

GEOGF425 – Télédétection

Travaux Pratiques

Introduction à GRASS GIS pour le traitement d'images

Mise à jour septembre 2020 – GRASS 7.8

Maëlle Vercauteren Drubbel - Charlotte Flasse – Taïs Grippa – Moritz Lennert - Hugo Périlleux Sanchez

Table des matières

Présentation du logiciel.....	2
Introduction à la logique d'organisation des données dans GRASS GIS:.....	2
La logique d'organisation des modules GRASS GIS.....	3
Liste (non-exhaustive) des modules utiles pour les travaux pratiques.....	4
Exercices d'introduction.....	6
Objectifs.....	6
Comment lire les exercices.....	6
Préparation de la base de données GRASS GIS.....	7
Lancer GRASS GIS.....	7
Création d'un secteur GRASS GIS.....	8
Création d'un jeu de cartes.....	9
Lancement de GRASS GIS dans un secteur et jeu de cartes spécifique.....	9
Fermeture de GRASS GIS.....	10
Importation de fichiers matriciels ou vectoriels.....	10
Affichage de couches matricielles et vectorielles (couches individuelles, compositions colorées, zoom).....	11
Le concept de région.....	12
Obtenir des méta-données sur une couche.....	13
Affichage de l'histogramme d'une couche raster.....	13
Analyser la relation entre bandes.....	13
L'utilisation d'un masque.....	14
Calcul de valeurs de radiance et de réflectance (correction atmosphérique).....	14
Gestion des couleurs et amélioration de contraste pour les couches matricielles.....	15
Fusion d'image.....	15
Calcul d'indices.....	17
Seuillage et classement par ensemble de règles.....	17
Transformation multi-bandes (ACP, Tassled cap, etc).....	20
Digitaliser.....	21
Transformer une couche vecteur en couche raster.....	22
Créer un groupe d'images.....	22
Classification par pixel.....	23
Modification des valeurs de catégorie et reclassification de valeurs.....	26
Utilisation d'un filtre.....	26
Segmentation.....	27
Caractérisation des objets.....	27
Extraction d'objets d'entraînement.....	27
Classification des objets par machine learning.....	28
Classification des objets par ensemble de règles.....	29
Pour aller plus loin avec GRASS GIS.....	29
D'autres outils que GRASS GIS.....	29

Présentation du logiciel

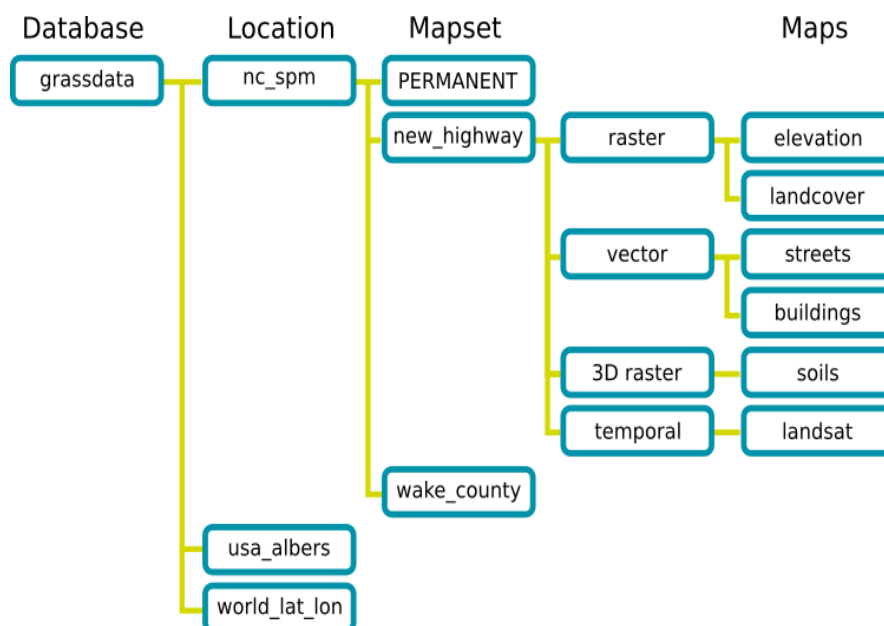
GRASS GIS (<http://grass.osgeo.org>) est un logiciel de système d'information géographique (SIG) libre de conception modulaire réalisé par le GRASS GIS Development Team. Le logiciel peut être librement téléchargé du site.

GRASS GIS est de conception modulaire, c'est-à-dire qu'à chaque fonction du logiciel correspond un module, ce qui permet d'économiser la mémoire et la CPU de votre ordinateur en ne lançant que les modules dont vous avez besoin. Les modules peuvent être lancés via les menu de l'interface graphique ou en tapant simplement leur nom dans le terminal ou la console de commandes.

Introduction à la logique d'organisation des données dans GRASS GIS:

- GRASS GIS ne fonctionne pas comme un simple *viewer* qui peut charger différents fichiers dans différents formats et simplement les afficher. GRASS GIS a ses propres formats de données et, plus important encore, GRASS GIS doit avoir une information précise sur la projection et l'extension de la zone de travail (appelé le **secteur** ou, en anglais, « **location** »), du au fait que GRASS GIS vise essentiellement l'analyse de données spatiales ce qui nécessite que la projection et la résolution soient bien définies.
- A l'intérieur des secteurs, on peut créer plusieurs « **jeux de cartes** » (« **mapsets** »). En général, on crée un jeu par utilisateur lors d'une utilisation commune (en réseaux) d'un secteur entre plusieurs personnes.
- Les secteurs sont en fait des répertoires dans ce qu'on appelle la base de données GRASS GIS, qui est aussi simplement un répertoire qui contiendra toutes les données utilisées dans GRASS GIS. Les jeux de cartes sont des répertoires à l'intérieur des secteurs. Le schéma suivant reprend l'organisation de GRASS GIS.

Organisation du fonctionnement de GRASS GIS (tiré de "Big geodata management and analysis using GRASS GIS", ©2018 Veronica Andreo, http://lucadelu.org/grass_foss4g_2018_workshop/):



La logique d'organisation des modules GRASS GIS

Les modules (commandes) GRASS GIS sont regroupés en familles :

- **r.*** pour les fonctions **rasters**
- **i.*** pour les fonctions de traitement d'**image**
- **r3.*** pour les fonctions volumiques (**rasters tri-dimensionnels**)
- **v.*** pour les fonctions **vectérielles**
- **db.*** pour les fonctions ayant trait aux bases de données liées (**database**)
- **d.*** pour les fonctions d'affichage (**display**)
- **ps.*** pour la production de cartes **Postscript**, ou encore
- **g.*** pour les fonctions **générales** de GRASS GIS telles que la manipulation, la suppression, ou le changement de nom de fichiers ou le paramétrage du Secteur ou du jeu de données

Il existe plusieurs sources d'informations relatives à la manipulation des modules :

- L'aide des commandes (bouton Help/Aide)
- Le manuel de référence dans le Menu Aide → Aide GRASS GIS ou en ligne: <https://grass.osgeo.org/documentation/manuals/>, notamment les introductions thématiques (« Intro raster map processing », « Intro image processing », « Intro vector map processing »)
- Traitement d'image dans GRASS GIS : http://grass.osgeo.org/wiki/Image_processing
- Didacticiels GRASS GIS pas à pas pour les débutants, sur le site « Portail SIG », par Martin Lalou : <https://portailsig.org/dossier/SIG%20OpenSource.html> (attention, le site n'est pas sécurisé par SSL et votre navigateur internet risque de bloquer l'affichage de la page la première fois, vous devez cliquer sur un bouton spécial pour dire que vous acceptez de prendre le risque).
- Didacticiels vidéo GRASS GIS : http://www.youtube.com/results?search_query=GRASS_GIS+GIS

RTFM : Merci de lire bien lire le manuel avant de poser une question

Derrière cet acronyme bien connus des forums informatique, se cache une recommandation simple :

Si vous ne parvenez pas à faire quelque chose ou que vous ne comprenez pas la signification de telle ou telle option dans un outil, assurez-vous d'avoir bien lu le manuel d'utilisation avant de poser votre question.

Les assistants sont là pour vous aider, bien sûr, mais si la réponse est évidente vous pourriez bien être renvoyé vers le manuel officiel.

Le manuel d'un outil est toujours disponible directement via l'interface graphique du module, en cliquant sur l'onglet « Manuel ».

L'ensemble des manuels sont également disponible sur internet :

- Pour les modules de base : <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/index.html>
- Pour les extensions : <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/addons/>

Liste (non-exhaustive) des modules utiles pour les travaux pratiques

(NB : les noms des chemins de menus peuvent varier selon l'état de la traduction)

- **Gestion générale**
 - Importer un fichier raster (**r.in.gdal**, Fichier, Importer une carte raster, Importer des formats standards)
 - Importer un fichier vecteur (**v.in.ogr**, Fichier, Importer des données vectorielles, Importer des formats standards)
 - Créer un groupe (**i.group**, imagerie, Développer images et groupes, Créer/éditer un groupe d'images)
 - Gérer les paramètres de la région (**g.region**, Settings, Région, Set)
 - Réaliser un géoréférencement (File, Géoréférencer)
 - Digitalisation (**wxdigit**, GRASS GIS Map Display, Menu en haut à droite, Numériser / Digitize)
 - Copier, renommer, chercher, supprimer un fichier (Fichier, Gérer cartes et volumes)
 - Convertir un fichier vectoriel en raster (**v.to.rast**, Fichier, Conversion de type de carte, Vecteur vers raster)
 - Convertir un fichier raster en vecteur (**r.to.vect**, Fichier, Conversion de type de carte, Raster vers vecteur)
 - Création d'un masque (**r.mask**, Raster, Masque)
 - Installation d'extensions (**g.extension**, Paramètres, Liste des extensions)
- **Visualisation, couleurs, etc**
 - Modifier une palette de couleur (**r.colors**, Raster, Gérer les couleurs, Table de couleurs)
 - Etablir manuellement une règle de couleur (Raster, Gérer les couleurs, Règle de couleur)
 - Fusion d'images selon différentes techniques (**i.pansharpen**, Imagerie, Pan sharpening)
 - Transformation RGB vers HIS (**i.rgb.his**, Imagerie, Gérer les couleurs d'image, RVB vers TVS)
 - Transformation HIS vers RGB (**i.his.rgb**, Imagerie, Gérer les couleurs d'image, TVS vers RVB)
 - Amélioration de contraste pour trois bandes (**i.colors.enhance**, Imagerie, Gérer les couleurs d'image, Balance des couleurs pour RVB)
- **Informations et statistiques sur une (ou plusieurs) couche(s)**
 - Afficher les métadonnées (**r.info**, Raster, Comptes rendus et statistiques, Basic raster metadata)
 - Afficher le nombre de pixels par catégorie (**r.stats**, Raster, Comptes rendus et statistiques, Statistiques générales)
 - Mesures de surface par catégorie sous forme d'un tableau (**r.report**, Raster, Comptes rendus et statistiques, Somme des surfaces par carte raster et catégorie)
 - Calculer des statistiques sur la variable contenu dans un raster (y compris percentiles) (**r.univar**, Raster, Comptes rendus et statistiques, Univariate raster statistics)
 - Calculer la matrice de covariance/correlation entre deux ou plusieurs couches raster (**r.covar**, Raster, Comptes rendus et statistiques, Covariance/corrélation)

- *Modification de valeurs, calcul d'indices, filtres, etc*
 - Transformation des valeurs digitales d'images Landsat en valeurs de radiance ou (par correction atmosphérique DOS) réflectance (**i.landsat.toar**, Imagerie, Outils d'images satellite, Valeurs numériques Landsat vers radiance/réflectance)
 - Remplacer les valeurs null par une valeur ou inverse (**r.null**, Raster, Travailler sur une carte raster, Gérer les valeurs NULL)
 - Reclasser une carte (changer catégories nominales) (**r.reclass**, Raster, Changement des valeurs de catégorie et des étiquettes, Reclassify)
 - Recoder une carte (changer variables quantitatives) (**r.recode**, Raster, Changement des valeurs de catégorie et des étiquettes, Recode)
 - Calculatrice de couches matricielles (**r.mapcalc** : Raster, Raster map calculator)
 - Filtre avec voisinage régulier non-pondéré (**r.neighbors** : Raster, Analyse de voisinage, Fenêtre mouvante)
 - Filtre avec voisinage paramétrable (y compris pondération) (**r.mfilter**, Imagerie, Filtrage d'image, Matrice/filtre de convolution)
 - Analyse en composantes principales (**i.pca**, Imagerie, Transformer une image, Composantes principales)
 - Calcul des transformations de tassled cap (**i.tasscap**, Imagerie, Produits d'imagerie satellitale, Index de végétation)
 - Correction atmosphérique selon le modèle 6S (**i.atcor**, Imagerie, Outils d'images satellite, Atmospheric correction)

