

Forêts tempérées

TP : Evaluation de la gravité des feux de forêts à l'aide de la Télédétection

Ghaith Amin

Grain n°3502





Plan



- Objectif
- Introduction
- Zone d'étude
- Méthode
- Résultat attendu
- Utilisation des Applications OTB
- Étapes
 - 1- Téléchargement des images satellite
 - 2- Prétraitement des images Sentinel-2
 - 3- Calcul des indices spectraux
 - 4- Détection de changement
 - 5- Évaluation et cartographie de la zone détectée



Objectif



L'objectif de ce TP est de découvrir l'utilisation des images satellites du programme COPERNICUS pour des applications forestières et de maîtriser des outils permettant de mettre en œuvre une stratégie de cartographie et de surveillance des incendies en forêt.

Introduction

- Les forêts sont soumises à diverses risques influencées par le changement climatique et les activités humaines.
- Le feu de forêt est un défi majeur pour la gestion forestière dans divers écosystèmes en raison de la perte de vie et d'infrastructures, des émissions de gaz à effet de serre.



Un incendie aux Pennes-Mirabeau, près de Marseille, le 11 août 2016.

Source : www.20minutes.fr

Introduction

- Après un incendie, une connaissance détaillée et rapide du niveau de dégâts et de leur répartition spatiale sont les premières informations souhaitables.
- Par conséquent, une approche pour détecter les feux de forêt est indispensable.



L'incendie de Vitrolles-Marseille du 10 août 2016, vue depuis la Station Spatiale Internationale SSI.
Source : www.un-regard-sur-la-terre.org



Introduction



- La cartographie des zones brûlées à l'aide de techniques de télédétection repose sur les changements post-incendie provoqués par les feux. Les approches comprennent la détection de changement, la classification supervisée et non supervisée.
- Dans ce TP, nous proposons une méthode de détection de changement pour cartographier des zones touchées par des incendies.
- Cette méthode repose uniquement sur l'utilisation d'images satellites gratuites et de logiciels open source tels que OTB et QGIS. Elle pourrait être appliquée par la communauté impliquée dans la gestion des risques, sans nécessiter une grande expertise en télédétection.

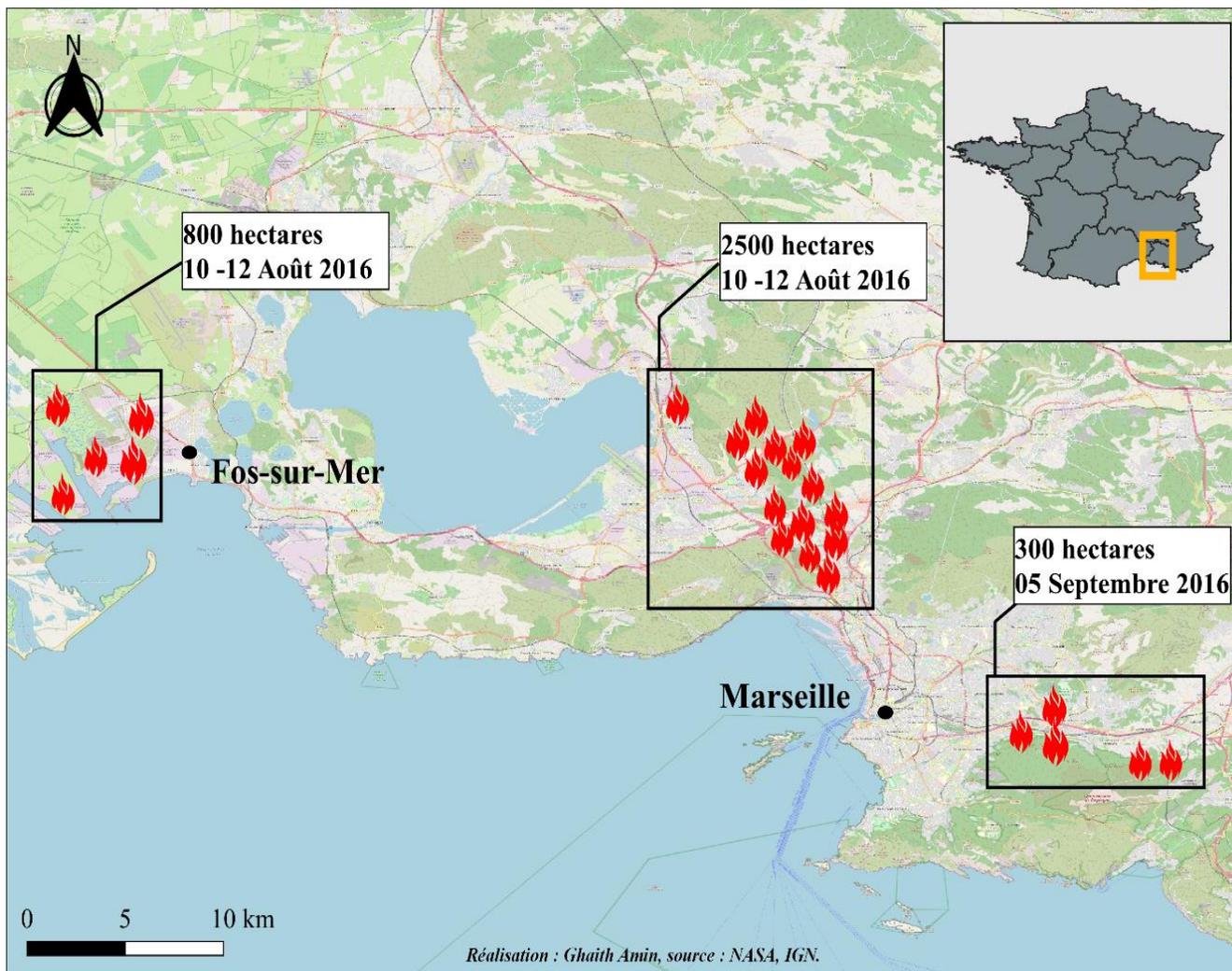


Zone d'étude



- Dans le sud de la France, des incendies de forêt ont eu lieu entre le 10 et le 12 août 2016.
- Un incendie a ravagé une zone près de Marseille, détruisant environ 3300 hectares au nord-ouest de Marseille dans les Bouches-du-Rhône (l'un des plus importants incendies dans la région depuis 1973), notamment à Rognac, Vitrolles, Les Pennes-Mirabeau et Fos-sur-Mer. 1500 maisons ont été touchées.
- Le 5 septembre de la même année, un autre incendie a également touché 300 hectares du massif des Calanques.

Zone d'étude



La zone d'étude près de Marseille, dans le département Bouches-du-Rhône (13), dans le sud de la France



Méthode



- Il existe diverses méthodes de détection des feux de forêts, qui sont généralement adaptées à un contexte particulier.
- Dans ce TP une méthode détection de changement sera appliquée, basée sur l'utilisation de deux images optiques Sentinel-2 (avant et après les incendies) et aux applications de l'Orfeo Toolbox.



