qu'une éventuelle délimitation sur un plan des zones contenant des tensions locales non négligeables. Ces données ont été géoréférencées par le SCG.

Le questionnaire a été élaboré en trois parties :

- Question concernant le géomètre dépositaire qui possède les plans originaux de la Commune,
- Questions concernant le géomètre adjudicataire qui a procédé à la numérisation,
- Questions concernant la mise à jour permanente qui concernent tous les géomètres.

En fonction de l'origine des données, une distinction dans les questions a été faite pour les lots de type :

- MFA : mensuration fédérale ancienne (de 1912 à 1950)
- MFN : mensuration fédérale nouvelle (de 1950 à 1980)
- MFN-G et MO93 : mensuration fédérale nouvelle sous GEOS / MO93 (de 1980 à 2005)

La plateforme informatique mise en place pour récupérer les réponses a été développée par la société Comperio.

#### 4. Lever des points fixes

Simultanément à l'envoi des questionnaires, le SCG a mandaté les géomètres dépositaires pour effectuer un lever des points fixes. Les spécificités des travaux ont été discutées avec Swisstopo avant de lancer ces travaux conséquents.

Suite à la visite des points sur le terrain, des milliers de points fixes ont été retrouvés penchés ou détruits. Ils ont été listés et transmis pour information à Swisstopo.

Dans le cadre de ces travaux de lever, des problèmes sur deux PAT du CHENyx06 ont été détectés. Il s'agit des points :

- **11646230.** Swisstopo a reconnu des incohérences sur ce point. Le FRENyx16 a corrigé ces incohérences.
- **11848030.** L'OIT du Canton de Vaud a effectué quatre mesures sur ce point. Un arbre situé au sud du PAT 11848030 expliquerait les différences sur les mesures GNSS. Dans le doute, on reprend la position de l'OIT qui reconnaît des problèmes de mesures sur l'altimétrie, mais pas en altimétrie. Le choix de ce point comme PAT du CHENy06 est cependant problématique et sa position exacte toujours sujette à caution.

En juillet 2015, à la fin de l'ensemble de ces travaux préparatoire, le SCG disposait de quelques 10'500 points connus dans les systèmes MN03 et MN95 très bien répartis sur les secteurs d'étude.

## 5. Elaboration du FRENyx16

A partir du mois de septembre 2016, le SCG a lancé les travaux d'élaboration de FRENyx16 en même temps que l'infrastructure informatique nécessaire au changement de cadre de référence en MN95.

En ce qui concerne la création du FRENyx16, les principaux travaux réalisés à ce jour sont :

### 5.1. Etude des phénomènes provoquant des tensions géométriques

La configuration des travaux réalisés à Fribourg permet de catégoriser six principales catégories de tensions :

- Tensions issues de **fautes de mesures, de reports ou de calculs** des mesures originales.
- Tensions issues de la **configuration de polygonales**:
  - ne permettant pas d'éliminer les erreurs instrumentales :
    - non-équidistance des points de polygones avec défaut d'alignement des axes de l'instrument ou de lecture à partir des traits réticulés,
    - polygonales coudés avec effet « bras de levier » lors de la compensation linéaire),
  - ne permettant pas de limiter la propagation des erreurs :
    - polygonales comportant trop de points de polygones entre les nœuds,
    - polygonales parallèles sans mesures transversales,
- Tensions issues de **mauvaises déterminations géométriques sur les points de rattachement des canevas** polygonométriques.
- Tensions issues de la **mise à jour permanente, notamment des rétablissements**.
- Tensions issues de la **gestion des périmètres de lot** dans la BDMO.
- Tensions issues des **zones de glissements**.

Les trois premières catégories peuvent être traitées en partie avec le maillage FRENyx16 (phase 1). Par contre, les trois dernières sont difficilement modélisables sans d'autres travaux plus conséquents (phase 2). A la suite du FRENyx16, l'établissement d'une carte avec les zones de tensions non négligeables permet de disposer d'une base solide pour entreprendre les renouvellements nécessaires.

