

# Analyse des séries temporelles d'image Sentinel-2 pour la détection des épicéas scolytés.

ULG - Gembloux Agro-Bio Tech  
August 31, 2021

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Sentinel-2 . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>3</b>
2.1	Suivi d'un indice spectral pour la détection précoce de stress .	3
2.2	Ensemble de règles pour attribuer un état sanitaire . . . . .	5
2.3	Illustrations . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Le logiciel s2_timeSerie</b>	<b>7</b>
3.1	Organisation du code source . . . . .	14
3.2	La classe <b>catalogue</b> . . . . .	14
3.3	La classe <b>tuileS2OneDate</b> . . . . .	16
3.4	La classe <b>TS1Pos</b> . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Les post-traitements avec s2_postProcess</b>	<b>17</b>

## 1 Introduction

Dans le cadre du projet InterReg RegioWood 2 et de l'Accord cadre de recherche et vulgarisation forestière, la crise du Typographe qui touche les

pessières wallonnes est étudiée au moyen de la télédétection. L'objectif est de dresser des cartes d'état sanitaire pour chaque année étudiée sur lesquelles on puisse distinguer les arbres sains des arbres dépréssants. L'utilisation de série temporelle d'images satellites dispose d'un potentiel très intéressant pour le suivi de la phénologie des arbres.

## 1.1 Sentinel-2

L'imagerie multispectrale des deux satellites Sentinel-2 (A et B, mis en orbite en juin 2015 et mars 2017) du programme Copernicus est à la base de la méthodologie présenté dans ce document. La résolution des bandes spectrales de Sentinel-2 est de 10 mètres dans le meilleurs des cas (certaines fréquences utilisées pour le suivi sanitaire sont captées à 20 mètres). La fréquence de revisite à l'équateur est de 5 jours, mais on dispose en Belgique de l'ordre d'une 12aine de prises de vue par ans pour lesquelles la couverture nuageuse est suffisamment faible. Les prises de vue font l'objet de traitement et sont redécoupées selon un carroyage de tuile (figure 1). Le shapefile des tuiles et des centroïdes sont disponible sous <https://github.com/justinelliottmeyers/Sentinel-2-Shapefile-Index>.

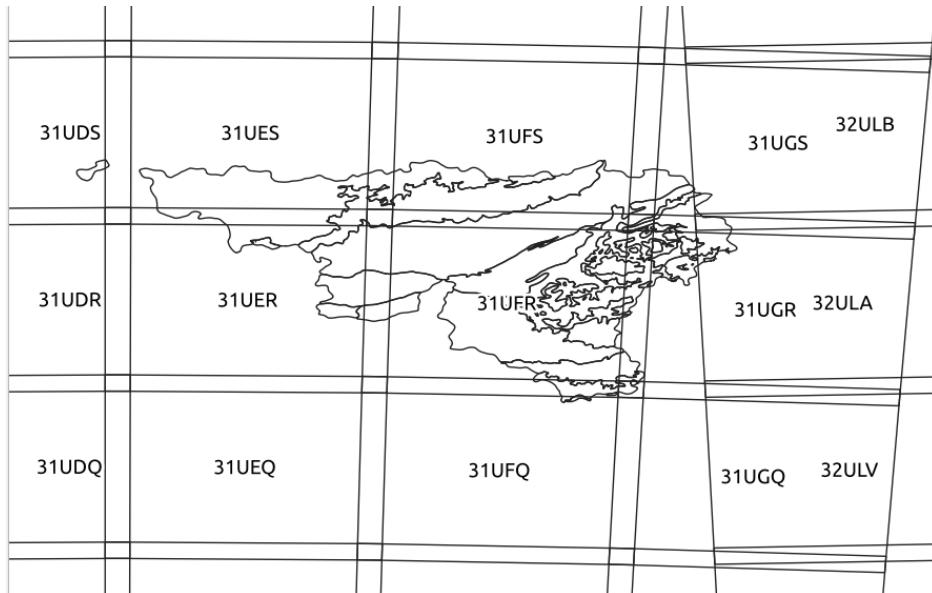


Figure 1: La Wallonie est couverte par un total de 8 tuiles Sentinel-2, mais la tuile 31UFR couvre à elle seule une majorité de l'Ardenne Belge.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Suivi d'un indice spectral pour la détection précoce de stress

L'idée générale est de se calquer sur la méthodologie de l'INRAE (INRAE, UMR TETIS, R. Dutrieux, K. Ose, J.-B. Féret) développée depuis 2017.

L'indice spectral permettant la détection précoce (stade vert du dépérissement) des dépérissements provoqués par l'attaque de Typographes est le CRSWIR :

$$CR_{SWRIR} = \frac{SWIR1}{(NIRa + (\lambda_{SWIR1} - \lambda_{NIRa}) * (\frac{SWIR2 - NIRa}{\lambda_{SWIR2} - \lambda_{NIRa}}))}$$

avec

$$\lambda_{NIRa} = 865$$

$$\lambda_{SWIR1} = 1610$$

$$\lambda_{SWIR2} = 2190$$

A noter que CR est l'acronyme de Complex Ratio. Les valeurs d'un peuplement soumis à un stress physiologique voient leur CRSWIR augmenter de manière précoce.

$$f(t) = a_1 + b_1 \sin(\frac{2\pi}{T}t) + b_2 \cos(\frac{2\pi}{T}t) + b_3 \sin(\frac{2\pi}{T}2t) + b_4 \cos(\frac{2\pi}{T}2t) \quad (1)$$

L'équation 1 permet de modéliser les variations saisonnières de CRSWIR pour un peuplement d'épicéa sain. La constante T est égal à 365.25. Cette équation ajustée sur 300 pessières saines est illustrée pour 3 années sur la figure 2. Pour un pixel donnée, l'étude de la série temporelle de valeurs de CRSWIR, correspondant donc à chaque date pour lesquelles une image Sentinel-2 peu ennuagée est disponible, permet de déterminer si le peuplement est soumis à un stress. Plusieurs situations existent en dehors de celle d'une pessière saine et de celle d'une pessières scolytées. En effet, il est également nécessaire de déterminer si le peuplement est coupé (détection de sol nu), ou si le peuplement présente un stress temporaire dû probablement à un déficit hydrique temporaire. Les pessières sur des sols à Régime Hydrique Alternatif sont fortement représentatif de cette dernière situation, avec

typiquement un déficit hydrique estival entraînant un stress passager qui se manifestera par une augmentation de CRSWIR, mais qui se différencie d'une attaque de scolyte par un retour à un état sanitaire normal (diminution du CRSWIR) peu de temps après.