Résultat attendu



- Carte délimitant l'étendu des zones brûlées.
- Estimation de la gravité de la brûlure



Utilisation des Applications OTB



Les applications de l'OTB peuvent être utilisées de différentes manières :

- 1- Via des interfaces propres à l'OTB en ligne de commande (otbcli) ou graphique (otbgui).
- 2- Via la boîte à outil de traitement de QGIS
- 3- Depuis un code écrit en Python

Dans ce TP les applications OTB vont être exécutées en utilisant l'interface graphique (otbgui) et donc appelées par l'invite de commandes sous Windows (cmd).



Étapes



- 1- Téléchargement des images satellite
- 2- Prétraitement des images Sentinel-2
- 3- Calcul des indices spectraux
- 4- Détection de changement
- 5- Évaluation et cartographie de la zone détectée

1. Téléchargement des images satellite

Vous allez manipuler des images optiques du satellite Sentinel-2 du programme Copernicus de l'ESA (Agence spatiale européenne). Les images peuvent être téléchargées depuis le site du Pôle thématique Thiea-Land en cliquant directement sur ce lien :

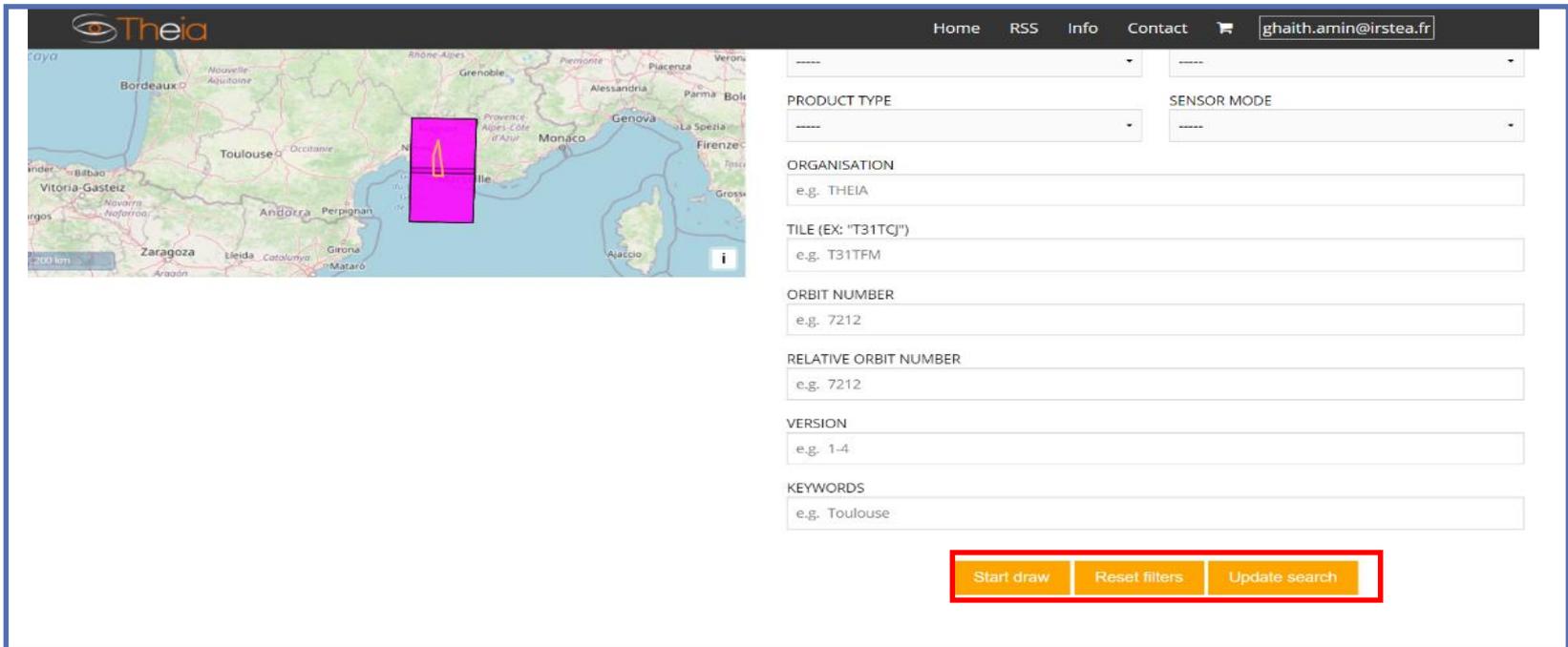
<https://theia.cnes.fr/atdistrib/rocket/#/search?collection=SENTINEL2>

La page suivante s'affichera :

The screenshot shows the Theia website interface. At the top, there is a navigation bar with the Theia logo on the left and links for 'Accueil', 'RSS', 'Info', 'Contact', and a shopping cart icon on the right. The email address 'ghaith.amin@irstea.fr' is displayed in the top right corner. Below the navigation bar, the page title is 'Sentinel-2 N2A et N3A'. On the left side, there is a satellite map of the Alps region, showing various national parks and cities like Grenoble, Torino, and Monaco. On the right side, there is a search form titled 'Rechercher parmi 384739 produits'. The search form includes several input fields: 'DATE MIN' (with example '2020-09-20'), 'DATE MAX' (with example '2020-10-20'), 'SATELLITE', 'INSTRUMENT', 'NIVEAU DE TRAITEMENT', 'TYPE DE PRODUIT', 'CAPTEUR', 'ORGANISME' (with example 'THEIA'), 'TUILE (EX: "T31TQ")' (with example 'T31TFM'), and 'NUMÉRO D'ORBITE' (with example '7212'). The 'DATE MIN' and 'DATE MAX' fields are highlighted with a red box.

1. Téléchargement des images satellite

Choisissez la date qui vous intéresse, puis dessinez une zone d'intérêt. Ensuite, lancez la recherche en laissant tous les autres paramètres par défaut.



The screenshot displays the Theia web interface for satellite image search. On the left, a map shows a red polygon drawn over the Mediterranean region. On the right, a search form contains the following fields:

- Home RSS Info Contact
- PRODUCT TYPE
- SENSOR MODE
- ORGANISATION (e.g. THEIA)
- TILE (EX: "T31TCJ") (e.g. T31TFM)
- ORBIT NUMBER (e.g. 7212)
- RELATIVE ORBIT NUMBER (e.g. 7212)
- VERSION (e.g. 1-4)
- KEYWORDS (e.g. Toulouse)

At the bottom of the form, there are three buttons: "Start draw", "Reset filters", and "Update search".

Attention : Pour pouvoir télécharger les données, vous devez vous connecter. Si vous ne disposez pas d'un compte, je vous invite alors à en créer un. Cela prendra environ 5 minutes.