- *Classification et ségmentation*
 - Définitions de classes et calculs de signatures pour classification non supervisée (**i.cluster**, imagerie, Classification d'images, Regroupement pour classification sans supervision)
 - Calculer un fichier de signatures à partir de zones d'entraînement pour classification par MLC (**i.gensig** : imagerie, Classification d'images, Entrée pour classification supervisée MLC)
 - Calculer un fichier de signatures à partir de zones d'entraînement pour classification par SMAP (**i.gensigset** : imagerie, Classification d'images, Entrée pour classification supervisée SMAP)
 - Classification par maximum de vraisemblance, MLC (**i.maxlik**, imagerie, Classification d'images, Classification par le maximum de vraisemblance (MLC))
 - Classification maximum a priori (SMAP) (**i.smap** : imagerie, classification d'images, Sequential maximum a posteriori classification (SMAP))
 - Segmentation (**i.segment**, Imagerie, Classification d'image, Object segmentation)

- *Quelques extensions utiles (à installer avec g.extension)*
 - Optimisation des paramètres de segmentation (**i.segment.uspo**)
 - Calcul de statistiques par objet (**i.segment.stats**)
 - Calcul de statistiques de forme pour des objets raster (nécessaire pour i.segment.stats) (**r.object.geometry**)
 - Classification d'objets sur base de zones d'entraînement en utilisant différents algorithmes de machine learning (nécessite d'avoir R installé sur la machine) (**v.class.mlr**)
 - Segmentation avec tuilage pour faire du calcul en parallèle (**i.segment.hierarchical**)
 - Fusion d'images en utilisant un algorithme d'addition de filtre passe-haut (**i.fusion.hpf**)
 - Classification par pixel en utilisant la technique du Random Forest (**r.randomforest**)
 - Segmentation rapide par la méthode dites des «superpixels - SLIC» (**i.superpixels.slic**)
 - Subdivision d'une image de manière « intelligente » sur base des limites visibles dans la scène - Utile pour les approches par objets (**i.cutlines**)

Exercices d'introduction

Objectifs

Apprendre à utiliser GRASS GIS pour le traitement d'images, notamment :

- préparer la base de données GRASS GIS
- lancer GRASS GIS
- créer un secteur
- créer un jeux de carte
- importer des images et des couches vectorielles
- afficher des images et des couches vectorielles
- gestion de la région (extension et résolution) dans GRASS GIS
- changer les couleurs d'une image et améliorer le contraste
- faire des compositions colorées
- calculer un indice
- digitaliser
- transformer un vecteur en raster
- créer un groupe d'images
- procéder à une classification par pixel et par objet
- appliquer un filtre simple

Comment lire les exercices

- Toute explication est en texte normal.
- Toute instruction d'action a un arrière-fond gris.
- Pour les instructions d'action, il est sous-entendu qu'il faut pousser sur le bouton 'Executer' quand on a terminé tous les réglages des paramètres.
- Tout module GRASS GIS est écrit en **gras et italique**. Vous pouvez appeler ces modules via le menu, via l'onglet 'Modules', en tapant le nom du module dans la Console ou alors directement dans le terminal.

Préparation de la base de données GRASS GIS

- Avant toute chose, Il faut créer un répertoire de travail (que l'on appelle comme on veut, souvent « GRASSDATA »), par exemple dans votre répertoire personnel. C'est dans ce répertoire que GRASS GIS stockera toutes les données. Ce répertoire est appelé « Base de données GIS » (GIS Database) ou « Répertoire de données GIS » dans le jargon GRASS GIS.
- Il est à noter que dans ce répertoire, GRASS GIS organise ces données automatiquement dans des sous-répertoires. Une nouvelle arborescence de sous-répertoires est créée pour chaque nouveau secteur ("location" en anglais) dans la base de données (càd le répertoire créé ci-dessus).
- Créer le répertoire destiné à contenir la base de données GRASS GIS.
- **Remarques importantes :**
 - Même si la plupart des logiciels (y compris GRASS GIS) gèrent de mieux en mieux les différents jeux de caractères des différentes langues du monde, **il est fortement conseillé d'éviter tout caractère spécial** (accent, slash, parenthèse, etc) **mais également les espaces**, dans tout nom de répertoire, de secteur, de jeux de cartes, de cartes, etc.
 - L'organisation des données dans le dossier GRASSDATA doit être laissée à GRASS GIS. Toute opération sur les fichiers tel que renommer ou copier des cartes affecte divers fichiers internes et doit donc toujours être accomplie uniquement avec des commandes GRASS GIS. Les interventions manuelles dans ce répertoire ne sont acceptables que dans des situations exceptionnelles. Ce répertoire ne doit donc jamais servir comme espace pour enregistrer vos données de base (fichiers vectoriels, fichiers rasters, fichiers Words et autres).

Lancer GRASS GIS

- Dans les systèmes de style Unix/Linux, on lance GRASS GIS dans un terminal
 - Soit on lance un terminal et on y tape 'grass' puis la touche RETOUR
 - Soit on pousse simultanément sur Alt et F2, on tape 'grass' et on coche la case 'Lancer dans un terminal'
- Dans les systèmes MS Windows
 - Lancer GRASS GIS avec interface wx à partir du « menu démarrer »
- Lancer GRASS GIS en via Alt-F2 (en cochant la case 'Lancer dans un terminal').
- Lors du premier démarrage GRASS GIS se lance dans le terminal avec une série de renseignements.
- Taper sur RETOUR.
- GRASS GIS affiche alors la fenêtre de démarrage de GRASS GIS et un message indiquant que « GRASS GIS nécessite un dossier dans lequel enregistrer ses données. ».
- Cliquer sur 'Valider' et naviguer vers le répertoire précédemment créé (GRASSDATA ou autre), le sélectionner et cliquer sur 'Ouvrir'.
- S'ouvre alors la fenêtre de démarrage. A partir de cette fenêtre, vous avez différentes possibilités : sélectionner le répertoire de données, sélectionner un secteur existant, créer un secteur, sélectionner un jeux de données existant ou en

créer un (au premier lancement de GRASS GIS la liste des secteurs est évidemment vide) :



Création d'un secteur GRASS GIS

Avant de pouvoir travailler, il faut créer un nouveau secteur pour accueillir les données. Pour créer un secteur, il faut définir son système de projection.

- Dans le panneau de gauche, cliquer sur '*Nouveau*', entrer un nom au choix (champ '*Secteur du projet*' - de préférence un nom qui rappelle le système de projection utilisée et/ou la zone couverte par le secteur), laissez le titre vide et cliquer sur '*Suivant*'.
- GRASS GIS propose différentes manières de définir le système de projection :
 - sur base d'un fichier qui contient l'information sur le système de projection (fichier vectoriel, matriciel ou de texte)
 - en entrant un code (EPSG) représentant le système de projection (possibilité de recherche de ce code dans un tableau)
 - en entrant manuellement les différents paramètres de projection
- Nous allons utiliser l'option code EPSG. Choisir cette option et cliquer sur '*Suivant*'.

- Nos fichiers pour cet exercice sont dans le système de projection UTM, Zone 31 Nord, datum WGS84.
- Dans le champ de recherche, entrer 'utm zone 31' et taper RETOUR. Dans la liste qui apparaît choisir le système correct (attention de bien choisir le WGS84 – le code EPSG correcte est 32631) et cliquer sur 'Suivant'.
- Ne modifier pas le choix du « datum de transformation » et cliquer sur 'Valider'.
- Terminer la création du secteur GRASS GIS en cliquant sur « Finir »

Création d'un jeu de cartes

L'utilisation de jeux de cartes permet d'organiser les données par sous-projet, par utilisateur (dans un environnement multi-utilisateurs) ou selon toute autre logique. On peut considérer les jeux de cartes de la même manière que les sous-répertoires dans un répertoire contenant tout un projet.

Vous constaterez qu'un jeu de cartes a été créé par défaut lors de la création du secteur, à l'étape précédente. Ce jeu de cartes appelé « **PERMANENT** » est indispensable au bon fonctionnement du système et ne doit jamais être renommé ou supprimé.

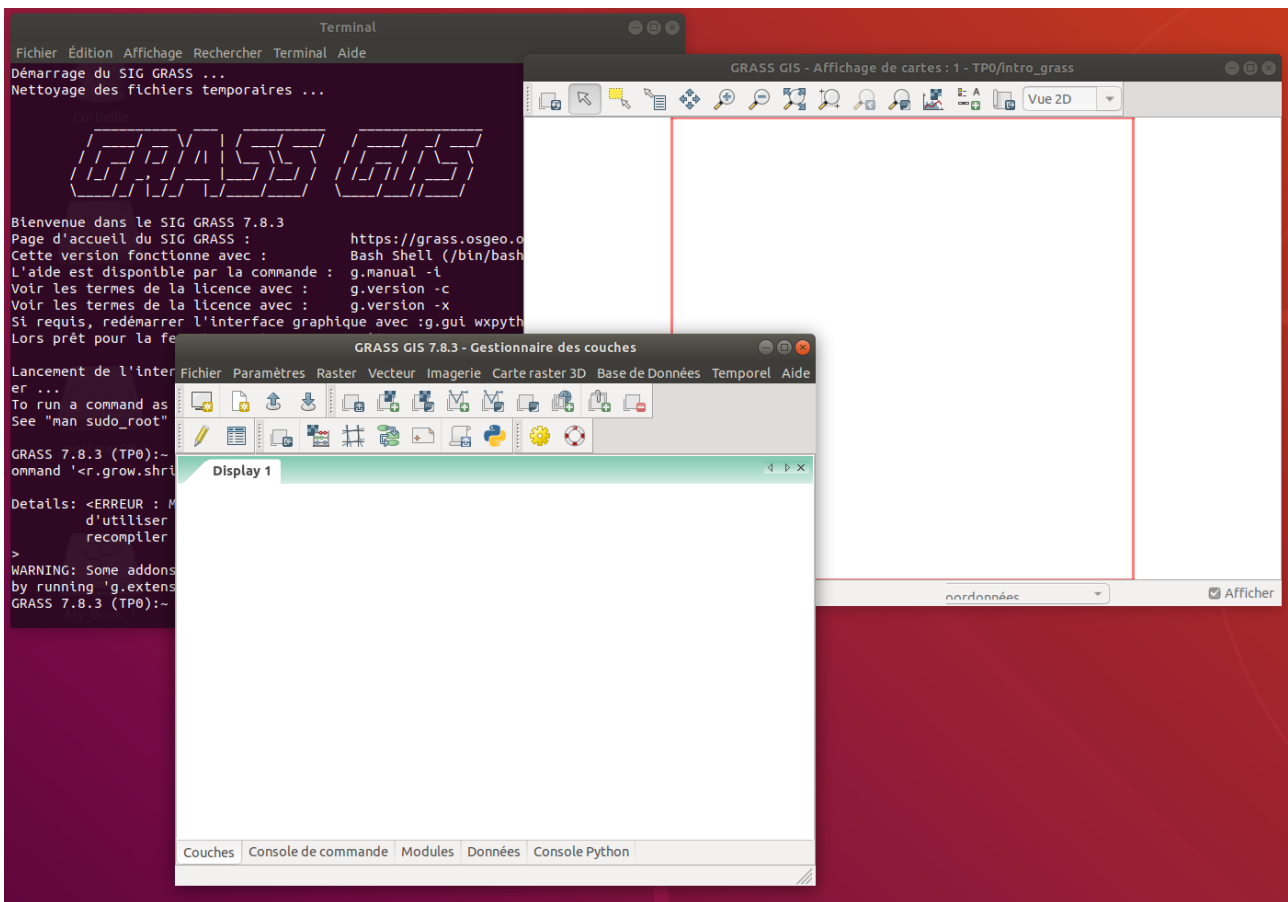
Remarque importante : C'est généralement dans le jeu de carte PERMANENT qu'on importe les données de base. Ensuite, pour organiser ses données proprement, on crée de nouveaux jeux de carte pour les différentes étapes méthodologiques : pré-traitements, segmentation, classification, post-classification etc..