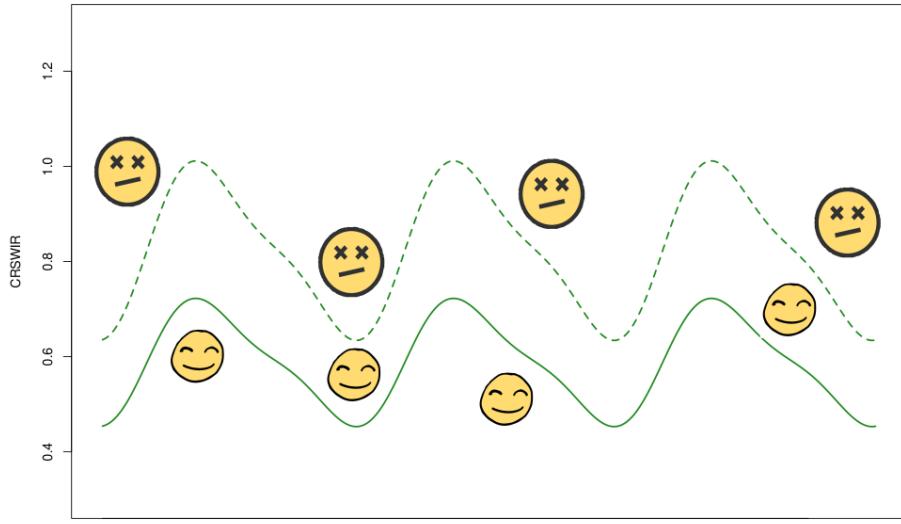


Figure 2: L'indice CRSWIR pour un peuplement sain varie durant l'année selon une fonction harmonique (trait plein en vert sur la figure). Un arbre dépérissant va présenter une valeur de CRSWIR qui sera supérieure à la normale. On décide arbitrairement que les valeurs qui dépassent la courbe en pointillé sont considérées comme représentative d'un stress.

Afin de faciliter la comparaison d'une valeur de CRSWIR pour une date donnée avec la valeur de référence, qui est la valeur de CRSWIR d'une pessière saine représenté par l'équation 1, nous utilisons un ratio tels que défini ci-dessous :

$$CR_{SWRIR_{norm}}(t) = \frac{CRSWIR_{observe}}{CRSWIR_{theorique}(t)} \quad (2)$$

le  $CRSWIR_{theorique}(t)$  représente bien entendu la valeur calculée au moyen de l'équation 2. Le CRSWIR normalisé est donc un ratio qui, lorsque sa valeur est de 1, représente l'état typique d'une pessière saine, et lorsqu'il dépasse un certain seuil (fixé entre 1.5 et 1.7), est considéré comme représentatif

d'un stress végétatif. Une fois le CRSWIR normalisé calculé pour chaque date de prise de vue, la suite des traitements peut s'effectuer sans à avoir à considérer la variation saisonnière inhérente au changements phénologiques de la végétation.

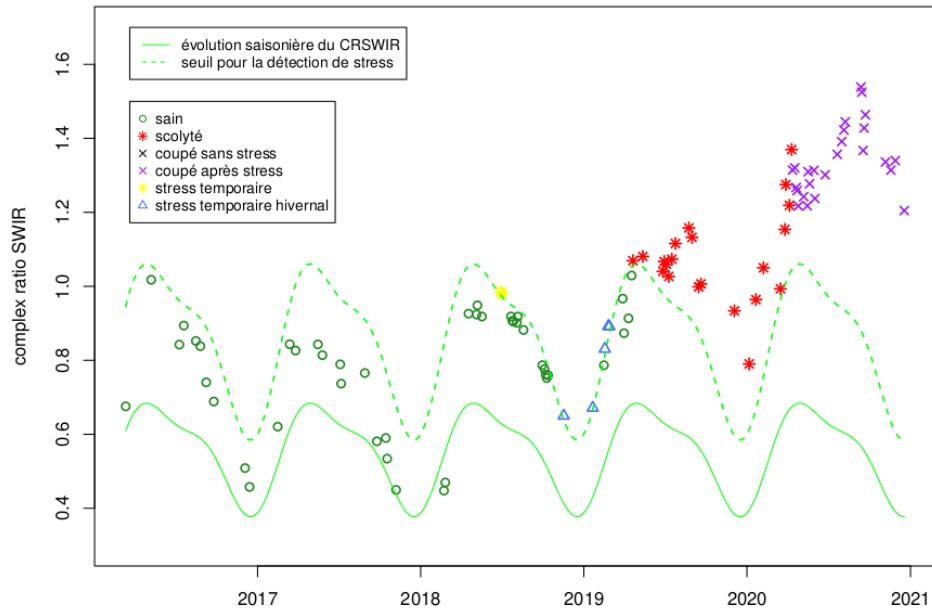


Figure 3: Exemple d'une série temporelle d'observation de CRSWIR pour un pixel donné. Un état sanitaire présumé est attribué à chaque observation en fonction de la valeur de CRSWIR, de la présence ou non de sol nu et à son état sanitaire pour les dates antérieures et postérieures. Par exemple, en 2020, l'état sanitaire attribué est celui "coupé après stress" (croix mauve sur le graphique) car d'une part le pixel est détecté comme étant en sol nu, d'autre part les observations antérieures (été 2019 et hiver 2020) sont considérées comme étant "scolytées" (étoile rouge sur le graphique)

## 2.2 Ensemble de règles pour attribuer un état sanitaire

1. ; sain
2. ; dépérissement
3. ; coupé mais sans dépérissement détecté avant la coupe

4.  ; coupé après avoir été dépérissant
5.  ; stress passager, donc à priori plus un stress lié à un déficit hydrique estival qu'à une attaque de scolyte.
6.  ; pixel qui est un mélange, détecté car présente un stress passager en hiver (feuillus sans photosynthèse) suivi d'un retour à la normale en été (résineux + feuillus en photosynthèse)

Les filtres et les règles de décisions permettant d'attribuer un état sanitaire à une observation d'une série temporelle sont brièvement présentés ici. On peut considérer que la série temporelle pour un pixel donné est synthétisée sous forme d'un tableau à 2 colonnes pour lequel chaque ligne constitue une date pour laquelle on dispose d'une information (prise de vue non ennuagée pour cette position). La première colonne est celle contenant l'information de la date de l'observation. La deuxième colonne contient un état sanitaire présumé, qui peut prendre la valeur de 1, 2 ou 3 avant de subir l'analyse présentée ici. La valeur de 1 signifie que la valeur de  $CRSWIR$  permet de supposer que le peuplement est sain. La valeur de 2 indique par contre que le peuplement semble en situation de stress, avec un  $CRSWIR_{normalisé}$  supérieur au seuil fixé (ex. 1.4, voir ligne en pointillé de la figure 2).