1. Téléchargement des images satellite

Téléchargez les quatre images suivantes :

SENTINEL2A_20160803-103724-960_L2A_T31TFJ_D (avant l'incendie)

SENTINEL2A_20160813-103228-128_L2A_T31TFJ_D (après l'incendie)

SENTINEL2A_20160902-103228-732_L2A_T31TFH_D_V1-1 (avant l'incendie)

SENTINEL2A_20160922-103357-529_L2A_T31TFH_D_V1-1 (après l'incendie)

Attention : Si vous rencontrez un problème lors du téléchargement, vous trouverez les images dans votre répertoire, dans un sous-dossier nommé "**images_S2_zip**". Il suffit de les décompresser. Il est à noter que les images sont codées en Int16 (entiers signés de seize bits), et leur Système de Coordonnées de Référence (SCR) est UTM (EPSG :32631 - WGS 84 / UTM zone 31N – Projeté).

2. Prétraitement des images Sentinel-2

- L'objectif de cette partie est de réaliser, à partir des fichiers (S2) originaux qui contiennent toutes les bandes (13 bandes), un stack à résolution unique de 10 mètres sur une zone d'intérêt.
- Vous disposez de quatre images acquises par le satellite Sentinel-2 au-dessus du département des Bouches-du-Rhône (13) entre août et septembre 2016.
- La mission Sentinel-2 de l'ESA fournit des images particulièrement adaptées à la détection des risques, en particulier les feux de forêt : ces images multispectrales offrent un signal approprié pour l'étude des feux de forêt, avec une répétitivité de 5 jours, permettant une caractérisation (relativement) fine des incendies en forêt.

2. Prétraitement des images Sentinel-2

- Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques spatiales et spectrales du Sentinel-2

Bandes spectrales	Résolution spectrale (en nm)	Résolution spatiale (en m)
Bande 1 – coastal aerosol	433 - 453	60
Bande 2 - Blue	458 - 523	10
Bande 3 - Green	543 - 578	10
Bande 4 - Red	650 - 680	10
Bande 5 - Red edge	698 - 713	20
Bande 6 - Red edge	733 - 748	20
Bande 7 - Red edge	773 - 793	20
Bande 8 - NIR	785 - 899	10
Bande 8A - NIR narrow	855 - 875	20
Bande 9 - water vapour	935 - 955	60
Bande 10 - SWIR cirrus	1360 - 1390	60
Bande 11 - SWIR1	1565 - 1655	20
Bande 12 – SWIR2	2100 - 2280	20

Caractéristiques du capteur, Multi-Spectral Instrument (MSI), de satellite Sentinel-2 (S2)

2. Prétraitement des images Sentinel-2

2.1 Sélection les bandes importantes

Accédez au dossier "**images_S2_zip**", puis décompressez les quatre images Sentinel-2. Ensuite, supprimez toutes les bandes dans les dossiers d'images que vous venez de décompresser, à l'exception des 6 bandes se terminant par (**FRE_B2, FRE_B3, FRE_B4, FRE_B5, FRE_B8 et FRE_B12**).

2.2 Rééchantillonnage (Resample)

Rééchantillonnez, pour chaque dossier d'images des quatre, les bandes **B5** et **B12** d'une résolution spatiale de 20 m à 10 m à l'aide de l'application **otbgui_Superimpose**.

2. Prétraitement des images Sentinel-2

- Cette étape est pour but de créer une image homogène avec une grille des pixels adaptée d'une bande à celle d'une autre et de les rendre superposables afin de bien effectuer les démarches de détection.

```
Invite de commandes
Microsoft Windows [version 10.0.19041.630]
(c) 2020 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

C:\Users\GHAIT>cd C:\OTB-7.2\OTB-7.2.0-Win64
C:\OTB-7.2\OTB-7.2.0-Win64>otbenv
C:\OTB-7.2\OTB-7.2.0-Win64>otbgui_Superimpose
```

Ouvrez une Invite de commandes **cmd**

Placez-vous dans le répertoire de l'OTB

Initialisez l'environnement pour l'utilisation de l'OTB en lançant le script **otbenv.bat**

Pour exécuter une application de l'OTB
Écrivez le nom de l'application puis appuyez sur **Entrée**.

2. Prétraitement des images Sentinel-2

- Après avoir lancé l'application, l'interface graphique ci-dessous s'affiche. Définissez les paramètres délimités en rouge et laissez les autres par défaut.
- Faites attention et vérifiez le dossier le nom du fichier de sortie, ainsi que le codage des pixels.
- Dans QGIS, ouvrez la bande de référence (`_FRE_B4.tif`) ainsi que celles rééchantillonnées (`_FRE_B5_10m.tif`), puis vérifiez la taille du pixel.

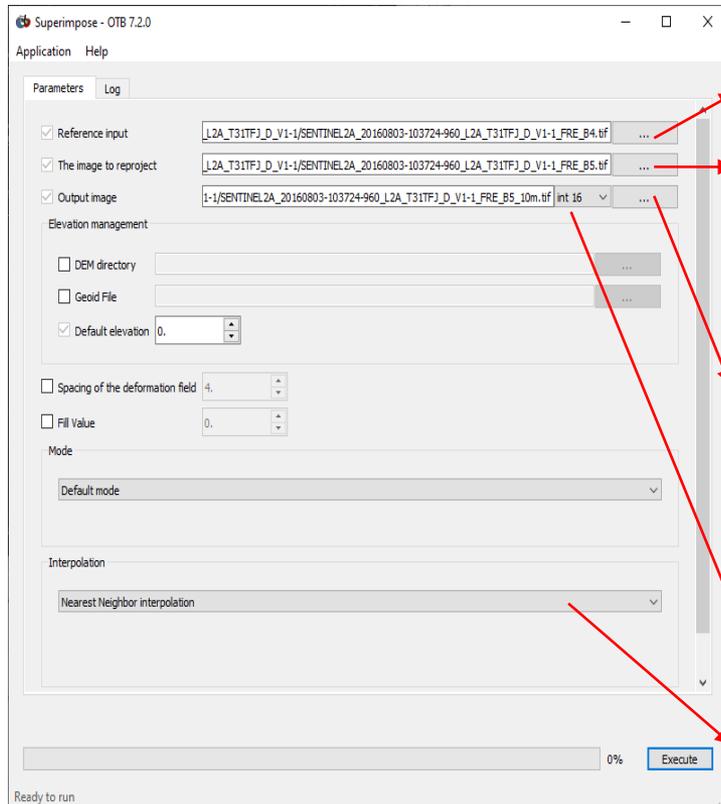


Image de référence à 10 m de résolution ex :
FRE_B4.tif

Bande à rééchantillonner de résolution 20 m à
10m **FRE_B5.tif** et **FRE_B12.tif**

Chemin pour sauvegarder la bande
rééchantillonnée en sortie, laissez le même nom
et rajoutez à la fin (`_10m.tif`)