- Créer un nouveau jeu de carte appelé « intro_grass » en cliquant sur 'Nouveau' dans le panneau de droite et en entrant le nom du jeu de carte.

Lancement de GRASS GIS dans un secteur et jeu de cartes spécifique

- Choisir le secteur et le jeu de cartes voulus et cliquer sur 'Démarrer GRASS'
- GRASS GIS s'ouvre alors avec les fenêtres principales suivantes (voir capture d'écran plus bas) :
 - Gestionnaire des couches: c'est le centre névralgique de l'interface graphique qui permet d'accéder aux différents menus. Il est divisé en deux parties (voir onglets en bas de la fenêtre). L'onglet Couche pour chaque écran permet d'ajouter des couches aux fenêtres d'affichage de cartes et de gérer celles-ci. L'onglet Messages de la commande affiche les lignes de commandes qui appellent les différents modules et les résultats des différentes opérations. Il est aussi possible de lancer les différents modules à partir de lignes de commandes tapées directement au bas de la fenêtre du Layer Manager (*Console de commandes*).
 - Moniteur d'affichage des cartes : c'est le moniteur qui permet d'afficher le résultat des opérations des couches sur lesquelles on travaille. C'est là que se trouvent notamment les outils relatifs à l'affichage (zoom, pan,...). On peut ouvrir autant de *Moniteurs* différents que l'on souhaite ce qui peut être utile pour comparer des cartes / images.
 - Terminal: c'est à partir de ce terminal que GRASS GIS a été lancé. Il est possible de travailler directement dans ce terminal en travaillant par lignes de commandes. Ce terminal n'est par défaut pas disponible dans MS Windows. Si on souhaite taper des commandes au clavier, on peut le faire dans la *Console de commandes* de l'interface graphique.

- Comme déjà mentionné, GRASS GIS n'est pas un « programme » monolithique, mais bien une collection de centaines de petits programmes. D'ailleurs, l'interface graphique n'est qu'un de ces programmes et si elle se plante, on peut la relancer à partir du terminal en tapant 'g.gui'.



Fermeture de GRASS GIS

Comme GRASS GIS n'est pas un programme monolithique et que l'interface n'est qu'un programme parmi beaucoup, il ne suffit pas de fermer l'interface graphique pour sortir de l'environnement GRASS GIS. Il est important de fermer correctement GRASS GIS, afin qu'il puisse nettoyer tous les fichiers temporaires.

Plusieurs options sont possibles :

- Dans le terminal de GRASS (sous linux), taper la commande 'exit'. Il ne faut donc pas fermer le terminal en cliquant sur la petite croix du gestionnaire de fenêtres !
- Cliquer sur la petite croix de la fenêtre du gestionnaire des couches, et cliquer ensuite sur « Quitter GRASS GIS ».
- Dans l'arborescence des menus de la fenêtre du gestionnaire des couches, choisir Fichier→Quitter GRASS GIS.

A l'inverse, il est aussi possible de laisser GRASS GIS travailler sans pour autant être obligé de garder l'interface graphique activée.

Changer de jeu de carte

Il n'est pas rare de devoir changer de jeu de carte au cours d'une session de travail. Trois possibilités existent pour cela :

- La méthode brutale : quitter (proprement) GRASS GIS et le lancer à nouveau en choisissant le jeu de carte désiré.
- La méthode recommandée : utiliser l'outil dédié accessible via le menu (Paramètres, Environnement de travail GRASS, Choisir un secteur de travail et un jeu de carte)
- La méthode rapide : dans l'onglet « Données » du gestionnaire des couches, faire un clic-droit sur le jeu de carte désiré et choisir « Inverser les jeux de cartes »
- La méthode pour les utilisateurs avancés : l'outil dédié g.mapset (Paramètres, Environnement de travail GRASS, Modifier l'environnement de travail)

Importation de fichiers matriciels ou vectoriels

Tous les outils pour la gestion des fichiers (importation, exportation, effacer, renommer, etc) se trouvent dans le menu 'Fichier'. Pour importer des fichiers matriciels (y compris des images) et vectoriels, il est généralement conseillé d'utiliser les outils génériques respectifs **r.in.gdal** et **v.in.ogr**. Il est également possible d'utiliser les outils **r.import** et **v.import**.

- Pour cet exercice d'introduction nous travaillons avec des données Landsat. On peut télécharger de telles scènes Landsat gratuitement sur internet, notamment à l'adresse <http://earthexplorer.usgs.gov> (il faut se créer un compte utilisateur, mais c'est gratuit). Nous travaillerons avec toutes les bandes d'une scène Landsat8 OLI de décembre 2019 couvrant la région de Bruxelles. Les fichiers sont dans le format GeoTIFF, un format matriciel très répandu.
- Télécharger les fichiers Landsat8_20191204.zip, zones_entrainement.zip et mask.zip de l'Université virtuelle dans un répertoire sur votre ordinateur (mais pas dans la base de données GRASS GIS « GRASSDATA » !).
- Dans votre navigateur de fichier, décompresser les fichiers zip (sous GNU/Linux : clic-droit → Décompresser ici).
- Assurez-vous de bien être dans le jeu de carte PERMANENT. Si ce n'est pas le cas changer votre jeu de carte pour importer les images dans PERMANENT.
- Dans le gestionnaire des couches de GRASS GIS, aller dans le menu *Fichier* → *Importer une carte raster* → *Import raster simplifié avec reprojexion [r.import]*.
- Vous pouvez soit importer un fichier isolé, ou toute une série de fichiers se trouvant dans le même répertoire.
- Choisir la deuxième option (*Répertoire*) pour importer d'un coup l'ensemble des bandes de l'image Landsat.
- Cliquer sur '*Parcourir*' et naviguer vers le répertoire où vous avez décompressé les fichiers Landsat. Sélectionner le répertoire et cliquer sur '*Ouvrir*'.
- On peut sélectionner les couches que l'on souhaite importer en cochant la case à côté de leur nom.
- Faire un clic-droit et sélectionner tout.
- GRASS GIS est très sensible à la projection et un secteur ne peut contenir que

des données avec un même système de projection (SCR). Cet outil gère automatiquement la reprojection vers le SCR du secteur lorsque de données avec un SCR différent sont importées.

- Cliquer sur '*Importer*'. On peut suivre l'importation des différents fichiers dans la *Console de commande* du gestionnaire de couches. Vérifier qu'il n'y a pas de messages d'erreur.
- La case '*Ajouter les couches importées dans l'arborescence des couches*' permet d'indiquer si on souhaite oui ou non afficher directement les couches. Cette option est généralement toujours cochée par défaut.
- Il se peut que des messages d'avertissement « WARNING » apparaissent en bleu dans la console de commande du gestionnaire des couches. Il ne faut pas trop s'en inquiéter. Par contre, lorsqu'un message d'erreur « ERROR » apparaît en rouge, là il convient de regarder plus attentivement ce qui a posé problème.
- Si tout s'est bien passé, cliquer sur '*Fermer*'
- Il existe également un autre outil pour importer des rasters : Importation de raster de formats communs [r.in.gdal].

Pour importer des fichiers vectoriels la démarche est très semblable en passant par le menu *Fichier* → *Importer des données vectorielles* → *Importer des formats standards*. Il est possible d'utiliser les outils **v.import** ou **v.in.ogr**.

- Importer le fichier shapefile zones_entrainement.shp.



Obtenir des méta-données sur une couche



Les méta-données sont les « données sur les données », à savoir des informations décrivant une couche (extension, résolution, gamme de valeurs, commande ayant servi à créer la carte, date de création, etc).

- GRASS GIS offre des méta-données simples dans le Gestionnaire des couches avec un *clique-droit sur la couche* → *Métadonnées*.
- Afficher les métadonnées de la couche LC08_L1TP_20191204_B2.

Affichage de couches matricielles et vectorielles (couches individuelles, compositions colorées, zoom)

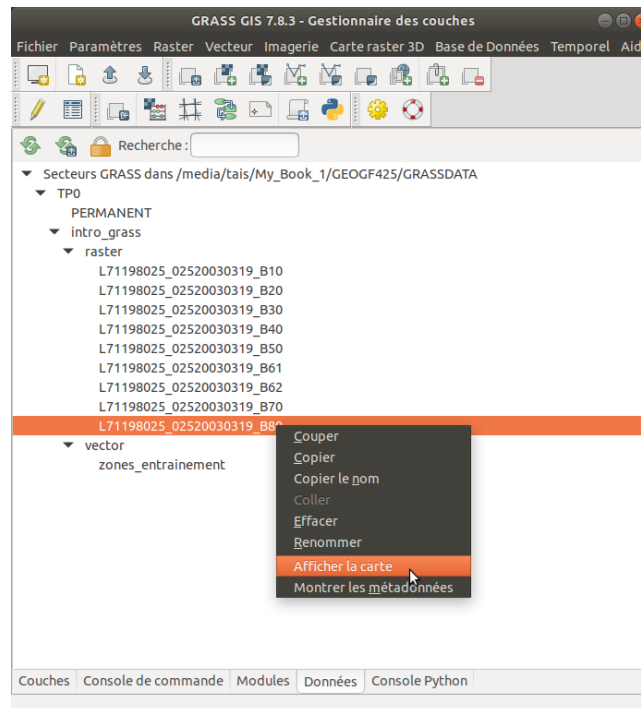
Tout l'affichage de couches ce paramètre dans le gestionnaire des couches. Dans GRASS GIS **l'on ne peut afficher que des couches que l'on a précédemment importées** ! Quand on a plusieurs *Moniteurs d'affichage* ouverts, il faut veiller à ce que l'on travaille bien dans le bon onglet correspondant du gestionnaire des couches.

- L'icône  (d.rast) permet d'ajouter une couche matricielle (y compris une bande d'image).
- L'icône  (d.vect) permet d'ajouter une couche vectorielle.
- Il est également possible d'ajouter, en une seule opération, plusieurs cartes raster et vecteur en utilisant l'outil accessible via le menu *Fichier* → *Affichage des cartes* → *Ajouter plusieurs cartes raster/vecteurs*.


En cliquant sur ces icônes on arrive dans les fenêtres de paramétrage (choix de la couche, choix de symbolisation / d'affichage). Les icônes chaque fois à droite des icônes ci-dessus ( et ) permettent d'accéder à d'autres commandes d'affichage plus spécialisées, dont la commande d'affichage de trois couches raster en

composition colorée (**d.rgb**, *Ajouter une couche RVB*).

Une autre option consiste à ajouter les couches directement via le panneau « Données » de la fenêtre du gestionnaire des couches. Vous y trouverez l'arborescence des secteurs et jeux de cartes dans la base de donnée GRASS GIS. En faisant un clique-droit sur une carte, vous avez accès à plusieurs options dont notamment de l'afficher.



Pour zoomer vers l'extension d'une couche particulière, sélectionner la couche dans le gestionnaire de couches, puis deux options :

- dans le gestionnaire de couches, *clique-droit sur le nom de la couche* → *Zoomer sur la carte sélectionnée*
- dans le moniteur d'affichage, cliquer sur l'icône correspondante 

Uniquement les couches dont la case est cochée dans le gestionnaire de couches s'affichent. L'ordre des couches dans le gestionnaire influence le rendu visuel dans le moniteur d'affichage, avec la première couche de la pile qui s'affichera au dessus des autres.