L'analyse commence par un premier filtre qui vise à retirer les valeurs aberrantes de la série temporelle. On va pour ce faire contrôler que aucune valeur de 2 (stress) ou 3 (coupé) n'apparaît de manière isolée. L'hypothèse est simplement qu'un pixel détecté comme stressé à une date mais considéré comme sain à la date précédente à la date suivante correspond à une observation aberrante qui sera donc retiré ici.

Ensuite, un deuxième filtre vise à classer les coupes (code 3) et les coupes sanitaires (code 4). On va pour se faire identifier toutes les occurrences d'au moins 3 détection de sol nu consécutifs, ou encore de 2 détections de sol nu mais dont les 2 dates sont séparées d'au moins 40 jours (pour considérer les situations de sols nus au dessus d'une zone fortement ennuagé et donc avec une densité temporelle d'observations assez faible). Lorsqu'une situation similaire est détectée, l'état de toutes les observations suivantes sont fixées à "coupé" ou à "coupe sanitaire" si un stress a été détecté à la date antérieure à la détection du sol nu. L'idée est bien d'éviter qu'une position détectée comme sol nu ne soit classée comme étant une pessière saine les mois et années

suivant la coupe. Nous attirons l'attention que la méthodologie employée ici sur des images de 10m de résolution n'as pas pour objectif d'obtenir de bon résultats sur des jeunes plantations, pour lesquels la réponse spectrale est un mélange résultant de celle des petits houppiers et de la végétation environnante.

La troisième partie de l'analyse vise à la détection des situations de peuplements scolytés. Si un stress est observé plusieurs fois d'affilé, on va modifier les états sanitaires postérieurs pour s'assurer que ceux-ci correspondent soit à un stress, soit à une coupe sanitaire. Néanmoins, un *retour à une situation normale* est accepté dans le cas où un état sanitaire sain est constaté plus de 3 fois consécutivement, pour une durée excédant 30 jours et seulement dans les cas où le dépérissement observé précédemment n'as pas duré plus longtemps qu'un certain nombre de jours (par défaut 90 jours). Lorsqu'un **retour à la normale** est ainsi détecté, l'état sanitaire durant la période de stress est considéré comme étant un stress temporaire (code 5) et non pas une situation de présence de scolyte.

Enfin, un dernier filtre permet d'appréhender la situation assez complexe mais marginale d'un pixel qui couvrirait une surface hétérogène du point de vue de la présence de l'épicéa, tels qu'un mélange épicéa-feuillus ou un mélange épicéa-sol nu. La détection de mélange vis à réduire le taux de faux positif pour les zones scolytés.

## 2.3 Illustrations

# 3 Le logiciel s2\_timeSerie

Bien que conceptuellement la méthode ne soit pas extrêmement compliquée, le volume de donnée est considérable et nécessite une organisation soigneuse ainsi qu'une méthode de calcul optimisée. C'est dans ce but qu'est développé l'application **s2\_timeSerie**, sous C++ et dans un environnement Linux.

L'application peut s'utiliser de la manière suivante :

```
./s2_timeSerie --help  
./s2_timeSerie --catalogue 1 --tuile T32ULU  
./s2_timeSerie --catalogue 2 --tuile T31UGR --srCR 1.7
```

l'argument **tuile** renseigne le nom de une ou plusieurs tuiles Sentinel-2. l'argument **catalogue** peut recevoir les valeurs de 1 ou de 2. Deux modes de création d'un catalogue, c'est à dire d'une série temporelle d'images pour une tuile donnée, sont disponibles.