EX : **SENTINEL2A_20160803-103724-
960_L2A_T31TFJ_D_V1-1_FRE_B12_10m.tif**

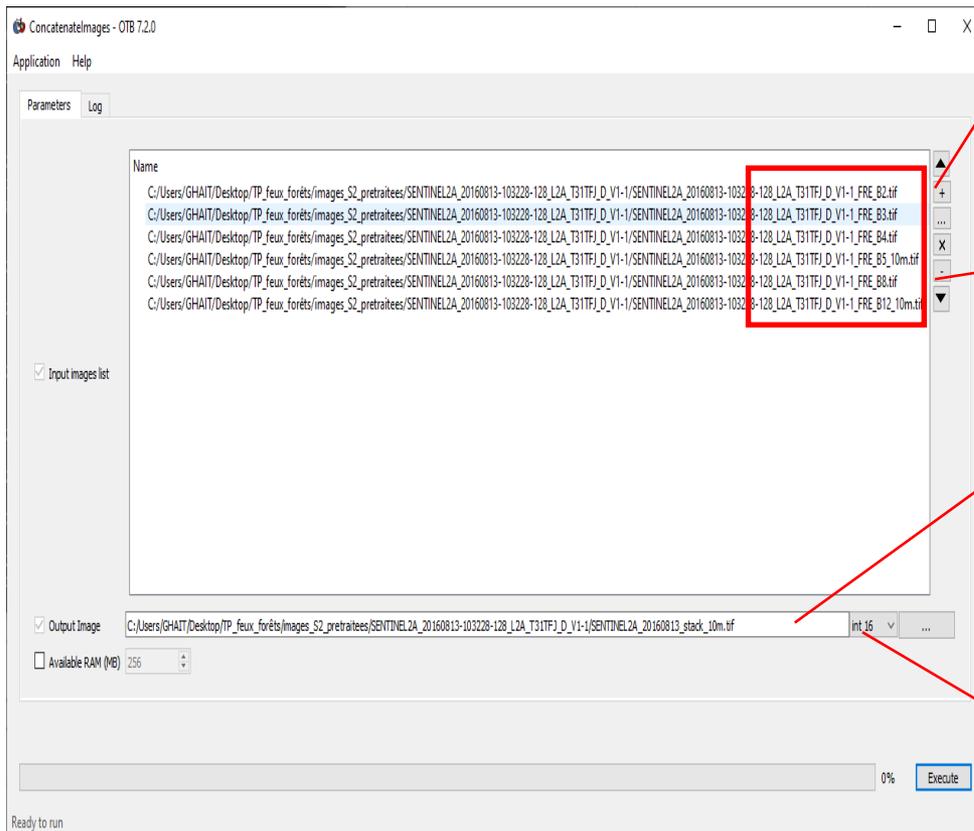
Choisissez **int16** comme type de codage pour
l'image en sortie

Choisissez comme type d'interpolation : **Bicubic**
ou plus proche voisin (**nearest neighbor**)

2. Prétraitement des images Sentinel-2

2.3 Concaténation (Stack)

Concaténez, pour chaque image des quatre, toutes les bandes de résolution de 10 m, y compris celles rééchantillonnées dans l'étape précédente, utiliser l'application **otbgui_ConcatenateImages**



(+) Pour rajouter la liste d'images à concaténer

Respecter l'ordre de bandes, en mettant en premier **B2, B3, B4, B5_10m, B8** puis **B12_10m**

Image concaténée en sortie, nommez-la **SENTINEL2A_20160813_stack_10m.tif**

Choisissez **int16** comme type de codage pour l'image en sortie

2. Prétraitement des images Sentinel-2

2.3 Concaténation (Stack)

Concaténez, pour chaque image des quatre, toutes les bandes de résolution de 10 m, y compris celles rééchantillonnées dans de l'étape précédente, utiliser l'application **otbgui_ConcatenateImages**

Résultat attendu à la fin de cette étape :

Quatre images (stack) **SENTINEL2A_20160803_stack_10m.tif**
 SENTINEL2A_20160813_stack_10m.tif
 SENTINEL2A_20160902_stack_10m.tif
 SENTINEL2A_20160922_stack_10m.tif

2. Prétraitement des images Sentinel-2

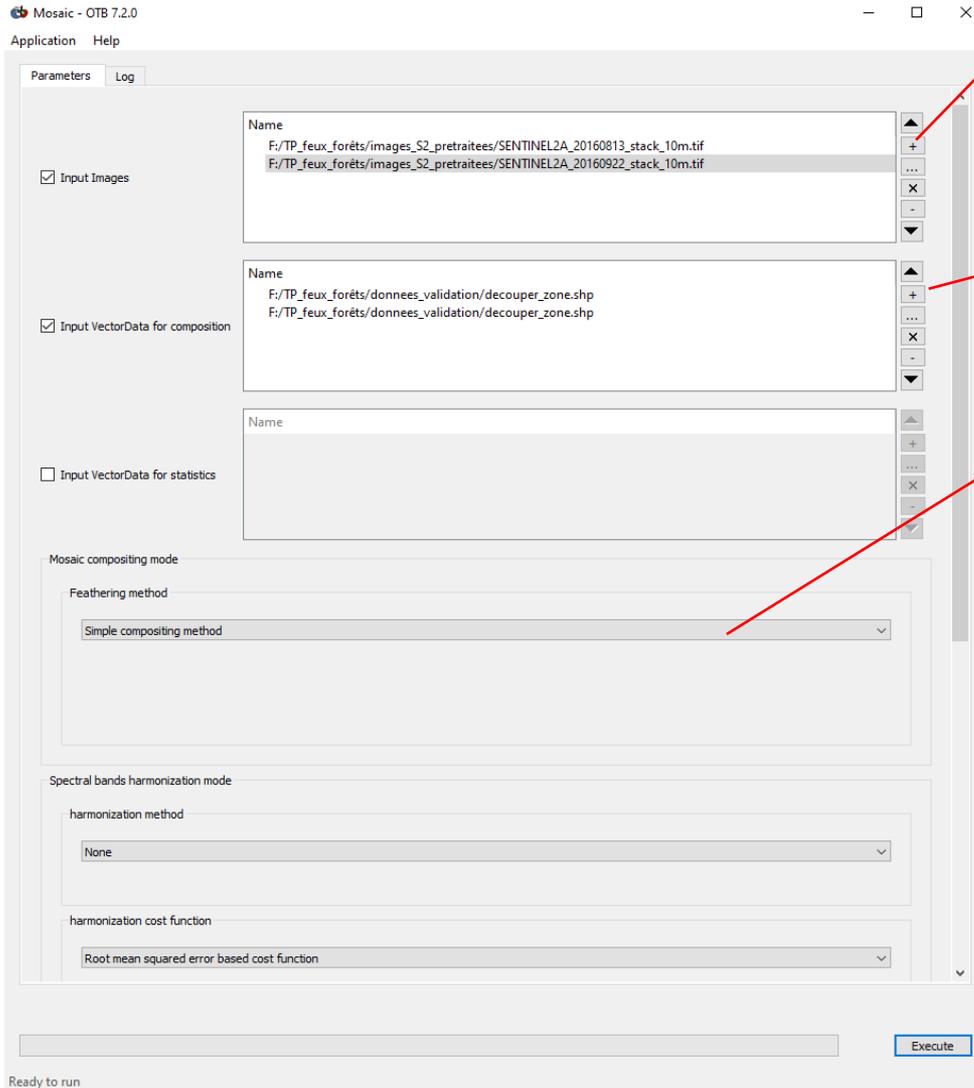
2.4 Mosaïquage et découpage

Réalisez une mosaïque pour fusionner les deux tuiles S2, à l'aide de l'application **otbgui_Mosaic**