Le Canton de Fribourg a introduit dans l'article 103 LMO, la volonté de financer ces travaux (sans participation communale) ce qui devrait permettre de réaliser rapidement ces adaptations (phase 2).

Le résultat du questionnaire, le lever des points fixes, ainsi que les données récoltées (zones problématiques, canevas polygonométriques, rapport du projet pilote de Ponthaux, ...) seront utiles pour identifier et débiter efficacement les travaux de renouvellement.

### 5.2. Contact avec les Cantons voisins – Bern, Vaud et Neuchâtel

Bern et Neuchâtel disposent d'un maillage cantonal. La limite partagée avec Neuchâtel se situe dans le Lac de Neuchâtel si bien que peu d'interactions existent. Le Canton de Neuchâtel sera néanmoins contacté et le FRENyx16 sera mis à disposition du Canton de Neuchâtel. Le Canton de Bern a fourni le maillage BEENyx15 intégré dans le CHENyx06. Ce maillage fourni par Bern constitue la base de départ pour l'intégration et l'élaboration du FRENyx16.

Le Canton de Vaud a déjà réalisé un réseau de points de base en MN95 sur l'ensemble de son territoire lors de la réalisation du CHENyx06. La mensuration officielle vaudoise se plaquera sur ce réseau de base si bien qu'il n'y a pas lieu de densifier le CHENyx06 en ajoutant des points du FRENyx16 du côté vaudois. Différents triangles en limite avec Fribourg seront néanmoins modifiés afin d'intégrer le FRENyx06.

Les Cantons de Bern, Vaud et Neuchâtel se tiennent à disposition pour reprendre les résultats du Canton de Fribourg et discuter de l'harmonisation des limites cantonales.

### 5.3. Création des outils pour l'élaboration du maillage triangulaire FRENyx16

La démarche technique décrite ci-dessous se base sur des outils informatiques (Workspace) développés à partir du logiciel FME.

Les logiciels AutoCad, pour la création des triangles (selon une topologie area), ainsi que ArcMap pour l'analyse et la représentation des résultats, ont également été utilisés.

La combinaison de différents logiciels est un atout. Les passerelles entre les logiciels sont directement gérées par FME. De plus, la programmation en Python intégrée à FME, pour les calculs matriciels des paramètres de la transformation affine, a permis de s'affranchir complètement de GeoSuite.

GeoSuite a ensuite été utilisé comme outil de contrôle indépendant et de vérification de l'ensemble des travaux. Cette technique a permis de se détacher des contraintes informatiques en se concentrant sur l'essentiel : l'information et les données.

### 5.4. Formation du maillage triangulaire FRENyx16

Pour une bonne compréhension, on définit ci-après le terme vecteur, aussi appelé différence, par :

- « L'écart entre
- la **coordonnées MN95 obtenue par transformation de données MN03** avec CHENyx06
- et
- la **coordonnées MN95 obtenue directement par mesure ou recalcul en MN95.**

La formation du maillage FRENyx16 s'effectue en trois phases :

- Identification des « points de rupture » (phase itérative).
- Délimitation des triangles proches des secteurs MN95 et des limites cantonales (phase itérative).
- Densification du maillage pour réduire les tensions (phase itérative).

#### 5.4.1. Identification des points de rupture

L'ensemble des 18'000 points connus dans les systèmes soient 10'500 candidats fribourgeois, ainsi que 7'500 PAT du CHENyx06, sont considérés comme PAT du FRENyx16. La formation de 35'000 de triangles « suisses » (dont 20'500 pour le Canton de Fribourg) permet de couvrir le territoire avec de très petits triangles dans les zones d'étude.

En s'intéressant à la différence entre les vecteurs des deux sommets d'une arrête (dérivée), on obtient des informations très pertinente. Techniquement, la résultante de la différence vectorielle des vecteurs des deux sommets est reportée au milieu de l'arrête concernée.

Afin de respecter les contraintes géométriques, notamment les calculs de surfaces, on prend comme sens d'étude la direction « nord-est ». L'étude de la résultante de la différence vectorielle des vecteurs permet de définir deux variables intéressantes :

- La variation de l'intensité du vecteur « **dérivée de l'intensité** »,
- La variation de la direction du vecteur calculée en additionnant arithmétiquement la composante signée « ouest-est » à la composante signée « sud-nord ». Cette variable, du fait de son orientation « nord-est », permet de quantifier le **phénomène de « compression-étirement »** qui a un rôle sur les déterminations des surfaces.

