

Suivi temporel de Fabas, forêt occitane de Haute-Garonne 2002 - 2019

*Par détection de changements 2D/3D via analyse d'une série temporelle de modèles
numériques de hauteur (MNH)*

Paul Faucher - Felipe Aguiar Martin - Tom Mervant



Sommaire

1. Introduction - Fabas, forêt occitane de Haute-Garonne.....	3
1.1 Situation de la forêt.....	3
1.1.1 Situation géographique et administrative.....	3
1.1.2 Situation biologique.....	4
1.2 Détection de changements	4
1.2.1 Suivi temporel pour détection de changements.....	4
1.2.2 Formulation de la détection de changements	4
1.2.3 Période d'étude.....	4
1.2.4 Méthodologie générale.....	5
2. Calcul et optimisation des modèles numériques de hauteur (MNH)	6
2.1 MNH initiaux	6
2.2 Mise en place de masques	6
2.3 Génération d'un modèleur	7
3. Traitements avancés à partir des modèles numériques de hauteur (MNH)	8
3.1 Différences de MNH par couple de dates	8
3.2 Valeur du paramètre d'exposition	10
3.3 Discrimination par essences	10
3.3.1 Courbes de croissance d'après les MNH	11
3.3.2 Courbes de croissance d'après les vrais changements identifiés par classification supervisée	13
4. Conclusion - une méthode de détection de changements fonctionnelle mais limitée par l'absence de certaines données.....	15
4.1 Détection de changements	15
4.2 Défaut de discrimination des espèces.....	15
4.3 Période considérée.....	15
4.4 Note sur les trouées.....	16
Annexes.....	17

1. Introduction - Fabas, forêt occitane de Haute-Garonne

La forêt de Fabas est ici retenue pour la mise en place d'une méthode de détection de changements par analyse d'une série temporelle de modèles numériques de hauteur (MNH) de 2002 à 2019.

1.1 Situation de la forêt

1.1.1 Situation géographique et administrative

La forêt de Fabas se situe en région Occitanie, dans le département de la Haute-Garonne, à une soixantaine de kilomètres au Sud-Ouest de Toulouse, la capitale régionale. La forêt s'étend sur 469 ha, soit près de 5 km², sur les communes de Salerm, Saint-André, et en majorité Fabas dont elle tire son nom. Elle se développe sur un espace collinéen marqué par un climat océanique perturbé par les Pyrénées et l'influence de la mer Méditerranée. Comme l'essentiel de la surface forestière française, la forêt de Fabas est une propriété privée. Le gestionnaire actuel, la Société Forestière du groupe Caisses des Dépôts et Consignations (SF CDC), exploite la forêt pour son bois.

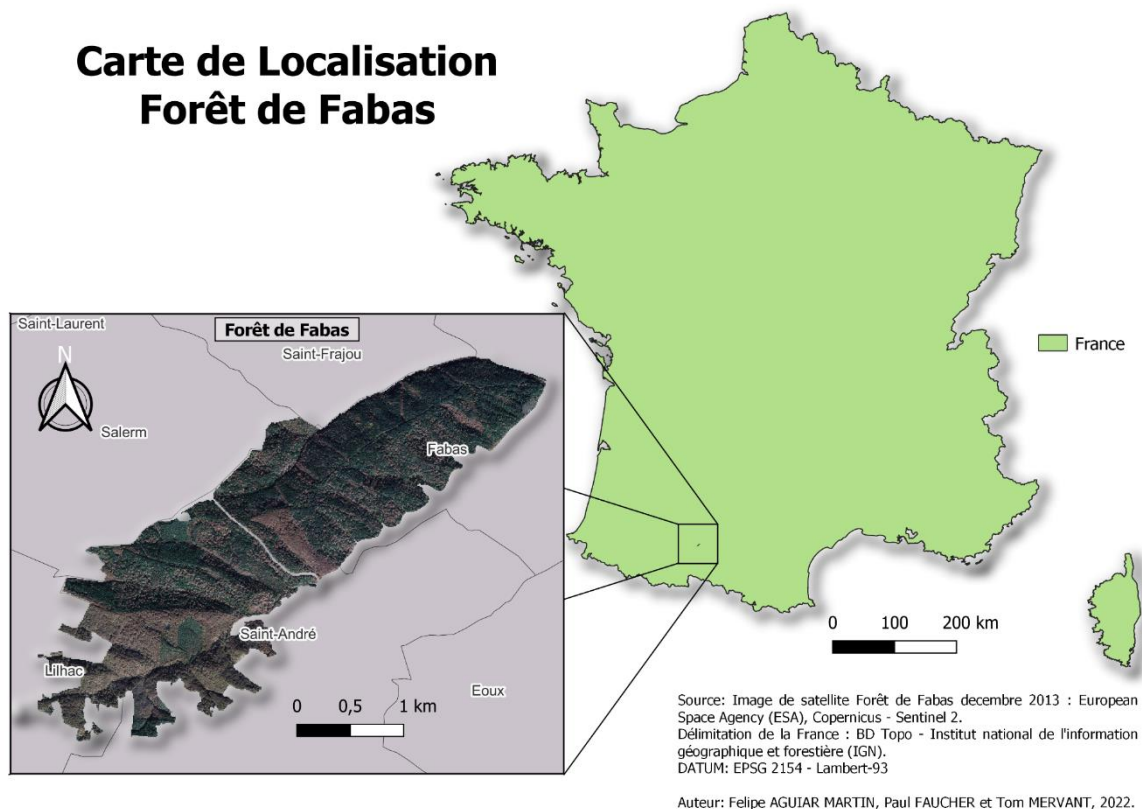


Figure 1 : Carte de localisation de la forêt de Fabas

1.1.2 Situation biologique

La forêt de Fabas est limitrophe des forêts communales de Lilhac et de Saint-André. Elle est concernée par un zonage non réglementaire en tant que zone naturelle d'intérêt faunistique et écologique (ZNIEFF) de type 1.

Historiquement, les feuillus de la famille des chênes sont majoritaires dans cette forêt comme pour l'essentiel de la surface forestière occitane.

La forêt a cependant fait l'objet depuis son acquisition en 1966 par l'ancien gestionnaire, la Société Civile Forestière de Fabas Saint-André (SCFAFA), d'un enrésinement interstitiel de différentes essences dont essentiellement du douglas et du pin, aux côtés d'autres essences plus résiduelles comme les mélèzes ou les épicéas qui se sont moins bien adaptées localement.

N.B : Certains résineux arrivant prochainement à maturité, notamment le douglas, essence originaire d'Amérique du Nord appréciée en tant que bois de construction, vont probablement faire l'objet de coupes localisées au cours de la décennie 2020.

1.2 Détection de changements

1.2.1 Suivi temporel pour détection de changements

La diversité biologique de ce massif forestier et les enjeux socio-économiques et environnementaux qui lui sont par conséquent associés permettent d'envisager avec intérêt un suivi temporel de la forêt de Fabas.