- 1) Utilisez les deux images issues de l'étape de concaténation précédente, celle de **20160803** et celle de **20160902**, et nommez l'image en sortie **SENTINEL2A_stack_mosaïque_decoup_10m_pre.tif**
- 2) Utilisez les deux images issues de l'étape de concaténation précédente, celle de **20160813** et celle de **20160922**, et nommez l'image en sortie **SENTINEL2A_stack_mosaïque_decoup_10m_post.tif**

- Comme notre zone d'étude s'étend sur deux tuiles S2, il est nécessaire de réaliser une mosaïque à partir de deux images et en même temps de les découper selon une zone d'intérêt (ROI). Cela permet en effet de réduire le volume de données à traiter dans les étapes suivantes.
- Lancez l'application **otbgui_Mosaic**, l'interface graphique ci-après s'affiche, remplissez les paramètres délimités en rouge et laissez les autres par défaut puis cliquer sur Exécute

2. Prétraitement des images Sentinel-2



(+) Pour rajouter la liste d'images à mosaïquer ici :

SENTINEL2A_20160813_stack_10m.tif
SENTINEL2A_20160922_stack_10m.tif

(+) Pour rajouter la couche vecteur pour découper, il faut la rajouter deux fois, depuis le dossier **donnees_shp** → **decouper_zone.shp**

Mosaic compositing mode: laissez la valeur par défaut = **Simple compositing method**

Interpolation : **bicubic**

Et laissez les autres paramètres par défaut, et nommez l'image en sortie **SENTINEL2A_stack_mosaïque_decoup_10m_post.tif**

Pour aller plus loin et en savoir plus de cette application : https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/Applications/app_Mosaic.html

Exercice 1 : Réalisez une autre mosaïque et découper les images **SENTINEL2A_20160803_stack_10m.tif** et **SENTINEL2A_20160902_stack_10m.tif**

3. Calcul des indices spectraux

- Cette étape a pour but de calculer des indices sensibles aux surfaces brûlées et à la quantité de chlorophylle. Ces indices sont très utiles dans les démarches de détection de zones brûlées.
- Dans ce TP, nous allons utiliser BandMathX, qui est une version améliorée de BandMath. Elle permet d'obtenir des fichiers multi-bandes en sortie en utilisant plusieurs expressions concaténées simultanément. Le résultat sera automatiquement empilé, donc il est nécessaire de refaire une concaténation (image initiale + indices calculés).
- Les expressions doivent être concaténées comme suit : { <exp1> ; <exp2> ; ... ; <expN> }

3. Calcul des indices spectraux

- Lancez l'application **otbgui_BandMathX** et entrez l'équation correspondante à chaque indice, attention ces formules correspondent uniquement à notre stack (à l'ordre de bandes).

Indice	Équation	Formule pour BandMathX
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$	$(\text{im1b5} - \text{im1b3}) / (\text{im1b5} + \text{im1b3})$
NBR (Normalized Burn Ratio)	$(\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$	$(\text{im1b5} - \text{im1b6}) / (\text{im1b5} + \text{im1b6})$

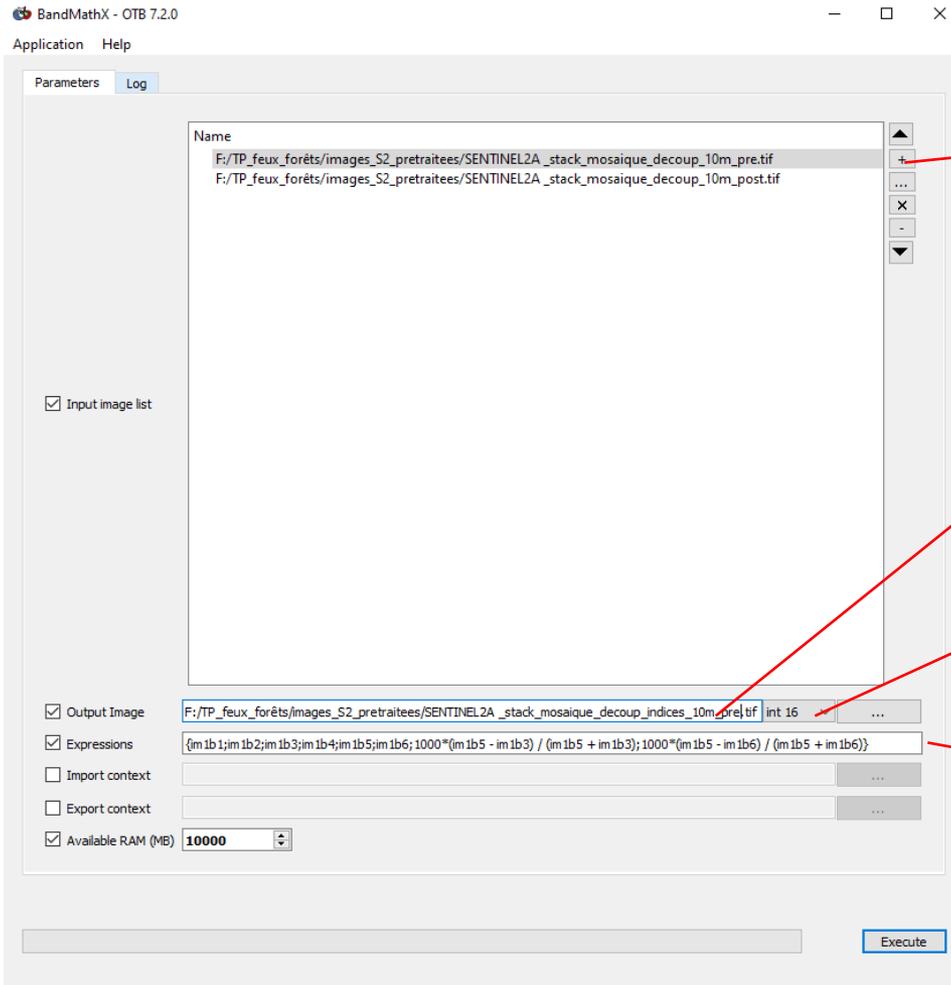
- L'expression qui correspond à votre ordre de bandes et BandMathX :