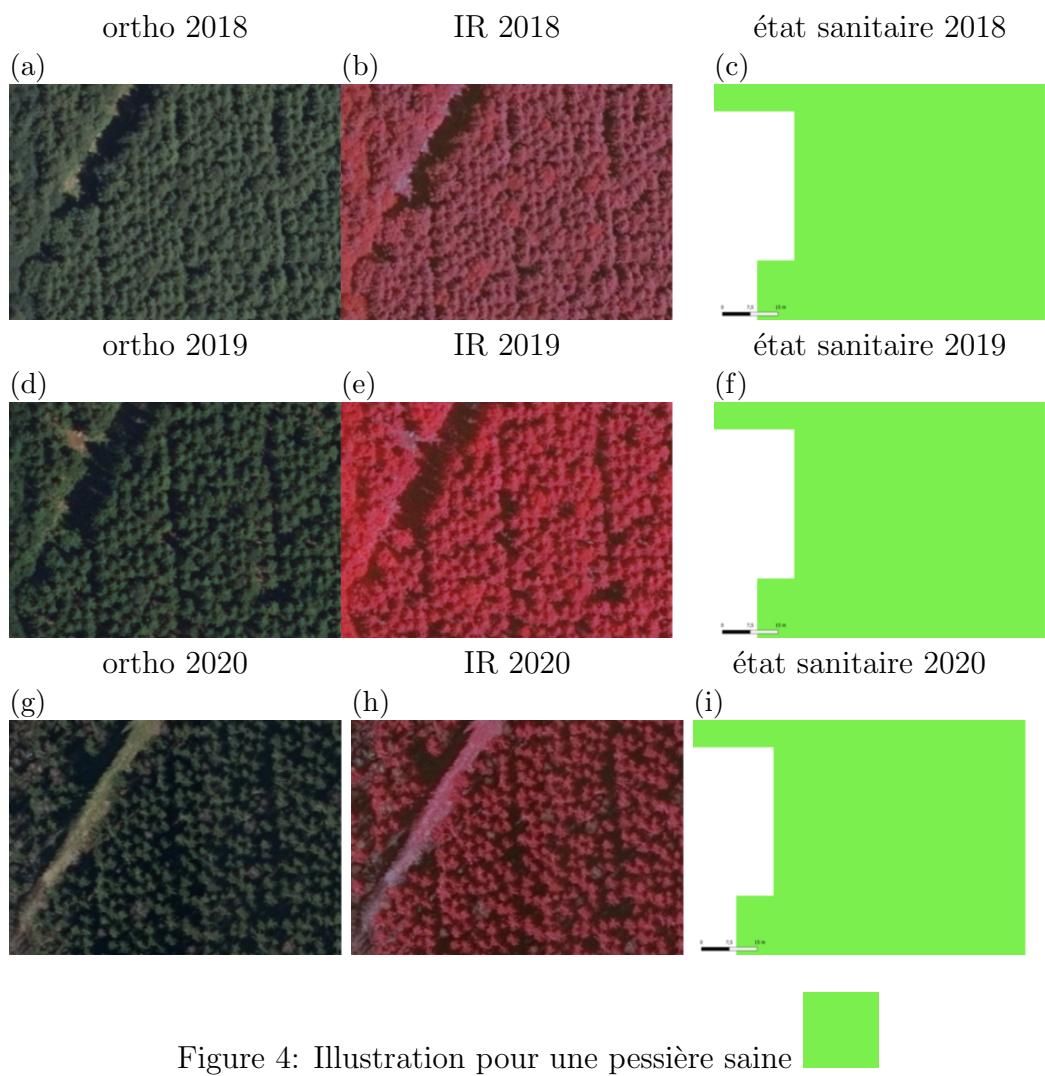
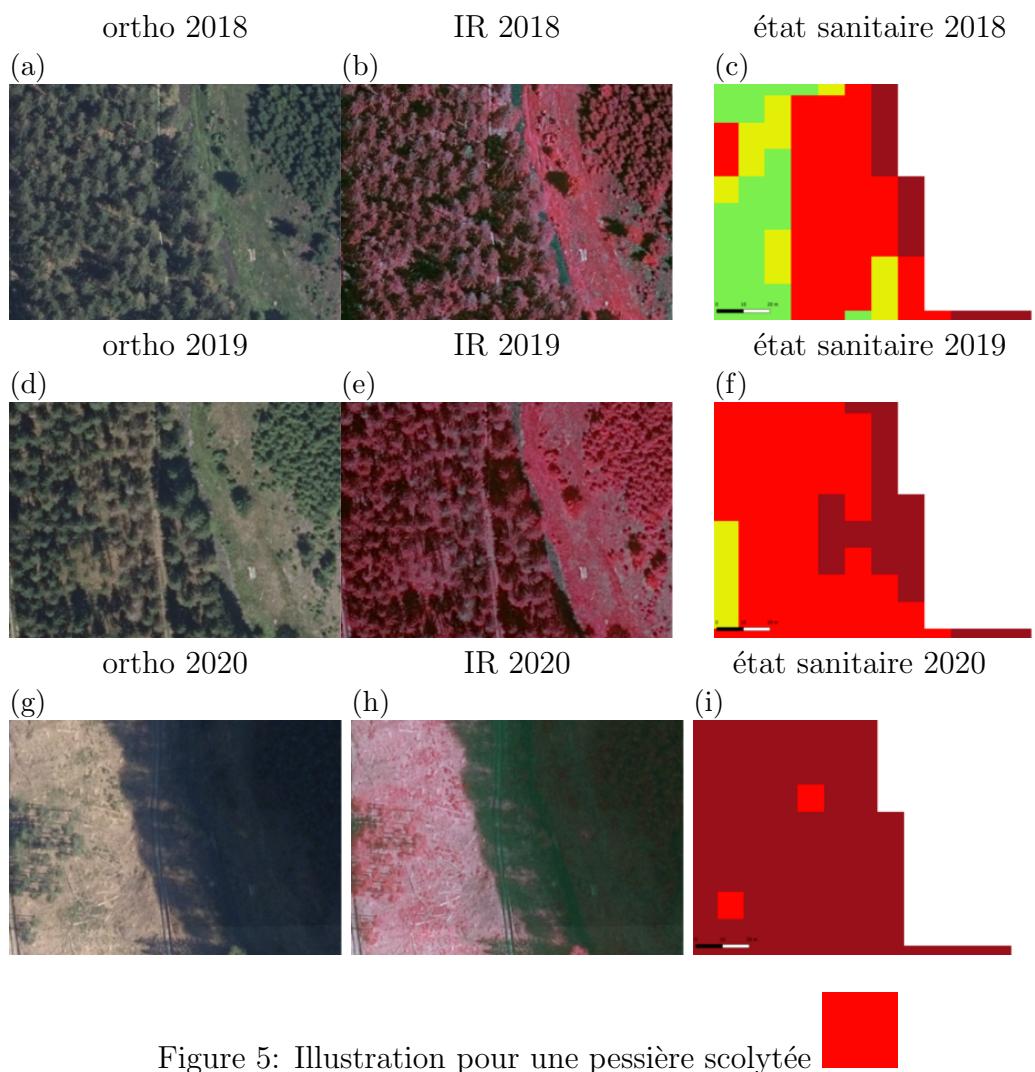