- Afficher la bande LC08_L1TP_20191204_B8 de la scène Landsat. C'est la bande panchromatique avec une résolution de 15m. Zoomer vers l'extension de la couche si nécessaire.
- Afficher la bande bleue LC08_L1TP_20191204_B2. Elle a une résolution de 30m.
- Zoomer dans le Moniteur d'affichage jusqu'à voir des pixels individuels dans l'image. L'image est très sombre, zoomer donc à un endroit où il y a des pixels très clairs. Alternier entre les deux bandes pour voir la différences de résolution (4 pixels dans la bande panchromatique pour 1 pixel dans la bande bleue).
- Interroger les méta-données des deux couches raster pour vérifier leurs résolution spatiale.
- Afficher la couche vectorielle *zones_entrainement*. Modifier l'affichage pour que les polygones ne soient pas remplis (remplissage transparent) et que les contours soient dessinés en rouge et que les classes soit affiché par des

étiquettes.

- Afficher une composition colorée avec les bandes suivantes :
 - rouge : LC08_L1TP_20191204_B4
 - vert : LC08_L1TP_20191204_B3
 - bleu : LC08_L1TP_20191204_B2


Les bandes Landsat apparaissent très sombres. On verra maintenant comment améliorer cet affichage. Mais d'abord, il faut s'occuper de la région de travail dans GRASS GIS.

Introduction au concept de région

La région est un des concepts fondamentaux de GRASS GIS : puisque toute analyse raster se fait dans une grille définie par son extension, sa localisation dans l'espace et sa résolution (càd la longueur en unité au sol d'un côté d'un pixel de l'image), il faut fixer ces paramètres avant chaque travail avec des données matricielles et donc des images. Tout logiciel SIG prendra alors ces paramètres en compte dans toutes les opérations concernant les données matricielles.

Dans GRASS GIS ces paramètres s'appellent la 'région', ou aussi 'région de travail'. La région définit l'extension géographique via les coordonnées Nord, Sud, Ouest, Est de la zone et via la résolution. **Il est impératif de définir la région correctement avant toute opération, car la plupart des modules GRASS GIS travaille dans la région actuellement définie** (en fait la région définit la zone et la résolution dans laquelle les modules « écrivent » des données matricielles).

On peut définir la région à partir d'une couche matricielle existante, donc notamment à partir d'une bande d'une scène que l'on souhaite utiliser, ou alors on définit soi-même l'un ou tous les paramètres définissant la région. Plusieurs options existent pour changer la région, notamment :

- Tous les paramètres de la région peuvent être gérés par le module **g.region** (accessible dans le menu Paramètres → Région calculée → Définir la région). On peut y choisir une couche existante comme modèle, entrer les paramètres à la main ou utiliser une combinaison des deux (ex : extension définie par une couche raster ou vectorielle et résolution spatiale entrée à la main)
- Un clique-droit sur le nom d'une couche dans le Gestionnaire des couches permet de '*Définir la région calculée à partir de la carte sélectionnée*'.
- Il est également possible de définir une région de manière interactive en sélectionnant une zone avec la souris dans la fenêtre affichage de carte. Pour ce faire, cliquez sur l'icône  pour faire apparaître le menu déroulant, puis choisissez « Définir l'emprise de la région de manière interactive ». Attention, avec cette méthode il n'est pas possible de définir la résolution mais uniquement l'emprise.

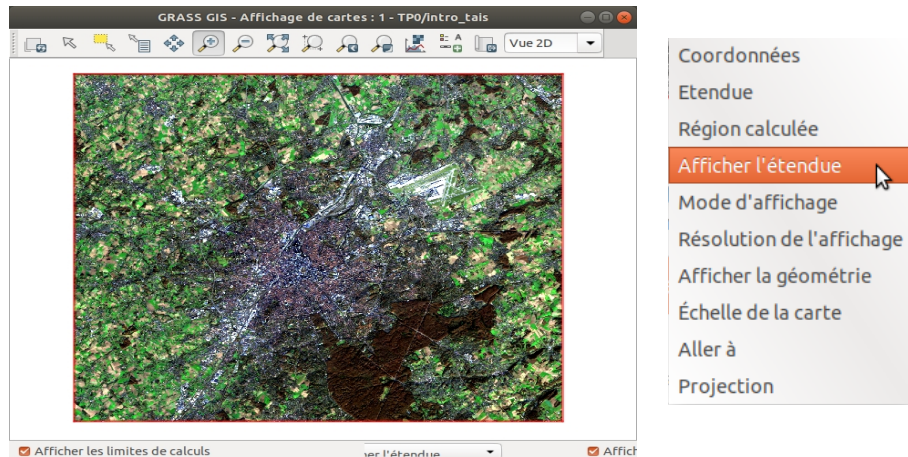
Gestion des couleurs et amélioration/réhaussement de contraste pour les couches matricielles

Tout logiciel GIS permet de changer la palette de couleur (ou table de couleurs) d'une couche raster. Cette table de couleurs est en fait une liste de correspondance entre les valeurs des pixels de la couche et les couleurs correspondant à ces valeurs. Soit on définit toutes les couleurs pour toutes les valeurs, soit on définit quelques couleurs (au moins une pour la valeur de pixel maximale et une pour la valeur de pixel minimale) et le logiciel interpole et affecte des couleurs à toutes les autres valeurs.

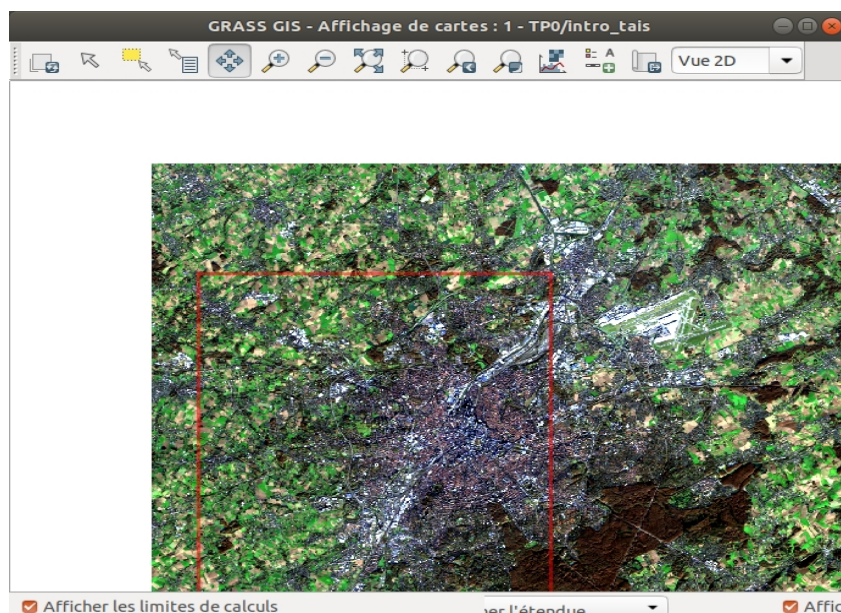
- Dans GRASS GIS, pour modifier une palette de couleurs (**r.colors** : *Raster, Gérer les couleurs, Table de couleurs*) : dans l'onglet Maps, sélectionner le raster dont on souhaite modifier la table des couleurs et dans l'onglet Définir, sélectionner une table de couleur prédéfinie, indiquez un fichier contenant des règles d'attribution de couleurs ou alors entrer les règles interactivement. Attention : pour la plupart des palettes prédéfinie, les réglages de la région sont importantes puisqu'elle déterminent sur quelle partie de l'image on calcule éventuellement les couleurs !
- Pour modifier une palette de couleurs interactivement en choisissant des couleurs visuellement, il faut utiliser l'outil interactif de l'interface graphique (*Raster, Gérer les couleurs, Gérer les règles de couleur de manière interactive*).
- Pour ce qui suit, la région doit être réglée pour correspondre à la résolution et à l'emprise de la bande bleue (ou une autre bandes à résolution de 30m). A vous de choisir la façon de faire.
- Afficher la bande bleue et affecter différentes palette prédéfinie à la bande bleue : *grey, grey.eq, byr*, etc et observer l'effet. Terminer par remettre à la table *grey*.
- Afficher de nouveau la composition colorée avec les trois bandes rouge, verte, et bleue.
- Affecter aux bandes bleues, vertes et rouges (B2, B3, B4) la table *grey.eq*. Cette table correspondant à une amélioration de contraste simple par égalisation sur l'histogramme. Observer l'effet de chaque changement d'affectation de table sur la composition colorée.
- D'autres techniques d'amélioration de contraste existe. Pour procéder, par exemple, à une amélioration de contraste par saturation (« élimination » des extrêmes), on utilisera la combinaison de **r.univar** (*Raster, Comptes-rendus et statistiques, Statistiques raster univariées*) pour déterminer les percentiles pertinents et de la gestion des couleurs interactive (ou par fichier de règles). Le module **i.colors.enhance** (*Imagerie, Gérer les couleurs d'image, Balance des couleurs pour RVB*) le fait automatiquement pour trois bandes ensemble.
- Réaliser une amélioration de contraste sur la composition colorée vrai couleur en utilisant l'outil **i.colors.enhance** par élimination des extrêmes, et comparer visuellement le résultat avec l'approche précédente. Il est probable que l'affichage de carte ne soit pas rafraîchit automatiquement. Si c'est le cas, cliquez sur le bouton  pour forcer la mise à jour.

Un pas plus loin dans le concept de région

Il est possible d'afficher l'étendue de la région actuelle dans la fenêtre d'affiche de carte, en cliquant sur le menu déroulant dans la barre inférieure et en sélectionnant « Afficher l'étendue ».



Par ailleurs, il ne faut pas confondre zone affichée à l'écran et la région de calcul. Il faut donc bien faire attention à la définition de la région, qui ne correspond pas spécialement avec la zone affichée dans un moniteur. A travers la majorité des exercices nous reviendrons sur ce concept important de région. La figure suivante présente une zone d'affichage qui ne correspond pas à l'étendue de la région qui elle-même ne correspond pas à l'étendue du raster (n'hésitez pas à relire trois fois cette phrase pour être sur de bien comprendre).

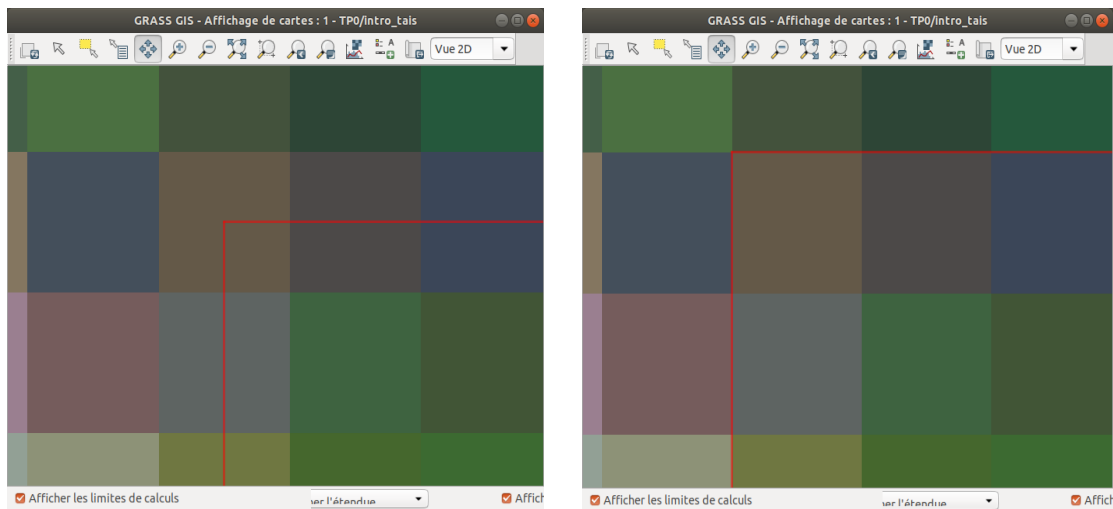


Nous allons à présent définir la région

- Définir de manière interactive la région de calcul de sorte qu'elle recouvre la forêt de soigne (au Sud-Est de Bruxelles, la grosse tache brun foncée sur la composition colorée vraies couleurs).

Lorsque l'on définit une région de calcul de manière interactive, il est presque certain que l'emprise de la région ne correspondent pas aux limites exactes des pixels. Il existe une option pour faire en sorte que la région de calcul soit alignée avec les pixels

de la carte. Celle-ci est accessible soit via un clique-droit sur le nom d'une couche dans le Gestionnaire des couches puis 'Aligner la région de calcul sur la carte sélectionnée'.