$\text{im1b1}; \text{im1b2}; \text{im1b3}; \text{im1b4}; \text{im1b5}; \text{im1b6}; 1000 * (\text{im1b5} - \text{im1b3}) / (\text{im1b5} + \text{im1b3}); 1000 * (\text{im1b5} - \text{im1b6}) / (\text{im1b5} + \text{im1b6})$

Ou

$\text{im1}; 1000 * (\text{im1b5} - \text{im1b3}) / (\text{im1b5} + \text{im1b3}); 1000 * (\text{im1b5} - \text{im1b6}) / (\text{im1b5} + \text{im1b6})$

3. Calcul des indices spectraux



(+) Pour rajouter une ou plusieurs images, ici
SENTINEL2A_stack_mosaique_decoup_10m_post.tif

Image en sortie, nommez-la **SENTINEL2A_stack_mosaique_decoup_indices_10m_post.tif**

Choisissez **int16** comme type de codage pour l'image en sortie

Copiez ici l'expression

Exercice 2 : Réalisez le même calcul sur l'image "SENTINEL2A_stack_mosaique_decoup_10m_pre.tif" et nommez l'image en sortie "SENTINEL2A_stack_mosaique_decoup_indices_10m_pre.tif".

4. Détection de changement

- **Exercice 3** : Créez un masque binaire (0 = eau, 1 = reste) à partir de l'indice NDWI. Utilisez uniquement l'image "SENTINEL2A_stack_mosaïque_decoup_indices_10m_post.tif"
 - Le masque NDWI permettra d'enlever les surfaces en eau et d'éviter, dans la zone d'étude, les pixels de bruit. Nommez-le "mask_ndwi.tif".
A noter : $NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$
Expression : $((im1b2 - im1b5) / (im1b2 + im1b5)) < -10 ? 1 : 0$
Codage : unit_8
- **Exercice 4** : Dans BandMathX, chargez les deux images de l'exercice 2 (attention à l'ordre des bandes, mettez l'image **post** en haut et l'image **pre** en bas), puis calculez cet indice $dNBR = NBR_{post} - NBR_{pre}$. Nommez-le "dNBR.tif"
 - Expression : $im1b8 - im2b8$
Codage : int_16

4. Détection de changement

- **Exercice 5** : Dans BandMathX, chargez les trois images, "SENTINEL2A_stack_mosaique_decoup_indices_10m_post.tif", "dNBR.tif" et "mask_ndwi.tif", (attention à l'ordre des bandes, mettez l'image post en haut, ensuite "dNBR.tif" puis "mask_ndwi.tif" en bas).

Expression : $(im1b7 < 200 ? 1 : 0) * (im2b1 < -300 ? 1 : 0) * im3b1$

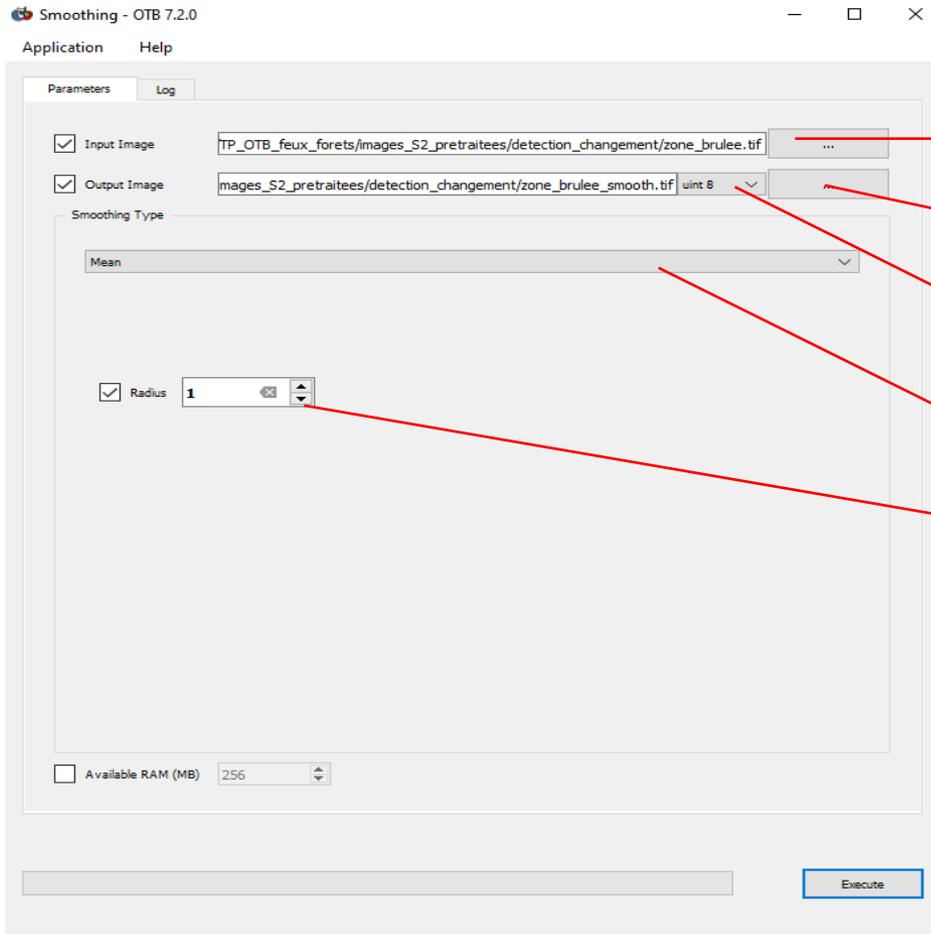
Nommez-la "zone_brulee.tif".

Codage : unit_8

4. Détection de changement

4.1 Lissage

A l'aide de l'application **otbgui_Smoothing**, réalisez un post-traitement (lissage) pour rendre l'image **zone_brulee.tif** plus lisse et enlever des pixels isolés.