La représentation continue de ses deux variables permet de définir les points de rupture qui représentent les zones dans lesquels se produisent des variations de dérivée au niveau de l'intensité ou de la direction des vecteurs.

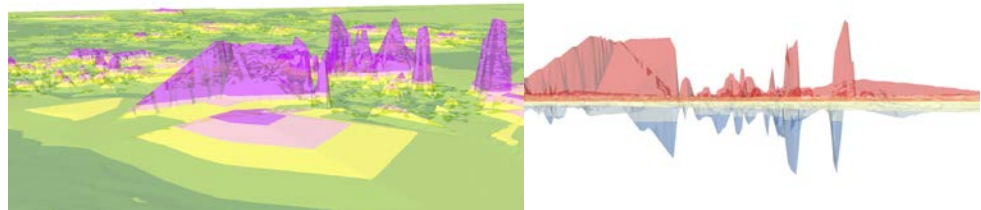


Fig. 1 : Vues en perspective des variables :  
à gauche : la dérivée de l'intensité  
à droite : le phénomène de compression (en bleu) et d'étirement (en rouge)

Ces cartes (Fig. 2) sont particulièrement intéressantes. En effet, par superposition de ces cartes avec les canevas polygonométriques, on peut définir les candidats PAT du FRENyx16. Les canevas polygonométriques (souvent les nœuds de polygonales) expliquent très bien ces variations (changement de dérivé) matérialisés par les points de rupture (Fig. 3).



Fig. 2 : Superposition de la dérivée de l'intensité avec les canevas polygonométriques. On remarque les lignes rouges des polygonales qui convergent avers un nœud se trouvant dans une zone avec une rupture de dérivée (zone jaune).



Deux phénomènes producteurs de tensions fribourgeoises sont traités plus ou moins correctement par cette identification du point de rupture :

- Tensions issues de **fautes de mesures, de reports ou de calculs** des mesures originales.
- Tensions issues de la **configuration de polygonales** :
  - ne permettant pas d'éliminer les erreurs instrumentales :
    - non-équidistance des points de polygones avec défaut d'alignement des axes de l'instrument ou de lecture à partir des traits réticulés,
    - polygonales coudés avec effet « bras de levier » lors de la compensation linéaire),
  - ne permettant pas de limiter la propagation des erreurs :
    - polygonales comportant trop de points de polygones entre les nœuds,
    - polygonales parallèles sans mesures transversales

Un processus itératif est nécessaire en vue du choix de points de rupture pertinents.

#### 5.4.2. Délimitation des secteurs MN95 et des limites cantonales

Afin de se prémunir des effets du FRENyx16 dans les secteurs MN95 et aux limites du Canton, on procède à la formation de triangles délimitant ces zones. Les triangles formés appartiennent au FRENyx16 mais réagissent exactement comme ceux du CHENyx06.