L'objectif de ce suivi temporel consiste à proposer une méthode de détection de changements applicable à différents écosystèmes forestiers (croissance par essence, structure verticale, éventuelles trouées...), à partir de modèles numériques de surface (MNS) et de terrain (MNT) de différentes dates.

1.2.2 Formulation de la détection de changements

Multiscale, la méthode de détection de changements proposée ici étudie d'une part le massif forestier dans son ensemble (croissance générale avec intégration du paramètre d'exposition), et s'intéresse d'autre part aux différentes essences du massif (courbes de croissance par essence permettant d'estimer l'année de plantation, avec intégration du paramètre d'exposition).

1.2.3 Période d'étude

La période retenue, de 2002 à 2019, est assez étendue pour détecter des changements naturels (croissance ou dépérissement résiduel) et anthropiques (coupes supposées), bien qu'elle ne couvre pas le cycle probable de coupes à venir au cours de la décennie 2020.

1.2.4 Méthodologie générale

Cette méthode de détection de changements repose sur le calcul de modèles numériques de hauteur (MNH), obtenus par soustraction des modèles numériques de surface (MNS) à un modèle numérique de terrain (MNT) de référence. Les MNH produits permettent ainsi d'estimer la structure verticale de la canopée, et donc d'en caractériser la croissance.

On dispose pour ce faire d'un jeu de données de base couvrant 5 dates (2002, 2010, 2013, 2016, et 2019) constitué d'un modèle numérique de surface pour chaque date ou d'un modèle numérique de hauteur déjà fourni comme pour 2010 et 2016 et d'un modèle numérique de terrain daté de 2016, non mis en cohérence (résolution spatiale, découpage...). La qualité des modèles mis à disposition dépend de la date de production, de la méthode et du capteur d'images utilisé. Certains modèles, comme celui de 2010 obtenu à partir d'un drone Lidar, sont affectés d'un bruit qui a fait l'objet de traitements spécifiques lors de la méthode de détection de changements (mise en place de masques).

Le calcul des MNH permet ensuite la mise en place de traitements avancés pour la détection de changements :

- Calcul des différences de MNH par couple de dates pour caractériser l'évolution verticale de la forêt
- Intégration du paramètre d'exposition
- Discrimination des essences

Pour la discrimination des essences, le jeu de données initial s'est enrichi d'une image satellite Pléiades de décembre 2013, ainsi que des données des deux versions en vigueur à la date de ce rapport de la BD Forêt de l'Institut Géographique National (IGN) et des données issues du dernier plan de gestion simple (PSG) de la forêt de Fabas (2018).

Une couche de masque centrée sur la forêt de Fabas et une seconde correspondant strictement à l'emprise de celle-ci complètent enfin le jeu de données initial.

L'ensemble des traitements utilisés pour cette méthode de détection de changements a été effectué sur **Qgis 3.22** et **Orfeo Toolbox 8.1.0**.

Ce projet a été défini et supervisé par M David Sheeren, enseignant-chercheur à L'ENSAT et directeur adjoint de l'UMR Dynafor "Dynamique et Ecologie des Paysages Agroforestiers".

2. Calcul et optimisation des modèles numériques de hauteur (MNH)

Les MNH constituent la base de la méthode de détection de changements applicable aux écosystèmes forestiers, et bien que leur calcul soit simple, il s'agit de les obtenir avec le moins de bruit possible, pour des résultats plus satisfaisants.

2.1 MNH initiaux

La mise en cohérence des données initiales suppose :

- La fusion des tuiles MNS de 2019 et le rééchantillonnage du MNS obtenu à 1m de résolution spatiale
- Un découpage selon une emprise égale : le masque fourni initialement, qui excède l'emprise réelle de Fabas, a d'abord été utilisé.

Les modèles numériques de surface (MNS) désormais mis en cohérence pour chaque date sont soustraits individuellement au modèle numérique de terrain de 2016 via la calculatrice raster. Cette différence permet d'identifier exclusivement les éléments à la surface du sol, comme le bâti ou la surface forestière.

Certains éléments, parmi lesquels le bâti et surtout les plans d'eau dont le lac de Saint-André qui jouxte la lisière Est de la forêt, ont tendance à fausser les MNH. Le MNH de 2013 présentait par exemple des valeurs s'échelonnant de -66 à +81, à la différence du MNH de 2010 pour lequel il s'agissait de 0 à +39.

2.2 Mise en place de masques

Un premier filtrage du bruit a été proposé en tentant d'isoler par classification non supervisée l'eau, particulièrement au niveau du lac de Saint-André, sans résultats satisfaisants. Cette démarche de classification s'est cependant avérée concluante en isolant l'eau par classification supervisée, puis en produisant une couche de masque par polygonisation. Une fois le masque appliqué aux MNH par découpage, la valeur des pixels anciennement affectés à l'eau a pu être paramétrée en *no data* grâce à l'outil convertir de la bibliothèque Gdal.

Le même MNH de 2013 affichait désormais des valeurs s'échelonnant de -5 à +38, tandis que celui de 2010 affichait 0 à +33.

Un bruit persistant, localisé notamment au niveau du bâti, se manifestait par exemple pour le MNH de 2016 par un maximum de +60. Ce bruit persistant a conduit à un nouveau cycle de traitement des MNH par le masque correspondant strictement à l'emprise de la forêt de Fabas. Jusqu'alors, le choix avait été fait de ne pas y recourir pour afin de prendre en compte la surface forestière éparse hors forêt de Fabas dans la détection de changements.

L'application de ce masque a permis de corriger nettement les valeurs de chaque MNH :

- 2002 : -15 à +28
- 2010 : 0 à +32
- 2013 : -1 à +35
- 2016 : 0 à +37
- 2019 : -1 à +35

2.3 Génération d'un modeleur

Afin d'automatiser l'obtention des MNH dans le cadre du présent projet et dans le cadre d'éventuels projets à venir relatifs à la forêt de Fabas, un modeleur a été mis en place sous Qgis 3.22 reprenant toutes les étapes de mise en cohérence des images entrantes ainsi que le calcul simple des MNH.

3. Traitements avancés à partir des modèles numériques de hauteur (MNH)

Indispensables à la mise en place de la méthode de détection de changements, les MNH fiables obtenus ont fait l'objet de traitements avancés selon trois paramètres identifiés en accord avec M D. Sheeren :

- Les différences de MNH par couple de dates (pour mesurer la croissance ou la décroissance de la surface forestière observée) et l'identification de "vrais changements" par classification non supervisée
- La prise en compte de l'exposition comme éventuel facteur de croissance ou de décroissance des arbres
- Une approche *spécifique*, au sens d'une discrimination de ces paramètres par essence d'arbre

Ces paramètres ont l'avantage d'être complémentaires, puisqu'une même essence d'arbre peut être étudiée selon l'exposition ainsi que les différences de MNH.