Rajouter image, ici **zone_brulee.tif**

Image en sortie, nommez-la **zone_brulee_smooth.tif**

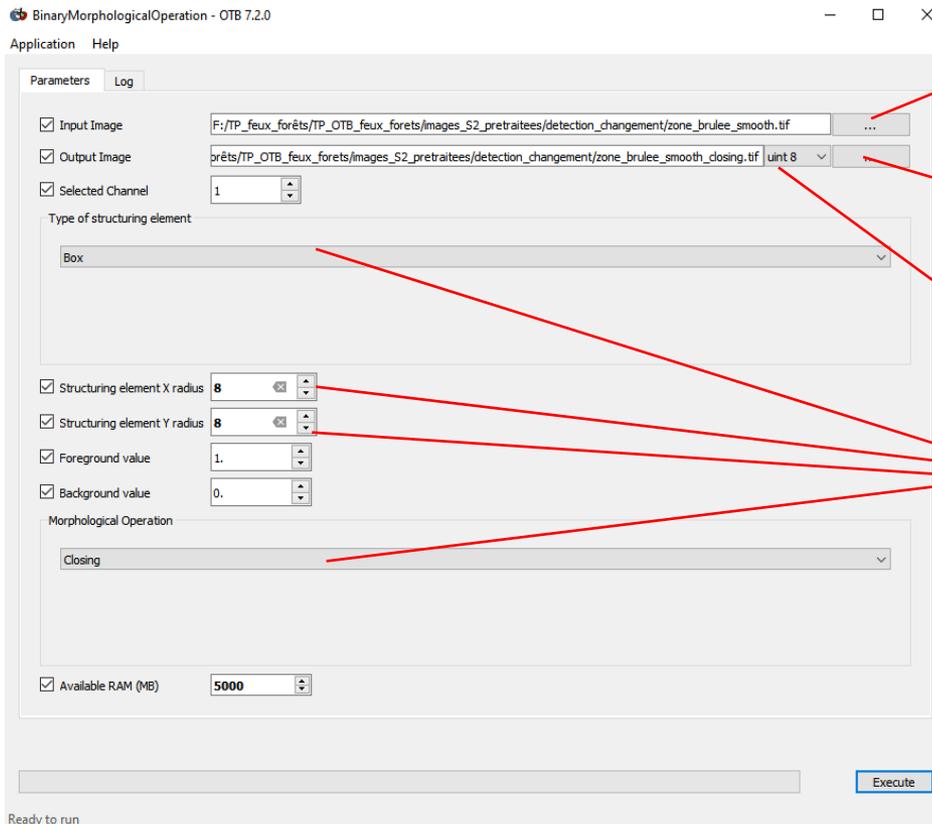
Choisissez **uint_8** comme type de codage pour l'image en sortie

Smoothing Type = mean
Radius = 1

4. Détection de changement

4.2 Traitement Morphologique

A l'aide de l'application `otbgui_BinaryMorphologicalOperation`, réalisez un post-traitement de fermeture (qui consiste à faire une dilatation suivie par une érosion) pour rendre l'image `zone_brulee_smooth.tif` plus lisse et enlever des pixels isolés restant.



Rajouter image, ici `zone_brulee_smooth.tif`

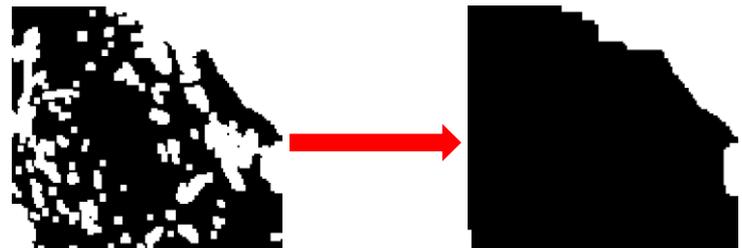
Image en sortie, nommez-la `zone_brulee_smooth_closing.tif`

type de codage "uint_8"

Type = box

X et Y radius =8

Morphological Operation = Closing



4. Détection de changement

4.3 Estimation de la gravité de la brûlure

A l'aide de l'application `otbgui_BandMathX`

- multipliez l'image `zone_brulee_smooth_closing.tif` par la `dNBR.tif` pour masquer les zones non-brulées

- classer les zones brulées comme suite :

-300, -439 gravité faible

-440, -659 gravité modérée

-660, -1300 gravité élevée

Expression : $((im1b1 < -300 \text{ and } im1b1 > -439 ? 1 : 0) * im2b1) + ((im1b1 < -440 \text{ and } im1b1 > -659 ? 2 : 0) * im2b1) + ((im1b1 < -660 ? 3 : 0) * im2b1)$

Nommez l'image en sorti : `gravite_brulure.tif`

5. Evaluation et cartographie de la zone détectée

- Cette dernière étape a pour but de créer une carte colorée qui représente l'étendue de la zone brûlée et qui met en évidence les degrés de gravité de l'incendie. Cette carte est intéressante en terme de rendu des résultats et de communication vers des responsables (élus, services techniques) ou vers le grand public.
- Ouvrez l'image **gravite_brulure.tif** et charger le fichier style **gravite_style.qml** depuis le dossier **detection_changement**

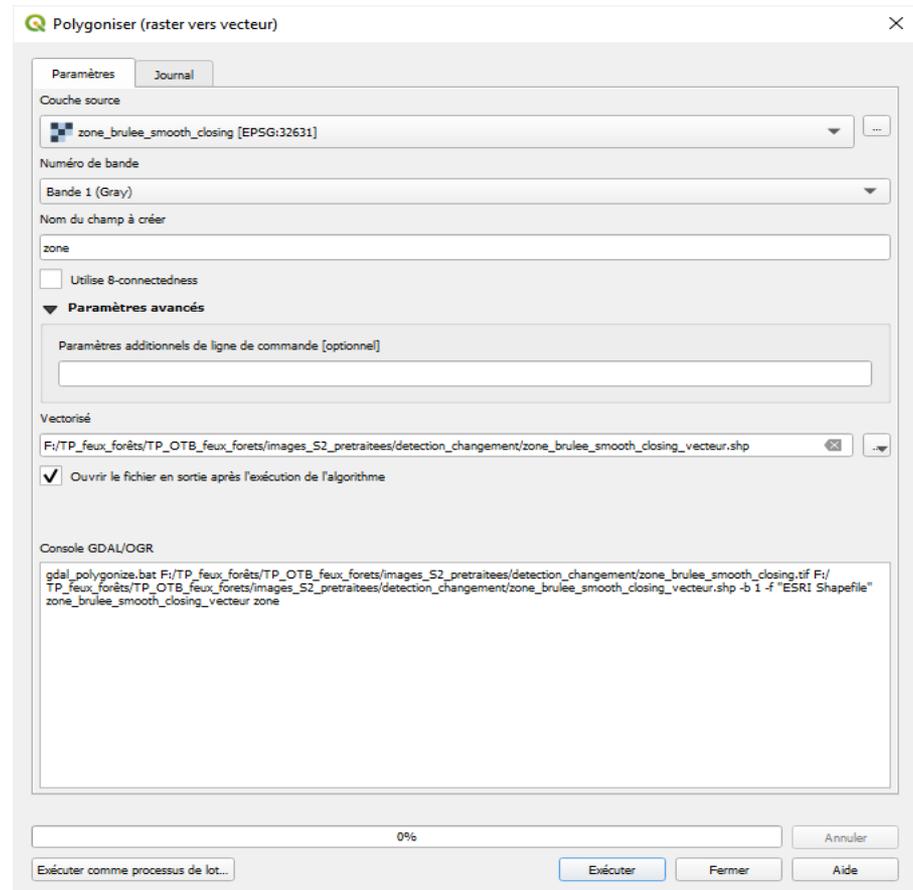


5. Evaluation et cartographie de la zone détectée

- Depuis le dossier "detection_changement", chargez l'image "zone_brulee_smooth_closing.tif" dans votre QGIS.