- Aligner la région de calcul que vous venez de créer sur les limites des pixels du raster.
- Définir la région en fonction de la bande bleue (B2) en utilisant le raccourci par clique-droit.

Affichage de l'histogramme d'une couche raster

L'histogramme est une représentation graphique des valeurs de pixels d'une couche raster. Il permet d'analyser la forme générale de la distribution des valeurs.

- GRASS GIS permet d'afficher un histogramme avec l'outil graphique de création d'histogrammes. Deux chemins possibles pour l'utiliser : *Clique-droit sur le nom de la couche dans le Gestionnaire des couches -> 'Histogramme'* ou dans le *Moniteur d'affichage -> Menu 'Analyser une carte' -> 'Créer un histogramme d'une carte raster'*. On peut afficher plusieurs histogrammes à la fois, soit en sélectionnant plusieurs cartes dans le Gestionnaire des couches et lançant l'outil histogramme ensuite, soit en regroupant plusieurs couches dans un groupe et choisissant ce groupe dans l'outil d'histogramme.
- Afficher l'histogramme de la couche LC08_L1TP_20191204_B2 et LC08_L1TP_20191204_B8.

Analyser la relation entre bandes

Pour comprendre la relation entre couches on peut analyser leur corrélation, soit visuellement sur forme d'un nuage de points montrant la relation des valeurs de deux couches, soit sous forme d'un coefficient de corrélation, voire une matrice de corrélations entre plusieurs couches.

- GRASS GIS propose un outil graphique de visualisation de nuages de points (scatterplot). Il est accessible via le *Moniteur d'affichage -> Menu 'Analyser une carte' -> 'Créer un nuage de points bivarié de la carte raster'*.
- Pour calculer une matrice de corrélations (ou de covariance), GRASS GIS propose **r.covar** (*Raster, Comptes rendus et statistiques, Covariance/corrélation*)

- Afficher le nuage de point comparant les valeurs de la bande LC08_L1TP_20191204_B2 (bleu) avec la bande LC08_L1TP_20191204_B3 (vert).
- Calculer la matrice de corrélations des bandes LC08_L1TP_20191204_B2 jusqu'à LC08_L1TP_20191204_B6.

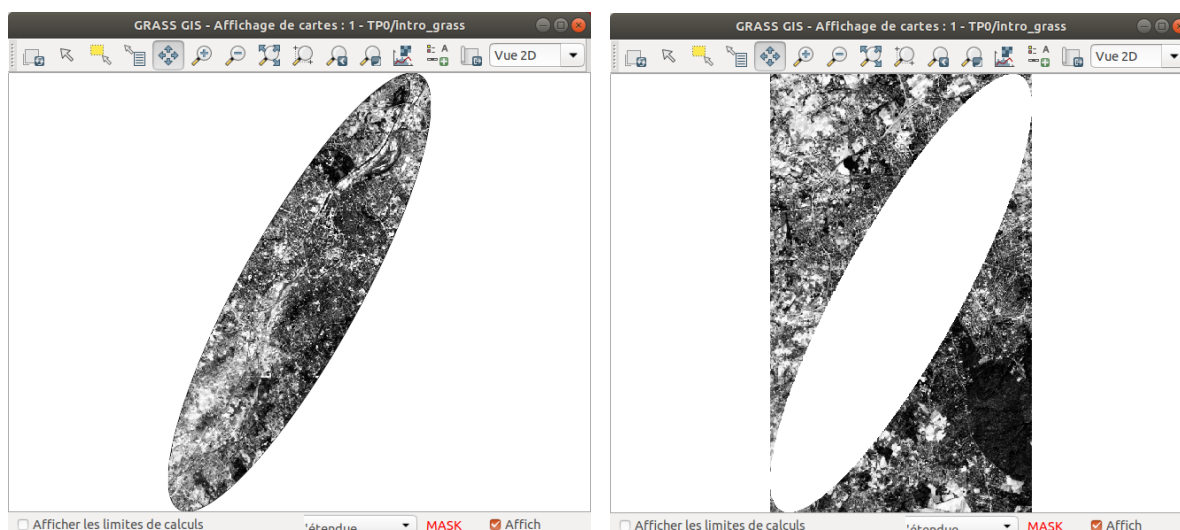
L'utilisation d'un masque

La région permet de définir une zone de travail rectangulaire (tout en définissant aussi la résolution). Souvent, on doit délimiter une (ou plusieurs) zone(s) de travail irrégulière(s), par exemple pour exclure les zones sous couverture nuageuse. Cette délimitation peut se faire en définissant un 'masque'.

Dans GRASS GIS un masque est défini simplement en créant un fichier matriciel appelé 'MASK'. Lorsqu'un masque est actif, le mot **MASK** en rouge est affiché dans la barre inférieure de la fenêtre d'affichage de cartes. Lors de l'exécution d'un module d'analyse matricielle tout pixel qui est non-null ou a une valeur de 0 dans le masque est alors ignoré lors de la lecture de fichiers matriciels d'entrée. La zone couverte par le masque est donc bien la zone sur laquelle on souhaite travailler.

Le module de gestion du masque dans GRASS GIS est **r.mask**.

- Importer le fichier Shapefile du mask fourni.
- Définir un masque pour ne travailler que sur la zone couverte par le polygone.
- Afficher le raster portant le nom « MASK »
- Définir un masque inversé pour travailler sur l'extérieur de la zone couverte par le polygone.



Calcul de valeurs de radiance et de réflectance (correction atmosphérique)

La plupart des images satellites sont livrées avec leurs valeurs codées en nombres entiers (byte integer), en ce que l'on appelle valeur numérique ou « digital number » (DN). Pour retrouver les valeurs effectivement mesurées par les capteurs du satellite (radiance at sensor ou radiance at top of atmosphere), il faut procéder à une transformation linéaire dont les coefficients sont généralement renseignés dans les fichiers de méta-données accompagnant les images. Pour appliquer cette transformation, on peut utiliser une simple calculatrice raster ou des modules consacrés à cette tâche.

Par ailleurs, on doit souvent procéder à une correction atmosphérique pour diminuer l'effet perturbateur de l'atmosphère sur l'énergie mesurée au satellite. Une méthode simple est la soustraction de l'objet noir (« dark object substration » ou DOS) qui postule qu'il doit y avoir sur chaque image (et dans chaque bande) au moins un pixel avec réflectance proche de 0, et que s'il n'y en a pas, la différence correspond à des perturbations atmosphériques. Il suffit donc de soustraire cette différence pour éliminer (en partie) ces effets. D'autres méthodes plus complexes sont basées sur la modélisation des perturbations atmosphériques.

- Dans GRASS GIS, on peut toujours effectuer les calculs du passage de la DN à la radiance au capteur et de la soustraction de l'objet noir avec la calculatrice raster **r.mapcalc**. Néanmoins, il existe une série d'outils qui lisent directement les fichiers de méta-données de différents capteurs et appliquent automatiquement les transformations : **i.landsat.toar**, **i.aster.toar** (*Imagerie, Outils d'images satellite, Valeurs numériques Aster/Landsat vers radiance/réflectance*). Les deux permettent aussi de passer à des valeurs de réflectance, le premier en utilisant l'approche de la soustraction de l'objet noir. Un autre outil permet d'appliquer un modèle de correction atmosphérique plus complexe, le modèle 6S : **i.atcor** (*Imagerie, Outils d'images satellite, Corrections atmosphériques*).
- Au moyen de l'outil **i.landsat.toar**, créer des couches en valeur de réflectance au sol pour les bandes toutes les bandes de l'image Landsat8 en utilisant la correction atmosphérique DOS1. Lisez bien le manuel de l'outil pour savoir ce que vous devez mettre en paramètre. Utilisez le fichier de métadonnées MTL.txt fourni avec les images Landsat.
 - Faire une amélioration de contraste pour la couche panchromatique ayant subit la correction atmosphérique.
 - Comparer les valeurs des pixels des deux couches en les sélectionnant dans le gestionnaire des couches puis en activant l'outil et en cliquant sur un pixel . Pourquoi une couche a des valeurs entières alors que l'autre a des valeurs à virgules ?
- Créer des couches en valeur de réflectance au sol pour les bandes LC08_L1TP_20191204_B2 et LC08_L1TP_20191204_B4 en utilisant la correction atmosphérique avec le modèle 6S. Attention de bien encoder les gammes de valeurs réelles en entrée et sortie. En vous référant au manuel d'utilisation du module, essayez de comprendre la signification des différentes valeurs suivantes pour le modèle 6S.

ou entrer les valeurs manuellement :

```
18
12 4 10.34 4.410 50.234
3
1
50
-0.110
-1000
116|
```

Fusion d'image

Beaucoup de capteurs (mais pas Sentinel-2, par exemple) proposent une bande panchromatique avec une résolution plus élevée que les bandes multispectrales. Mais la bande panchromatique n'existe qu'en noir et blanc, tandis que la combinaison de différentes bandes multispectrales permet de visualiser une scène en couleurs. Pour un travail visuel sur une scène, il peut être intéressant de combiner les deux avantages (résolution et couleurs) en une seule image qui proposerait la résolution de la panchromatique, mais avec les couleurs des bandes multispectrales. Évidemment, cela ne représente pas une vraie photo couleur à la résolution de la panchromatique, mais une bonne approximation. On appelle le procédé la 'fusion d'images' et différentes techniques existent y arriver. Dans GRASS GIS il existe un outil,

i.pansharpen, qui regroupe différentes techniques et qui permet donc de se passer d'une application manuelle de ces techniques. Une autre option est l'extension **i.fusion.hpf** qui implémente une autre technique de fusion.

- Réaliser une fusion panchromatique/multispectrale au moyen de l'outil **i.pansharpen**
- Réaliser une fusion panchromatique/multispectrale au moyen de l'outil **i.fusion.hpf**
- Réaliser une composition colorée vraie-couleur des deux résultats, rehausser le contraste de la composition et comparer les deux résultats visuellement.

Mais pour comprendre le procédé de pansharpening, ci-dessous quand même un exemple plus « manuel », mais plus compliqué :

- Une technique consiste à utiliser une autre définition des couleurs que la logique rouge-vert-bleu, à savoir la définition par teinte, valeur (ou luminosité ou clarté) et saturation (ou, en anglais, hue, intensity et saturation – HIS). La luminosité représente la quantité d'énergie lumineuse et on peut la remplacer par la bande panchromatique pour qu'à la résolution de cette dernière chaque pixel reçoit la teinte et la saturation des bandes multispectrales, mais la luminosité de la panchromatique, donnant alors l'impression visuelle d'avoir de la couleur à la résolution de la panchromatique.
- **Attention** : Les modules permettant de faire une fusion via la transformation rgb->his->rgb ne fonctionnent qu'en 8-bit, c'est-à-dire avec des valeurs variant entre 0/1 et 255. Si votre raster possède des valeurs plus grandes que 255 (et donc en plus de 8bits), il faut donc d'abord recoder les valeurs vers cette échelle avec **r.rescale** ou **r.recode** pour utiliser cette technique.
- Transformer les trois bandes rouge, vert, bleu en bandes teinte, valeur, saturation avec **i.rgb.his** (*Imagerie, Gérer les couleurs d'image, RVB vers TVS*).
- Avant de faire la transformation inverse avec la panchromatique, il faut ajuster la résolution de travail à cette bande, mais si on travaille sur l'ensemble de la scène ajuster toute la région en fonction d'une bande est plus facile que d'ajuster uniquement la résolution.
- Ajuster la région à la bande panchromatique (LC08_L1TP_20191204_B8).
- Pour essayer de s'approcher le plus possible des couleurs originales, il faut que l'histogramme de la bande panchromatique s'approche de l'histogramme de la bande d'intensité. Différents algorithmes existent pour faire ce qu'on appelle le « histogram matching » (voir aussi l'extension **i.histo.match**), mais il est possible d'utiliser un moyen simple en approximation : recoder les valeurs de la bande panchromatique vers la gamme des valeurs de la bande d'intensité.
- Créer une nouvelle bande panchromatique avec les valeurs ajustées à la gamme de la bande d'intensité avec **r.recode** (*Raster, Changement des valeurs de catégorie et des étiquettes, Recode*). Pour cela il faut créer un fichier texte avec les règles de recodage comme suit : min_panchromatique:max_panchromatique:min_intensité:max_intensité, où min_* et max_* représentent les valeurs minimales et maximales des pixels dans les couches respectives (panchromatique et d'intensité). Pour trouver ces données maximales et minimales on peut consulter les métadonnées ou utiliser **r.univar**.
- Transformer les bandes TVS vers les bandes RGB avec **i.his.rgb** (*Imagerie, Gérer les couleurs d'image, TVS vers RVB*) en remplaçant la bande de la valeur (*intensity*) par la bande panchromatique recodée dans l'étape précédente.