N.B : On s'en tient ici aux traitements avancés effectués d'après les MNH strictement découpés selon l'emprise de la forêt de Fabas, dans la mesure où il s'agit des MNH les plus fiables.

Certaines données, comme les différences de MNH à une échelle plus petite que l'emprise stricte de la forêt, sont mises à disposition (se référer au guide des données en annexe) mais demeurent obsolètes.

3.1 Différences de MNH par couple de dates

Pour calculer les différences de MNH, 5 couples de dates sont définis comme suit :

- 2002-2010
- 2010-2013
- 2013-2016
- 2016-2019
- 2002-2019

Soit une date par rapport à la date immédiatement antérieure pour des périodes plus courtes, et un couple de dates (2002-2019) proposant une détection de changements pour l'ensemble de la période d'études.

Chaque différence de MNH (calculée via la calculatrice raster), permet d'observer en soustrayant le MNH d'une date donnée à celui d'une date antérieure la croissance et la décroissance (en mètre) des espaces forestiers de la forêt de Fabas :

- 2010 - 2002 : -26.7m à +34.4m
- 2013 - 2010 : -32.3m +34.3m
- 2016 - 2013 : -28.8m +37.7m
- 2019 - 2016 : -37.8m +28.5m

- 2019 - 2002 : -25.3m +36.2m

Des zones où la décroissance est nette ont pu ainsi être identifiées.

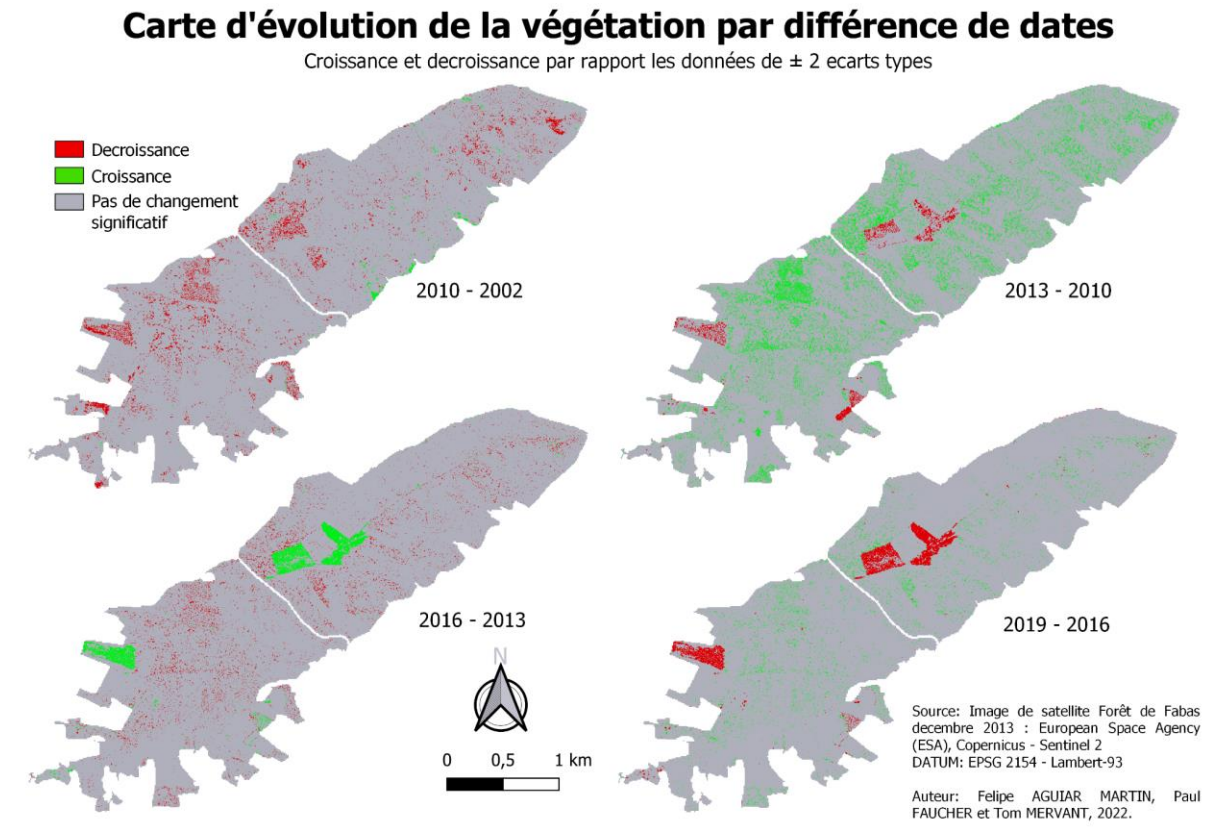


Figure 2 : Carte de différence de MNH par couple de dates

Afin d'optimiser la méthode de détection de changements, on cherche à identifier parmi ces données relatives aux différences de MNH les "*vrais changements*", ou changements les plus significatifs, afin de dépolluer les données d'éventuels faux-positifs ou faux-négatifs. À cet effet, on propose d'isoler les valeurs supérieures à deux écarts-types de part et d'autre de la moyenne par classification non supervisée via la calculatrice raster. L'écart-type de chaque différence de MNH est obtenu dans le fichier html produit par l'outil *raster layer statistics*. Les classifications non supervisées sont ensuite effectuées d'après la nomenclature suivante :

- Valeurs inférieures à deux écarts-types de part et d'autre de la moyenne : classe **0** (faux-positifs et faux-négatifs supposés)
- Valeurs supérieures à deux écarts-types dans les valeurs négatives : classe **1** (décroissance supposée)
- Valeurs supérieures à deux écarts-types dans les valeurs positives : classe **2** (croissance supposée)

L'isolement de "*vrais changements*" supposés permet notamment d'évaluer *a priori* plus justement la croissance et la décroissance d'une surface forestière donnée.

3.2 Valeur du paramètre d'exposition

Compte tenu du caractère collinéen de l'espace sur lequel est implantée la forêt de Fabas, la prise de compte de l'exposition peut s'avérer pertinente pour optimiser la méthode de détection de changements.

Le MNT de 2016 travaillé avec l'outil "aspect" de la bibliothèque SAGA permet d'obtenir le paramètre d'exposition. Deux masques attribués respectivement aux versants Nords et aux versants Suds peuvent ainsi être obtenus. L'extension temporal/spectral profile permet ensuite, en confrontant les masques d'orientation obtenus et les différences de MNH préalablement découpées selon ces masques, de détecter les changements dans la surface forestière à titre général en intégrant le paramètre d'exposition. Les "vrais changements", définis ici comme supérieurs à deux écarts-types de part et d'autre de la moyenne, ont été obtenus par classification non supervisée à partir des statistiques générées par l'extension temporal/spectral profile.