Figure 4: Illustration pour une pessière saine



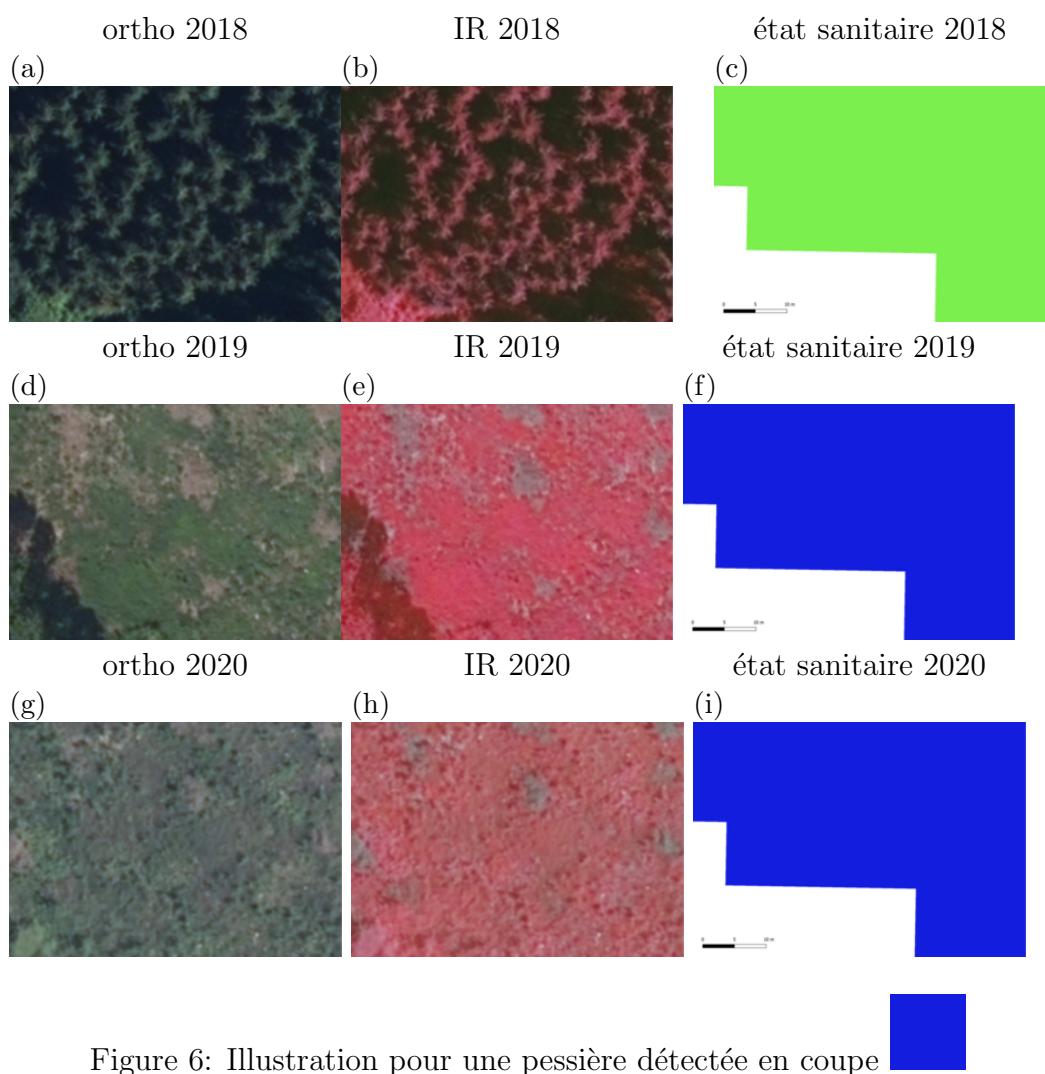


Figure 6: Illustration pour une pessière détectée en coupe

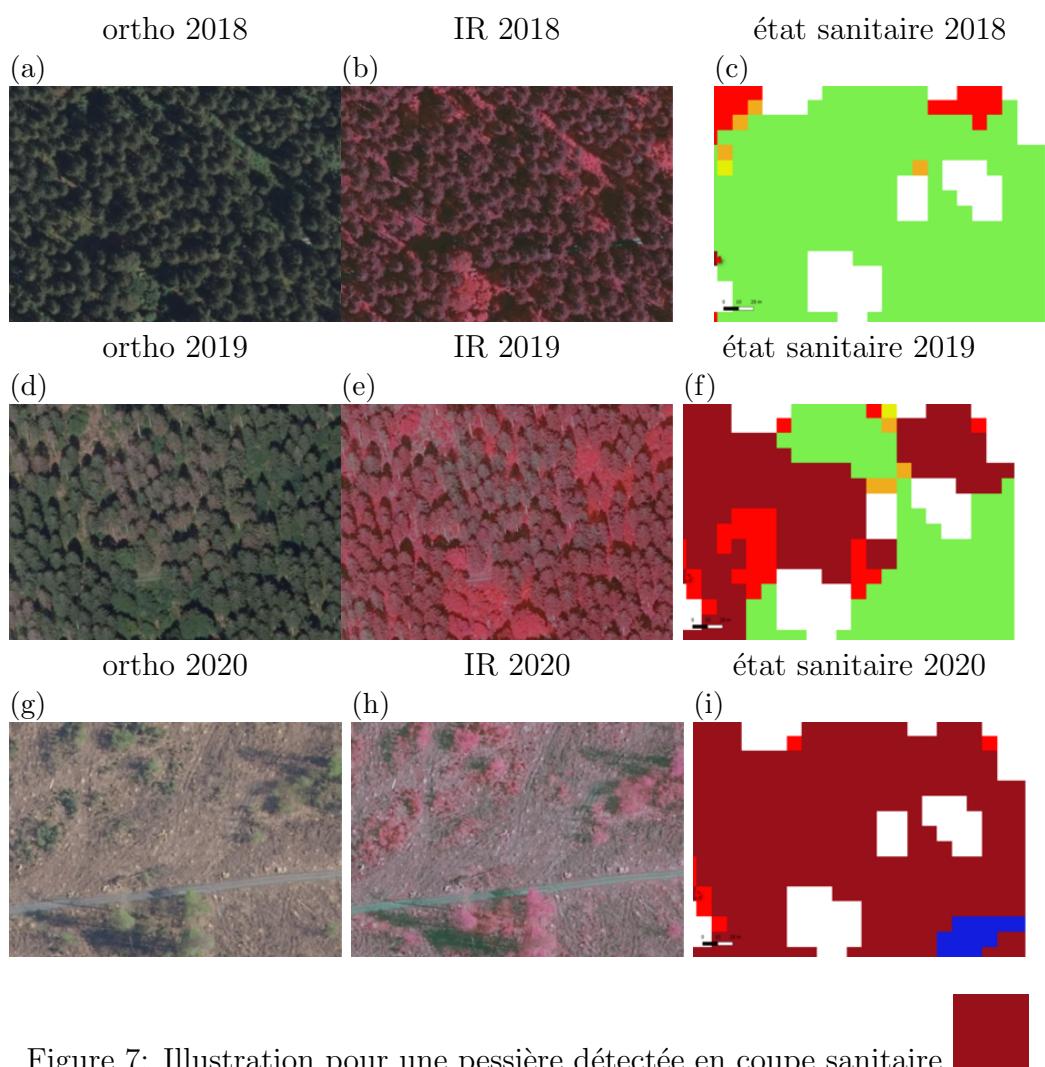


Figure 7: Illustration pour une pessière détectée en coupe sanitaire

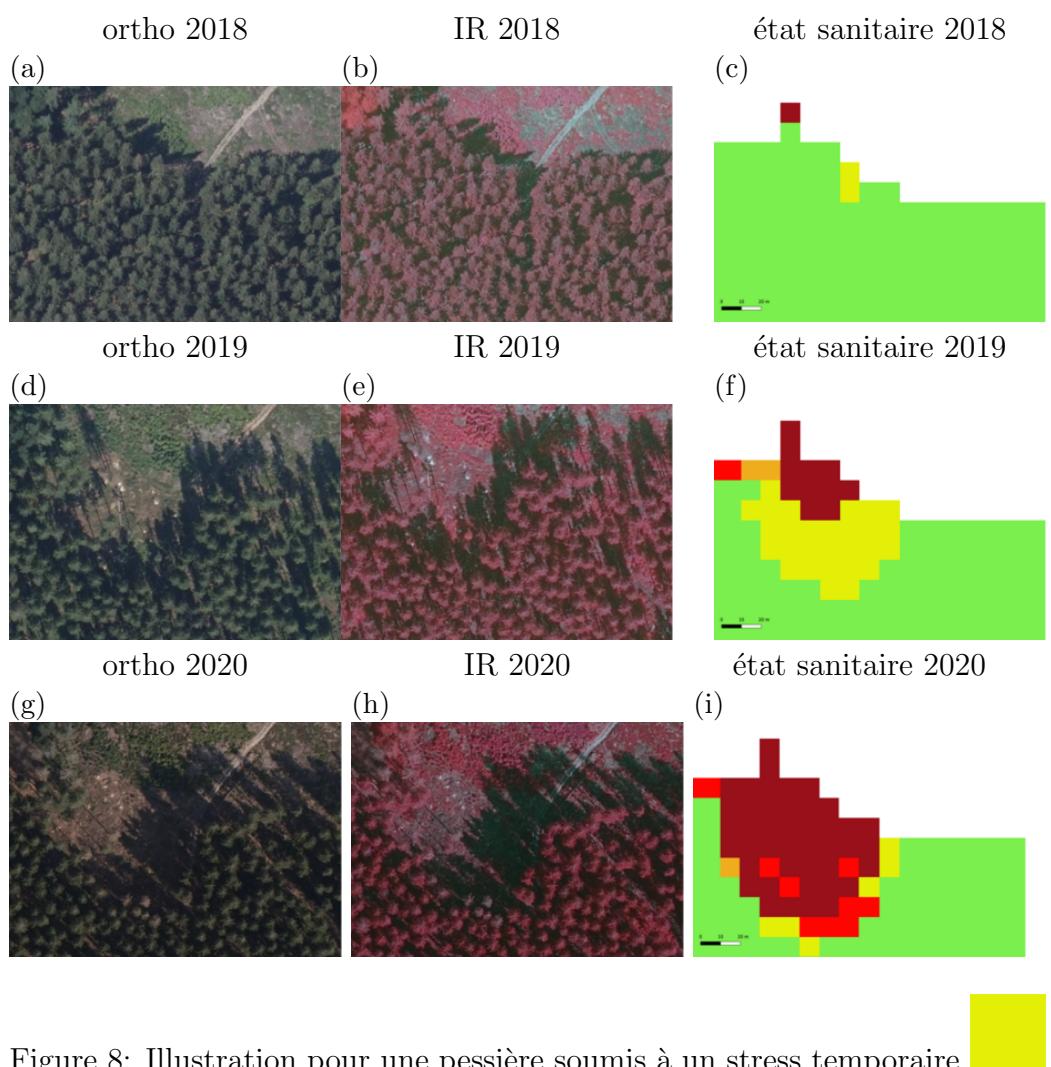


Figure 8: Illustration pour une pessière soumis à un stress temporaire

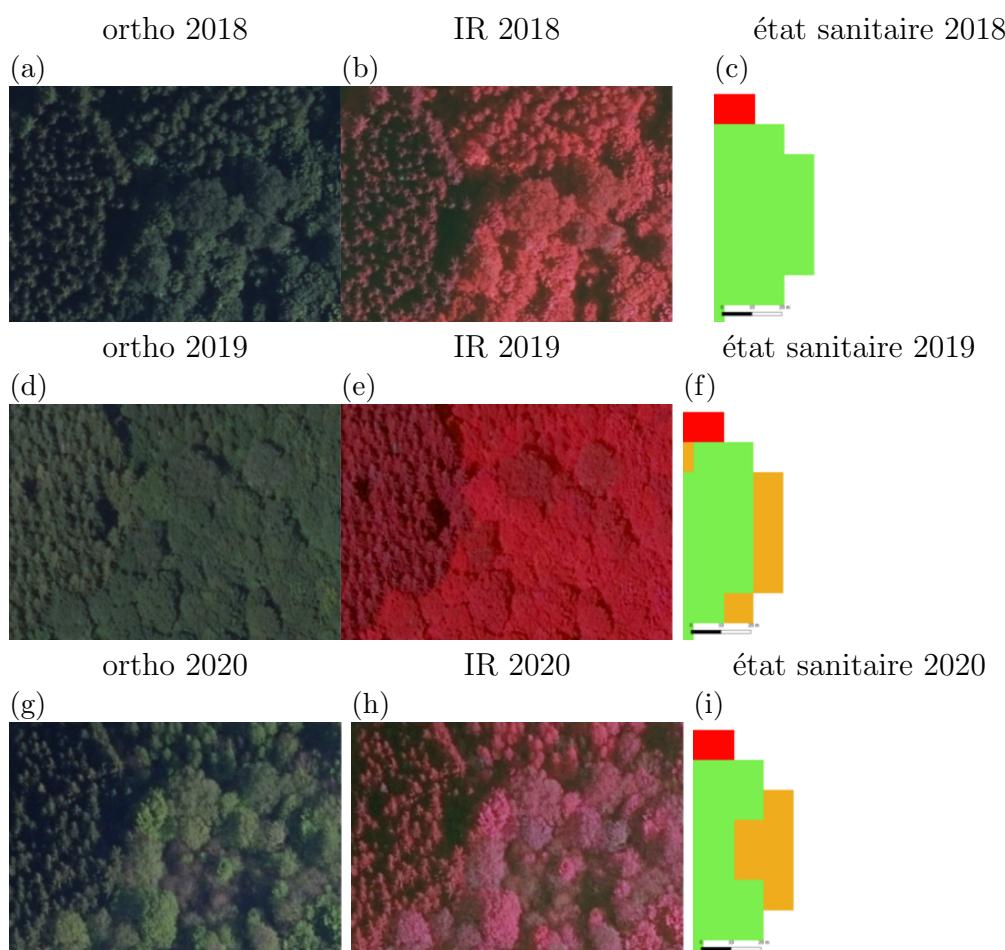


Figure 9: Illustration pour des pixels détectés comme étant en mélange



Avec le mode 1, **s2\_timeSerie** effectue le téléchargement des données depuis la plateforme theia. Les informations nécessaires sont le nom de la tuile Sentinel-2 et une plage de date durant laquelle on souhaite effectuer l'analyse. Cette plage de date peut être définie avec l'argument `-dates`. par exemple : `-dates 2016-01-01 2017-01-01`.

Avec le mode 2 (`-catalogue 2`), le catalogue est créé sur base des dossiers téléchargés précédemment. Chaque dossier correspond à une date de prise de vue. Seul le nom de la tuile est donc requis.