- Améliorer le contraste des trois bandes résultantes, par exemple en leur affectant la table des couleurs grey.eq.
- Afficher les bandes fusionnées en composition colorée et comparer à une composition colorée avec les trois bandes originales rouge, vert et bleu.
- Le même procédé peut évidemment être utilisé pour d'autres combinaisons de bandes.
- D'autres techniques sont la transformation de Brovery ou alors le passage via l'analyse en composantes principales et son inverse.

Calcul d'indices

En combinant différentes bandes on peut calculer des indices qui représentent une information synthétique. L'exemple le plus célèbre est le NDVI (Normalized Difference Vegetation index). Celui-ci utilise le fait que la végétation reflète très peu dans la bande rouge, mais émet beaucoup dans le proche infra-rouge par son activité de photosynthèse. On calcule alors l'importance relative de ces deux bandes pour estimer la présence de végétation :

$$\text{(proche infra-rouge - rouge) / (proche infra-rouge + rouge)}$$

ce qui va donc vers 1 si l'infra-rouge domine et vers -1 si le rouge domine.

GRASS GIS propose un module (**i.vi**) qui permet de calculer des indices de végétation. Pour être plus flexible dans le calcul d'indice (et aller au-delà des indices de végétation), on pourra utiliser un outil souvent appelé 'Calculateur (ou calculatrice) raster'.

- GRASS GIS propose aussi un tel outil (**r.mapcalc** : *Raster, Calculateur raster*). Dans cet outil on peut appeler des couches déjà existantes (dans notre cas les couches du rouge et du proche infra-rouge), des opérateurs mathématique et logique (&& = AND, || = OR) de base et des fonctions plus avancées pour construire une formule aussi complexe que l'on veut. Puisque ce calcul crée une nouvelle couche raster, il faut indiquer un nom pour cette nouvelle couche.
- **Attention** : dans beaucoup de logiciels une opération de division entre nombres entiers a comme résultat un nombre entier. Ainsi 3/2 donnera 1, et pas 1,5. Il faut explicitement indiquer que l'on souhaite un résultat en réels. Souvent deux options existent : soit on multiplie un des opérants de la division par 1.0 pour en faire un réel, ou alors on utilise une fonction qui transforme un nombre entier en réel. Souvent cette fonction s'appelle float().
- Calculer l'indice NDVI, sachant que la bande rouge est la couche LC08_L1TP_20191204_B4 et la bande du proche infra-rouge est la couche LC08_L1TP_20191204_B5 :

$$\text{float (LC08_L1TP_20191204_B5 - LC08_L1TP_20191204_B4) / (LC08_L1TP_20191204_B5 + LC08_L1TP_20191204_B4)}$$

- Affecter à la nouvelle couche créée la table de couleurs 'ndvi'.
- Afficher la couche créée.
- Quand on est devant une couche dont on ne connaît pas les valeurs, on doit afficher la légende pour comprendre. Dans GRASS GIS, l'affichage de la légende se fait dans le Moniteur d'affichage.
- Afficher la légende la couche NDVI via le bouton 'Ajouter un élément à la carte' du Moniteur. (Il faut vérifier dans les options que la légende demandée est bien pour la bonne couche. Les autres options peuvent rester à leurs valeurs par

défaut).

- Comparer le résultat avec la composition colorée pour comprendre le résultat.

Seuillage et classement par ensemble de règles

Dans différentes situations on peut être amené à vouloir transformer une information continue (l'ensemble des valeurs d'une bande, toute la gamme des valeurs du NDVI, etc) en une information discrète, voire binaire (forêt – pas forêt, eau – pas eau, etc). Cette opération s'appelle le *seuillage* puisqu'on définit un seuil qui détermine si oui ou non un critère est rempli. Par exemple, après examen d'une image et d'un NDVI on peut arriver à la conclusion que la valeur (fictive) de NDVI de 0,42 représente une limite au-delà de laquelle on peut considérer que l'on a de la forêt. L'outil **r.recode** (*Raster, Modifier des valeurs de catégorie et des étiquettes, Recoder*), permet alors de procéder à la transformation vers une carte binaire avec des règles comme suit :

```
*:0.42:0  
0.42 :*:1
```

ce qui veut dire : donne à tous les pixels entre la valeur minimale (* à gauche) et 0.42 la valeur 0 et à tous les pixels entre 0.42 et la valeur maximale (* à droite) la valeur 1.

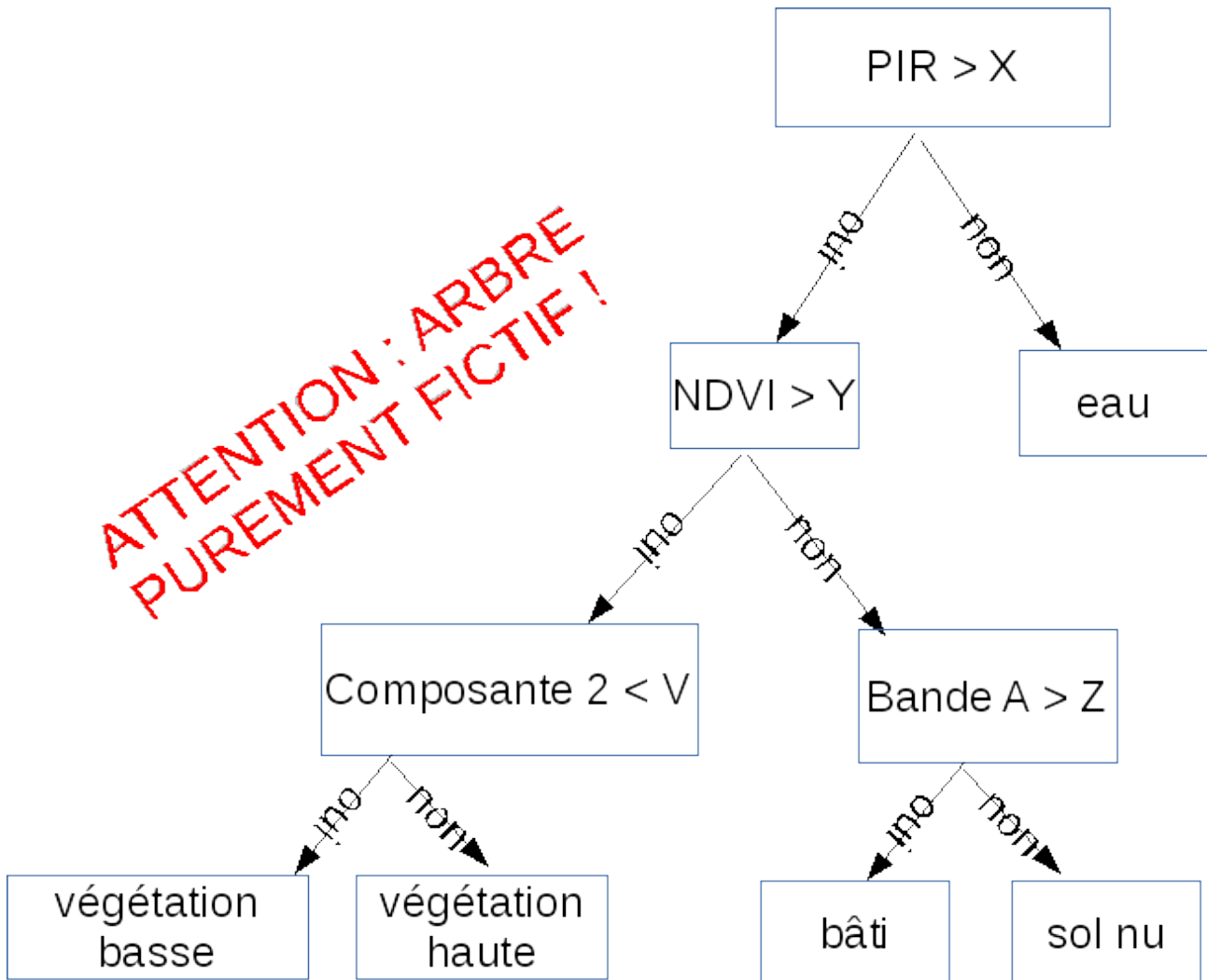
Une autre manière de faire un tel seuillage est en utilisant la calculatrice raster dans un mode à sortie logique. Par exemple, si on lui fournit l'équation :

```
ndvi>0.42
```

la calculatrice sortira une carte avec des 1 là où la condition est vraie et des 0 où la condition n'est pas vraie. On peut aussi indiquer plus explicitement les valeurs souhaitées :

```
if(ndvi>0.42,1,0)
```

On peut aussi remplacer un des chiffres par un nouveau *if()* et ainsi imbriquer plusieurs conditions. Ainsi, on peut construire un ensemble de règles, aussi appelé « arbre de classification » tel que montré dans la figure ci-dessous.



Dans le langage spécifique de *r.mapcalc*, cet arbre se traduira par

```

if ( PIR > X,
    if ( NDVI > Y
        if (Composante_2 < V,
            1,
            2
        ),
        if(Bande_A > Z,
            3,
            4
        )
    ),
    5)
  
```

(où 1=végétation basse, 2=végétation haute, etc jusqu'à 5=eau et V,X,Y, Z sont des valeurs seuils à déterminer)

Transformation multi-bandes (ACP, Tassled cap, etc)

Dans GRASS GIS, le module qui permet de faire des analyses en composantes principales est ***i.pca*** (*Imagerie, Transformer une image, Composantes principales*). Le module qui permet de faire une transformation « tassled cap », s'appelle ***i.tasscap***.

Pour interpréter les résultats d'une ACP on doit regarder le tableau des corrélations entre les composantes et les bandes originales, ainsi que les cartes des composantes individuelles (ou éventuellement une composition colorée avec trois composantes). Voici un exemple d'une sortie d'une ACP) :

```
i.pca --overwrite input=torad2@mlennert,torad3@mlennert,torad4@mlennert,torad5@mlennert,torad6@mlennert,torad7@mlennert output_prefix=acp
```

PC1	0.0477	0.1102	0.1013	0.8181	0.4981	0.2405	68.80%
PC2	0.1713	0.2102	0.3454	-0.5414	0.5155	0.4983	27.93%
PC3	0.3932	0.4770	0.5562	0.1650	-0.5303	0.0059	2.80%
PC4	0.2320	-0.0142	-0.5244	0.0599	-0.3640	0.7314	0.25%
PC5	-0.6798	-0.3026	0.4583	0.0704	-0.2692	0.3986	0.15%
PC6	-0.5457	0.7901	-0.2758	-0.0417	0.0039	-0.0039	0.06%

Ici on voit que la première composante concentre 69 % de l'information (de la variance) et que toutes les bandes sont corrélées positivement avec cette composante. Il s'agit donc d'une composante représentant la quantité d'énergie totale réfléchie, autrement dit les endroits où il y avait beaucoup d'énergie, celle-ci ayant été réfléchie dans toutes les bandes. La deuxième composante concentre 28 % de l'information. Toutes les bandes sont corrélées positivement, sauf la bande 5 (ici le proche infrarouge). On voit donc que cette composante différencie les pixels qui ont des valeurs fortes dans la bande 5 des pixels qui ont des valeurs fortes dans les autres bandes.