Les courbes de croissance d'orientation établies d'après la moyenne des statistiques générées donnent à voir un quasi-chevauchement des courbes des versants Nords et des versants Suds. Les versants Suds semblent néanmoins prévaloir de peu, à l'exception de la période 2013-2016, où la tendance est à la décroissance pour les deux courbes, jusqu'en 2016 où celle des versants Suds est inférieure à celle des versants Nords, ce qui laisse supposer d'éventuelles coupes ou un dépérissement d'une autre nature à l'échelle de certains peuplements (pas de surface forestière clairement définie d'après la carte).

3.3 Discrimination par essences

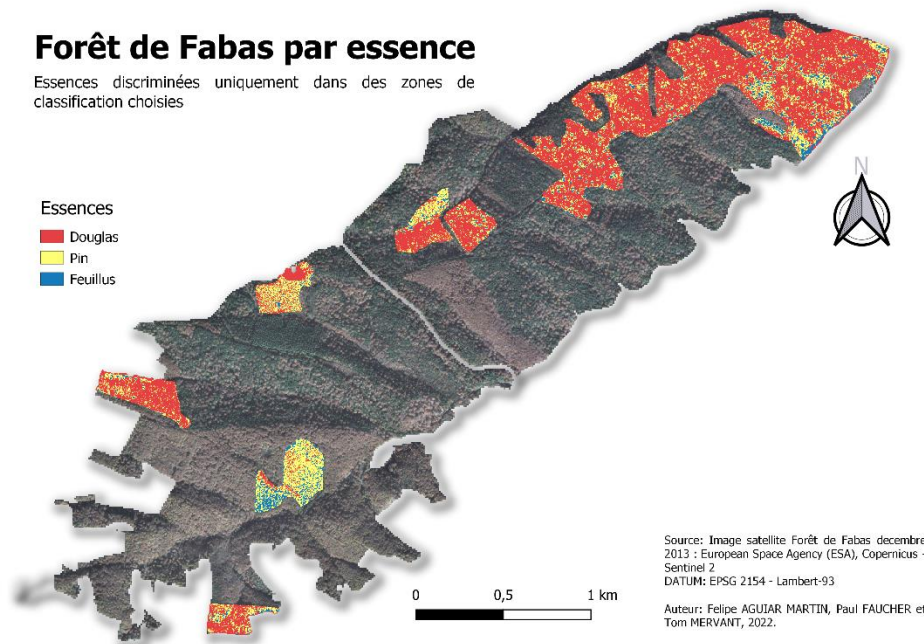
Si les feuillus, notamment grâce à l'image Pléiades de décembre 2013, sont facilement identifiables, la dizaine d'essences de résineux implantée de façon éparse dans la forêt de Fabas pose un problème d'identification. Le douglas et le pin laricio, qui d'après le rapport de l'ONF daté du 27/12/2000 sont les résineux les mieux portants dans la forêt, sont les populations résineuses les plus représentées (219 ha de douglas sur 470 ha de forêt au total d'après ce rapport). Visuellement certaines portions de la forêt semblent clairement exprimées la prévalence d'une essence de résineux (notamment du douglas) sur une autre (comme les zones identifiées par différences de MNH), mais la plupart des essences de résineux sont en fait exprimées irrégulièrement dans la forêt, compliquant leur identification, comme le confirme la complexité des données vectorielles du dernier plan simple de gestion de la forêt.

Pour procéder à une discrimination effective des essences, les données de la BD forêt de l'IGN ont l'avantage d'attribuer de façon plus exclusive des portions de la forêt à des essences données. En comparant les données de la BD forêt avec les données obtenues par différences de MNH, on est en mesure d'identifier des zones dans lesquelles on suppose que les essences de résineux sont mieux définies. C'est la raison pour laquelle la discrimination des essences repose ici sur une zone d'étude plus fine de la forêt de Fabas établie d'après la BD forêt que vient confirmer les données obtenues jusqu'alors (MNH et différences de MNH), qui correspond aux espaces où le douglas (219 ha) et le pin laricio (37 ha) sont supposés être le plus représentés. L'image Pléiades de décembre 2013 permet enfin d'observer une différence éloquent de teinte de vert entre les zones identifiées comme du douglas et celles

identifiées comme du pin laricio. Ce procédé permet de minimiser l'inclusion d'autres peuplements de résineux comme le mélèze ou l'épicéa.

Un nouveau masque vectoriel est ainsi généré, à partir duquel l'image Pléiades de décembre 2013 est découpée, ce qui permet ensuite d'établir une classification supervisée de la zone retenue s'organisant d'après la nomenclature suivante :

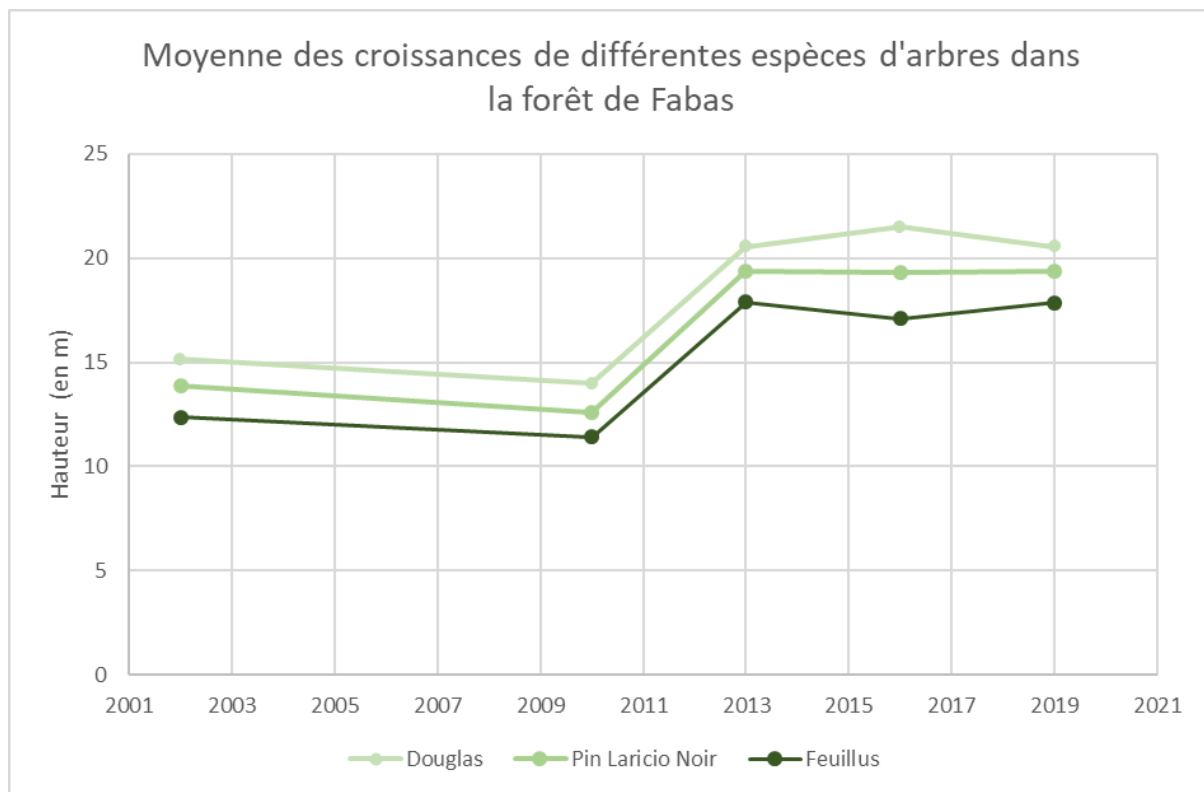
- Douglas : classe 1
- Pin laricio : classe 2
- Feuillus : classe 3