L'appli utilise OTB comme calculatrice raster, pour tout ce qui concerne les éléments ci-dessous :

- calcul de carte de masques (no data et nuage)
- rééchantillonnage des bandes spectrales de Sentinel-2 de 20m vers 10m de résolution
- calcul de carte pour la détection du sol nu
- le calcul des cartes de CRSWIR
- le calcul des cartes de CRSWIR normalisé

L'ensemble de ces opérations sont effectuées date par date de manière indépendante, et restent donc de l'ordre du monotemporel. Leur relative simplicité font que ces opérations sont considérées comme des prétraitements. Ces prétraitements sont évidemment préliminaires à l'analyse de la série temporelle à proprement parler.

### 3.1 Organisation du code source

Trois classes d'objets sont définies dans le projet C++ et permettent d'effectuer toutes les opérations nécessaires. Ces classes sont présentées brièvement ci-dessous. Ces informations sont une aide destinée à l'utilisateur qui souhaite lire le code source pour le comprendre et/ou le modifier. La figure ?? schématise le fonctionnement des 3 classes d'objets les unes par rapport aux autres.

### 3.2 La classe catalogue

C'est la classe qui contient toutes la série temporelle sur l'emprise d'une tuile. La série temporelle est constituée par l'ensemble des prises de vue sur

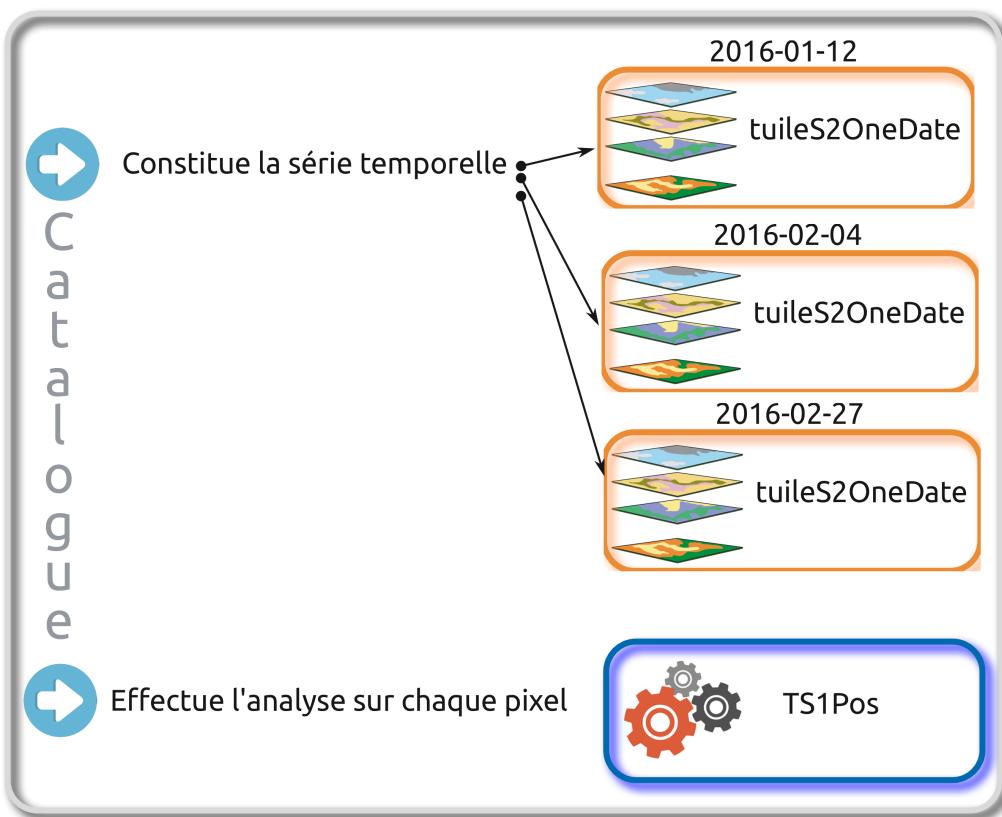


Figure 10: L'application est développé avec l'approche de programmation Orientée Objet, dont les 3 classes principales sont les classes **catalogue**, **tuileS2OneDate** et **TS1Pos** représenté sur ce graphique.

cette tuile. Les prises de vue retenues sont celles qui présentent un taux d'ennuagement inférieur à un seuil fixé à 35%. C'est au niveau de cette classe que sont défini les dates de début et de fin de la série temporelle, mais aussi que la zone d'intérêt pour laquelle on souhaite effectuer les calculs est définie. En effet, l'analyse n'est pas effectuée sur l'ensemble du territoire mais uniquement sur les zones considérées comme étant des pessières. Le masque épicea est donc utilisé comme donnée d'entrée et ce masque, qui couvre toute la Région Wallonne, est découpée par la classe catalogue afin d'épouser l'emprise de la tuile.