Digitaliser



A différents moments dans le traitement d'images il peut s'avérer intéressant de dessiner des formes vectorielles. Un cas d'usage est l'interprétation visuelle où l'on affiche une scène sous différentes formes (compositions colorées vraies et fausses couleurs, indices, etc) pour permettre une interprétation « manuelle » par un opérateur humain. Celui dessine alors sur l'image des polygones représentant la totalité des zones homogènes et leur affecte des identifiants / étiquettes. Un autre cas d'usage est la création de zones d'entraînement pour une classification supervisée. L'opérateur dessine alors de petits polygones représentant des échantillons de classes recherchées. Généralement les caractéristiques de ces échantillons ont été identifiées par une visite sur le terrain. On utilise alors cet échantillon pour permettre au logiciel de calculer la signature spectrale des différentes classes recherchées.

- Le fichier vectoriel *zones_entrainement* importé précédemment contient un tel échantillon. L'objectif ici sera d'ajouter une zone d'entraînement choisie sur base de la composition colorée.
- Afficher la composition colorée et la couche *zones_entrainement* au-dessus.
- La digitalisation dans GRASS GIS se fait soit directement dans le Moniteur d'affichage, soit via l'outil graphique ***g.gui.vdigit***. L'outil permet toute une série d'opérations, permettant soit créer une nouvelle couche vectorielle, soit en éditer une existante. Pour plus d'information, consulter l'aide GRASS GIS (*Aide->Aide GRASS GIS*, puis *WxGUI->Vector digitizer* (lien en bas de la page). Nous nous contenterons ici de digitaliser un nouveau polygone et lui assigner l'identifiant de la classe pertinente parmi les classes indiquées dans le tableau ci-dessous :

Identifiant Classe	Classe d'occupation du sol	Exemples d'utilisations du sol correspondantes
11	Végétation haute feuillue	Arbres et arbustes feuillus (mais ici sans feuilles puisque l'image est du mois de mars)
12	Végétation haute conifère	Arbres et arbustes conifères
13	Végétation basse	Pelouses, champs, ...
20	Sols nus	Champs dénudés, surface en cours de construction,...
31	Surfaces artificialisées denses	Noyaux urbains et villageois, routes larges
32	Surfaces artificialisées peu denses	Zones d'habitat dispersé ou quartiers de villas avec grands jardins
40	Eau	Cours d'eau, plan d'eau, canal,...

- Lancer l'outil de digitalisation dans le Moniteur d'affichage en choisissant '*Numériser*' dans le menu déroulant en haut à droite. Ensuite choisir la couche des zones d'entraînement dans le menu déroulant à gauche dans les outils de digitalisation. (Si on souhaite digitaliser une nouvelle couche – par exemple lors d'une interprétation visuelle, on choisira cette option. GRASS GIS demande alors si on souhaite définir d'autres colonnes que celle pour l'identifiant (cat) dans la table d'attributs).
Chemin alternatif pour lancer la digitalisation d'une couche existante: dans le gestionnaire des couches, *clique-droit sur la couche des zones d'entraînement-*

>Commencer l'édition

- Zoomer / Déplacer pour trouver une zone homogène représentative d'une classe.
- Choisir l'outil 'Numériser une nouvelle surface' (icône ).
- Dessiner le polygone à l'aide de la souris. Il faut s'assurer de bien revenir au point de départ pour fermer le polygone. Un *clique-droit* termine l'opération de dessin.
- Entrer le nombre correspondant à la classe dans la fenêtre qui s'ouvre et cliquer sur 'Soumettre'.
- Sortir du mode digitalisation en cliquant sur l'icône de fermeture (). Indiquer que l'on souhaite sauvegarder les modifications.

Transformer une couche vecteur en couche raster

Selon les logiciels et selon les outils des logiciels, il faut fournir les données en entrée pour un traitement en raster ou en vecteur. Par exemple, l'utilisation de zones d'entraînement pour la classification d'image dans GRASS GIS requiert que ces zones soient en format raster. GRASS GIS propose une série d'outils pour la transformation entre types de couches.

Lors de la transformation d'un vecteur vers un raster, il faut indiquer au logiciel quelle information concernant le vecteur doit se retrouver dans les valeurs des pixels du raster (l'identifiant de l'objet vectoriel, la valeur d'un attribut, une valeur quelconque représentant juste la présence ou absence d'un objet vectoriel à l'endroit du pixel, etc).

- Transformer les zones d'entraînement en raster : **v.to.rast** (*Fichier, Conversion de type de carte, Vecteur vers raster*). Indiquer la couche des zones comme couche vectorielle en entrée, donner un nom à la couche raster en sortie (on peut utiliser le même nom pour les deux) et choisir 'attr' (une valeur attributaire) comme source des valeurs matricielles. Ensuite, dans l'onglet 'Attributes', indiquer quel champ attributaire doit être utilisé, à savoir, dans notre cas, le champ 'CLASSE'.

Créer un groupe d'images

Pour toute une série de traitements sur des images satellitaires on travaille sur plusieurs bandes d'une même scène, voire des néo-canaux et pseudo-bandes (genre NDVI).

- Pour faciliter le travail, et ne pas à chaque fois devoir spécifier chaque bande individuellement, GRASS GIS permet de créer des '*groupes*', regroupant plusieurs bandes. Et on peut également encore faire des sous-sélection dans un groupe et définir des sous-groupes pour pouvoir faire des analyses sur une partie des bandes seulement. Par exemple, on crée tout un groupe pour le géoréférencement commun de toute une scène et puis un sous-groupe pour une analyse particulière pour laquelle toutes les bandes ne sont pas nécessaires/utiles.
- Nous créerons donc un groupe et sous-groupe d'images contenant les bandes de notre scène Landsat à utiliser dans les classifications ultérieures, à savoir : B1, B2, B3, B4, B5, B7 (c'est-à-dire toutes les bandes à même résolution de 30m).

- Créer un groupe (**i.group**, *Imagerie, Travailler sur des images et groupes, Créer/éditer un groupe d'images*) : introduire un nom de groupe et de sous-groupe, ajouter les bandes nécessaires, exécuter et vérifier dans les messages de la commande que tout s'est bien passé

Classification par pixel

Une classification d'image est un procédé où le logiciel affecte chaque pixel d'une image (ou éventuellement des groupes de pixels identifiés comme 'objets' par segmentation préalable – voir plus loin) à une classe. Pour pouvoir faire cela il faut d'abord identifier des centres des classes auxquelles on souhaite affecter les pixels/objets.

Classification non-supervisée

Dans le cadre d'une classification non-supervisée, c'est le logiciel qui fait ce travail, généralement en utilisant les moyennes mobiles pour identifier des nuages de pixels qui possèdent des propriétés similaires de réflectance au sein des bandes sélectionnées. Cela revient à créer des groupes de pixels, ou clusters en anglais. L'intérêt de la classification non-supervisée est de générer automatiquement un grand nombre de classes que l'utilisateur va ensuite regrouper en se basant sur plusieurs outils : travail de terrain, cartes thématiques, identification visuelle. Il est donc conseillé de demander au logiciel de créer significativement plus de classes que le nombre de classes auquel on veut arriver en final après regroupement.

Dans GRASS GIS, la classification non-supervisée se fait en deux étapes, avec d'abord, sur base d'un échantillon de pixels l'identification de classes avec leur signature spectrale et ensuite l'affectation de tous les pixels à une de ces classes. Ensuite on utilise le même outil que pour la classification supervisée pour affecter l'ensemble des pixels de l'image à une classe (**i.maxlik**). Finalement, on peut utiliser **r.reclass** pour regrouper les classes.

- Créer des classes avec leurs signatures spectrales **i.cluster** (*Imagerie, Classification d'images, Regroupement pour classification non-supervisée*) : choisir le groupe et le sous-groupe créés précédemment, et donner un nom pour le fichier de signatures en sortie (attention : il faut retenir ce nom pour les étapes ultérieures !)
- Procéder à la classification par maximum de vraisemblance avec **i.maxlik** (*Imagerie, Classification d'images, Classification par le maximum de vraisemblance (MLC)*) : choisir le groupe et sous-groupe, indiquer le nom du fichier de signatures, indiquer un nom pour la couche raster de sortie.

Classification supervisée

Dans la classification supervisée, on définit d'abord la légende des classes que l'on souhaite obtenir. Ensuite, il faut « apprendre » au logiciel comment reconnaître ces classes. On peut théoriquement utiliser des valeurs de signatures spectrales connues par ailleurs (empiriquement), mais souvent, on identifie sur l'image à classer des zones dont on connaît l'occupation du sol et le logiciel prend alors ces zones connues pour calculer leur signatures spectrales moyennes (leur centres de classes). La couche des zones d'entraînement affichée et amendée précédemment sert à cela.

Dans GRASS GIS, l'outil utilisé pour calculer ces signatures dépend de l'algorithme de classification choisie puisque chaque algorithme a besoin d'informations différentes. GRASS GIS propose trois algorithmes de classification (mais d'autres logiciels peuvent en proposer d'autres) :

- celui du maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood Classifier, MLC) qui calcule pour chaque pixel les probabilités d'appartenance à chacune des classes et l'affecte ensuite à la classe avec la probabilité la plus élevée.
- celui par maximum séquentiel a posteriori ou SMAP (Sequential maximum a posteriori) qui travaille par segmentation de l'image en prenant en compte le contexte dans lequel se trouve un pixel, au lieu de tenir compte de la seule signature spectrale du pixel comme le fait le MLC.
- (dans les extensions) : celui du Random Forest (une technique de *machine learning*) qui crée des arbres de régressions (une sorte d'arbre de décision automatisé)

Pour plus d'informations sur ces algorithmes consulter l'aide et la littérature. Pour cet exercice d'introduction, on se contentera d'utiliser le maximum de vraisemblance.

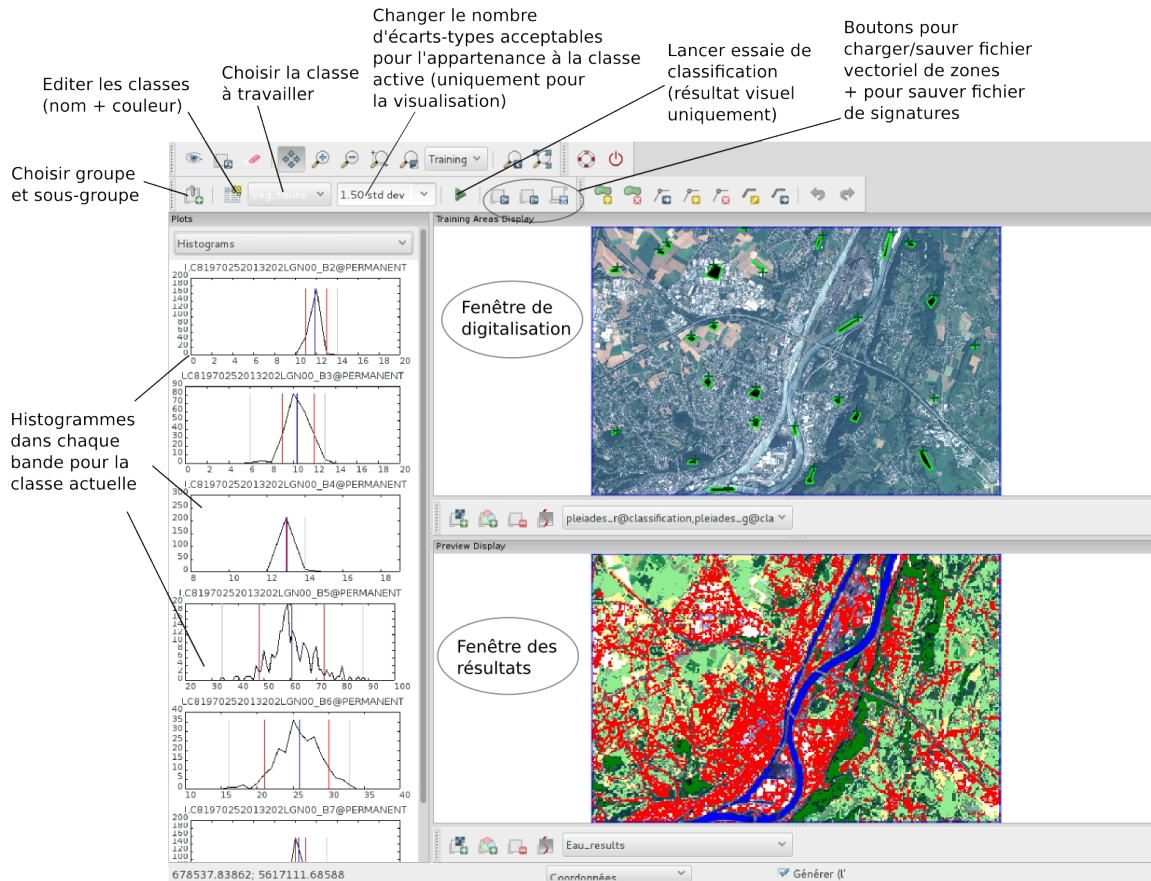
- Créer les signatures spectrales des classes avec ***i.gensig*** (*Imagerie, Classification d'images, Entrée pour classification supervisée MLC*) : choisir la couche raster des zones d'entraînement (*Ground truth training map*), choisir le groupe et le sous-groupe créés précédemment, et donner un nom pour le fichier de signatures en sortie (attention : il faut retenir ce nom pour les étapes ultérieures !)
[Pour la classification par maximum séquentiel a posteriori, il faut utiliser ***i.gensigset*** (*Imagerie, Classification d'images, Entrée pour classification supervisée SMAP*)]
- Procéder à la classification par maximum de vraisemblance avec ***i.maxlik*** (*Imagerie, Classification d'images, Classification par le maximum de vraisemblance (MLC)*) : choisir le groupe et sous-groupe, indiquer le nom du fichier de signatures, indiquer un nom pour la couche raster de sortie.
[Pour la classification par maximum séquentiel a posteriori, il faut utiliser ***i.smap*** (*Imagerie, Classification d'images, Classification maximum a priori (SMAP)*)]
- Afficher le résultat dans le Moniteur d'affichage.
- Afficher la légende dans le Moniteur d'affiche et essayer de retrouver quelle classe en sortie correspondant à quelle classe dans notre table de départ.