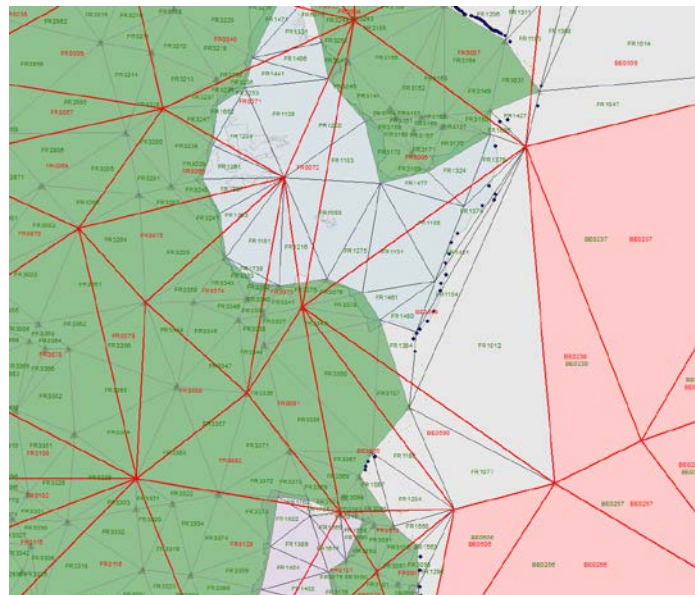


Fig. 3 : à droite, le CHENyx06 et le FRENyx16 sont identiques (triangles rouges et zone rouge). Au centre, la limite cantonale Bern-Fribourg, ainsi que les zones MN95 (St. Antoni) possèdent des triangles grisés (le FRENyx16 travaille comme le CHENyx06). A gauche, la zone verte avec les petits triangles verts éliminent les tensions.

#### 5.4.3. Densification du maillage pour réduire les tensions

La densification du FRENyx16 pour réduire les tensions est un processus itératif.

L'apport de l'expert sera très apprécié durant cette phase. Lors de la première rencontre, l'expert a évoqué l'influence de la forme des triangles sur le traitement des tensions locales.

Les travaux de densification ont été faits et sont prêts pour une vérification formelle de la part de l'expert.

On ne pourra pas densifier à l'extrême, mais cette étape règlera au mieux le phénomène producteur de tensions fribourgeoises suivant :

- Tensions issues de **mauvaises déterminations géométriques sur les points de rattachement des canevas** polygonométriques.

A la fin de cette étape, on disposera d'un maillage FRENyx16 capable de résoudre les tensions non négligeables sur une bonne partie des zones MN03. Le solde sera étudié avec le rapport final et la production d'une carte présentant les secteurs avec des tensions locales non négligeables en attendant les travaux de renouvellement (phase 2).

Cette procédure technique, notamment l'identification des points de rupture, a permis de réaliser le FRENyx16 en un temps record sans production manuelle des triangles.

De plus, contrairement au Canton de Bern, le maillage FRENyx16 a été appliqué sur l'ensemble des zones MN03, y compris celle présentant des tensions inférieures à 4 cm. On obtient ainsi un maillage homogène et cohérent qui permet de traiter le systématisme des tensions, indépendamment de la valeur limite de 4 cm préconisée par les normes et directives.

Ce choix, comme bien d'autres, s'est fait en collaboration avec l'expert qui, au-delà de la formation FRENyx16, sera intégré au groupe de décision pour la suite de la stratégie à appliquer sur la gestion des points fixes et des travaux à réaliser sur le territoire fribourgeois.

## 6. Considérations financières

Descriptif	Montant étape	Total étape
<b>Questionnaire</b>		
Comperio - Création du site	8'845.65	
Comperio - Lancement	1'036.80	
Comperio - maintenance	1'800.00	11'682.45
<b>Répose au questionnaire</b>		
Géomètre	50'000.00	
Géomètre - retard questionnaire	10'000.00	60'000.00
<b>Scannage des canevas</b>		
Géomètre - transport	1'900.00	
Plot 24 - scan	2'520.00	4'420.00
<b>Relevé des points limites</b>		
Ville de Fribourg - levé	16'650.00	
Géomètre - lever sur terrain	340'000.00	356'650.00
<b>FRENYX</b>		
SCG - analyse lever	0.00	
SCG - constitution FRENYX	0.00	0.00
<b>Programmation intégration</b>		
Expert fédéral	15'000.00	
Prestation Ken Gees (BDMO)	22'335.00	
MuM Praxis Paket	1'927.00	
Geosuite / DLL TransInt / Plug in FME	0.00	
Outil ArcGIS Topomat	24'192.00	
Outil Inser	6'000.00	
Frais dépliant	368.00	
Intégration Frenyx dans MuM TransInt	3'888.00	
Exploitation et support technique	2'160.00	
Appui Inser	20'000.00	95'870.00
<b>Total</b>	<b>528'622.45</b>	<b>528'622.45</b>

Grégoire Bögli  
Collaborateur scientifique EPF

### Annexes

- Rapport technique sur la migration de la BDMO
- Rapport final sur le contrôle du Frenyx16