### 3.3 La classe **tuileS2OneDate**

C'est la classe qui contient toutes les informations relatives à une tuile pour une date données ; archive compressée, décompressée, métadonnées (date, nuage, nom du produit, répertoire ou j'ai mis les images, ect). Cette classe effectue la lecture de nombreuses informations depuis le fichier XML de métadonnées du produit Sentinel-2A pour cette date. Plus d'information sont disponibles sous le lien <https://labo.obs-mip.fr/multitemp/sentinel-2/theias-sentinel-2-12a-product-format/> à propos du format de données des produits 2A de Sentinel-2.

Les objets **tuileS2OneDate** regroupent l'ensemble des images nécessaires à l'analyse temporelle pour la détection de stress provoqué par les scolytes. En plus des images de chaque bande spectrale du capteur de Sentinel-2, les images calculés par OTB listées précédemment dans ce document sont gérées par la classe **tuileS2OneDate**.

### 3.4 La classe **TS1Pos**

C'est la classe qui effectue l'analyse de la série temporelle (**TS** pour Time Serie) pour une position donnée (**Pos** pour Position, qui est représenté par le centre de chaque pixels de l'image). C'est avec cette classe que l'on fait l'analyse de la succession de l'état sanitaire pour déterminer si la pessière en ce point est scolytée, coupée, saine, etc. La classe **TS1Pos** n'effectue aucune opération cartographique, c'est strictement l'analyse du CRSWIR normalisé au fil du temps, combiné avec la détection ou non de sol nu, qui sert d'information. Outre l'analyse de la série temporelle pour une position, cette classe a une méthode pour exporter un résultat synthétique pour cette position, en l'occurrence un état sanitaire *synthétique* pour chaque année. En effet, disposer d'un état sanitaire pour chaque année est un compromis entre trop de détails et trop de synthèse.

## 4 Les post-traitements avec s2\_postProcess

Les traitements illustrés jusqu'à présent sont des calculs qui s'effectuent sur base de la série temporelle, mais sans prendre en compte les effets de voisinage. On peut dire que la dimension spatiale n'est pas prise en compte. Pour assurer une certaine cohérence dans les classes d'état sanitaires assignées à chaque pixel dans les cartes annuelles, un certain nombre de post traitements sont effectué et développé dans une seconde application. Cette application est assez polyvalente, avec un nombre d'outils assez élevés. Les outils permettent les actions suivantes ;

0. masquer les cartes d'états sanitaires avec la carte de probabilité de présence de l'épicéa, en utilisant un seuil de présence spécifié. Pour rappel, l'analyse de la série temporelle est effectué sur une zone définie sur base d'une probabilité de présence de l'épicéa de plus de 50%. On peut donc avec cet outil se montrer plus restrictif en augmentant ce seuil, par exemple avec un seuil de 70%.
1. nettoyage des cartes d'états sanitaires. Pour le moment, il s'agit uniquement de localiser les zones de coupe non-sanitaire de petites dimensions qui sont entourées d'une coupe sanitaire. On met l'hypothèse que ces épicéas ont également été attaqué par le scolyte avant d'être abattu, comme leur voisins direct, et on change la classe pour les mettre en coupe sanitaire.
2. calcul des cartes d'évolutions de l'états sanitaires. Chaque carte d'état sanitaire est comparée avec celle de l'année précédente afin de classer les zones de scolyte en nouveau scolyte ou ancien scolyte, et les zones de coupe sanitaire en nouvelle ou ancienne coupe sanitaire.
3. compression des cartes geotiff
4. calcul de statistique (surface) pour chaque classe d'état sanitaire.

Voici les codes pour l'évolution de l'état sanitaire ainsi que la couleur associée:

- 21.  ; ancien scolyte
- 22.  ; nouveau scolyte

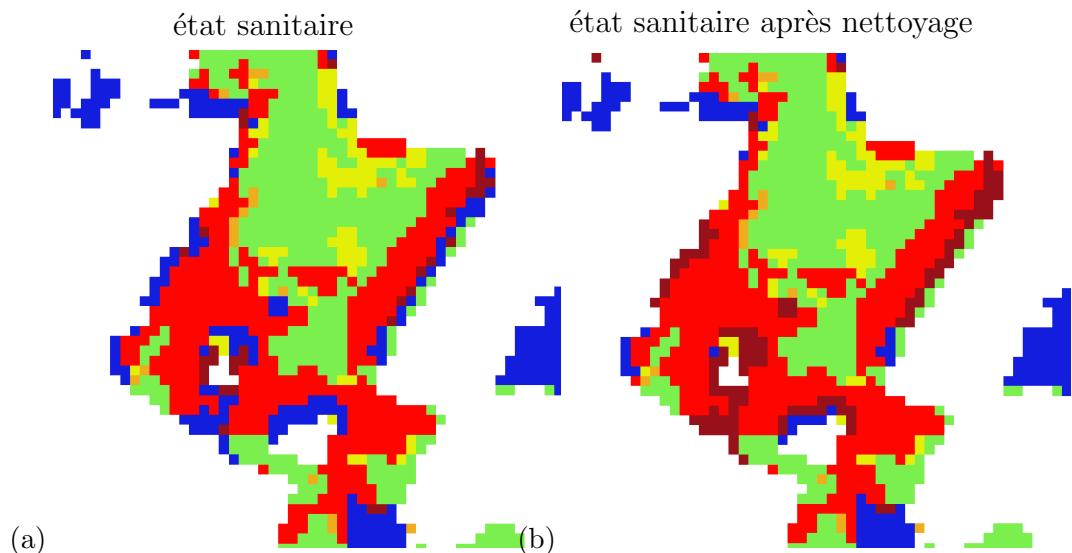


Figure 11: Un des post-traitement vise à améliorer les cartes d'état sanitaire, sur cette illustration on vois que certaines coupe "normale" sont reclassée en coupe sanitaire sur base de relation de voisinage.

41. ; ancienne coupe sanitaire
42. ; nouvelle coupe sanitaire