Les populations d'arbres étudiées sont donc les trois les plus représentées (350 ha sur 470 ha), et la zone retenue permet *a priori* de limiter les erreurs de la classification supervisée. L'isolement des classes par classification non supervisée via la calculatrice raster, et leur polygonisation pour obtenir de nouveaux masques par essence d'arbre, permet ensuite de recourir à l'extension temporel/spectral profile, par laquelle les masques ainsi produits par essence d'arbre sont mis en relation avec un fichier raster donné, MNH ou différence de MNH, afin d'obtenir des statistiques permettant de mesurer une détection de changements spécifique.

3.3.1 Courbes de croissance d'après les MNH

Pour ces trois catégories d'arbres identifiées, les feuillus à titre général ainsi que le douglas et le pin laricio pour les essences de résineux, des courbes de croissance peuvent être mises en place à partir des MNH à l'échelle de la zone retenue.



Ces courbes donnent à voir une tendance similaire, davantage exprimée pour les essences de résineux. Cette tendance introduit un pic de croissance entre 2010 et 2013 avec un gain de 5m environ pour chacune des catégories d'arbre à l'étude. On peut faire l'hypothèse de conditions climatiques propices au développement de ces peuplements pendant ces années, et ce malgré la sécheresse enregistrée en France en 2011.

Il est possible d'estimer, à partir de ces courbes, l'année de plantation pour chaque catégorie d'arbre à l'étude, en partant du principe que leur croissance respective ait été linéaire.

Pour y correspondant à la hauteur en mètre et x correspondant à l'année, les courbes de tendance calculées à partir des courbes de croissance donnent les équations à une inconnue suivantes :

Douglas : $y = 0,4191x - 824,9$

Pin Laricio : $y = 0,4025x - 792,99$

Feuillus : $y = 0,3819x - 753$

La résolution de ces équations permet d'obtenir les dates de plantation supposées pour chaque catégorie d'arbre à l'étude :

Douglas : $x \approx 1968$

Pin Laricio : $x \approx 1970$

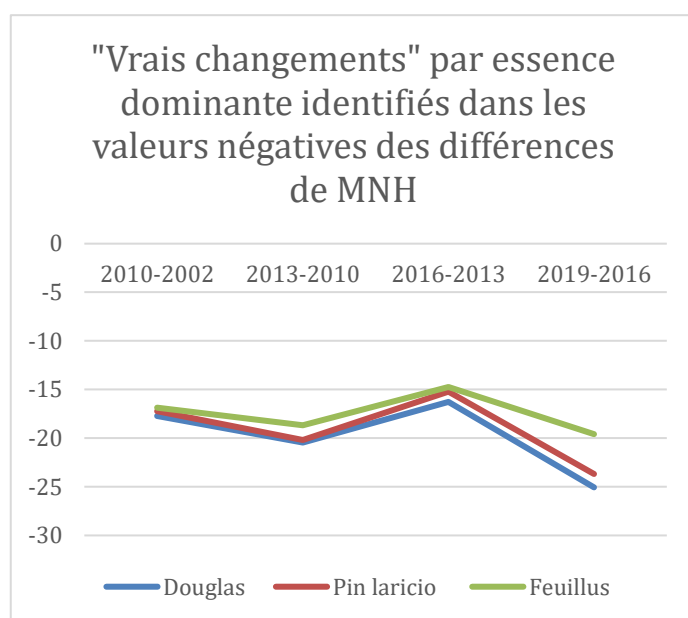
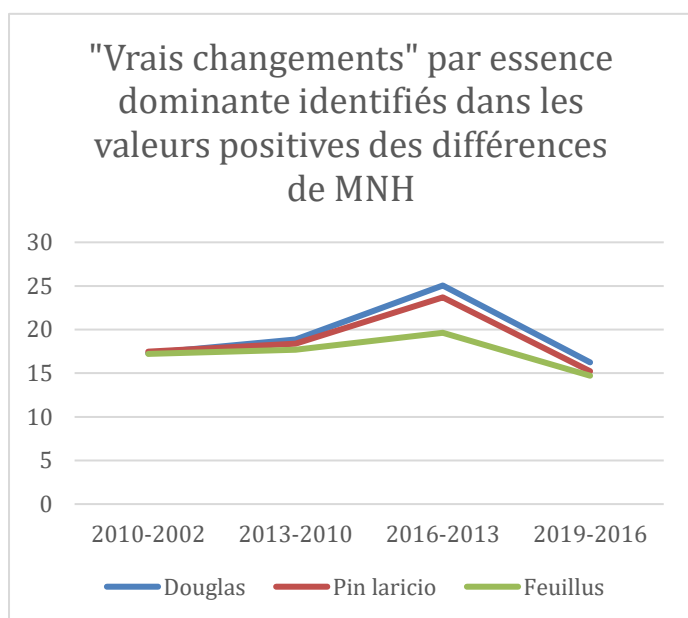
Feuillus : $x \approx 1971$

Ces dates de plantation supposées, en tout cas en ce qui concerne les essences de résineux, semblent cohérentes dans la mesure où elles se situent après la date d'acquisition de la forêt de Fabas par la SCFAFA en 1966, date à partir de laquelle l'enrésinement pour la sylviculture aurait commencé.

3.3.2 Courbes de croissance d'après les vrais changements identifiés par classification supervisée

Une détection de changements par essence selon les "vrais changements" identifiés comme correspondant aux valeurs supérieures à deux écarts-types de part et d'autre de la moyenne a pu aussi être mise en place. Elle suppose d'isoler d'abord les deux classes relatives aux vrais changements dans les valeurs positives (croissance supposée) et dans les valeurs négatives (décroissance supposée) via la calculatrice raster, puis de les polygoniser pour chaque couple de dates (soit 4 dans les valeurs négatives, et 4 dans les valeurs positives, le couple 2019-2002 étant exclu) afin d'obtenir un masque vectoriel par lequel les différences de MNH sont découpées pour être finalement confrontées aux masques d'essences grâce à l'extension temporal/spectral profile.