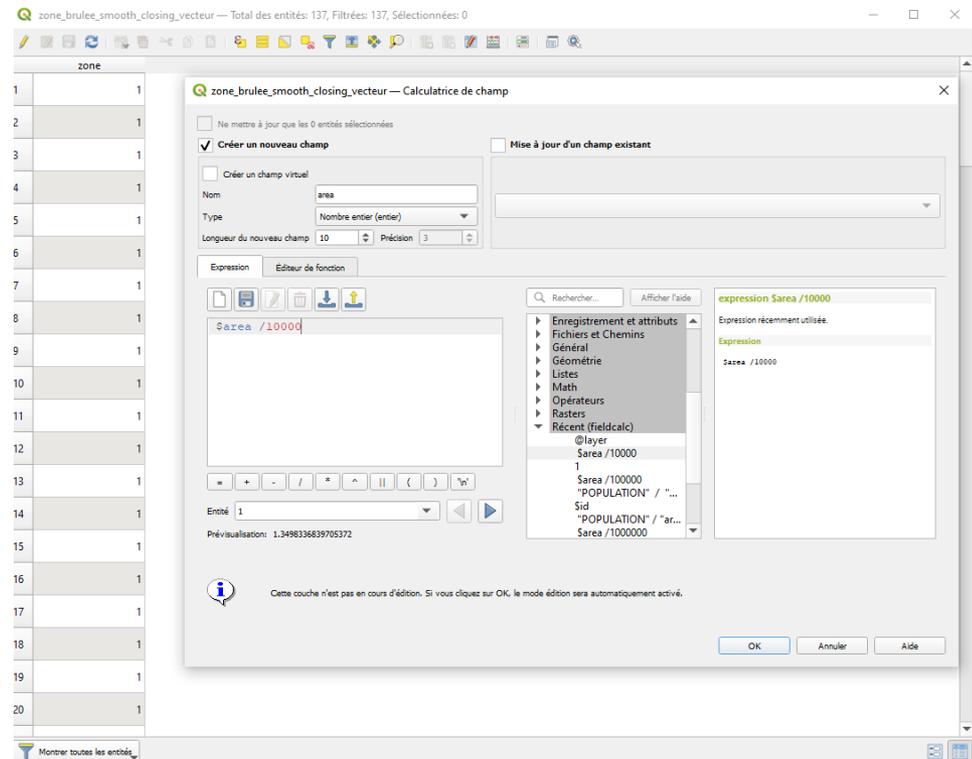
5.1 Vectorisation

Dans Qgis, utilisez l'application Polygoniser (Raster vers Vecteur) paramètres : image de classification **zone_brulee_smooth_closing.tif** et nom de champ dans le fichier .shp en sortie **zone_brulee_smooth_closing_vecteur.shp**



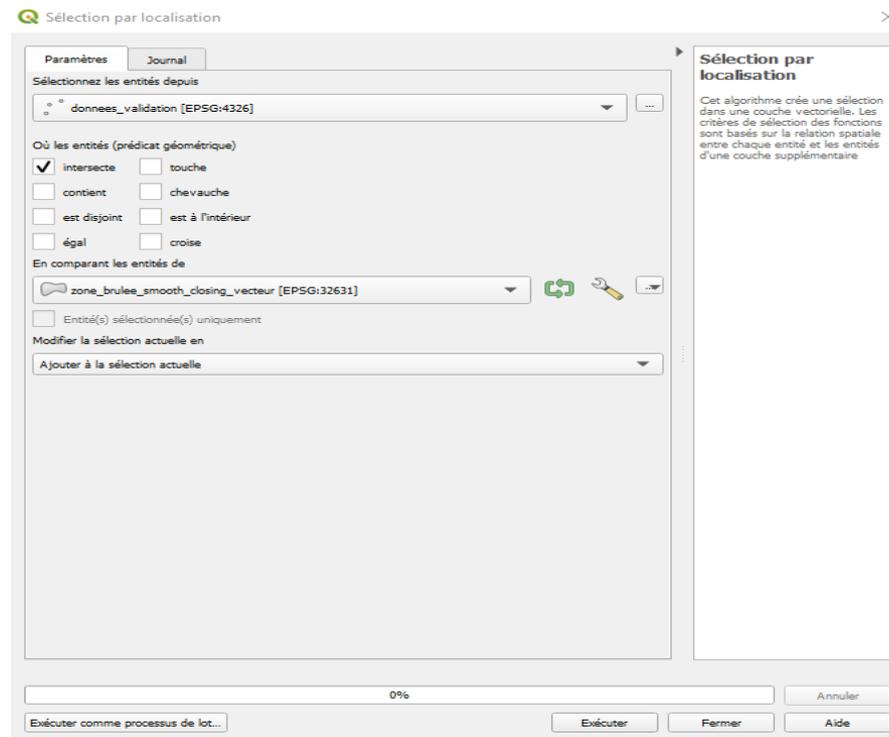
5. Evaluation et cartographie de la zone détectée

- Depuis la table attributaire de fichier **zone_brulee_smooth_closing_vecteur.shp** calculer la superficie (expression = $\$area/10000$)
- Puis supprimer toutes les entités (polygone) qui possèdent une superficie inférieure à 2.9 hectares.
- Calculez la somme des superficies de toutes les entités restantes (vous obtiendrez environ 3050 hectares)
- 3600 hectares à détecter - 3050 hectares détectés = 550 hectares non détectés.
- 550H = 15% erreurs
➔ 85% précision globale



5. Evaluation et cartographie de la zone détectée

- Pour une meilleure évaluation de la méthode, à partir du dossier "donnees_shp", chargez le fichier "donnees_validation.shp" (points correspondant aux zones brûlées) dans QGIS. Ensuite, utilisez l'outil de sélection par localisation pour choisir et compter tous les points qui intersectent avec les zones brûlées. Vous devriez trouver 86 points bien détectés sur 100, ce qui correspond à une précision globale de 86%.





Fin des Travaux Pratiques



- Pour aller plus loin, n'hésitez pas à consulter la documentation de l'OTB
<https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/>

Auteurs - Crédits

- Présenté par Ghaith Amin (CESBIO, MEOSS)
- Montage réalisé par AgroParisTech
- Publié en 2023, sous Licence Creative Commons CC BY SA



L'UMR TETIS (AgroParisTech-Cirad-CNRS-Inrae) a élaboré ce module de formation

« COPERNICUS et Forêts »

L'ensemble de la formation est réalisé dans le cadre d'un marché d'AgroParisTech avec le CNES (n° 5700008044)



Ce travail a bénéficié d'un soutien financier de l'Union Européenne dans le cadre du FPA « Caroline Herschel ».