Dans sa version actuelle, la combinaison ***i.gensig*** + ***i.maxlik*** perd malheureusement les identifiant des classes (mais pas les étiquettes des classes, si on en a créée). Il faut donc les réintroduire en modifiant les valeurs de catégorie.

- Tester la même chose avec le module d'extension ***r.learn.ml*** (à installer via *g.extension*).

Interface graphique pour la création et l'évaluation de zones d'entraînement

GRASS GIS propose une interface pour la création et l'évaluation des zones d'entraînement. Jusqu'à la version 6.4, c'est interface s'appelle **i.class** et ne fonctionne que dans l'environnement GNU/Linux / Unix. Depuis la version 7, il y a la composante **g.gui.i.class** (Les deux modules sont disponible via: *Imagerie->Classification d'images->Interactive input for supervised classification*). Dans la suite, seul l'outil pour GRASS GIS 7 est décrit.



Pour un bref didacticiel vidéo voir <http://www.youtube.com/watch?v=FyzfdIkTNRg>.

Modification des valeurs de catégorie et reclassification de valeurs

Il peut souvent arriver que l'on doive changer des valeurs d'un raster selon certaines règles, que ce soit pour un raster contenant une variable nominale/qualitative (comme c'est le cas pour le résultat de la classification d'image) ou pour un raster contenant une variable quantitative. La plupart des logiciels contiennent des outils pour faire une telle opération.

GRASS GIS offre respectivement les outils ***r.reclass*** et ***r.recode*** qui offre une syntaxe flexible permettant de faire beaucoup de choses, y compris regrouper des classes ou recoder des valeurs (par exemple faire varier le NDVI entre 0 et 255 au lieu de -1 et 1).

- Pour l'exercice nous allons regrouper les 2 classes du bâti en une classe et les 2 classes de végétation haute en une classe.
- Lancer l'outil de reclassification interactive ***r.reclass*** (*Raster, Modifier des valeurs de catégorie et des étiquettes, Reclasser*), indiquer en entrée le nom de la couche résultante de la classification et en sortie un nom au choix, dans l'onglet '*Optionnel*' entrer les instructions de reclassification suivantes dans la fenêtre interactive. A cause d'un bogue dans l'interface graphique dans la version de GRASS GIS utilisée (6.4.2), on ne peut pas utiliser d'accents dans les étiquettes. Pour utiliser des accents, il faut mettre ces mêmes règles dans un fichier texte (ce qui a aussi l'avantage de permettre de garder une trace de l'opération). On indiquera alors le chemin de fichier dans la case adéquate).

1 2 = 1 Végétation haute

3 = 2 Végétation basse

4 = 3 Sols nus

5 6 = 4 Surfaces artificielles

7 = 5 Eau

Utilisation d'un filtre

Une classification d'images, surtout une classification par pixel, peut contenir beaucoup de bruit. Une des possibilités pour améliorer la classification consiste à utiliser un filtre pour lisser le résultat. Mais des filtres peuvent aussi être utilisés dans l'optique contraire, c'est-à-dire pour rehausser des contrastes et éventuellement détecter des changements abruptes. GRASS GIS offre différents outils de filtrage (***r.neighbors***, ***r.mfilter***).

Pour une variable nominale, telle une classification, un filtre modale appliquée sur une fenêtre mouvante est souvent utilisée. Ce filtre applique au pixel centrale de la fenêtre mouvante la valeur la plus représentée (le mode) dans l'ensemble des pixels contenus dans la fenêtre.

- Appliquer un filtre modal sur le résultat de classification avec ***r.neighbors*** (*Raster, Analyse de voisinage, Fenêtre mouvante*) : choisir la couche raster résultant de la reclassification en 5 classes, donner un nom pour le raster de sortie, dans l'onglet '*Neighborhood*' choisir la méthode '*mode*' et une taille de voisinage de 3 (donc une fenêtre mouvante de 3x3 pixels).
- Afficher le résultat et comparer avec la couche raster résultant de la reclassification en 5 classes.

Segmentation

La segmentation est un découpage de l'image en des objets distincts, chaque objet regroupant plusieurs pixels. Cela est surtout utile pour les images à très haute résolution dans lesquelles les objets que l'on recherche (maisons, champs, etc) dépassent la taille d'un pixel et c'est donc l'identification de groupes de pixels qui constituent des objets qui nous intéressent.

Depuis sa version 7, GRASS GIS propose un outil de segmentation d'images, ***i.segment***. Il utilise l'algorithme du « region growing » pour regrouper des pixels semblables. A côté du choix des bandes que l'on utilise pour déterminer la similarité entre pixels (que l'on doit regrouper dans un groupe), les paramètres importants de ce module sont

- *threshold* : déterminer la distance maximale entre pixels/objets à regrouper ; généralement, il vaut mieux commencer par un seuil très faible (ex : 0,01) pour ensuite augmenter si nécessaire.
- *minsize* : permet de définir une taille minimale d'objets ; ce paramètre est appliqué à la fin en ignorant le seuil définit dans *threshold*

Déterminer les meilleures valeurs pour ces critères n'est pas toujours facile. C'est pour cela qu'il existe une extension (***i.segment.uspo***) qui détermine les paramètres « optimaux » selon certains critères. Mais attention, même si cela fonctionne relativement bien, l'optimum dépend évidemment de l'application et aucun critère « objectif » peut toujours donner le meilleur résultat.

Caractérisation des objets

Après avoir créé les objets (ou segments), il faut les décrire pour ensuite pouvoir les classer. Le module d'extension ***i.segment.stats*** permet de calculer toute une série de statistiques par objet, que ce soit des variables de formes (en utilisant une autre extension : ***r.object.geometry***) et/ou des variables spectrales sur base de couches raster à fournir en entrée (les bandes spectrales originales, des bandes d'indice, d'ACP, etc).

Conseil : si la segmentation crée beaucoup d'objets, il est conseillé d'utiliser la sortie en fichier csv du module et pas la sortie en carte vectorielle puisque la création de cette dernière peut être très intense en utilisant de ressources de l'ordinateur.

Extraction d'objets d'entraînement

Pour une classification supervisée, il faut extraire des matrices de chiffres, une avec les données complètes et une avec des données d'entraînement. Si on a créé une sortie vectorielle avec ***i.segment.stats***, le plus facile pour avoir des zones d'entraînement est d'extraire ces dernières de la carte globale en suivant les étapes suivantes:

- Ajouter un champ « class » de type int (entier) dans la table attributaire (***v.db.addcolumn*** ou via l'interface graphique de la table attributaire -> onglet « Gérer les tables »)
- Ouvrir le vecteur en mode édition (digitalisation)
- Pour chaque polygone choisi comme zone d'entraînement, ouvrir le formulaire d'édition des attributs et indiquer le code de la classe dans le champ classe
- Arrêter le mode édition
- Extraire les polygones d'entraînement vers une nouvelle couche vectorielle

avec **v.extract** en utilisant « class>0 » comme critère d'extraction (« where »).

Si on travaille avec la sortie csv, il faut trouver les identifiants des objets d'entraînement et extraire manuellement ces objets de la sortie d'**i.segment.stats**.

Classification des objets par machine learning

Une fois l'image segmentée en objets, il est généralement nécessaire de classer ces objets en des catégories d'occupation (voire d'utilisation) du sol selon la légende recherchée.

Dans GRASS GIS, il n'y a pas encore de module central pour la classification par objet, mais il existe deux extensions qui proposent une première approche par du *machine learning* supervisé : **v.class.ml**, qui utilise la librairie Python scikit-learn, et **v.class.mlr** qui utilise le paquet *caret* de R.

Classification des objets par ensemble de règles

On peut aussi faire de la classification « manuelle » en définissant des règles de classification. Si on a une sortie vectorielle de ***i.segment.stats***, on peut utiliser ***v.db.update*** pour définir des règles de classification en SQL et affecter une valeur de classe à chaque objet. Exemple :

```
v.db.update macarte column=class value=1 where="ndvi > 0.5 AND moy_b4<100 AND compact > 0.7 »
```

Ce qui met à jour la colonne class avec la valeur '1' pour chaque entité où le NDVI > 0.5 ET la moyenne dans la bande 4 < 100 ET la « compactness » > 0.7.

Pour aller plus loin avec GRASS GIS

GRASS GIS offre beaucoup d'outils pour le traitement d'images et de nouveaux outils s'ajoutent régulièrement, notamment sous forme d'extensions (GRASS GIS Add-Ons (http://grass.osgeo.org/wiki/GRASS_GIS_AddOns) dont certains sont parfois intégrées dans le système de base si elles sont considérées comme particulièrement importantes). Pour aller plus loin dans l'exploration des possibilités :

- Explorer le site web de GRASS GIS (<http://grass.osgeo.org>) et notamment le Wiki (<http://grass.osgeo.org/wiki/>) qui contient toute une série de trucs et astuces
- Suivre les discussions sur les liste de diffusion des utilisateurs GRASS GIS
- Lire le livre *Open Source GIS. A GRASS GIS Approach* apparu chez Springer et auquel l'ULB a un accès électronique (<http://www.springer.com/earth+sciences+and+geography/geographical+information+systems/book/978-0-387-35767-6>).

D'autres outils que GRASS GIS

GRASS GIS offre beaucoup d'outils très utiles pour le traitement d'image. Mais d'autres logiciels, et notamment d'autres logiciels libres, existent qui offre parfois des outils complémentaires. Ci-dessous une liste de loin non-exhaustive, d'autant plus que le développement est rapide dans le domaine :

- Orfeo Toolbox (OTB) et son interface graphique Monteverdi (<http://www.orfeo-toolbox.org/>)
- Opticks (<http://opticks.org/>)
- OSSIM (<http://trac.osgeo.org/ossim/>)
- SAGA GIS (<http://www.saga-gis.org/>)
- ILWIS (<http://www.ilwis.org/>)
- etc...

Il existe évidemment aussi des logiciels propriétaires utilisés pour le traitement d'images :

- Idrisi (<http://clarklabs.org/products/idrisi.cfm>)
- PCI Geomatica (<http://www.pcigeomatics.com/i>)
- eCognition (<http://www.ecognition.com/>)
- etc...