Deux systèmes de courbes de croissance, l'un pour les valeurs positives, l'autre pour les valeurs négatives, sont ainsi mis en place, proposant une courbe de croissance pour chacune des trois essences dominantes de la forêt de Fabas identifiées précédemment, le douglas, les feuillus, le pin laricio.



Ces courbes donnent à voir une tendance similaire, avec un maximum de croissance pour chaque essence pendant la période 2013-2016, suivi d'une baisse maximale entre 2016-2019, qui semble affecter plus spécifiquement les peuplements de résineux à l'étude. Il peut s'agir d'une marque d'exploitation des résineux, que confirment visuellement les cartes mettant en évidence des zones bien déterminées dans lesquelles le douglas et le pin semblent décroître. Les feuillus quant à eux, bien qu'ils suivent la tendance des résineux à l'étude, donnent à voir des courbes dont les inflexions sont moins soutenues.

Plusieurs hypothèses pourraient être formulées quant à ces inflexions dans les courbes de tendance :

- Un facteur anthropique simple : le gestionnaire privé exploite les peuplements de résineux qu'il a plantés pour en commercialiser le bois, il pourrait donc s'agir, en tout cas pour les zones bien définies visuellement, de coupes.
- Des facteurs non anthropiques : le rapport de l'ONF met notamment en évidence le fait que certaines populations de résineux, comme le douglas, pourraient être particulièrement affectées par d'éventuelles sécheresses (sécheresses notables de 2018 et 2019 en France). Ce rapport met aussi en évidence la vulnérabilité des pins implantés dans la forêt au parasitage.

4. Conclusion - une méthode de détection de changements fonctionnelle mais limitée par l'absence de certaines données

4.1 Détection de changements

Des changements ont effectivement été détectés à l'échelle de la forêt de Fabas entre 2002 et 2019 par la méthode de détection de changements mise en place dans le cadre de cette étude. Ces changements se rapportent à l'ensemble des arbres identifiés dans cette étude, le douglas, le pin laricio, et la catégorie générale des feuillus. Bien que quelle que soit l'essence considérée, ces changements suivent une tendance similaire, ceux des peuplements de résineux apparaissent davantage marqués. À cette différence observée plusieurs hypothèses ont été formulées, l'une proposant de considérer des coupes réalisées par le gestionnaire actuel de la forêt, notamment à l'échelle des parcelles forestières bien définies, l'autre proposant de considérer que ces peuplements de résineux, non endémiques, ont pu être davantage affectés par des épisodes de sécheresse ou du parasitage comme dans le cas du pin laricio.

4.2 Défaut de discrimination des espèces

Le paysage des changements détectés à l'échelle de la forêt de Fabas est néanmoins tronqué puisqu'il comporte seulement les essences les mieux portantes et les plus développées. Il aurait en effet été intéressant de pouvoir discriminer une ou plusieurs essences de résineux montrant des signes de dépérissement (d'après le rapport de l'ONF de 2000) comme le mélèze ou l'épicéa. Cette discrimination supposerait certainement l'obtention de données plus détaillées (comme des données de terrain) relativement à ces essences, dans la mesure où une classification supervisée ne permettait pas de discriminer l'ensemble des peuplements de résineux en présence.

4.3 Période considérée

Compte tenu des dates de plantation estimées par les courbes de croissance, les peuplements de résineux identifiés ont encore une marge de développement. L'altitude maximale enregistrée avoisine les 40m, or le pin laricio et surtout le douglas peuvent atteindre 60m de haut.

Si la période 2002-2019 a pu donner à voir des signes de décroissance potentiellement relatifs à des coupes localisées, il se pourrait, vu que l'enrésinement de la forêt de Fabas a eu lieu dans les années 1960, que des coupes plus importantes aient lieu dans les décennies à venir, que la méthode de détection de changements proposée dans le cadre de cette étude serait en mesure d'appréhender pour les catégories d'arbres déjà retenues.

4.4 Note sur les trouées

La méthode de détection de changements n'inclut pas en l'état d'analyses statistiques spécifiques aux *trouées* via l'outil R dédié *Forest-GapR* comme proposé dans la feuille liminaire au projet. Cette lacune peut s'expliquer par la priorité accordée au développement de la méthode de détection par essence d'arbre dans le temps imparti. L'inclusion de la détection automatique des trouées enrichirait néanmoins les données obtenues au terme de cette étude.

Annexes

Bibliographie et sitographie supports :

Concernant la forêt de Fabas

- <https://www.ladepeche.fr/2021/11/03/interrogation-des-elus-sur-le-devenir-de-la-foret-de-fabas-9905631.php> (article d'un journal local introduisant les enjeux en 2021 de la gestion de la forêt de Fabas)
- <https://www.forestiere-cdc.fr/la-societe-forestiere/qui-sommes-nous.html> (le site du gestionnaire actuel)
- Rapport de l'ONF du 27 décembre 2000

Dendrologie

Historique

- <https://www.onf.fr/onf/forets-et-espaces-naturels/+/20::les-forets-de-nos-territoires.html> (tour d'horizon des forêts françaises)
- <https://www.onf.fr/vivre-la-foret/forets-de-france/++fvt++F25220Z/+/75::onf-en-occitanie.html> (tour d'horizon des forêts occitanes)

Biologie

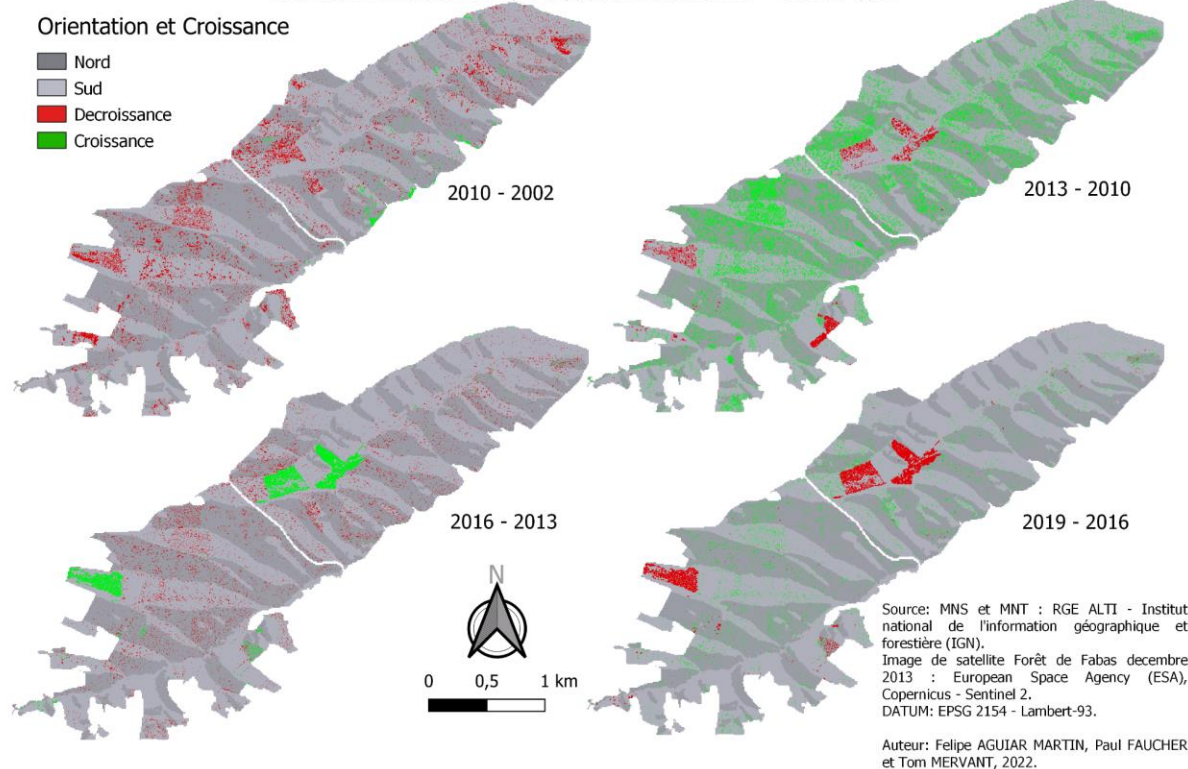
- Margot et Roland Spohn, 350 arbres et arbustes (Europe)
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Pseudotsuga_menziesii (douglas)
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Pinus_nigra (pin noir et variétés assimilées)

Climatologie

- <https://www.ouest-france.fr/meteo/secheresse/chronologie-de-1976-2019-la-france-face-plusieurs-secheresses-memorables-6457384> (brève chronologie des sécheresses connues en France recoupant la période d'étude du projet de suivi temporel)

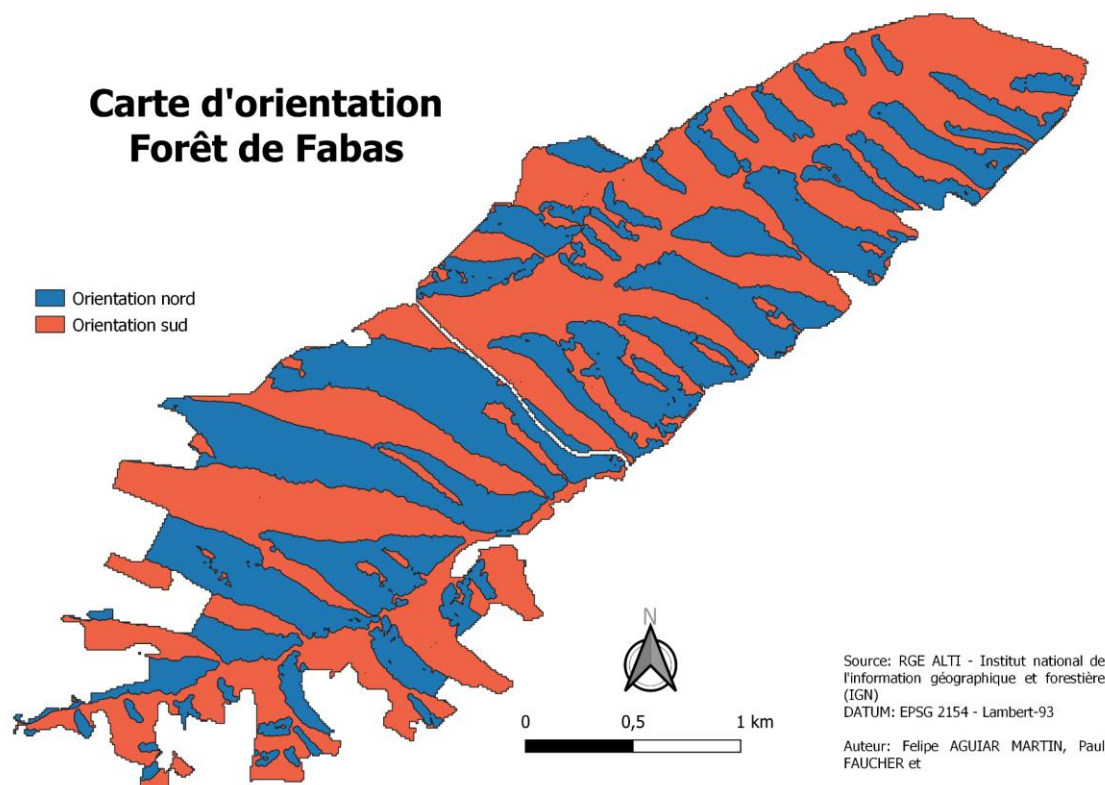
Carte d'évolution de la végétation par orientation

Croissance et décroissance par rapport les données de ± 2 écarts types



Annexe 1 : Carte d'évolution de la végétation par orientation

Carte d'orientation Forêt de Fabas



Annexe 2 : Carte des orientations dans la forêt de Fabas

Détection de changements 2D/3D par analyse d'une série temporelle de MNS

Application aux écosystèmes forestiers

– Projet Master 1 SIGMA –

1 Contexte et objectifs

La multiplication des capteurs de télédétection, qu'ils soient satellitaires ou aéroportés, permet d'envisager aujourd'hui de suivre l'évolution des territoires non seulement dans leur composition et organisation spatiale (ex. changement d'occupation des sols) mais aussi, dans leur structure verticale (ex. croissance en hauteur de la végétation). Ainsi, les Modèles Numériques de Surface (MNS) associés à des Modèles Numériques de Terrain (MNT) permettent de générer des Modèles Numériques de Hauteur (MNH) très utiles pour caractériser les dimensions 3D du bâti ou la structure verticale de la canopée. En combinant ces données à différentes dates, il est possible de rendre compte des évolutions d'un paysage et d'analyser plus finement certains processus naturels ou anthropiques à l'oeuvre (apparitions de nouvelles constructions, arrachage de haies, coupes...).

Le travail proposé a un double objectif. D'une part, il s'agit de mettre en place une méthodologie pour détecter les changements dans les écosystèmes forestiers (massifs et arbres hors forêts) à partir de plusieurs MNS fournis à différentes dates. D'autre part, pour une date donnée, il s'agit de caractériser la structure verticale de la végétation et détecter les trouées au sein des peuplements.

Pour le premier objectif, plusieurs étapes seront nécessaires :

1. Production du MNH pour chaque date par soustraction du MNT au MNS ; mise en cohérence des MNH (taille, résolution spatiale)
2. Détection de changements bi-dates entre MNH (analyse par couple de dates) ; masquage pour ne conserver que les forêts et arbres hors forêts
3. Caractérisation des changements (stabilité, rupture, évolution graduelle) avec filtrage des faux positifs
4. Analyse de la dynamique de croissance observée dans certains massifs

Pour le second objectif, l'analyse du MNH sera menée pour chaque date, en définissant une méthode sous SIG ou en s'aidant d'un package R dédié (**Forest-GapR**) permettant également une analyse statistique des trouées.

2 Moyens et conditions de réalisation

Le territoire d'étude est un paysage agri-forestier du Sud-Ouest, dans le canton d'Aurignac, incluant plusieurs communes et le massif forestier de Fabas. Les données disponibles sont les suivantes :

- Un MNS datant de 2002 obtenu via un couple d'images aériennes stéréoscopiques IGN
- Un MNS datant de 2010 obtenu via un relevé LiDAR aéroporté
- Un MNS datant de 2013 obtenu via un couple d'images satellitaires stéréoscopiques Pléiades
- Un MNS datant de 2016 obtenu via un relevé LiDAR aéroporté
- Un MNS datant de 2019 obtenu via un couple d'images aériennes stéréoscopiques IGN

La démarche d'analyse sera principalement menée sous QGIS ou ArcGIS Pro. L'analyse des trouées pourra se faire sous R.

Le projet sera encadré par D. Sheeren (INP-ENSAT/DYNAFOR).
Ce projet peut accueillir 2 à 3 étudiants.

guide d'utilisation des données *détection de changements – suivi temporel de la forêt de Fabas*

Les données mises à disposition (MNH_FABAS) différencient :

❖ les **métadonnées** (data_ori)

- ensemble des métadonnées de base (MNS, MNT et MNH d'origine)
- métadonnées *spécifiques* (essences, dont BDFORET de l'IGN et dernier PSG en date de FABAS)
- bibliographie (feuille d'introduction du sujet, rapport de l'ONF)

❖ les **données produites** (data_prod)

- les MNH (MNH) : à l'échelle de l'emprise réelle de la forêt de Fabas (MNH_FABAS) comme à plus petite échelle (MNH_GEN) incluant les versions précédentes bruitées (MNH_former)
- les traitements faits à partir des MNH (PROCESSING) organisés selon
 1. l'échelle d'étude : grande échelle (ROI_FABAS_FOCUS) et petite échelle (ROI_GEN)
 2. la nature des traitements : classifications dont données sur les essences pour l'étude à grande échelle (CLASSIF) et différences de MNH (DIFF), ainsi que les masques utilisés pour dépolluer les images du bruit
- un modeleur automatisant l'obtention des MNH

Compte rendu de réunion du 18/10/2022

I. Résumé de ce qui a été réalisé :

Calcul d'un MNH : MNS – MNT

Nous avons donc commencé par faire l'état des lieux des données qui nous ont été fournies (type, emprise, résolution, src) avec pour objectif de produire l'ensemble de nos MNH avec une résolution à 1m (pour limiter les temps de traitements) et de les mettre avec l'EPSG : 2154.

2010 : le MNH étant déjà calculé, il a été découpé sur la zone de Fabas. → MNH prêt

2013 : le MNS a été découpé sur la zone de la forêt de Fabas puis a été reprojeté en 2154 afin d'avoir l'ensemble de nos données dans ce système de projection. Puis, le MNH a été calculé à partir du MNT découpé issu des données de 2016. → MNH prêt

2016 : le MNH étant déjà calculé, il a été découpé sur la zone de Fabas. → MNH prêt

2019 : le MNS a été découpé sur la zone de la forêt de Fabas puis a été reprojeté en 2154 afin d'avoir l'ensemble de nos données dans ce système de projection. Nous avons ensuite rééchantillonné notre MNS à 1m notre MNS. Puis, le MNH a été calculé à partir du MNT. → MNH prêt

II. Résumé de la réunion

Nous allons vérifier la méthode utilisée pour le rééchantillonnage afin de réaliser le traitement de rééchantillonnage avec la méthode du plus proche voisin.

Ensuite, suite à certains MNS bruités, nous obtenons des valeurs incohérentes essentiellement au niveau de l'eau. Pour pallier cela, nous allons affecter la valeur -1 sur ces valeurs en utilisant un masque.

III. Suite du projet

Pour la zone de Fabas :

- Finalisation des traitements pour obtenir les MNH
- Réalisation des calculs de différences entre les différentes dates
- Analyse et interprétation des résultats obtenus

Compte Rendu de réunion du 8/11/2022

I. Résumé de ce qui a été réalisé

Comme nous l'avions énoncé lors de la réunion précédente, nous nous étions rendu compte que certains MNH présentaient des zones avec des valeurs bruitées. Nous en avons identifié une grande partie sur les zones d'eau. En partant d'une image utilisée dans un TP de télédétection, une classification a été réalisée afin d'extraire les zones d'eau. Une fois ces zones extraites, nous avons pu soustraire ces zones à nos MNH. Cela a permis une bonne amélioration de nos données.

Une fois nos MNH améliorés, les calculs de différences entre les MNH des différentes dates ont été réalisés. Grâce à ces différences, nous avons analysé visuellement ces nouvelles images et certaines zones de changements sont apparues. Nous avons défini des polygones sur ces zones afin d'obtenir une première analyse de l'évolution de la forêt de Fabas. Nous avons extrait les stats de ces zones et les avons mises en pages afin de les analyser.

Un premier test de classification avec les écarts types afin d'observer les « vrais changements » nous a permis de voir qu'ils sont eux aussi faussés à cause du bruit sur nos images.

II. Résumé de la réunion

Nous allons réaliser un focus sur la végétation et donc uniquement sur la forêt. L'objectif est de nettoyer nos valeurs aberrantes sur cette zone. 3 possibilités pour cela :

- Utiliser la valeur médiane de la forêt pour l'affecter aux pixels erronés
- On affecte une valeur spécifique aux pixels erronés : ils seront non corrigés mais on les localisera sur notre image
- On repart de nos images de différences et on réalise une classification avec les écarts types mais en les calculant à partir de la médiane pour réduire l'impact des pixels erronés

Par la suite nous réaliserons des statistiques de croissance en fonction des espèces d'arbres mais aussi de leur exposition. Nous mettrons également en page des cartes de changements (positif/négatif) sur la forêt.

M. Sheeren nous fournira les données sur les essences d'arbres.

III. Suite du projet

Pour la forêt de Fabas :

- Nettoyage des images pour réduire l'impact des pixels erronés
- Statistiques de croissance en fonction des essences et des expositions
- Réalisation de cartes de changements
- Finalisation des premiers modèles Builder